

Болат өндірісіне арналған отқа төзімді материалдарды таңдау



Болат өндірісіне арналған отқа
төзімді материалдарды таңдау

Томас Вёрт (Thomas Vert), кәсіби
инженер, экономиканы басқару
магистрі

Доктор Джефф Смиттің кіріспе сөзі (Dr
. Jeff Smith)

The
American
Ceramic
Society
www.ceramics.org



WILEY

Copyright 2016 Американдық керамикалық қоғамы және John Wiley & Sons, Inc. Барлық құқықтар қорғалған. John Wiley & Sons, Inc, Хобокен, Нью-Джерси баспасымен жарияланды.

Канадада бір мезгілде шығарылған.

Бұл жарияланымның бірде-бір бөлігі Америка Құрама Штаттарының авторлық құқық туралы Заңының 107 немесе 108-баптарына сәйкес рұқсат етілген жағдайларды қоспағанда, баспагердің алдын ала жазбаша рұқсатынсыз немесе Copyright Clearance Center, Inc көшіргені үшін тиісті баж төлемін 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, (978) 750-8400, факс (978) 750-4470 немесе желіде www.copyright.com мекенжайы бойынша төлеу арқылы электрондық, механикалық, фотокөшірме, жазу, сканерлеу немесе өзге де тәсілмен іздеу жүйесінде қайта шығарылмайды, сақталмайды немесе кез келген нысанда не кез келген басқа тәсілмен берілмейді. Рұқсат алу үшін баспагерге өтінішті Рұқсаттар бөліміне жіберу керек, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, (201) 748-6011, (201) 748-6008 факсы бойынша немесе Интернет арқылы <http://www.wiley.com/go/permission> мекенжайы бойынша.

Жауапкершілікті шектеу /кепілдіктен бас тарту: баспагер мен автор осы кітапты дайындау үшін барлық күш-жігерін жұмсаса да, олар осы кітап мазмұнының дәлдігіне немесе толықтығына қатысты ешқандай растама немесе кепілдік бермейді, атап айтқанда, коммерциялық құндылықтың немесе белгілі бір мақсатқа жарамдылықтың кез келген тұспа-тұс келетін кепілдіктерінен бас тартады. Ешқандай кепілдіктер сауда уәкілдерімен немесе жазбаша саудалық материалдармен құрылмайды немесе мерзімі ұзартылмайды. Мұнда қамтылған ұсыныстар мен стратегиялар сіздің жағдайыңызға сәйкес келмеуі мүмкін. Сізге қажет болған жағдайда кәсіпқоймен кеңесуіңіз керек. Баспагер де, автор да жіберілген пайда немесе басқа да коммерциялық шығындар үшін, басқалармен қатар, ерекше, кездейсоқ, жанама немесе басқа да шығындар үшін жауапты болмайды.

Біздің басқа өнімдеріміз мен қызметтеріміз туралы жалпы ақпарат алу үшін немесе техникалық қолдау көрсету үшін Құрама Штаттардағы клиенттерге қызмет көрсету бөлімімен (800) 762-2974 телефоны бойынша, АҚШ-тан тыс жерде (317) 572-3993 телефоны немесе (317) 572-4002 факсы бойынша хабарласыңыз.

Wiley түрлі электрондық форматтарда өз кітаптарын жариялайды. Баспа түрінде пайда болатын кейбір мазмұн электрондық пішімде болмауы мүмкін. Wiley өнімдері туралы қосымша ақпарат алу үшін біздің веб-сайтқа www.wiley.com кіріңіз.

Каталогтау деректері Конгресс Кітапханасының басылымында:

Аттары: Вёрт, Томас (Vert, Thomas), 1964 - автор.

Атауы: Болат құю өндірісінде қолданылатын отқа төзімді материалдарды таңдау/ Томас Вёрт.

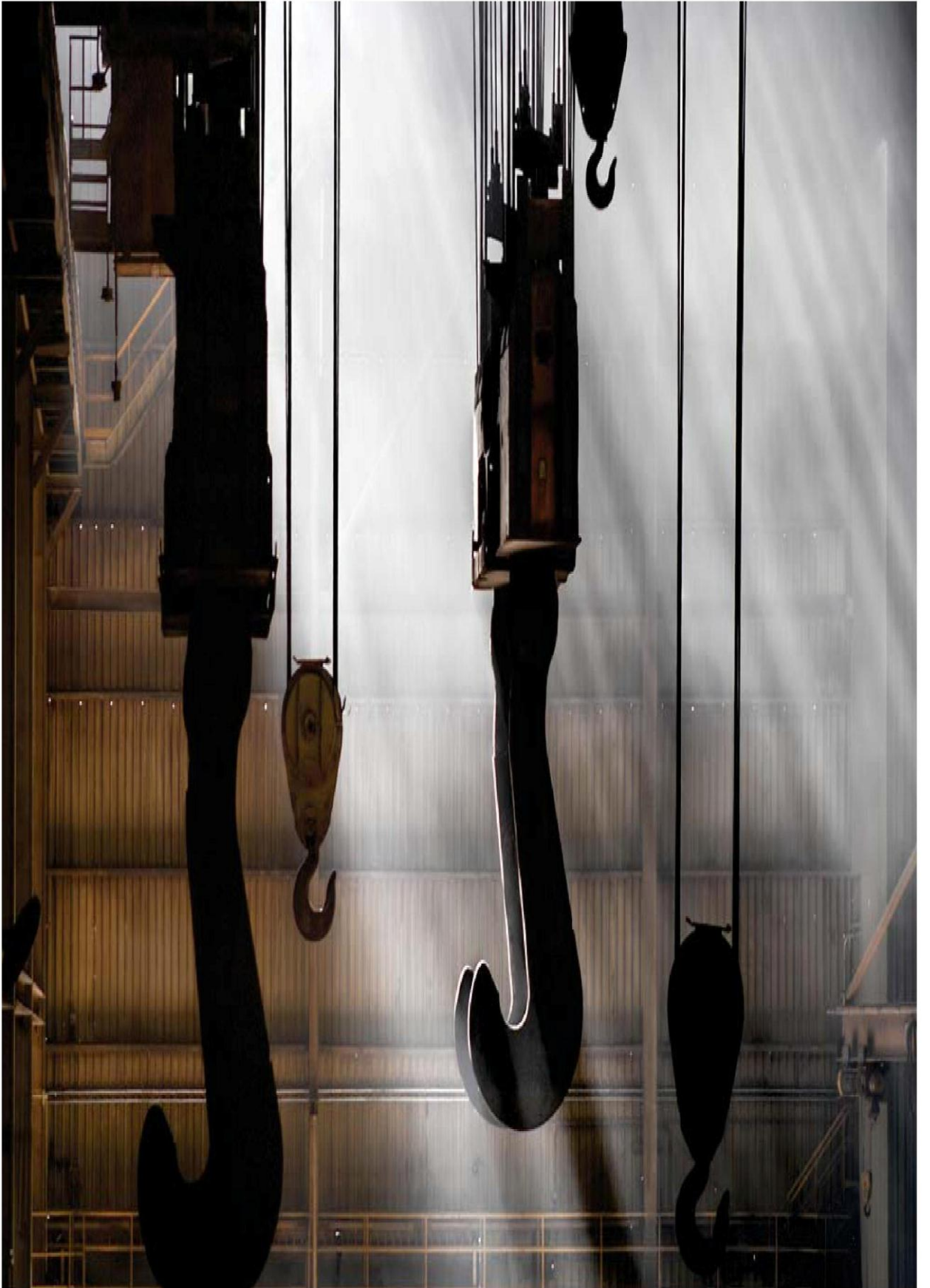
Сипаттамасы: Хобокен, Нью-Джерси: John Wiley & Sons, 2016 жыл.

Библиографиялық сілтемелер мен нұсқауларды қамтиды.

Сәйкестендірушілер: LCCN 2016003691 | ISBN 978-1-119-21986-6 (материал) ISBN 978-1-119-21988-0 (басылымның электронды форматы) Тақырыптар: LCSH: Отқа төзімді материалдар. Металлургиялық зауыттар - Жабдық және материалдар. Болат - Металлургия. Жіктелуі: LCC TN677.5 .V47 2016 | DDC 669 / .82 - LC мына мекенжай бойынша жазба қолжетімді <http://lccn.loc.gov/2016003691>

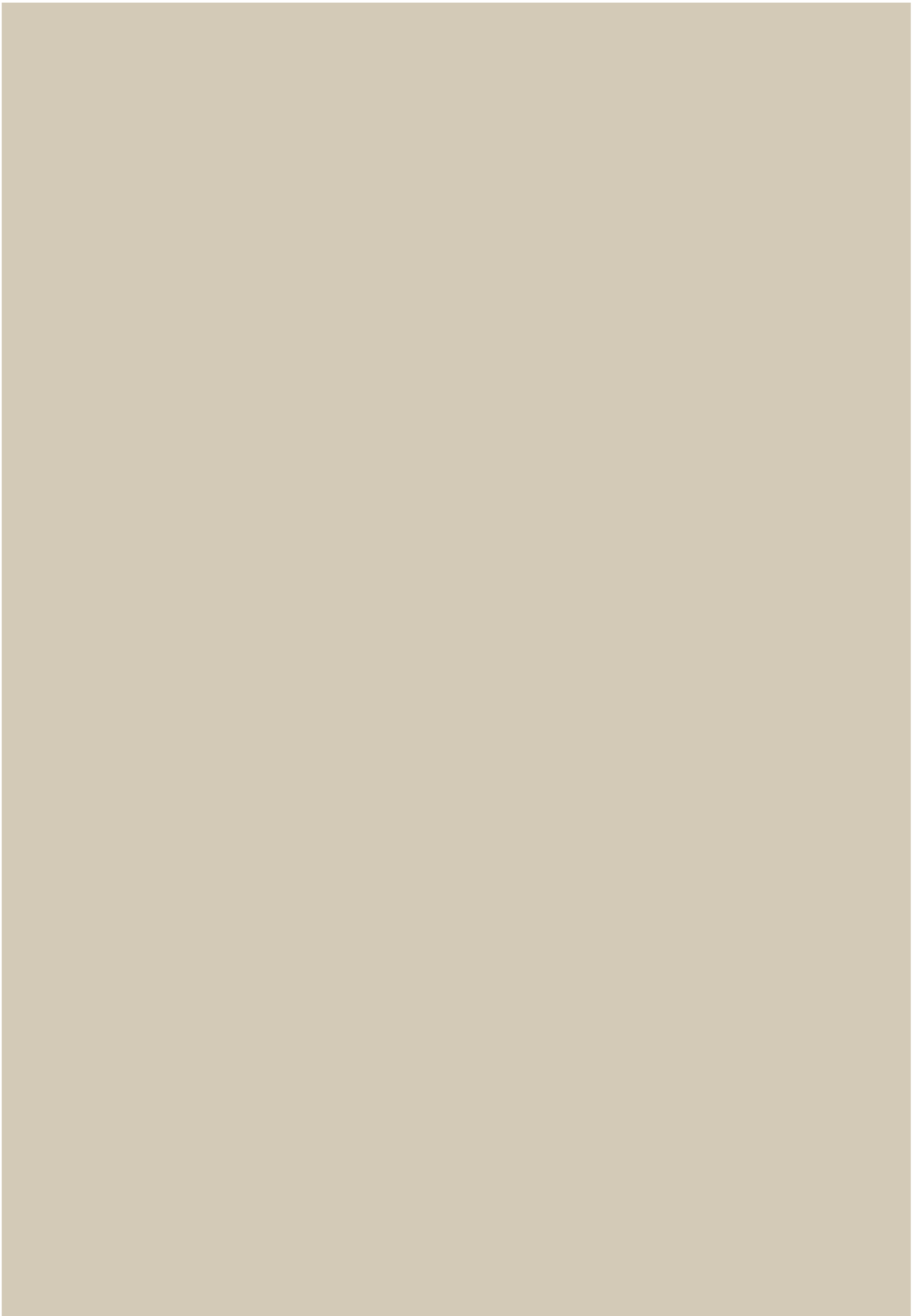
Америка Құрама Штаттарында басылып шыққан.

10 987654321



Мазмұны

Алғы сөз	VII	6.3 Астау	189
Алғыс сөз	IX	7-тарау	192
Арнау	XI	7.0. Негізгі оттектік конвертерлеріне арналған отқа төзімді материалдарға шолу (НОК)	193
Кіріспе	XIII	7.1. НОК қабырғасы/қорғаныш түбі	196
1-тарау	1	7.2. НОК қылтасына шолу	199
1.1.0 Қауіпсіздік	2	7.3. Шығару жағындағы НОК алаңдарына шолу	203
1.1 Қолжетімділіктің мақсаты	13	7.3. Жүктеме жағындағы НОК алаңдарына шолу	208
1.2 Сатып алудың жиынтық құны (СЖҚ)	15	7.5. НОК тірек сақинасына шолу	215
1.3 Энергия және жылу ағынына шолу	21	7.5. НОК стадионына шолу	220
1.4 Болат өндіруде сапа – инертті	26	7.7 НОК түбі	225
1.5 Қоршаған орта	33	7.8. НОК отқа берік теспелері	234
2-тарау	35	8-тарау	240
2.0 Жылулық, механикалық және химиялық (ЖМХ) талдауға шолу	36	8.0 Электр доғалы болат балқыту пеші (ЭДП)	241
2.1 Термиялық. Жоғары температураға шолу	38	8.1 Қорғаныш түбі/қабырғасы	243
2.2 Температураның күрт ауытқуы кезіндегі шытынау	61	8.2 Жұмыс түбі - Оттық/Май құю	247
2.3 Механикалық әсері	73	8.3 Жұмыс қабырғалары	255
2.4 Механикалық қажалу	77	8.4 ЭДП үшін аргонды араластыру жүйелері	263
2.5 Отқа төзімді материалдардың тозуы. Еруі	79	8.5 Отқа төзімді ЭДП-ның жинақ дельтасы	269
2.5 Отқа төзімді материалдардың тозуы. Енуі	86	8.6 ЭДП отқа төзімді теспелері	273
2.8 ЖМХ талдаулардың "сенбілік кешінің конструкциясымен" және "қиыршық тас үйіндісі" талдауымен өзара әрекеті	89	9-тарау	278
3-тарау	93	9.0 Болат төгу қауғасына арналған отқа төзімді материалдарға шолу	279
3.0 Шикізатты таңдау -Шолу	94	9.1 Болат төгу қауғасының қорғаныш түбі/қабырғасы	282
3.1 Магний тотығына (MgO) шолу	98	9.2 Болат төгу қауғасының жұмыс түбі	286
3.2 Алюмосиликаттарға шолу (Al ₂ O ₃ – SiO ₂)	107	9.3 Болат төгу қауғасының араластыру жүйесі	292
3.3 Көміртекке - Графитке шолу (C)	113	9.4 Болат төгу қауғасының шығынын реттеу жүйелері	301
3.4 Антиоксиданттар (ең қолайлы тотық құрастырушылар)	118	9.5 Болат төгу қауғасының бүйір жұмыс қабырғасы (қуыс бөлігі)	308
3.5 Шайырларға, күйдіргіш пен байланыстырғыш заттарға шолу	123	9.6 Болат төгу қауғасының жұмыс кож аймағы	312
3.6 Арнайы шикізат	126	9.7 Болат төгу қауғасының тірек сақинасы	317
3.7 Долomit	130	9.8 Газсыздандырғыштың отқа төзімді материалдарына шолу	320
4-тарау	132	10-тарау	323
4.0. Отқа төзімді материалдарды бекіту және кептіру тәсілдеріне шолу	133	10.0 Құю машинасы/төгу құрылғысына арналған отқа төзімді материалға шолу	324
4.1. Кірпіштер	139	10.1 Құю машинасының төгу құрылғысының қорғаныш қаптамасы	326
4.2. Құйма қаптамаларға, торкреттеу және шоткреттеуге шолу	142	10.2 Құю машинасының төгу құрылғысының жұмыс қаптамасы	330
4.3. Иілімді массаларға, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділерге шолу	150	10.3 Құю машинасының төгу құрылғысының ағынын басқару	334
4.4. Отқа төзімді материалдарды бекіту және кептіру тәсілдеріне шолу	153	10.4 Құю машинасының ағынын басқару жүйесі	338
4.5. Іріктеу — оқшаулағыш тақталарға және орама оқшауламаға шолу	159	11-тарау	353
5-тарау	162	11.0 Сатып алу стратегиясы	354
5.0 Отқа төзімді материал текстурасына, сынауларға және техникалық деректер парақтарына шолу	163	12-тарау	359
6-тарау	182	12.0 Қорытынды сөз	360
6.0 Болат төгу қауғасына шолу	183	Әдебиеттер тізімі	361
6.1 Қорғаныш түбі/қабырғасы	185	Көрсеткіштер	363
6.2 Жұмыс түбі/қабырғалары	187		

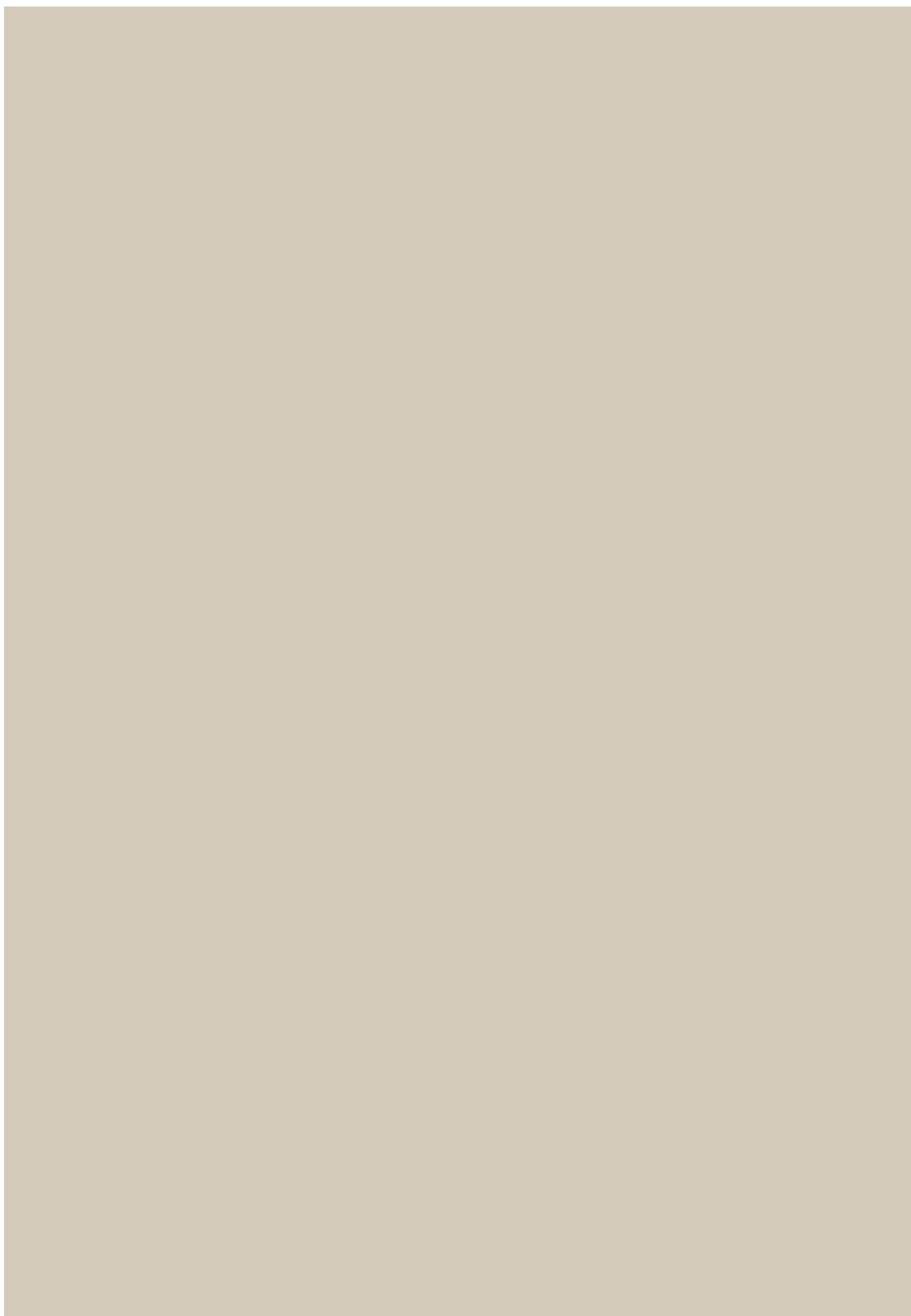


Алғы сөз

Әдеби сарапшылардың айтуынша, жақсы кіріспе сөз – табысты кітаптың ажырамас бөлігі. Олар кіріспе сөзді дайындау мәртебесіне ие болған адам – авторды оқырманға таныстырудағы өз рөлін түсіне отырып, туындының ерекшелігі мен лайықты тұстарын көрсетеді деп есептейді. Том Вёрт менен өзінің кітабына кіріспе сөз жазуды өтінген кезде осындай маңызды әрі жауапты іске атсалысуға құрметпен келістім. Себебі бұл мен үшін үлкен абырой. Оған қоса аталмыш тапсырмаларды орындау мен үшін еш қиындық туғызбайтынына сенімді болдым. Том Вёрт менің досым. Біз осыдан екі жыл бұрын отқа төзімді материалдарды өндіру мәселелері жөніндегі кеңесте танысқан болатынбз. Ол сол кезде Dofasco Steel компаниясында, ал мен Миссури-Ролла университетінде жұмыс істедім. Гамильтондағы Дофаско Торонтодан алыс емес. Ия, Том-канадалық. Ол жиі «дұрыс емес пе?» деп сұрайды. Ол өмірімде кездестірген ең жақсы адамдардың бірі. Сүйікті жар және әке, қоғамдастықтың адал қызметкері және отқа төзімді материалдар жөніндегі аса көрнекті инженер. Өткен жылдардың ішінде Том компаниясының атауын Arcelor Mittal Dofasco деп өзгертті. Мен қызмет етіп жатқан университеттің атауы да Миссури штатының Ғылыми-техникалық университеті деп өзгертілді. Бірақ өзгеріссіз қалған бір жайт бар. Ол – біздің достығымыз, біздің отқа төзімді материалдар туралы алқалық талқылауларымыз, басқаларға біздің мансабымыздың негізгі іргетасы болып табылатын, отқа төзімді оғаш материалдар туралы білімді арттыруға деген ұмтылысымыз. Білімі бойынша инженер-керамик болса да, оның таңдауы отқа төзімді материалдар жөніндегі инженер мамандығына түсті. Ол үнемі отқа төзімді және жаңа материалдарды әзірлеуге тырысатын. Зерттеу жөніндегі маман мен үшін қолайлырақ болуы мүмкін. Бірақ Том? Ол отқа төзімді материалдарды қолдану саласындағы мен кездестірген ең білікті сарапшылардың бірі. Оның тәжірибесінің негізі - отқа төзімділік қасиеттерді бақылайтын сипаттамаларды және өнімділікті терең түсінуінде. Аталмыш тәжірибе – әлемдік сарапшылармен талқылау, сонымен қатар отқа төзімді материалдарды күнделікті негізде пайдаланған алғашқы болат өндірушілерден алынған қолжазбаларға шолу жасау арқылы және қаптаманың тиімділігі жайлы деректерге сүйене отырып алынған көпжылдық қызу жұмыстың нәтижесі. Том және компания қызметкерлерінің командасы басқаларды оқыту үшін пайдалануға болатын тиісті деректерді, жазбалар жиынтығын жинауға көп жылдарын жұмсады. Нәтижесінде, Том екеуміз осы жазбаларды Arcelor Mittal-да қысқа мерзімді курстарды оқыту үшін пайдаландық. Сондықтан, өз басым бұл жазбалардың мазмұнымен жақсы таныспын. Қысқа мерзімді курстар көптеген пікірталастар тудырды. Ал қатысушылар қойған сұрақтар кітаптың жақсара түсуіне және мазмұнының толығына себеп болды. «Болат өндірісінде қолданылатын отқа төзімді материалдарды таңдау» кітабы жұмсалған күш-жігердің шарықтау шегі болып табылады. Бірнеше сөзбен айтатын болсақ, кітап қаптаманың сипаттамаларын бақылайтын негізгі сипаттамаларды анықтайды, болат өндіру процесінде пайдаланылатын қаптама қалыптарға арналған лайықты материалдардың тізімін береді және әртүрлі отқа төзімді материалдарды мұқият таңдау және қолдану жолымен еңсерілген проблемаларды, мысалдарды және тақырыптық зерттеулерді қамтиды.

Бұл сізге керек болатын кітап емес пе? Егер сіздің мүдделеріңіз болат өндіру процесінде отқа төзімді материалдармен байланысты болса, онда жауап оңай. Мәні бар, ішінде көптеген ақпарат берілген кітапқа қаншалықты жиі қол жеткізуге болады? Осы жинаққа кітап сөремде ерекше орын беремін.

Доктор Джефф Смит



АЛҒЫС СӨЗ

Кітаптың жарыққа шығуына көмектескен адамдарға алғыс сөз

Ванесса Маззетти-Суччи осы кітапты жазуға шабыттандырып қана қоймай, соңғы екі жылда оны аяқтауға көмектесу, азайту және жақсарту үшін аянбай жұмыс істеді.

Магдалена Забинская және Мишель Адамсон материалдарды жинақтауға және пішімдеуге көмектесті. Бірақ редакциялық өзгертулердің көп бөлігі Магдаленаға артылды. Магда өзіне берілген тапсырманың қаншалықты күш қажет ететінін білместен жұмыс істеуге келісім берді. Оның негізгі міндеті – бағдарламалық қамтамасыз етуді, жаңа терминологияны, сурет салу дағдыларын және т. б. зерделеу болатын. Магдалена осы жарияланымда негізгі қозғаушы күш болды. Оның күш-жігері арқасында көптеген жетістіктерге қол жеткіздік. Сол үшін менің оған деген алғысым шексіз. Оған қоса осы кітапта қолданылған көптеген пиктограммаларды жасауға көмектескен Стивен Чангқа (Stephen Chung) да алғысымды білдіремін.

Рецензиялаушыларға

Доктор Карлос Поглиоса Нету (Dr. Carlos Pogliosa Neto) – өнеркәсіп саласында көмек берген достарымның бірі. Сондықтан соңғы қаралым оның қатысуынсыз осыншалықты жақсы болмас еді. Ол ұсыныстарды, форматтар мен мүмкіндіктерді ұсына отырып, әрбір тарауды жеке қарап шықты. Аталмыш еңбекті Магнесит (Magnesita) атты жұмысымен қатар алып жүргені үшін оған айтар алғысым шексіз.

Өнімді жеткізушілерге

Көптеген жылдар бойы менің түсінігімді нығайтқан, сату, маркетинг және әсіресе негізгі отқа төзімді материалдарды жеткізушілердің зерттеу және әзірлеу бөлімдерінен көптеген адамдар болды. Оның ішінде марқұм доктор Бо Брезни, Доминик Колавито, доктор Стив Либби және менің Kawasaki/Shinagawa Refractories Krosaki-Harima Refractories, Magnesita, RHI, Narco және Harbison-Walker-гі достарым. Сондай-ақ, Kerneos, Calderys, Lafarge, Almatix және басқа да маркетинг саласындағы "жоғары технологиялардың мәнін" түсінуге көмектескен қызметкерлерге алғысымды білдіргім келеді!

Сатып алушыларға

Arcelor Mittal тобында тоннаның ең төменгі құнына қол жеткізуге мүмкіндік алдық. Себебі біз командада жұмыс істедік. Менің Лиза Камара, Женнифер Пассалент, Том Узелак, Рик Хишон, Дайан Лаурентино, Шелби Паппас және Стив Резлер секілді көптеген тамаша сатып алушылармен жұмыс істеуге жолым болды.

Операторларға

Мен көптеген жылдар бойы сенбілік түнгі ауысымының ерекшелігін түсінуге көмектескен жедел және технологиялық қызметкерлердің таңғажайып командасымен жұмыс істегеніме қуаныштымын! Олар: Майк Прайс, Том Куль, Пол Расмуссен, Стив Камерон, Рон Баннистер, Стив Уотерфолл, Джо Стейси, Санджай Сагар, Донгшенг Ляо, Джей Джей, Стив Гаймер, Рик Мур, Роб Уэйнман және басқалары.

Тас қалау жұмысшыларына

Мен тас қалау жұмыстарымен айналысатын командада жазғы демалыс студенті есебінде төгу қауғаларын кірпішпен қалаумен және негізгі оттектік конвертерін (НОК) торкреттеумен айналысудан бастадым. Бұл мен үшін баға жетпес тәжірибе болды.

Мені өз кәсібімен айналысатын адамдармен қарым-қатынас орнатуда сыни тұрғыдан қарауға үйреткен мамандарға айрықша алғыс айтқым келеді. Олар: Рон Сецкорн, Джим МакХью, Джерри Фитцпатрик, Клаудио ДиПьетро, Дэйв Мюррей, Сэмми, Литл Джо және басқалары.

Академиктерге

Академиялық әлемде отқа төзімді материалдарға қатысты көптеген пікірталастар туындады. Сондықтан осы кітапқа кіріспе сөз жазған доктор Джефф Смитке (Миссури-Ролла) және көптеген жылдар бойы олардың білімін арттыруға көмектескен Доктор Мишель Ригоға (Политехникалық мектеп) арнайы алғысымды білдіремін.

Arcelor Mittal компаниясының қызметкерлеріне

Мен бұрын Dofasco Inc. болған Arcelor Mittal Inc. Компаниясына осындай ұлы салада жұмыс істеуге мүмкіндік беріп, бүкіл саланың жұмысын жақсартуға бағытталған кітапты жариялауға рұқсат бергені үшін алғыс айтқым келеді. Компанияларда келешек ұрпаққа білімдерімен бөлісуге даяр керемет адамдар жұмыс істейді.

Тараулар мен мұқабадағы фотосуреттерді түсірушіге

Сіз көріп отырған мұқабадағы және әрбір тараудағы кіріспе сөз бен таңғажайып фотосуреттер үшін мен Стив Уотерфолға алғыс айтқым келеді. Стивтің фотосурет түсірудегі өнері – оның металлургия жөніндегі тамаша инженер деген портретіне қосымша сипаттама.

Металлургия зауыттарының отқа төзімді материалдар жөніндегі мамандарына

Ең соңында, отқа төзімді сипаттамаларды жақсартуға ұмтылуда үлес қосқан осы саланың сарапшылары Патрик Тассо (Дюнкерк), Филипп Блюменфельд (Fos) және JFE Steel мамандарына, Nippon, BHP және отқа берік сипаттамаларды жақсартуға атсалысқан, бағалы ой-талқы қалыптастыруға көмектескен басқа да жандарға алғыс білдіргім келеді.

Сөзімізді аяқтау үшін бастапқы сөзге оралайық: Сөйтіп, отқа төзімді материалдардың конструкциясында/оларды таңдауда қолданылатын үш негізгі ереже бар:

1. Сіз ешқашан тамаша шешім таңдай/әзірлей алмайсыз, бірақ сіз оңтайлы шешім таңдай/әзірлей аласыз!
2. Егер сіз оңтайлы шешім тапсаңыз, жұмыс параметрлері өзгереді және сізге процесті қайта бастауыңызға тура келеді!
3. Бұл әрқашан қызықты болады!

Мен осы күрделі, бірегей әрі мамандандырылған саладағы отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі мамандарға барлық жақсылықты тілеймін.

Томас Вёрт

Сипаттама құжатсыз барлық суреттер/схемалар Arcelor Mittal Dofasco Inc. компаниясының рұқсатымен ұсынылғанына назар аударыңыз.

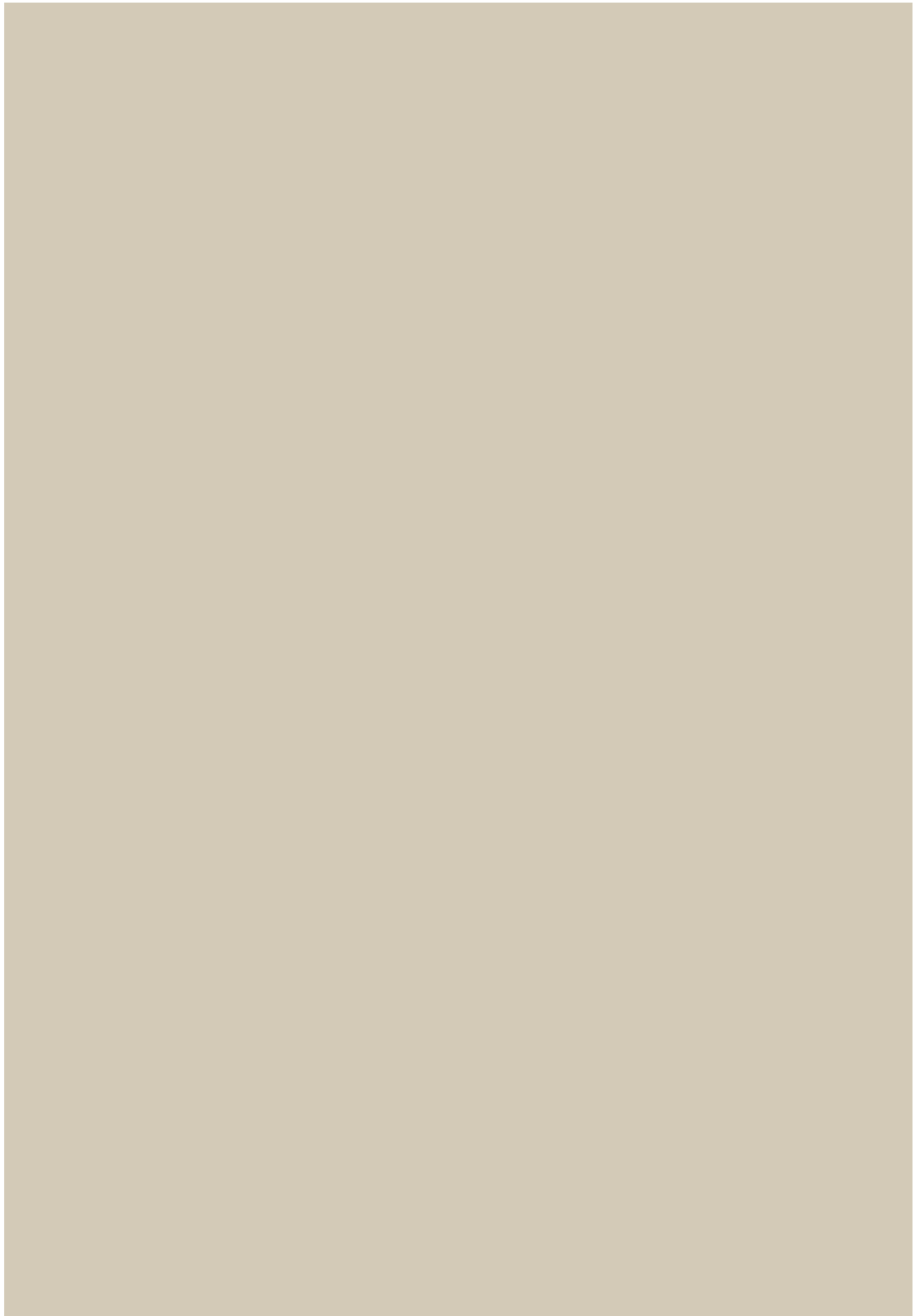
Арнау

«Әрбір табысты ер адамның артында әйел тұрады». Мен бұл кітапты сүйікті жұбайыма және екі ерке қыздарым - Натали мен Меланиға арнаймын. Бағыма орай құдай маған осы тамаша адамдарды берді! Натали және Мелани – менің қуанышым! Мен олардың жетістіктерін мақтан тұтамын және олардың әлі талай жетістіктерге жететініне нық сенімдімін!

Кармела – менің өмірімдегі ең ғажайып адам! Өмірімде оған тең келер жақсы серіктес, жақсы дос және әйел болған емес. Оның бойындағы қуаныш, отбасына деген шексіз махаббаты, шыдамдылығы және мейірімділігі мені күн сайын жетістікке жетуге шабыттандырады. Ол отбасымызға қамқорлық жасау үшін 34 жасында зейнетке шыққанын айтқанды жақсы көреді. Дегенмен, менің ойымша, ол МакМастер университетіндегі әлеуеті жоғары кәсіби мансабын отбасымыздың негізін қалау үшін төменірек бейінге ауыстыруға шешім қабылдады.

Ол өмірде кездесетін жетістіктер мен құлдырауларға, сынақтарға төтеп беруге үйретті. Өзімізді 110%-ға сүйікті екенімізді сезіндіру үшін қолынан келгенше қамқорлық жасады. Қазір қолымдағы бар нәрсеге сол адамның арқасында қол жеткізгенімді білемін.

Бұл кітап отқа төзімді материалдарды зерттеудің 25 жылдық нәтижесі болып табылады. Кармела бәрін өз бақылауында ұстағандықтан, мен ойымды жинақтауға, өз уақытымды тиімді өткізуге, зерттеу жұмыстарын жүргізуге, саяхаттауға және оқуға мүмкіндік алдым. Сол үшін мен оған шексіз ризамын. Ол бұл кітапты жазбаса да мен үшін оның орны бөлек. Маған қолдау көрсеткені үшін оған, екеумізді қосқан Құдайға мың алғыс айтамын!



КІРІСПЕ

Сіз неліктен өзіңіз жасайтын отқа төзімді материалды таңдайсыз? Қалай таңдайсыз? Таңдау үдерісін қайдан бастау керек?

Бұл кітаптың шығуына отқа төзімді материалдар саласына жаңа келген инженердің осы сұрақтары негіз болды. Сондықтан менің алдымда оны қалай үйретуге болады деген сұрақ туындады. Неден бастау керек? Бізде отқа төзімді материалдар туралы жазылған бірнеше кітап болғанмен, іс жүзінде барлық факторлар ескеріле отырып, қадам бойынша үйретуге болатын ештеңе болған жоқ. Бұл мансап жолым басталғаннан бергі есімде қалған кітаптардың бірі. Ол мен отқа берік материалдармен жұмыс жасай бастағанға дейін, 15 жыл бұрын, 1974 жылы болат құю зауыттарына арналған отқа төзімді материалдардың өндірушісі Chesters компаниясы жариялаған кітап еді!

Сондықтан мен жүйелі тәсілді пайдалана отырып, оны алғашқы 2-4 жыл ішінде пысықтап, біздің талқылауларымызды жазып алуды шештім. Бұл сіз оқып отырған осы кітаптың негізі.

Алғашқы үш сұраққа жауап беру - бір сөзбен айтқанда, ҚИЫН. Бұл әрқашан пайдалану, сатып алу және өнім берушілер арасындағы бәсекелес мүдделердің теңгерімі. Отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі инженер/маман әр қолдану үшін қандай материал қолайлы екенін шешу үшін тұйыққа тіреледі.

Бұл кітаптың мақсаты қандай да бір жеке нысан немесе процесс немесе жабыдықтар үшін отқа төзімді материалды таңдау емес, бірақ оның орнына, - мұны жасау үшін процесті әрбір қадам сайын қамтамасыз ету болып табылады.

Бұл кітап отқа төзімді материалдарды өндірушінің көзқарасы тұрғысынан алғанда материалды нақты жобалауға терең үңілмегенімен, оны таңдаудың берік негізін қамтамасыз ету үшін жеткілікті түрде жан-жақты басшылық ететін курс болып табылады. Алғашқы бес тарауда процесс сипатталатын болса, ал келесі бес тарауда болат құю цехының негізгі жұмыс принциптері баяндалады.

Мысалдар болат өндіру үшін ғана берілді, себебі олар металлургия зауыты жұмсаған ~ 80% долларды құрайды (әлемдік отқа төзімді материалдар нарығының ~ 50%). Алайда, бұл процесс кез келген салада кез келген отқа төзімді материалдарды қолдануда пайдаланылуы мүмкін.

Бұл кітаптың негізі – табыстың тексерілген және нақты әдістемесін айқындап берген 25 жылғы сынаулар/кателер, табыстар/сәтсіздіктер, тер төгу және, иә, кейде көздің жасы да. Болат құю зауытының отқа төзімді материалдары табысының өлшемі - қауіпсіздікті немесе қоршаған ортаға нұқсан келтірмей, талаптардың барлық аспектілерінің ең жақсы теңгерімдерінің біріне қол жеткізу және де болат құю кәсіпорындары үшін барынша пайдалану дайындығын және тоннаға шаққандағы шығындардың ең кемін қамтамасыз ету. Әрине, бұл мінсіз емес және үнемі өзгеріп отырады. Сөйтіп, отқа төзімді материалдардың конструкциясында/таңдауда қолданылатын үш негізгі ереже бар:

1. Сіз ешқашан тамаша шешім таңдай/әзірлей алмайсыз, бірақ сіз оңтайлы шешім таңдай/әзірлей аласыз!
2. Егер сіз оңтайлы шешім тапсаңыз, жұмыс параметрлері өзгереді және сізге процесті қайта бастауыңызға тура келеді!
3. Бұл әрқашан қызықты болады!

Мен осы күрделі, бірегей әрі мамандандырылған саладағы отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі мамандарға барлық жақсылықты тілеймін.

Томас Вёрт



1.0 Қауіпсіздік

Кез келген өнеркәсіптік объектідегі қауіпсіздіктің маңызы аса зор және ол болат дайындау кезінде өте қажет. Балқытылған сұйықтықтармен 1600°C-ден жоғары температурада адамдарға тікелей жақындықта жұмыс істеу үлкен сақтықты талап етеді. Отқа төзімді конструкцияда қауіпсіздікке қойылатын талаптар жобалаудың барлық аспектілерінде есепке алынады.

Осы талқылау үшін қауіпсіздік компоненті келесі төрт негізгі салаға бөлінетін болады:

1. Процесті тежеу
2. Қауғадағы булану
3. Керамикалық талшықтар
4. Кремнезем

Процесті тежеу

Ең алдымен, басты мақсат - нөлдік шығарылуларға жету. Бұл балқытылған сұйықтық (сұйық шойын немесе болат) резервуарлардан бақыланбайтын тәсілмен шықпауы қажет дегенді білдіреді. Адамдардың жарақаттануының және (немесе) жабдықтың бұзылуының айтарлықтай қауіп-қатері бар. 1.1 және 1.2-суретте қауға түбінің тесілуі көрсетілген және оның әсері туралы түсінік берілген.



1.1-сурет: Қауға түбінің тесілуі



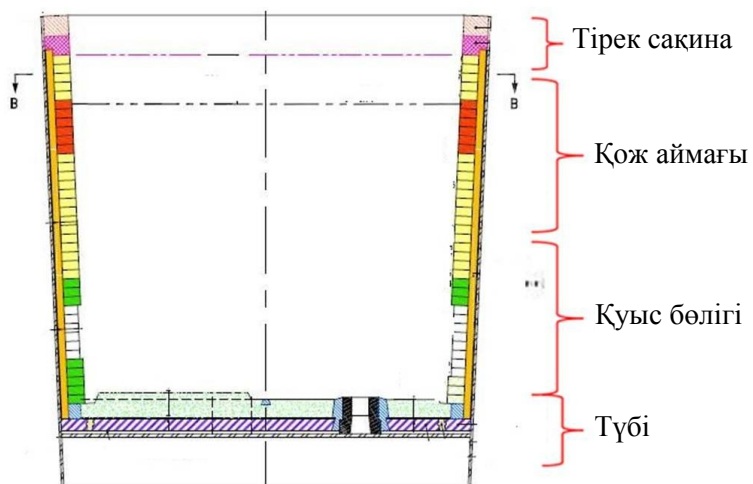
1.2-сурет: Қауға тесілгеннен кейінгі бұзылу

Цехта отқа төзімді материалмен қапталған барлық аймақтардың (атап айтқанда, негізгі оттектік конвертері (НОК), электр доғалы пеш (ЭДП), ыстық металл құйылған қауға, болат құйылған қауға, құйғыш құрылғы және т. б.) оларға тән қауіп-қатерлері бар. Осындай қауіп-қатерге жол бермеу жобалау кезеңіне қосылуы қажет. Қауіп-қатер сұйық болаттың температурасы жоғарлағанға және өңдеу қарқындылығына сәйкес өседі. Менің тәжірибеме сүйенсек, саладағы тесілулердің жиілігі әр ыдыс үшін келесідей болады:

Болат төгу қауғалары

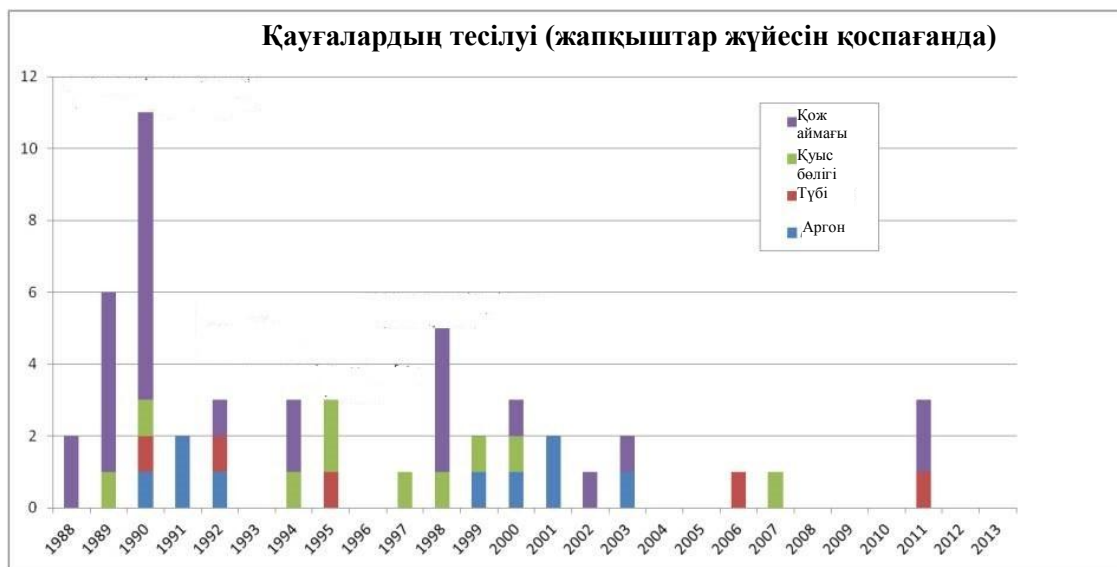
- Ең үлкені сауыттың өзі үшін жылына ~ 2-3 тесілу (қож аймағы, қуыс бөлігі, түбі, Аг тығындар) және жапқыштар үшін жылына ~ 3-6 (көбінесе өзінің түп негізі бойынша болымсыз, алайда апатты болуы да мүмкін).

Болат төгу қауғасы, 1.3-суретте көрсетілгендей, төрт негізгі секциядан тұрады.



1.3-сурет: Болат төгу қауғасының құрылымы

Мысал ретінде қауғаның тесілу жиілігі мен түрі 1.4-суретте көрсетілген.



1.4 – сурет: Болат төгу қауғасы тесілуінің мысалы

Осы мысалдан бірнеше негізгі қорытынды шығаруға болады (толығырақ ақпарат болат төгу қауғасына қатысты тарауда келтірілетін болады).

- Қауғаның қож аймағы (әдетте ванна деңгейінде) - ең үлкен қауіп-қатер аймағы, өйткені болаттың өңделуі мұнда әсіресе қарқынды өтеді (жоғары температура, қождың қатты қызуы).
- Түрлі конструкцияларды пайдалану және болат төгу қауғаларының әртүрлі бағыттарын қолдану әртүрлі нәтижелердің алынуына әкеп соқтырады.

Болат қауғалардың сондай-ақ сырғымалы жапқыштар жүйелерінің айналасында, 1.5-суретте көрсетілгендей (тек мысал ретінде), тесілудің жоғары қауіп-қатері болады.



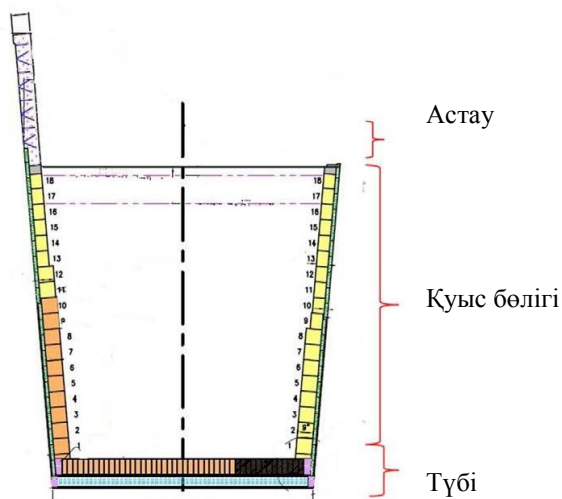
1.5-сурет: Болат төгу қауғасындағы жапқышының тесілу мысалы

Осы кестеден бірнеше негізгі қорытынды шығаруға болады (толығырақ ақпарат болат төгу қауғасына қатысты тарауда келтірілетін болады).

- Болат төгу қауғасының жапқыштарына арналған жапқыштар құрылымы және жүйе арқылы өтетін болаттан жасалған өнімнің сұрыптамасы әртүрлі нәтижелерге алып келеді.
- Отқа төзімді материалдардың өзгеруі ғана емес, сонымен қатар жүйелердегі және (немесе) қызметкерлер құрамындағы өзгерістер осы көрсеткішке әсер етуі мүмкін.

Ыстық металл құйылған қауға (1.6-сурет)

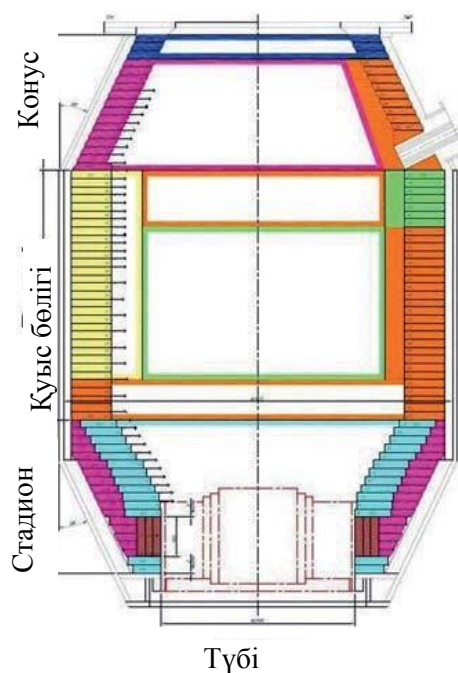
- Бұл сауыттың тесілу қауіп-қатері ең төмен. Ол тек қана көліктік сауыт ретінде пайдаланылады және де оның тесілуі сұйық темірдің кристалдануының төмен температурасына байланысты (1535°C) сирек кездеседі. Ол айтарлықтай жылдам кристалданады, сондықтан «өздігінен нығыздалатын» болып табылады.
- Күкіртсіздендіру үшін ыстық металл құйылған қауға пайдаланған жағдайларда қауіп-қатер араластыру қарқындылығы мен алып тасталынатын күкірт мөлшері өсуіне сәйкес жоғарлайды. Бұл жоғары тозумен сипатталатын қож желісі түрінің аймағын құрады.



1.6-сурет: Болат құюға арналған шөміштің орналасуы

Негізгі оттектік конвертері (НОК) (1.7-сурет)

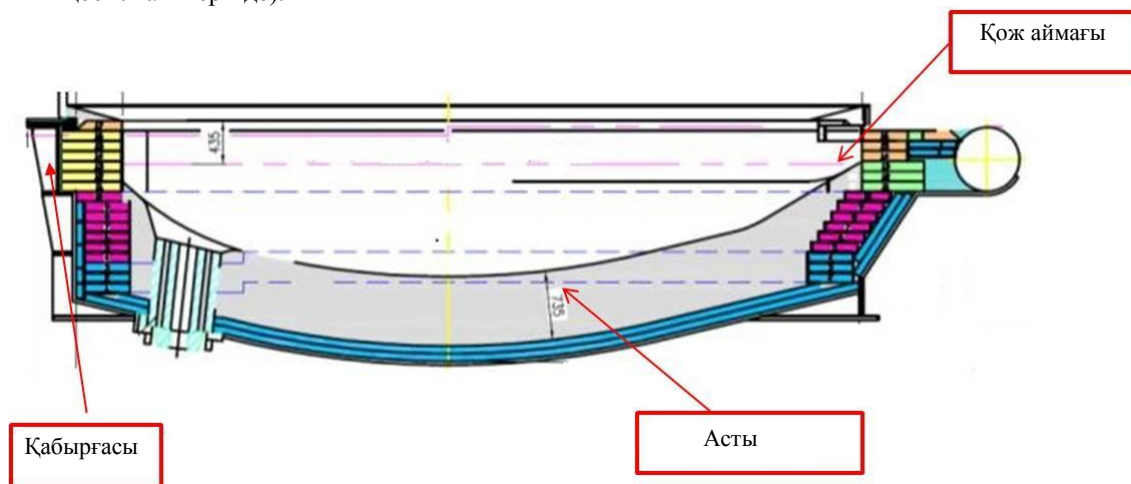
- Орташа қауіп-қатер ~ Жылына бір рет, сауытқа бақылау қаншалықты жақсы жүзеге асырылатынына байланысты (жоғары қауіп-қатер түпті фурмалары және (немесе) алмалы түптері бар сауыттар үшін байқалады).
- Түптік фурмалар жоғары қауіп-қатермен байланысты, әсіресе оттекпен үрленетін түптің құрылымында, фурмалардың үлкен мөлшерлерінен (диаметр $\sim 25\text{ мм}$), ал өңдеу кезіндегі үрлеу қысымын жоғарлату қауіп-қатері құбырдың өзі арқылы тесілуіне әкеп соқтырады да).
- Әсіресе қабырғасы мен түбі арасын түйіскен жеріндегі алмалы түптермен айрықша қиындықтар пайда болады, өйткені жіктің бүтіндігі ерекше болуы қажет. Кері жағдайда сәйкес тесілудің себебінен іркіліс орын алуы мүмкін.
- Қабырғалар арқылы тесілу сирек кездеседі, алайда сауыттың қаптамасы жұқарғанда, тесілуі мүмкін.



1.7-сурет. НОК схемасы

Электр доғалы болат балқыту пеші (ЭДП) (1.8-сурет)

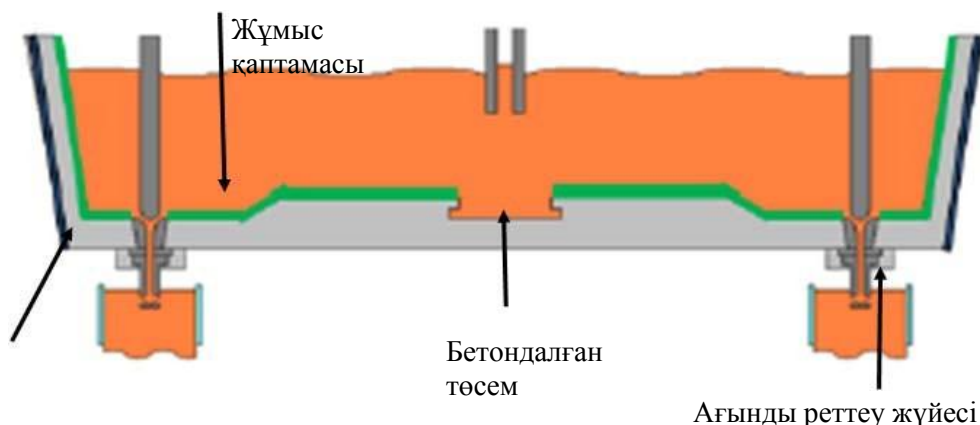
- Орташа қауіп-қатер ~ жылына бір рет - негізгі қауіп-қатер пештің қож аймағында және бүкіл қож аймағында пеш электродтарының жоғары температураларынан «ыстық нүктелердің» пайда болуында.
- Тесілуге тән жерлер жанарғы немесе инжекторлар астында, немесе артқы түйіспелі панельдің қасында орналасады (жылуды бұру үшін пешті еңкейткенде, ванна деңгейі артқы түйіспелі панельде жоғарлайды).
- Белгілі бір қауіп-қатер түбімен байланысты, әсіресе есік фурмасын пайдаланғанда, өйткені оттектің жоғары ағынының бұрышы сауыт түбіндегі тесіктің жылдам тозуына әкеп соқтыруы мүмкін.
- Сонымен қатар тесілулер тірек табан тым үлкен болып кеткенде, бөлініп торкреттелген желі маңында орын алуы мүмкін (кірпіштің жоғарғы қабатының және бүйір қабырғасының су салқындағышымен қосылған жерінде).



1.8-сурет: ЭДП орналасуы

Төгу құрылғысы (1.9-сурет)

- Қауіп-қатер төмен әрі сирек болады, өйткені ол, сақталатын жоғары температураларға қарамастан, шын мәнінде технологиялық емес, қорғаныш сауыт болып табылады.
- Бұған құйғыш құрылғы жапқыштарындағы тесілулер немесе төгу машинасындағы батырмалы құйғыш стаканның (БҚС) жұмысындағы іркілістер жатпайтынына назар аударыңыз.
- Тесілу стақан аймағындағы түбі мен ұялы блок арасындағы құятын теспенің жанында нашар тығыздаудың себебінен болуы мүмкін.
- Сонымен қатар тесілулер қабырға маңындағы шөміш қаптамасының қасында орын алды. Бұл арматура құрылымы құйғыш құрылғының бүйірт жақ қабырғасына болаттың кері «ағуына» әкеп соқтыруы мүмкін. Бұл тозудың жоғары аймағын құрайды және де болат құйғыш құрылғының артқы жағынан ағып шығады.



Қысқаша ақпарат

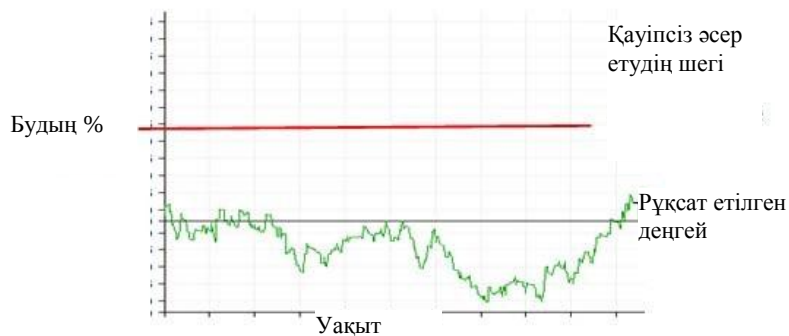
Болат құю өндірісінің ең маңызды мақсаты - тесілуді толық жою. Бұл балқытылған сұйықтық (сұйық шойын немесе болат) сауыттардан бақыланбайтын тәсілмен шықпауы қажет дегенді білдіреді. Барлық қалған мақсаттар оған қатысты қосалқы болып табылады. Жобалау басым болуы тиіс. Ешбір жағдайда одан бас тартуға болмайды.

Қауғадағы булану

Жұмыскерлердің денсаулығы мен қауіпсіздігі үшін екінші негізгі мәселе - құрамында шайыры бар немесе каучукпен байланысты кез келген материалда сауыттарды бастапқы қыздыру және кептіру нәтижесінде булардың пайда болуы.

IARC (Халықаралық обырды зерттеу агенттігі) формальдегидті жоғары концентрацияларда көз бен тамақтың тітіркенуін тудыра алатын «адам үшін ықтимал канцероген» (2A класс) ретінде жіктейді. Онтарио провинциясының (Канада) Еңбек министрлігі (MOL) формальдегид үшін затпен (TWAEV) түйісудің уақыт бойынша орташа өлшемді мәні миллионға бір бөлікті (промилле) құрады. Фенолдардың созылмалы шектен тыс әсер етуі бауыр мен бүйрекке зиянды әсер етуі, көздің тітіркенуін және дерматитті тудыруы мүмкін. Онтарио провинциясының (Канада) Еңбек министрлігі (MOL) фенол үшін затпен (TWAEV) түйісудің уақыт бойынша орташа өлшемді мәні 5 промилле құрады.

Металлургиялық комбинаттардың қызметкерлері ауаның төмен сапасынан бастың ауруына, жүрек айнуына және көз бен тамақтың тітіркенуіне шағымданады.



1.10-сурет: Будың әсер етуінің мысалы.

Бұл симптомдар шайырмен байланысқан кірпіштен түтінмен бірге бөліп шығарылатын компоненттермен байланысты болуы мүмкін. Олар рұқсат етілген деңгейден төмен кезде пайда болады; дегенмен мәселе жұмысшылардың иіс сезу мүшелері түтіндерді рұқсат етілгеннен анағұрлым төмен деңгейде қабылдайды (мысалы, 1.10-сурет)

Бұл күйдірілмейтін, бірақ көміртеппен байланысқан MgO-C кірпіштің, глинозем-магнийлі-көміртекті кірпіштің (АМС немесе МАС) немесе кірпіштің басқа түрлерінің құрамында болатын әдеттегі материал. Басқа сала болып осы материалдарды қамтитын және НОК ыстық жөндеуге арналған кейбір материалдардың құрамында болатын НОК арналған түйіспелер үшін қоспа табылады.

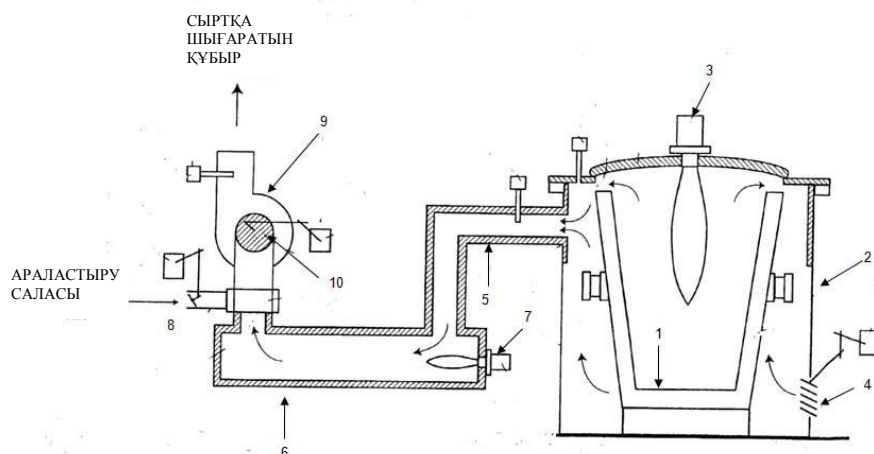
Қалыпты күйінде НОК және ЭДП қиындықтар тудырмайды, өйткені шығарылатын газдардың жүйелері жанғанда/кебуде буларды жояды және жұмыскерлер үшін шектеулі нақты әсер етуден қиындықтар тудырмайды.

Алайда олар болат төгу қауғалары мен ыстық металды құюға арналған шөміштер үшін кедергілер тудыруы мүмкін. Онда сізге материалдар «түтіннің төмен деңгейін» тудыратынына және қолданылатын стандарттарға сәйкес келетініне көз жеткізу қажет.

Ішкі тұрғыдан, негізгі сәт шөмішті жылытқыштарың дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ету болып табылады. Алдын ала қыздыру цехтарында қызметкерлер жұмыс орнына жақын болғандықтан, жағып бітірумен жұмыс істейтін қоқыс жағатын қондырғы бар және де бұл қызметкерлердің денсаулықтары мен қауіпсіздіктерімен туындайтын мәселелерді болдырмауға мүмкіндік беретін жалғыз шешім болып табылады.

Көрсетілген баламалы шешім отқа төзімді материалдармен немесе қалау ресурстармен байланысты шығындарға әсер етуді жоққа шығаруға мүмкіндік береді. Жалғыз тұрақты шығындар болып жүйеге техникалық қызмет көрсетуге және табиғи газдың тұтынуын жоғарлатуға жұмсалатын шығындар табылады. Негізінде, жағып бітіру құрамында жоғары концентрациядағы зиянды компоненттері жоқ газдарды толық жану өнімдеріне дейін «қайталап жағу» жолымен қамтамасыз етіледі. Шөміш, пештің түбін кептіру және кебуді қамтамасыз етудің қолданыстағы бағдарламаларын жүзеге асыру жалғастырылуда. Шөміш тірегінің айналысында барлық түтіндерді жұтуға арналған корпус орнатылады. Қоршаған ауаның бақыланатын ауа тартқыштары жануды қамтамасыз ету және шығарылатын газдардың температурасын реттеуге арналған ауаның берілуі үшін пайдаланылады. Жағу үшін жанарғысы бар шығаруларды бейтараптандырудың жеткілікті уақыты мен температурасын қамтамасыз етуге, оларды толық жану өнімдеріне айналдыруға арналған камера орнатылған. Ауа өткізгіштерді және сорғыш желдеткіштерді тұтылатын газдарды қоқыс жаққыш арқылы бағыттау және, 1.11-суретте көрсетілгендей, «тазартылған» пайдаланылған газдарды ғимаратқа шығару үшін пайдаланады.

Концептуалды дизайны



1. Шайырмен желімделген қаптамасы бар сауыт
2. Сақтандырғыш қабықша
3. Кептіруге/қатыруға арналған жанарғы
4. Бақыланатын ауа тартқыш
5. Пайдаланылған газдың арналары
6. Ұшпа қоқысты жаққыш
7. Қоқыс жаққыштың жанарғысы
8. Сейілту ауасын кіргізу
9. Тазартылған пайдаланылған газдардың сорғыш желдеткіші
10. Сорғыш желдеткіштің ағынын басқару

Келіп түсетін кірпішті басқарудың басқа механизмі болып кірпіштің түтіндігін өлшейтін үшінші тұлғаны пайдалану табылады. Пенсильвания штатының Университеті ұсынған ықтимал арнайы тестілердің бірі келесіден тұрады:

Ыдырату-газды хроматография / масс-спектрометрия (Py-GC / MS) үлгілердің әрқайсысында орындалды. Пайдаланылатын аспап МСД 5971А және 1000 CDS талдамалық ыдырату сынаумен жабдықталған Hewlett Packard 5890 Series II газды хроматограф болып саналады. Үлгілердің әрқайсысы әртүрлі үш температураны жекелеп ыдыратылған болатын: 300, 480 және 700° С және 60° С температурада басталатын, одан кейін 6° С/мин жылдамдықпен біртіндеп 150° С-ге дейін жоғарлайтын, кейін 12-ден 220°С дейін жоғарлайтын, түпкілікті 25-тен 320° С дейін жоғарлайтын температуралық бағдарламасы бар Restek Rtx-5ms (30 мх 0,25 мм) бағананы пайдаланумен хроматографиялық бөлінген. Ұстаулымының қорытынды уақыты 10 минутты құрды. Бұл әдіс сандық болып табылмайды және де әр ыдыратылған үлгінің салмағы бірдей болмаған. Дегенмен, талдаушы әр үлгі үшін баламалы салмақты қолдауға тырысты, сондықтан ыдырау процесінде шығарылған түрлердің мөлшерлерін әр үлгі арасындағы айырмашылықтарды бағалау үшін салыстыруға болады.

Тетраметиламмоний гидроксидін (ТГМТ) термохимозиді бойынша эксперименттер газды хроматографияға көнбейтін полярлық бөлшектердің үлестірілуін зерттеу үшін жүргізілді. ТГМТ қышқылдық функциялық топтарды метилдеуді, жай және күрделі эфирлермен байланысты топтарды ыдыратып, жеңілдетеді. Реакция газды хроматографтың инжекторлық тесігінде өтеді. Үлгімен салыстырғанда, кварцты ыдыратуға арналған қайықшаға шамасымен үш есе көп ТГМТ қосады.

Осы сынауға қатысты байланысушы тұлға:

Байланысушы тұлға: Пенсильванияның мемлекеттік университеті

- Төмен түтінді кірпішке арналған отқа төзімді кірпішті сынау
- Ыдыратылатын үлгілердің сапалы химиялық талдауын - Py-GC/MS талдауларға сұрату жасау

Керамикалық талшықтар

Шыны тәрізді синтетикалық талшықтар деген не?

Шыны тәрізді синтетикалық талшықтар (ШТСТ) тас, қож, саз немесе шыныдан жасалатын биоорганикалық талшықты материалдар тобы болып саналады. ШТСТ табиғи минералды талшықтардан, мысалы, асбесттен, кристалды молекулалық құрылымы жоқтығымен және ағзада уақыттың ұзақ кезеңі ішінде сақталмайтынымен ерекшеленеді. ШТСТ көбінесе асбестті алмастырғыш материал ретінде пайдаланылады. Олар көбінесе жылу және дыбыс оқшаулау, басқа материалдарды бекіту және сүзу үшін пайдаланылады.

ШТСТ-тің екі ауқымды санаты бар: жіптер және мақта. Жіптер үзіліссіз шыны жіптерден тұрады, ал жүн шыны мақтаға, тасты мақтаға және отқа төзімді керамика талшықтарға (ОТКТ) бөлінеді.

Әсер ету жолдары

ШТСТ ағзаға көбінесе демді ішке жұтумен бірге түседі. Кейбір талшықтар мұрын және ауыз қуыстарында және өкпені жауып тұратын шырышты қабықшаларда жиналуы мүмкін. Мұрын қуысында және жоғарғы тыныс алу жолдарында жиналатын талшықтардың көбі шырыштың қабатымен ағзадан жеңіл шығарылады және ағзадан шығарылуы үшін асқазанға жіберіледі. Өкпенің газ алмасуы өтетін ең терең бөліктерінде жиналатын талшықтар ағзадан ұзақ уақыт бойы шығарылады. Сонымен қатар талшықтар терінің сыртқы қабатына өтіп кетуі мүмкін.

Денсаулыққа әсері

Тұтас шыны жіп, шыны мақта, тас мақта, қож мақтасы

Тұтас шыны жіптерді, шыны мақтаны, тас мақтаны немесе қож мақтаны пайдалану, қызмет көрсету немесе жою терінің жіті тітіркенуімен, көздің тітіркенуімен және жоғарғы тыныс алу жолдарының қызмет етулерінің тамақтың ауруы, мұрынның бітелуі, көмейдің ауруы мен жөтел сияқты бұзылуларымен байланысты болады. Адамдар үшін канцерогендіктің дәлелдері жеткіліксіз болғандықтан және ағзадағы төмен беріктігіне қатысты ОЗХА тұтас шыны жіптерді, шыны мақтаны, тас мақтаны және қож мақтаны олардың адам үшін канцерогендігі тұрғысынан жіктей алмайды.

Отқа төзімді керамикалық талшықтар

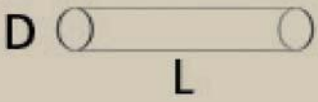
Отқа төзімді керамикалық материалдарды (ОТКТ) пайдалану немесе жою терінің жіті тітіркенуімен, көздің тітіркенуімен және жоғарғы тыныс алу жолдары жұмысының тамақ ауруы, мұрынның бітелуі, көмейдегі ауру және жөтел сияқты бұзылулармен байланысты.

Өкпеге деммен терең тартылатын ОТКТ, олардың ШТСТ аналогтарымен салыстырғанда, ұзақ уақыт ішінде сақталады. ОТКТ канцерогендік қасиеттеріне қатысты алаңдаушылық білдірілді. Обырдың негізгі нысана мүшелері өкпе мен өкпе қабығы болып табылады. Жануарларға өткізілген зерттеулер ОТКТ әсер еткеннен кейін өкпе ісігінің жиі жоғарлағанын және мезотелиомалардың пайда болуын анықтады. Дегенмен, ОТКТ адамдар үшін канцерогендігі туралы деректер жеткіліксіз. Нәтижесінде ОЗХА ОТКТ адам үшін канцерогенді болуы мүмкін деп жіктеді.

Сонымен қатар ОТКТ кейбір материалдары 1800°F (982°C) температурада бос кристалды кремнеземге (кристобалит) айналуы мүмкін деген күдік бар. Кристобалиттің жоғарлаған деңгейлерінің уақыттың ұзақ кезеңі ішіндегі әсері өкпенің қайтымсыз сырқатын тудыруы мүмкін. Бос кристалды кремнезем өкпе обырын тудырады деген болжам бар.

ОТКТ-ның екі түрі бар. Біреуі қалыпты болып табылады, ал екіншісі - биоерігіш.
1.1-кестеде екеуінің салыстырмасы келтірілген.

1.1-кесте: Қалыпты және биоерігіш ОТКТ салыстырмасы.

Қалыпты	Биоерігіш
$Al_2O_3 - SiO_2$	$MgO - Ca - SiO_2$
Ықтимал канцероген	Канцероген емес
Өкпеде 10 жыл бойы қалады	Өкпеде 2 апта бойы қалады
Жақтардың ара салмағы = D / L  - D / L неғұрлым жоғары болса, талшықтың зияны соғұрлым төмен болады - қысқарак, жуандау талшықтың болуы, ұзын жіңішке талшыққа қарағанда, жақсырақ болады	Суда ериді

Биологиялық еритін мақта

Мақтаның жаңа түрлері отқа төзімді керамика талшықтарды алмастыруға әзірленген ШТСТ болып саналады. Жануарларға тыныс алуға өткізілген ұзақ мерзімді жақсы жоспарланған зерттеулер нәтижелері өкпе ісіктерінің немесе қандай болса да мезотелиомалар жиілігінің айтарлықтай жоғарлауын көрсетпеді.

Әсер ету шектері

1.2-кестеде көрсетілген ШТСТ арналған әсер ету шектері Онтарио провинциясының Еңбек министрлігінің биологиялық немесе химиялық заттардың әсер етуін бақылауға қатысты Регламентіне (O. Reg. 833) және Өнеркәсіптік гигиена жөніндегі мемлекеттік мамандардың Американдық конференциясының (ACGIH) құжатына негізделген.

1.2-кесте: ШТСТ арналған әсер етудің шектері

ШТСТ түрі	Әсер етудің 8-сағаттық шегі	
(талшықтар / cm^3)	ОЗХА 2002 жылғы бағалауы	
Шыны мақтадан жасалған талшықтар	1	Адам үшін канцерогенді болып жіктелмейді
Тас мақтадан жасалған талшықтар	1	Адам үшін канцерогенді болып жіктелмейді
Қож мақтадан жасалған талшықтар	1	Адам үшін канцерогенді болып жіктелмейді
Отқа төзімді керамикалық талшықтар	0,2	Адам үшін ықтимал канцерогенді.

Әсер етудің барлық шектері деммен ішке тартуға жарамды талшықтар болып табылады (ұзындығы 5 микроннан астам, жақтардың ара салмағы 3-тен көп немесе оған тең: 1).

Соңғы жылдары, жұмыс берушілер тиімділікті жоғарлату және шығындарды төмендету жолдарын зерттегенде, денсаулық пен қауіпсіздікке ерекше назар аударатын болды. Көптеген компаниялар осы материалдарды пайдаланатын бөлімдер үшін ОТКТ қолдануға қатысты «бақылау стратегиясын» енгізе бастады. ОТКТ тиімді, арзан және жоғары температуралы оқшаулауды қамтамасыз ету үшін кеңінен пайдаланатын ШТСТ компоненті болып табылады. ОТКТ кремнезем мен глинозем қоспасынан тұрады және бастапқыда асбест алмастырғыш ретінде әзірленген болатын. ОЗХА ОТКТ-ны «адам үшін ықтимал канцерогенді» деп жіктейді. Бақылаудың жақсартылған стратегиясындағы қажеттілік 2000 жылы Өнеркәсіптік гигиена жөніндегі мемлекеттік мамандардың Американдық конференциясы, TWAEV төмен деңгейлерге дейін қысқартылады деп көрсетіп, ШТСТ-ты өзінің «Болжалды өзгерістер туралы хабарландыру» тізіміне енгізу нәтижесінде пайда болды.

Бақылау механизмдері

Жұмыс берушілер жұмыскерлерге ОТКТ әсер етуді сандық бағалауға және бақылауға бағытталған бірқатар іс-шараларды орындады. Қызметкерлер үшін білім беру бағдарламалары өткізілді, олардың нәтижесінде қызметкерлер ОТКТ денсаулық үшін күмәнді салдары туралы әдебиет және ақпаратпен таныстырылды. Мамандандырылған өңдеу рәсімдерін және жеке қорғау құралдарын пайдалану осы оқытудың маңызды компоненті болды.

Сынаулардың кейбір нәтижелері қызметкерлерге әсер етуді көрсеткендіктен, болашақ болжалды TWAEV жақындаған жұмыс берушілер әрекет етудің жарамды жоспарларын әзірледі. Жұмыс берушілер ОТКТ-ның әр қосымшасын жеке анықтау және жүйелі бағалау/ұтымды етуі мүмкін. ОТКТ материалын шығаруда, баламалы материалды ауыстыруда немесе тым болмағанда ОТКТ қызметкерлерге, 1.3-кестеде көрсетілгендей, әр қосымша үшін әсер етуді төмендетуде болады.

1.3-кесте: ОТКТ потенциалды алмастырғыштарын бағалау

ОТКТ қосымшасы	Стратегия	Ескі материал	Жаңа материал
Шөміштің төсемі	Болғызбау	1” ОТКТ орама оқшауламасы	нөл
Батырмалы құйғыш стаканды оқшаулау	Ауыстыру	ОТКТ қағазы	Термиялық тозаңдату
Шөміштердің жылытқыштары	Ауыстыру	ОТКТ модульдері	Отқа төзімді қоспа
Термиялық каталикалық детекторды оқшаулау	Әсерін төмендету	1” ОТКТ орама оқшауламасы сазбен қаптау	жоғары температуралы
Құйғыш құрылғыны алдын ала қыздыруға арналған жабындар	Ауыстыру	ОТКТ модульдері	Отқа төзімді қоспа
Батырмалы құйғыш стаканды алдын ала қыздыру	Ауыстыру	1” ОТКТ орама оқшауламасы	Сұйық цементті ерітіндіге арналған арқан
Қаптау түйрегіші/НОК қалпағы	Ауыстыру	1” ОТКТ орама оқшауламасы	Тот баспайтын болаттан жасалған мақта
НОК құйғыш есікшелері	Ауыстыру	1” ОТКТ орама оқшауламасы	MgO қосылған құм
СС-ғы байонет аралық	Әсер теуді төмендету	1” ОТКТ орама оқшауламасы	Алдын ала тілінген аралықтар
Құйғыш құрылғы қақпағын нығыздағыштар	Ауыстыру	1” ОТКТ орама оқшауламасы	Сұйық цементті ерітіндіге арналған арқан
МЖҚ қаптау қақпағы / сорғыш бағаншаның бүркілуін үлестіруге арналған керамикалық шыны ыдыс	Болғызбау	1” ОТКТ орама оқшауламасы	Қақпақ құрылымын өзгерту

Жұмыс берушілер талшықтарды мүкіндігінше төмен пайдалануға апаратын және (немесе) максималды ықтимал жағдайлар мөлшерінде биоерігіш заттарға көшуді қамтамасыз ететін тәсілдемені пайдаланды (мысалы, 1.12 және 1.13-суреттер).



1.12-сурет. ОТКТ шөміш кептіргішінің қақпақтары



1.13-сурет. Құйма шөміштің қақпақтары

Кремнезем

Кремнезем деген не?

Кремнезем немесе кремний диоксиді (SiO_2) - ол табиғи қосылыс (мысалы, жағажайдың құмы). Кремний диоксиді аморфты пішінде, кристалды пішінде немесе силикат түрінде байланысқан болуы мүмкін. Кремнеземнің кристалды пішіні немесе бос кристалды кремнезем (БКК) (мысалы, кварц, кристобалит және тридимит) денсаулыққа әсер ету тұрғысынан ең үлкен алаңдаушылық тудырады.

Денсаулыққа әсері

Кремнезем (БКК) оны өкпеге деммен тартқанда ғана ауру тудыруы мүмкін. Кремнеземнің қауіпі ол ауада болғанда немесе ауаға түсіп кетуі мүмкін болғанда және де өте шағын өлшемді болғанда орын алады. Ауа арқылы тарайтын БКК шамадан тыс мөлшерімен көптеген жылдар бойы байланыста болу силикоз деп белгілі болған өкпенің фиброзды ауруын тудыруы мүмкін. Бұл ауру өкпенің созылғыштығының жойылуына әкеп соқтырады. Бастапқы симптомдары - дене еңбегі кезінде ентікпе және құрғақ жөтелдің пайда болуы. Силикоз - ол адам БКК әсеріне шалдықпағанда тыртықты тіннің пайда болуын тудыратын ауру. ОЗХА кварцті немесе кристобалитті деммен ішке тарту адам үшін канцерогенді болып табылады деген қорытындыға келді. Кристобалит және тридимит ең қауіпті болып табылады, өйткені олар жаңа тыртықты тіннің өсуін тудырады. Олардың әсерінен аулақ болу - силикозды болдырмаудың жалғыз тәсілі, өйткені қазіргі уақытта осы кәсіптік сырқаттың ешқандай емі жоқ.

Қауіпсіз әсер етудің қолайлы шегі

Заңнама талаптары

Уақыт бойынша орташа өлшемді концентрация - ACGIH бекіткен максималды рұқсат етілген концентрация деммен ішке жұтылатын кристалды кремнезем үшін бір жұмыс күні немесе жұмыс аптасында орташа 0,05 миллиграмм м^3 -ке ($\text{мг}/\text{м}^3$) құрайды. Кремнеземнің деңгейлері жоғары болғанда, кремнеземнің әсерін бақылау бағдарламасын жүзеге асыру қажет.

Отқа төзімді материалды әзірлеушілер көмектесе алатын, қауіп-қатерді төмендетудің екі негізгі факторы бар:

1. Құрамында 60% Al_2O_3 немесе одан жоғары бар материал қауіп-қатерді төмендетеді (глинозем неғұрлым көп болса, яғни, бос кремнезем соғұрлым төмен болса, сол жақсы болады).
2. Құрамда бос кремнеземнің төмен мөлшері (бос кремнезем неғұрлым көп болса, қауіп-қатар соғұрлым жоғары). Мысалы, муллит ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$) негізіндегі шикізаттың құрамында бос кремнезем жоқ, және де бұл жақсы. Құйғыш құрылғы аймағында оливин бос кремнеземді байланыстырады, бұл да жақсы.

**** Жұмыскердің денсаулығы үшін қауіп-қатер шаң ауада болғанда ғана пайда болатынына назар аударыңыз.** Бұл әсерді респиратордың көмегімен азайтуға болады.

1.1 Қолжетімділіктің мақсаты

Ең соңында отқа төзімді қаптама технологиялық ыдысқа арналған қорғаныш қабат болып табылады. Кез келген процесті (мысалы, болат құю, мұнай-химиялық, әкпен күйдіру және т.б.) жүзеге асыруға және өнеркәсіптің осы саласы үшін өнім шығаруға мүмкіндік береді. Яғни, қаптамалаудың мақсаты өнімділік тұрғысынан кез келген отқа төзімді материал үшін үш есе болып табылады:

- Процесс үшін айқын болу
- Ыдыстың мақсатты өмір тіршілік цикліне сәйкес келу
- Тозудың мақсатты көрсеткіштеріне сәйкес келу

Процесс үшін айқын болу

- Отқа төзімді материалдар, егер бірдеңесі дұрыс болмаса, олардың болатты өңдеуге әсер етулерінен болат өндірісінің «осал жері» және тіпті «қажетті қастық» деп аталған болатын
- Егер болат өндіру процесі жатық өтсе, ал отқа төзімді конструкция мінсіз жарамды болса, онда отқа төзімді материалмен проблема туындамауы мүмкін (алайда үнемі құн проблемасы сақталатын болады)
- Тар жерлерде процесс үшін анық немесе көрінбейтіні қиынырақ, өйткені бұл кемеліне келу мүмкін емес дегенді білдіреді. Сондықтан, әсерін мүмкіндігінше азайту үшін, қызмет етудің мақсатты мерзімдері белгіленуі мүмкін.

Негізгі мақсаты отқа төзімді материалдардың қызмет ету мерзімін тар жерлерге арналған процестерге техникалық қызмет көрсетудің негізгі циклдарымен қиыстыру болып табылады. Кез келген негізгі технологиялық ағындарда технологиялық жабдыққа қажетті қызмет көрсетудің қалыпты схемалары болады. Олар белгілі болуы және пайдаланылуы тиіс.

- Мысал №1 - НОК ағынында әр 8 апта сайын тоқтатуды және 6 айда бір рет күрделі жұмыстарды талап ететін НОК газбен тазартудың және қысымның астында үздіксіз құю (ҚҰҚ) кезеңдері бар. Осылайша, НОК түбінің қызмет ету мерзімі, болат өндірісінің нәтижелеріне әсерін мүмкіндігінше төмендету үшін, 8 аптаға орнатылады, ал пештің қаптамасын ауыстыру - 6 айда бір рет.
- Мысал №2 - ЭДП ағынының өндірісті негізгі тоқтату ретіндегі НЛД пресс-пішінің қызмет ету мерзімі - мысалы, 1000 қыздыру.

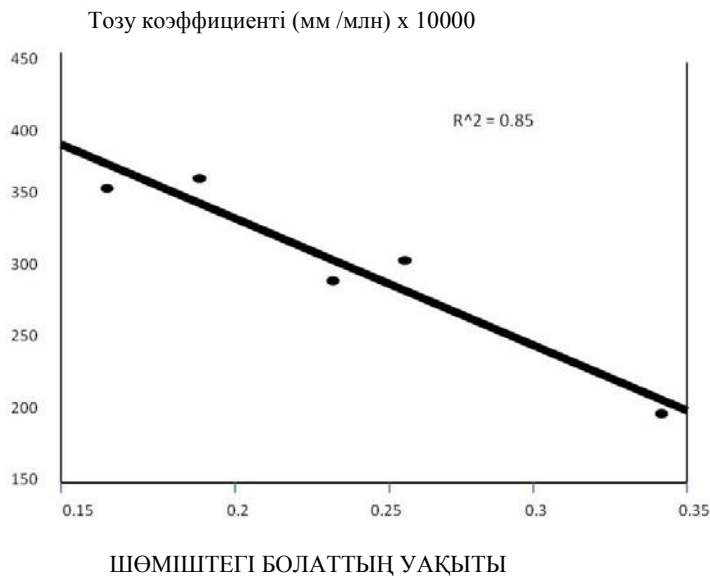
Сондықтан ЭДП пештің түбінің қызмет ету мерзімі 1000 қыздыруға (сәйкестікке келтіру үшін) есептелген. Тар жердің қызмет ету мерзімі ұлғайған сайын, пішінді 1200 қыздыруға дейін жылжытқанда, пештің қызмет ету мерзімі сәйкес болуы қажет; кері жағдайда өндірісті қосымша тоқтату қажет болады, өнімділігі жоғалады.

Тар жерлерді жөндеу жиілігін мүмкіндігінше төмендету

- НОК-қа жұмсалған өндіріс уақыты шекті уақыт және біржола жоғалтылған болып табылады. Өндірістік шығыстар әдетте тар жерлердегі отқа төзімді материалдың өзінің құнынан 5-10 есе асып кетеді.
- Сондықтан тар жері бар жұмыс қаптамасының құрылымы жөндеуді мүмкіндігінше төмендету және өндірістік қуаттарды жоғарлату үшін «белгіленгеннен жоғары» болуы мүмкін. Тар жерлері жоқ жұмыстарда қаптаманың төмендеу сапасына және (немесе) жөндеуді жиі жүргізуге (мысалы, бірнеше НОК бар цех арзан қаптама таңдау және ескісі тозғанда жаңа пешке көшуі мүмкін) рұқсат беріледі.
- Тар жерлері жоқ жұмыстық отқа төзімді қаптама бұрынғыдай сатып алудың ең төмен жиынтық (ИЖҚ) құнына есептелген, дегенмен икемділігі жоғары.

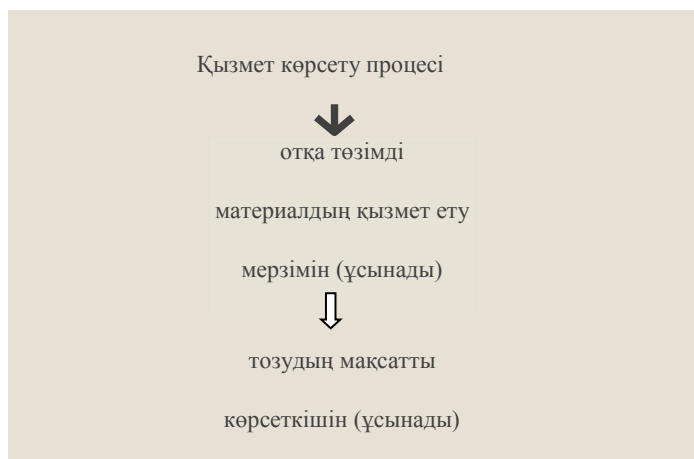
Құрылымның болжамдылығы барлық жағдайларда қолайлы.

- Отқа төзімді материалдың қызмет ету мерзімі қатты өзгергенде (жоғары стандартты ауытқу), тоқтатуларды және т. б. жоспарлау аса қиынға түседі. Бұл үлкен шығындарға әкеп соқтырады.
- НОК-тың жарамдылық мерзімі 400-ден 1000 балқытуға дейін болжаусыз өзгереді. Бұл НОК және домна пешін (ДП) тоқтатуды жоспарлаудағы қиындықтарға және, сондықтан, жұмыс күшін аз бірлескен пайдалануда, келісімшарттардың көп мөлшерінде, уақыттың көп шығындарына және т. б. техникалық қызмет көрсетуге үлкен шығындарға әкеледі. 1300 +/- 100 қыздыру қызмет ету мерзімі қызмет етудің болжалды мерзіміне және техникалық қызмет көрсетуге минималды шығындарға әкеледі.
- Болат төгу қауғасының қызмет ету мерзімі - ерте тоқтатулар пайдаланатын шөміштердің санын азайтуға әкеп соқтырады және бір сәтте болат қорыту процесін шөміштердің жұмыс істеу қарқынына сәйкес баяулатады – бұл жағымсыз кідірістер. Сонымен қатар бұл шөміштердің қосымша санын пайдалануға енгізуге әкелуі мүмкін. Бұл жақсы шешім болып көрінеді, алайда, 1.14-суретте көрсетілгендей, жоғары термоциклдіктің себебінен тозудың жоғары жылдамдықтарына, қатты тотығуға және төмен болжамдылыққа әкеледі. Оңтайлы конструкцияның шешімі жалғыз.



1.14-сурет: Қож аймағындағы тозу теориясы - болаттың үлесіне байланысты тозу жылдамдығы

Қызмет көрсету процесі тозудың мақсатты көрсеткіштерін ұсынатынына назар аударыңыздар:



Тозудың мақсатты коэффициенті = (бастапқы қалыңдық - соңғы мақсатты қалыңдық)/қызмет етудің мақсатты мерзімі

Мысалы - НОК тірек сақинасы бар кірпіш - $(765-300) / 1200 = 0,38$ мм/сағ.

* Тозудың мақсатты жылдамдығы отқа төзімді материалмен емес, процесс иесімен анықталады.*
Сонымен қатар тозудың мақсатты жылдамдығы тәуекелге белгіленген шақтаманы көздейді - қалыңдық тұрғысындағы мақсат ыдыс қаптамасына тесілу және (немесе) жылу жүктемесінің қауіп-қатерін болдырмауға негізделген.

Ақырында отқа төзімді қаптама технологиялық ыдысқа арналған қорғаныс қабат болып табылады. Кез келген процесті (мысалы, болат құю, мұнай-химиялық, әкпен күйдіру және т.б.) жүзеге асыруға және өнеркәсіптің осы саласы үшін өнім шығаруға мүмкіндік береді. Яғни, қаптамалаудың мақсаты өнімділік тұрғысынан кез келген отқа төзімді материал үшін үш есе болып табылады:

- Процесс үшін айқын болу
- Ыдыстың мақсатты тіршілік циклына сәйкес келу
- Тозудың мақсатты көрсеткіштеріне сәйкес келу

1.2 Сатып алудың жиынтық құны (СЖҚ)

Сатып алудың жиынтық құны (СЖҚ) - ол отқа төзімді материалды пайдаланумен байланысты - сатып алудан бастап кәдеге жаратқанға дейін, процестің өзіне әсер етуді қоса алғанда, барлық шығындарды қамтуға тырысатын талдау әдістемесі. Негізгі тұрғыдан алғанда, барлық шығындарды (отқа төзімді материал, технологиялық процесс және т.б.) қоса алғанда, ол отқа төзімді материалдың жалпы құны/тонна болып табылатындығынан басталады және жалпы өндірілген тоннаға бөлінеді. Осы есептеулерді орындаудың тәсілін және олардың нақты тиімділігін көрсету үшін пайдалануға болатын НОК пешіне арналған СЖҚ мысалы.

Негізгі алты сала бар:

1. Негізгі отқа төзімді материалды нақты сатып алу
2. Логистикаға жұмсалатын шығындар
3. Орнату мен құлатуға жұмсалған шығындар
4. Отқа төзімді материалдарға, техникалық қызмет көрсетуге жұмсалған шығындар
5. Отқа төзімді материалдарға жұмсалған энергетикалық шығындар
6. Операциялық әсер ету

Отқа төзімді материалдарды сатып алу

Сатып алу құнының өзі айрықша көңіл бөлуді талап ететін алғашқы және ең айқын құн болып табылады. Кейбір жағдайларда, НОК қаптама бір жолғы сатып алу шегінде 1 млн АҚШ долларынан астам тұрғанда, ол «жапсырмалардан есеңгіреу» болып көрінуі мүмкін. Сондықтан ол сатып алу процесіндегілердің назарын үнемі шығындарды потенциалды төмендету саласы ретінде аударатын болады.

Сатып алудың осы құны келесі теңдеу бойынша бөлінеді:

Отқа төзімді материалдардың жалпы құны (АҚШ долл.) = қажетті материалдың салмағы (кг) x материалдың бағасы (АҚШ долл. /кг)

Қажетті материалдың салмағы ыдыстың құрылымына байланысты болады және де оны өзгертудің жалғыз тәсілі тозуы төмен жерлерде қаптамалауды, 1.15-суретте көрсетілгендей, басқа жерлерді тесу қауіп-қатерінсіз, жұқалап жасау болып табылады.



1.15-сурет: Материалдың әртүрлі қалыңдығынан болған жергілікті тозу

Материалдың бағасы басқа айнымалы шама болып табылады және оған таңдалған материал (мысалы, қоспаланған дән, материалдың тазалығы, жеткізуші және т. б.) әсер етеді. Құрылымның бағасын төмендету мақсаты үшін ғана, бағасы төмен болуы үшін емес, жылу механикалық және химиялық талдауға (ЖМХ) сәйкес болуы үшін (келесі тарауда талқыланатын болады) ең алдымен материалдарды таңдау қажет екендігіне назар аударыңыздар! Бұл отқа төзімді материалдарды сатып алғанда ~~бұл~~ құрастырылған материал емес, тауар деп ойлаған (Әрине, бұл осылай емес екендігін біз білеміз) адамдарға қысым көрсетілетін негізгі сәт болып табылады.

- Өнімділік пен құн арасында үнемі ымыра болуы керек. Мысал ретінде 1.16-суретті қараңыз. Тазалық жоғарлаған сайын кг-ның бағасы геометриялық прогрессияда өседі. Бұл көптеген компоненттер, мысалы, MgO, графит және т. б. үшін дұрыс.



1.16-сурет: Материал тазалығының бағаға әсер етуі

Осы теңдеудің соңғы бөлігі, әрине, келесі теңдеуге сәйкес, отқа төзімді материалдардың тоннасының құны болып табылады:

Құны/тонна

- Отқа төзімді материалдардың құны (АҚШ долл.)/науқан шегінде өндірілген болат тонналары. Өндірілген болат тонналары - жүзеге асырылған балқытулардың саны X балқытудың орташа мөлшері.

Сондықтан тонна үшін құнды төмендетуге арналған тек қана үш нұсқа бар:

1. Отқа төзімді материалдардың құнын азайтыңыз (бұрын көрсетілгендей)
2. Науқанның әрекет ету мерзімін немесе өндірістік бірліктегі балкытулардың санын жоғарлатыңыз (қызмет етудің ұзақ мерзімі) - (бос тоқтап тұрулар аз)
3. Балкытудың орташа мөлшерін жоғарлату (әдетте ыдыстың немесе крандардың құрылымымен шектелген)

Жобалау кезінде барлық үш нұсқа болды және әлі де пайдаланылады:

1. Мысал - тозудың төмен деңгейлі аймақтарында немесе шөміштің қож аймағында (MgO тазалығы төмендеу, графит төмен тазалықты және т. б.) НОК-та материалдарды қайта жобалау, бұл балкытудың әрекет ету мерзімін және балкытудың мөлшерін қолдайды, алайда бастапқы шығындарды төмендетеді.
 2. Мысал - ЭДП түбін 500 балкытудан 1200 балкытуға кірпіштің сондай мөлшері мен шығындары, алайда қызмет етудің ұзақ мерзімі бар конструкцияны өзгерту жолымен қайталап жобалау, бұл шығындардың/тоннаның төмендеуіне әкеп соқтырады.
 3. Мысал - балкытудың орташа мөлшерін үлкейту үшін шөмішті қайта жобалау – неғұрлым жұқа қорғаныш қаптамалар, шөміштің биіктеу қаптамасы – шөміштің қызмет етуінің дәл сондай мерзімі, отқа төзімді материалдарға дәл сондай шығындар - бірақ тонна үшін төменірек баға.
- Барлық нұсқалар қолжетімді, дегенмен олардың кейбіреулері металлургиялық зауыттың өзінің құрылымына байланысты неғұрлым шектеулі болады.

Логистикаға жұмсалатын шығындар

Логистикаға жұмсалатын шығындар тасымалдаумен, сақтаумен және әкімшілендірумен байланысты.

1. Көлік шығыстары - ол өнімді зауытқа Жапония, Еуропа, Қытай немесе Канададан жеткізумен байланысты шығындар. Өндіруші зауыт неғұрлым жақын болса, шығындар соғұрлым төмен болады деген дұрыс, алайда үнемі бұлай бола бермейді. Мысалы, Канадаға жүк тасығыш машиналармен АҚШ-тың оңтүстік бөлігінен әкелінген кірпіш теңіз көлігімен Еуропадан әкелінген кірпіштен қымбат болып шыққан жағдай да болған! Сіз ұсыныс жібергенде, жеткізуші қоймасындағы баға туралы («франко-борт» өндіріс нүктесі) емес, жеткізілім бағасы («франко-борт» болат құю зауыты) туралы сұраған дұрыс болады.
2. Әкімшілік шығыстар - ол құжаттарды рәсімдеумен, әкімшілендіру және т.б. байланысты шығындар. Егер сіз күрделі емес жүйелердің шағын жеткізушісімен - құжаттардың көп санымен және т. б. істес болсаңыз, сіздің тапсырысқа байланысты көп шығындарыңыз пайда болады. Тағы бір жақсы мысал - егер сіз материалды жүктің тоннасы немесе топтамасы үшін АҚШ долл. бағдарламасына орналастырсаңыз, жеткізуші оны өткізуге жауапты болады және сізге ол бойынша есеп айырысудың қажеті жоқ. Бұл логистика тобындағы адамдар санының азаюына және мүмкін болатын үнемдеуге алып келеді.
3. Сақтау шығындары - бұл тауарларды кез келген жерде сақтауға, қоймалауды қаржыландыруға арналған шығыстарға байланысты шығындар. Көптеген жеткізушілер жергілікті қоймада материалды сақтайды және ол үшін төлеуге тиіс, және шығындар бағаға енгізілген. Ең дұрысы, сіз материалды болат құю зауытында сақтай аласыз, бірақ бұл ақша тұрады, әдетте материал орнына келген кезде төлейтін ақша. Сондай-ақ, сақтау үшін тым үлкен орын пайдалану қауіпсіздік мәселелерінің туындауына әкеледі; орындар жеткіліксіз болған жағдайда, бұл өндірістің қанағаттанарлықсыз ұйымдастырылуын тудырады. Өндіруші үшін тамаша жағдай - бұйымды өндіру, оны жіберу және дереу орнату - жүйеде ешқандай қор жоқ. Бұл бағаны төмендетуге мүмкіндік береді, өйткені шығындар жойылады, бірақ қорлар болмаған кезде, өндірістік немесе көліктік проблемалар туындаған кезде тапшылық проблемасы туындауы мүмкін тәуекелді арттырады. Жақсы мысал - Қытайдан АҚШ-қа түсетін НОК үшін кірпіш док жұмысшыларының ереуілі кезінде Сиэтлде «кептелуі» мүмкін, бұл үлкен үрей тудырады, өйткені кірпіш келген сәтке дейін торкреттеумен НОК қызмет ету мерзімін ұзартуға тура келеді.

Орнату мен құлатуға жұмсалған шығындар

Орнатуға және бұзуға арналған шығындар - бұл қалау тобының бастапқы қаптама орнатумен (өз күшімен немесе мердігерді тартумен) байланысты шығындары, сондай-ақ науқанның соңғы өнімін бұзу және кәдеге жарату шығыстары.

1. Орнату шығындары - келесі базалық формуланың көмегімен пештің өзін кірпішпен қалауға байланысты шығындар: Орнату құны = орнатуға арналған адам саны X адам-сағат саны сағатына X доллар. Бұл шығындарды азайту үшін сіз (үш нұсқаға сілтеме жасай отырып) тек адамдардың санын немесе қажетті уақытты қысқарту үшін жұмысты жеңілдетіп, жеделдетуге немесе неғұрлым төмен еңбекақы алатын адамдарды тарта аласыз.

Конструкция тұрғысынан алғанда, пештің оңтайлы тозу құрылымына жету немесе кірпіш қалау уақытын жеделдету үшін кірпіш пен панельдердің түрлі санымен жобалануы мүмкін. Кейбір аймақтар өте егжей-тегжейлі сипатталуы мүмкін, себебі артық жобаланған көп қабатты қаптау кірпіштерді төсеу уақытын айтарлықтай арттыруы мүмкін. Қолданылатын панельдердің саны әдетте пештің орны тар немесе жоқ екеніне байланысты.

Қондырғы құнының тағы бір мысалы - кірпішті қалау уақытын азайту үшін және эргономикалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін (қауіпсіздік, құн және жылдамдық балансы) пайдаланылатын екі бөліктен тұратын жиналмалы түпті білдіретін шөміш түбі.

2. Бұзуға арналған шығыстар - отқа төзімді материалды бөлшектеуге байланысты шығыстар. Базалық құн формуласы мынадай қалыпта сипатталады:

Бұзу құны = бұзу сағаттарының саны X долл./сағ кәдеге жаратылған тонна X долл./сағ.

Осы құнды азайту үшін, сізге оған қажетті уақытты қысқартуға арналған жұмысты жеңілдетуге және жеделдетуге болады. Бұл жалпы әрі ең төменгі құны болғандықтан өте мұқият қарастырылмайды.

Сонымен қатар материалды кәдеге жарату құнына да байланысты. Көптеген отқа төзімді материалдар қайта өңделуі немесе сыртқы тұтынушыларға сатылуы мүмкін (MgO-C кірпіші қайта өңдеуге жататын өнім ретінде сатылды) немесе көмілуі (егер қайта өңделген өнімге сұраныс болмаса, оны көму үшін тоннаның бағасы негізінде төлейді). Дегенмен, бұл маңызды құны болуы мүмкін. Мысал-магнезит-хромит кірпіш, онда хром тотығы болат балқыту кезінде валенттілікті өзгертеді, содан кейін қоршаған ортаға қауіпті болуы мүмкін, өйткені ол әдеттегі қоқыс үйіндісінде сақталса, суға шығарылуы мүмкін. Материал қауіпті қалдықтар ретінде кәдеге жаратылуы керек, бұл өте қымбат. Демек, бұл материал көрсетілген құнды алып тастау, сондай-ақ оң экологиялық әсерді қамтамасыз ету үшін жүйеден тыс жобалануы мүмкін.

Отқа төзімді материалдарға техникалық қызмет көрсетуге жұмсалған шығындар

Пайдалану белгісіз болуы мүмкін және отқа төзімділігі процесс параметрлеріне байланысты болады. Отқа төзімді материалдарға қызмет көрсету/ыстық жөндеу жұмыс қаптамалары үшін қолданылады. Олар күткендегіден үлкен тозу дәрежесін сынайды. Ыстық жөндеу қалаған мақсаттарға жету үшін жұмыс қаптамасына көмектесу үшін қолданылады.

Бұл бөлім торкреттеу және ыстық жөндеу материалдарын қамтиды

1) Материалды орнату құны

А) Жабдық

- - Компанияда торкрет немесе шоткрет қондырмамен өңдеуге арналған жабдықтарды сатып алуға таңдау бар, алайда сіздің компанияңыздың ішінде мамандар болмаған жағдайда, техникалық қызмет көрсету күрделі және қымбат болып табылатындықтан, одан бас тарта аласыз.
- - Сіздерде сондай-ақ жабдықтаушыларға қызмет көрсетуге толық келісімшарты бар машиналарды жалға беру/алу мүмкіндігі бар, онда олар жабдыққа қызмет көрсетеді және қолжетімділігін кепілдейді.

В) Адамдардың торкрет және/немесе қысқа шоткрет қондырманың көмегімен өңдеумен және/немесе ыстық жөндеумен айналысудың үш нұсқасы бар:

1. Ішкі қызметкерлер – Жоғарғы - бұл команданың біліктілік деңгейі, бірақ кемшіліктері - процеске меншік құқығы жоқ қосымша адамдар.

2. Операторлар. Кемшіліктері - машықтану қажеттігі, ал артықшылықтары - бос тұрып қалуды болдырмау болып табылады.

Операторлар пеш иесі бола алады. Шын мәнінде, бұл мотивация өзіне жүктемені азайту үшін тұрақты процесті қолдау болып табылады. Әйтпесе, олар пешке қызмет көрсететін ішкі персоналмен немесе мердігерлермен толтырғанға дейін үзіліс жасай алады. Сондай-ақ, қаражатты үнемдеу бар, себебі операторларға олар әлі де сол жерде тұрғаны үшін төлейді.

3. Мердігер-кейбір зауыттарда өзінің торкреттеуімен айналысатын мердігерлері бар.

Бұл ақыр соңында, кейбір жағдайларда өз жұмыс күшін пайдалана отырып жұмыс істеуге қарағанда, қымбатқа түседі. Сонымен қатар, жұмысты аяқтайтын қалау үшін сол логика қолданылады: егер операторлар пешті өздері жағатын болса, олар сатып алуға кіріседі.

2) Материалдың құны.

Төменде берілген А) бөлігіндегі теңдеуге жүгініңіз:

Сатып алудың осы құны келесі теңдеу бойынша бөлінеді:

Отқа төзімді материалдардың жалпы құны (АҚШ долл.) = қажетті материалдың салмағы (кг) x материалдың бағасы (АҚШ долл. / кг) Материал салмағы

- Пешке күтім жасау мен оны қайта пайдалануға дейінгі уақытты қысқарту арасында теңгерім бар.
- Операторлар ыстық материалдарды қайда жөндеуге апаратынын көзбен қарап анықтап үйренген. Әдетте операторлар пешке қажет екеніне қарамастан, қаптардың санына бірнеше рет торкреттеу жүргізеді.
- - Бүгінгі күні лазер-оператордың ең үлкен құралы. Ол қаптаманың ең жұқа учаскелерін айқындайды және операторлар мақсатты учаскелерде торкреттің көмегімен өңдеуді жүргізеді.

Материал бағасы (АҚШ доллары/кг)

- Материалдың бағасы басқа айнымалы шама болып табылады және оған таңдалған материал (мысалы, қоспаланған дән, материалдың тазалығы, жеткізуші және т.б.) әсер етеді. Конструкцияның бағасын төмендету үшін ғана бағасы төмен болу емес, жылумеханикалық және химиялық талдауға (ЖМХ) сәйкес болуы үшін (2-тарауда талқыланатын болады) ең алдымен материалдарды таңдау қажет екендігіне аударыңыздар!
- Жеткізушілер торкретпен өңдеу үшін материалды өзгертуге, содан кейін өз табысын арттыру үшін материалдарды ауыстырған сайын құнын қосуға тырысуы мүмкін. Тоннаның нақты құнын төмендетуге қосымша шығындарды ақтау үшін бақыланатын сынақтар жүргізу қажет.
- Бағаның көтерілуін ақтаудың жалғыз жолы - ЖМХ талдауына сәйкес жобалау немесе күтілетін қызмет ету мерзімін ұлғайту.

Отқа төзімді материалдарға жұмсалатын энергетикалық шығындар

Қыздыру/Кептіру

- Кез келген жаңа қаптама ылғалды, ластануды және шайырды жою үшін, сондай-ақ қаптамалау процесінің температурасына дейін жеткізу үшін қызуы тиіс.

Энергияның жалпы құны (АҚШ долл.) = Кебу сағаттарының жалпы саны X сағатына энергияны тұтыну X энергия бірлігінің құны

1 мысал: НОК шөміштің кебуі

Энергияның жалпы құны (АҚШ долл.) = 40 сағат кебу X 1000 БТЕ / сағ X 2 долл. АҚШ долл. /БТЕ = 80 000 АҚШ долл. (80 000 АҚШ долл. - бұл шынайы сан емес). Алайда, жалпы бұл азғантай сома.

2 мысал: НОК жануы

3 мысал: «Экологиялық» ЭДП тәжірибесі

Отқа төзімді материалды пайдалану әсері

** Процестің тоқтау жағдайларын және осыған байланысты салдарды көру үшін 1.1 «Қолжетімділік мақсаты» бөлімін қараңыз.

Әдетте пайдалану шығындары отқа төзімді материалдарға нақты шығындарды азайтады. 1.4-кестеде келтірілген мысал үлгісіндегі пайдалану әсерін көруге болады; бірақ ол жан-жақты емес және әрбір оператор бұны өз пеші үшін есептеуі тиіс.

1.4-кесте: Пештің жұмысына жедел әсер ету үлгісі

	Жөндеу			
	жиілігі		Минимумдар барлығы	
	(№ жылына)	Минимумдар/жөндеу	Жылына	
Пешті қайта қаптамалау				
Түбін өзгерту				
Фурма көрсеткіштері / айналдыру моменті				
Лазермен саналған көрсеткіштер				
Теспе-Ендірмелер				
Түйіскіш панелі				
Теспе-Құбырлар				
Теспе- Беткі жақтары				
Теспе-блоктар				
Кіретін тесік				
Тірек сақина/стадион				
Түбіне қызмет көрсету				
Жүктеу платформасына-қызмет көрсету				
			мин.	жылына
			мин.	айына
			мин.	аптасына
			мин.	күніне
			мин.	балқытуға
			долл./минут	Кідіріс құны (қаржылық есеппен расталған)
			Балқытулар	Жылына балқыту
				Отқа төзімді өндірісті кідіртудің жалпы құны

1.3 Энергия және жылу ағынына шолу

Отқа төзімді материалдардың негізгі мақсаттарының бірі НОК немесе қазандықта жылуды сақтау болып табылады. Энергия қымбат тұрады. Егер сіз оны процеске қоссаңыз, оны жоғалтқыңыз келмейді.

Жылу үшін екі негізгі мақсат бар:

- процесс үшін жылуды ұстап тұру
- пеш корпустарын қисаюдан/тесілудан/және т.б. қорғау.

Осы мақсаттарға қол жеткізілуі тиіс және қаптамалау арқылы жылу ағынын түсіну шекті болып табылатындығы отқа төзімді материалдар үшін негізгі.

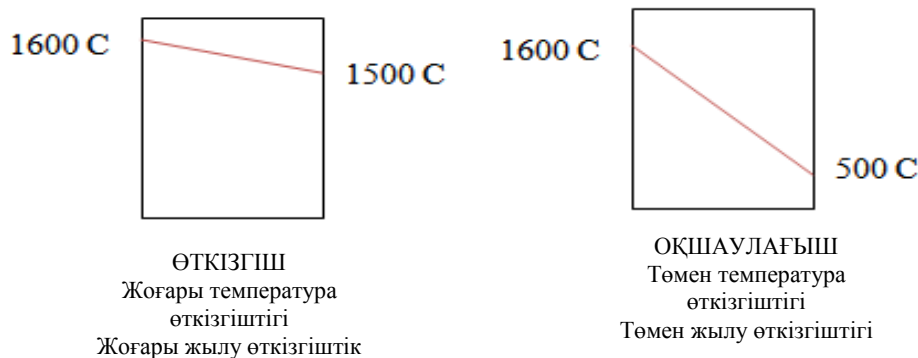
Біз кейбір негізгі анықтамалардан бастауымыз керек:

Жылу өткізгіштік (K)-материал бойынша жылу өткізу қабілеті. Жылу сыйымдылығы (C) - материалдың жылуды сақтау қабілеті.

Температура өткізгіштігі (б) - материал бойынша жылуды тарату қабілеті. Тығыздығы (q) - материалдың тығыздығы.

$$\delta = K / C \cdot \rho$$

Төмен өткізгіштікпен салыстырғанда жоғары өткізгіштігі бар материалдардың мысалы 1.17-суретте көрсетілген. Жүйеден жылу тез ыдырауы мүмкін болса, кірпіштің алдыңғы бөлігінен артқы бөлігіне температураның градиенті соғұрлым төмен болса, соғұрлым тесілуге ықпал ететін кернеу төмен болады.



1.17-сурет: Материалдың жылу ағынының мысалдары

Үй тұрмысындағы жақсы мысал ретінде жақсы алюминий және шойын табалармен салыстырған жөн. Алюминий қызады және жылдам салқындатылады - жоғары температура өткізгіштігі; жоғары жылу сыйымдылығы бар және жылуды ұстап тұратын шойынмен салыстырғанда оның қызуы мен салқындауына көп уақыт кетеді, бірақ ол тұрақты температураны жақсы сақтайды.

Жүйе арқылы жылу қозғалуының үш тәсілі бар екенін айта кету керек, олар:

1. Өткізу

$$Q = a / x K (t_1 - t_2)$$

Q = жылу ағыны

a = беттің ауданы

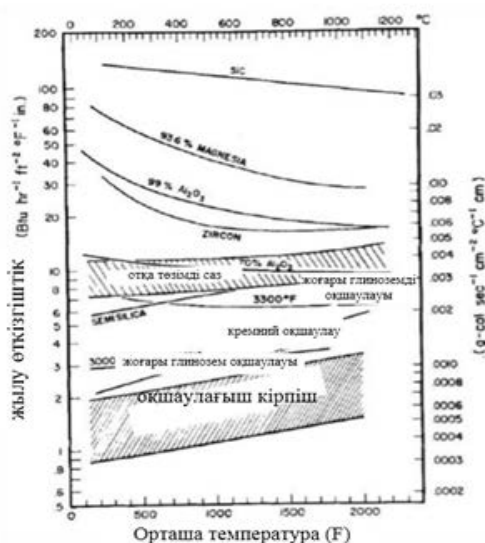
x = өткен қашықтық (қалыңдығы) t = уақыт

K = материал өткізгіштігінің константасы

Демек, ең қарапайым тұрғыдан алғанда, қабырға арқылы жылу ағынының мөлшері (қабырға өлшемі өзгермейтін жағдайда), негізінен материалдың қалыңдығымен және материал арқылы өткізу қабілеттілігімен анықталады. Сондай-ақ, өнімнің өткізгіштігі пайдаланылатын шикізат пен пайыздық кеуектілікке (ол оқшаулағыш болып табылады) екі негізгі элементке байланысты.

Оқшаулағыш материалдардың жылу өткізгіштігі төмен, ал кейбір басқа отқа төзімді материалдар (мысалы, MgO-C) -жоғары жылу өткізгіштікке ие. 1.18-суреттен диаграмманы қараңыз.

Американың керамика қоғамының рұқсатымен қолданылады



1.18-сурет: Әртүрлі отқа төзімді кірпіштердің жылу өткізгіштігі (Рух және Споттс МакДауэл бойынша)

Жылудың жоғалуына қатысты өткізгіштігі тікелей температурамен (T) түзелетінін атап өткен жөн.

2. Конвекция

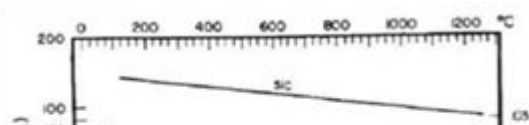
Конвекция – жылу қозғалысының екінші тәсілі және жылуды жылдам бұру үшін сыртқы беті бойынша сұйықтықтың қозғалысын қамтиды.

Конвекция табиғи (ауада болат төгу қауғасы) немесе мәжбүрлі (домна пешінің сыртқы қабығына суды шашырату) болуы мүмкін. Табиғи конвекция үшін әдеттегі теңдеу қолданылады:

$$Q = 0.7(1/T_{\text{ауа}})^{0.18} (T_{\text{сыртқы қабық}} - T_{\text{ауа}})^{1.27}$$

Қабық температурасы мен қоршаған орта температурасы арасындағы айырмашылық неғұрлым көп болса, соғұрлым тез салқындатылады. Мұның мәні бар, өйткені шөміштер жазға қарағанда қыста шамамен 50% тезірек салқындатылады.

Мәжбүрлі конвекцияның салқындату коэффициенті жоғары, өйткені суық ауа/су тез жылу беру үшін корпус арқылы өтуге мәжбүр. Теңдеу мен факторлар әлдеқайда күрделі болады және бұл жерде талқыланды. Конвекция мен температура арасындағы байланыс $T^{1.5}$ жақын екенін қоспағанда, өткізгіштікке қарағанда жақсы, бірақ сәулеленуден төмен.



3. Сәулелену

Сәулелену шын мәнінде жылуды бұрудың ең жылдам әдісі болып табылады және төмендегі теңдеумен анықталады:

$$Q = (5.67 \times 10^{-8}) (\epsilon) (T_{\text{сыртқы қабықша}}^4 - T_{\text{ауа}}^4)$$

ϵ -беттің сәуле шығару қабілеті

Бұл жерде сәулелену мен температура арасындағы қатынас T4 құрайды. Бұл өткізгіштікке немесе конвекцияға қарағанда әлдеқайда жоғары.

Мұны қолданудың жақсы мысалы - болат төгу қауғасы. Энерготасымалдағыштардың бағасы өсіп жатқандықтан, болат өндірушілер үнемі шөмішке қосылған температураны сақтауға тырысады. Көптеген жағдайларда оқшаулау коэффициентін арттыру үшін шөміш қаптамасының қауіпсіздігіне басты назар аударылады; бірақ ол тек температурамен тікелей байланысты болғандықтан, өңдеумен байланысты емес барлық кезеңдерде шөмішті ұстап тұру тиімді болар еді, себебі радиацияның жоғалуы төртінші дәрежеге еселенеді!

Жылулық модельдеу

Мұнда жылу ағынының есептеулері «ескі мектептің» (қолмен) немесе электрондық кесте (1.5-кестедегі мысалды қара) немесе тіпті компьютерлік модельдердің көмегімен орындалуы мүмкін екенін атап өткен жөн.

1.5-кесте: Жылу ағынын компьютерлік талдау үлгісі - үш қабатты отқа төзімді қаптамадағы шөмішті жылулық талдау

	Қож сызығы	Қож сызығы	Қож сызығы	Қож сызығы	Қож сызығы	Қож сызығы
МӨЛІМЕТТЕР	қазіргі уақыт	осы уақыттың 1/2	0 қазіргі уақытта	сынамалы	1/2 сынамалы	0 сынамалы
Болат қаптаманың ішіндегі шөміш радиусы (футтар)	= 2,4583	2,4583	2,4583	2,4583	2,4583	2,4583
Қаптаманың жұмыс қалыңдығы (дюйм)	= 0,1870	0,0940	0,0000	0,1870	0,0940	0,0000
Қауіпсіз қаптама қалыңдығы (дюйм)	= 0,0790	0,0790	0,0790	0,0900	0,0900	0,0900
Турақты қаптама қалыңдығы (дюйм)	= 0,0110	0,0110	0,0110	0,0000	0,0000	0,0000
Болат қаптамасының қалыңдығы (дюйм)	= 0,0381	0,0381	0,0381	0,0381	0,0381	0,0381
Қож сызығының биіктігі (футтар)	= 1,3721	1,3721	1,3721	2,2900	2,2900	2,2900
Қаптаманың жұмыс өткізгіштігі (Вт / мК)	= 9,0000	9,0000	9,0000	9,0000	9,0000	9,0000
Қаптаманың қауіпсіз өткізгіштігі (Вт / мК)	= 2,4000	2,4000	2,4000	1,5000	1,5000	1,5000
Қаптаманың тұрақты өткізгіштігі (Вт / мК)	= 0,2500	0,2500	0,2500	0,0000	0,0000	0,0000
Болат қаптаманың өткізгіштігі (Вт / мК)	= 50,0000	50,0000	50,0000	50,0000	50,0000	50,0000
Болат температурасы (град. С)	= 1630,0	1630,0	1630,0	1630,0	1630,0	1630,0
Сыртқы ауа температурасы (град. С)	= 20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Пленка коэффициенті (ыстық бет беті)	= 50	50	50	50	50	50
Пленка коэффициенті (суық бет беті / қаптамасы)	= 70	70	70	70	70	70
Пленка коэффициенті (сыртқы қаптамасы)	= 30	30	30	30	30	30
ЕСЕПТЕР						
Жалпы кедергі (R)	= 0,00805	0,00747	0,00690	0,00435	0,00401	0,00367
Ыстық бет бетіне кедергі	= 0,001064	0,00102	0,00098	0,000637	0,000611	0,000587
Ішкі қабат кедергісі № 1	= 0,00106	0,00052	0,00000	0,00064	0,00031	0,00000
Ішкі қабаттың кедергісі № 2	= 0,00159	0,00159	0,00159	0,00173	0,00173	0,00173
Ішкі қабат кедергісі № 3	= 0,00208	0,00208	0,00208	0,00000	0,00000	0,00000
Қаптаманың арасындағы кедергі	= 0,000674	0,000674	0,000674	0,000404	0,000404	0,000404
Ішкі қабат кедергісі № 4	= 0,00004	0,00004	0,00004	0,00002	0,00002	0,00002
Сыртқы кедергі	= 0,001549	0,001549	0,001549	0,000928	0,000928	0,000928
Жалпы жылу ағыны (Q)	= 200029	215597	233172	369793	401966	438895
Болат температурасы (град. С)	= 1630	1630	1630	1630	1630	1630
Кірпіштің ыстық бетіндегі температура	= 1417	1410	1402	1394	1384	1372
WL / SL бөлімінің шекарасындағы температура (град. С)	= 1205	1298	1402	1159	1259	1372
SUPL шекарасындағы температура (град. С)	= 888	956	1032	520	564	614
PL / SS бөлімінің шекарасындағы температура (град. С)	= 472	507	547	520	564	614
SS бөлімінің шекарасындағы температура	= 337	362	389	371	402	437
Сыртқы қаптамадағы температура (град. С)	= 330	354	381	363	393	427

Кейбір негізгі ескертулер:

- Бір өлшемді модельдер базалық болып табылады және жылу ағынының нақты нәтижелері үшін тек «интуитивті сезім» бере алады.
- Әдетте проблемаға жақсы көзқарасты қамтамасыз ететін екі өлшемді модельдер жасалады. Шөміштер сияқты цилиндрлік сауыттар үшін бұрын көрсетілгендей цилиндрлік теңдеулерді қолдану керек. Бұл жақсы нәтиже береді.
- Барлық модельдеудің негізгі жорамалдарының бірі конвекцияға арналған пленка коэффициенті болып табылады. Мұндай жорамалдар сыртқы қаптаманың температурасын беретін нақты жылуды сканерлеудің негізінде есептеледі, өйткені олар әрқашан қолжетімді әрі дәл бола бермейді. Басқаша айтқанда, модельді дәл баптау үшін оларды айналымы ретінде пайдаланыңыз.
- Көптеген модельдер үнемі тұрақты күйде нәтиже береді. Бірақ нақты өмірде болатын өндіру кезінде қалыптасқан жағдайға сирек қол жеткізіледі, себебі бұл мерзімді процесс! Қажетті оқшаулауды шамадан тыс жүктемеу үшін әрқашан ескеріңіз.

Қатты қызу жүйелеріне арналған қаптама конструкциялары

Қаптама құрылымы үш негізгі аймақ арасындағы теңгерім (отқа төзімді метариалдардың барлығындағы сияқты) болып табылады: жылу ағынымен (қаптаманы қорғау, жылу шығындары), оқшаулау материалының беріктігімен (қаптаманың тұтастығы) және химиялық тозумен (жоғары коррозия).

1.6-кестеде оқшаулаудың әр түріне үшін артықшылықтар мен кемшіліктер келтірілген, бірақ олардың көпшілігі аралас пайдаланылады.

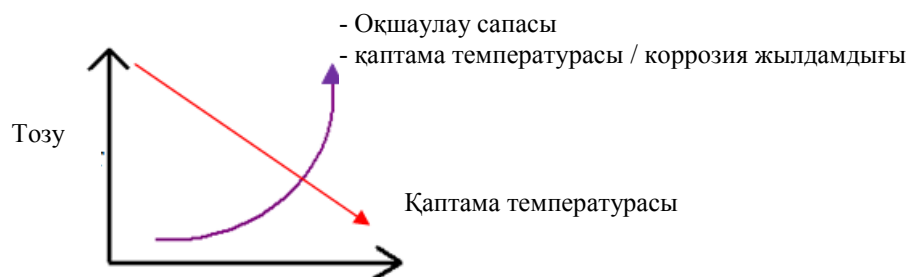
1.6-кесте: Әр түрлі оқшаулау түрлеріне арналған артықшылықтар мен кемшіліктер

Материал	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Кірпіш	• Жоғары төзімді тұрақты қаптама; • Орнатудың өзгергіштігі жойылғандықтан қасиеттері жақсы анықталған • Егер ол осылайша әзірленген болса, процесті іске қосу үшін отқа төзімді мүмкіндіктері	• Сауыттың сыйымдылығын алуы мүмкін панелдерден немесе қорғаныш панелінен гөрі қалың; • Кірпіш түйіспелер сұйық сауыттарға металдың ену көзі болуы мүмкін; • Орнату үшін білікті мамандар қажет.
Монолитті	• Жоғары төзімді тұрақты төсемдер; • қасиеттер орнатудың өзгергіштігіне байланысты төгілуі мүмкін; • Дұрыс орнатылған жағдайда, металл ену үшін түйіспелері жоқ	• Сауыт сыйымдылығын қамти алатын тақталар мен қорғаныш панельдерден қалың; • Орнату үшін білікті мамандар қажет.
Плита	• Орташа беріктігі орамды оқшаулауға қарағанда жақсырақ. • Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін жұқа болуы мүмкін • Қарапайым монтаждау.	• Беріктігі процестің температурасына байланысты жеткіліксіз жоғары болуы мүмкін. Бұл материалдың тозуына және оқшаулаудың және қаптама тірегінің жоғалуына әкеп соғады. • Аздаған отқа төзімді көрсеткіш, металлға енуі мүмкін.
Орама оқшаулауы	• Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін жұқа болуы мүмкін • Қарапайым монтаждау.	• Азғантай беріктігі материалдың тозуына және оқшаулаудың жоғалуына және қаптама тіреуіне әкеп соқтыруы мүмкін. • Аздаған отқа төзімді көрсеткіш, металлға енуі мүмкін.
Шағын-тақта	• Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін өте жұқа жасауға болады. • Қарапайым монтаждау.	• материалдың тозуына және оқшаулаудың жоғалуына немесе қаптама тіреуіне әкелуі мүмкін азғантай беріктік. • Аздаған отқа төзімді көрсеткіш, металлға енуі мүмкін.

Талқылау қажет ететін соңғы мәселе - қаптаманың температурасы мен химиялық коррозия арасындағы баланс

- - Оқшаулау санының ұлғаю шамасына қарай сіз қаптама температурасын жоғарылатасыз, демек, тозу экспоненциалды өсуде.
- - Алайда оқшаулау санының ұлғаю шамасына байланысты қаптаманың температурасы төмендейді.

Сондықтан, бұрын айтылғандай, отқа төзімді материалдарды жобалау 1.19-суретте көрсетілгендей әрқашан баланс болып табылады.



1.9-сурет: Қаптамадағы жылытқыш баланс

1.4 Болат өндіруде сапа-инертті

Соңғы пайдаланушының талаптары

Соңғы тұтынушылар тарапынан сұраныс (автомобиль жасау, орау және т.б.) аса жұқа әрі жеңіл жоғары төзімді болаттарға қатысты сақталатын болады. Бұл «неғұрлым таза болатты» өндіру қажеттігіне әкеледі; және де өз кезегінде болатқа қосылудың мөлшері мен санын азайту қажеттілігін талап етеді. Отқа төзімді материал тұрғысынан, отқа төзімді материалдар, кем дегенде, болатқа қатысты инертті болуы тиіс. Болашақта қаптаманың болатты ластанудан тазарту қабілеті міндетті болады. Негізгі талаптар:

1. Қажетсіз химиялық элементтерді жинаудың болмауы (мысалы, ELC <30 промилле өнімдері үшін C).
2. Отқа төзімді материалдың болатқа қайта тотығуы жоқ (мысалы, кремний диоксиді).
3. Қышқылдану өнімдерін (мысалы, глинозем) қосу мөлшерін азайту.
4. Соңғы болат өнімінде қатты болуы мүмкін сұйық оксидтер түзілмейді.
5. Тотығу өнімдерін белсенді тазарту (глиноземді қосылыстарды жұтуға қабілетті әк негізіндегі отқа төзімді).
6. Ауаны басып алуды және/немесе азотты сіңіруді болдырмайтын отқа төзімді жүйелер.
7. Соңғы өнімге (D&I банктер, шарлы мойынтіректер) қосу мөлшерін азайту, ол болашақта 20 микроннан кемін (мүмкін 10 микрон) құрауы тиіс. Бұл технологиялық минимумға қол салады. - 1.20 сурет. Салмағын азайту мысалы және, демек, қалыңдығы D көрсетілген; өткен 30 жыл ішіндегі қаңылтыр банкiлер.



Ернемектің шекті қалыңдығы 200 мкм-дан 80 мкм-ге дейін азайды.

Ақаулар >20 мкм енді өндірісте көздің жасын шығаратын болады

1.20-сурет: Өткен 30 жылдың ішінде салмағы мен қалыңдығының кемуі

** От - болат балқытатын отқа төзімді материалдардың келешектегі рөлі (Future Role of Steelmaking Refractories)

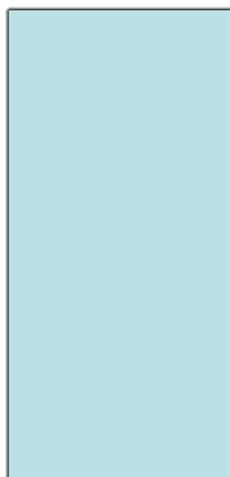
Алдыңғы ескертулерден отқа төзімді материалдардың өзімен химиялық/физикалық өзара іс-әрекеті қажетсіз элементтерді (мысалы, ULC үшін көміртек немесе қосуға әкеп соқтыратын қаптама оксидтері) қандай да бір тұтып қалуға әкелмеуі тиіс.

Отқа төзімді материалдарды өндірушілер болат құю компанияларына өздерінің клиенттерінің қатаң талаптарына сәйкес келетін өнім шығаруына белсенді көмек көрсетулері тиіс.

Көміртектендіру

1.21-суретте көрсетілгендей, бір-біріне қарама-қарсы әдебиетте осы тақырып бойынша көптеген даулар бар.

**Болат төгу қауғасына арналған кірпіш -
көміртектендіру**



№ 1 теория

Магнезиалды-көміртекті кірпіштің байланыстырушы 15%С +3% шайыры бар. Кірпіштен ULC бұйымында болатпен сінеді, өйткені ол соншалықты төмен, ол бірден өзіне қолжетімді кез келген С қамтиды.

№ 2 теория

Шөміштің беті ауаның әсеріне ұшырайды ~ 75% шөміш жұмысының уақыты. Осы уақыт ішінде жер бетінде 5 миллиметрлік қышқыл қабат пайда болады (шамамен). Болаттың өзіне қатысты бетінде қол жетімді С жоқ, онда көміртектің пайыздық сіңірілуі жүреді.

1.21-сурет: Көміртектің MgO-C кірпіш шөмішінен болатқа сіңіру теориясы

1. 1.21-суретте өңдеу кезінде болаттан жасалған С сіңірудің екі ағымдағы теориясын көрсетілген.
2. Көміртекті сіңіруді алу үшін қажет:
 - сұйық болатпен қатынасу барысында бетінде пайда болған қолжетімді, еркін көміртек
 - сіңіруге ықпал ететін болаттағы С деңгейінің өте төмен ықпалы С (қозғаушы күш)
 - қалпына келтіру атмосферасы, сондықтан С бірінші кезекте тотықпайды
3. Шындығында болаттың әрбір комбинациясы зауыты/брендті әр түрлі болады және сіз өзіңіз нақты үлгілерді тексеруіңіз керек.

Отқа төзімді материалдарды ығыстырудан қоспаларды қалыптастыру

- Отқа төзімді материалдардың бөліктері қаптамадан ығысуы мүмкін - әдетте кішкентай немесе үлкен кесектердің сынуына байланысты.
- Дегенмен, бұл бөлшектер Стокс Заңы бойынша төгу стақанынан шыққан болса да, болатқа өте сирек түседі. Стокс Заңы бойынша көтерілетін сфералық қосылу жылдамдығы:

$$v=2gr^2 \frac{(p_s-p_i)}{9\eta}$$

тең.

Мұндағы:

r-сфераның радиусы,

p s-болаттың тығыздығы,

pі-қосу тығыздығы, η-болаттың тұтқырлық коэффициенті.

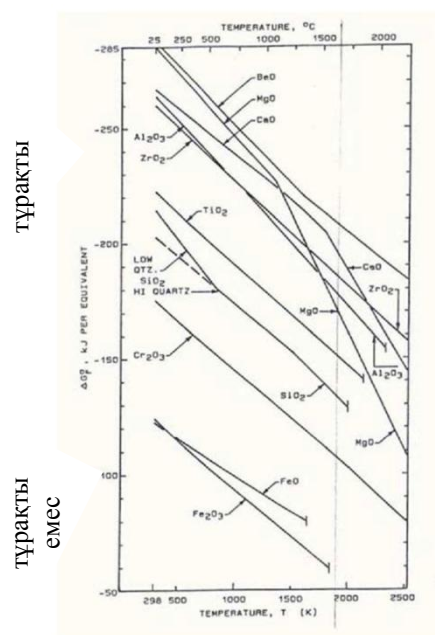
- Көптеген отқа төзімді материалдардың тығыздығы $2,5 \text{ г/см}^3$, ал болат - $7,0 \text{ г/см}^3$ құрайды, жүзу жылдамдығы өте жоғары.
- Осыдан кейінгі фактор-квадраттағы құбылыс болып табылатын сфераның радиусы, өйткені тесілген кесектер көп бола бастайды және олар жылдам қалқып шығады. 1.7-кестеде ақаудың өлшемін/түрін және оның соңғы өнімдеріне әсерін салыстыру бойынша жұмысы көрсетілген.
- Әдебиеттен болаттың қосылуын 500 микрон (немесе 0,5 мм) астам мөлшерде сирек табуға болатыны белгілі; сондықтан 25 мм немесе одан да көп отқа төзімді материалдың тесілген кесектері секунд диапазонында жүзу уақыты болады және сирек көрінетін болады.

1.7-кесте: Ақау мөлшері/қосу түрі және соңғы бұйымға әсері арасындағы арасалмақ

Болат тазалығына шолу			
Қосылу түрі	Қосылу мөлшері (мкм)	Бір балқытудағы қосылулар саны	Бұйымның әлеуетті әсері
Шөміш топырағы	>100	сирек	Барлық бұйымдар
Құятын / су басқан кіру шүмегіндегі қоқыстану	50-100	>100	Бұйымдардың көбі
Пішінді ұнтақ	50-100	>100	Бұйымдардың көбі
Құйғыш құралының шлагі	20-50	>100	Негізінен мойынтіректі маркаларға немесе тартылған және темір банкаларға арналған
Пішіндегі қайта тотығу	20-50	>100	
Шөміштегі қышқылсыздану	<10	>1000	

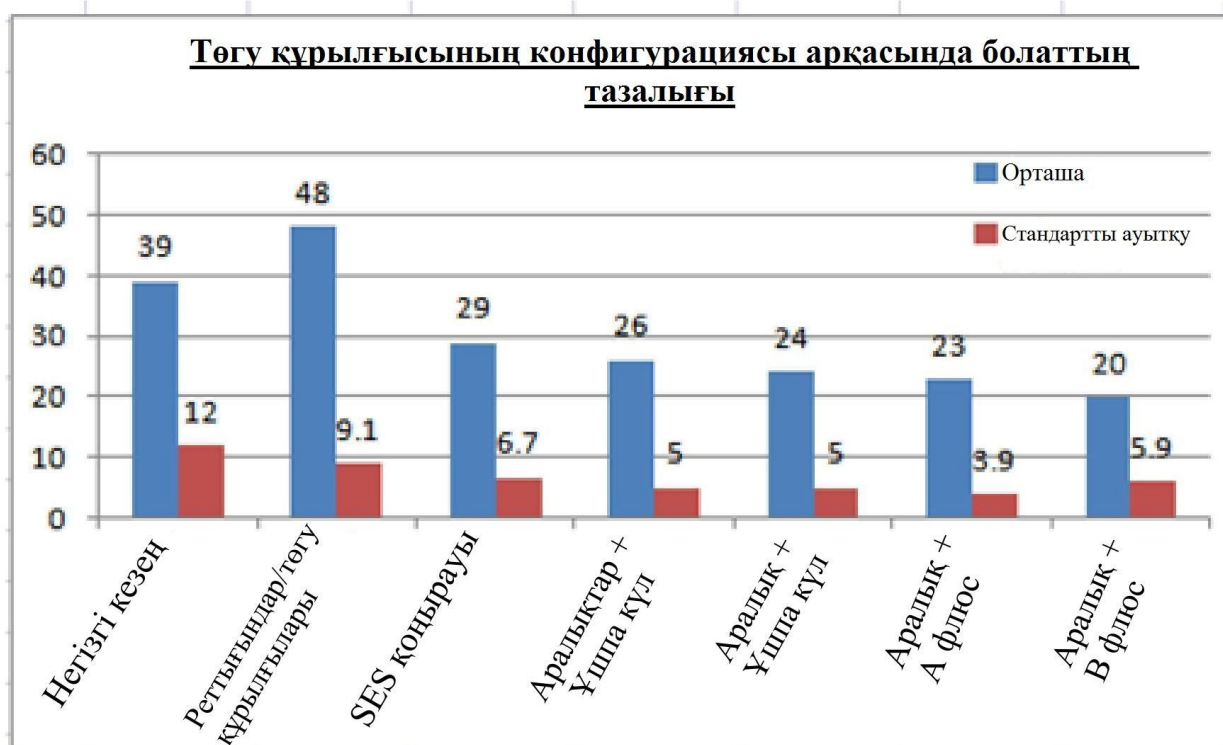
Отқа төзімді материалдармен реакциядан қосылуларды қалыптастыру

- Қосулар отқа төзімді материал мен болаттың өзінің өзара іс-қимылы кезінде пайда болуы мүмкін.
- Бірінші түрі -табиғи түрде жүреді.
- Бұл негізінен Гиббстің бос энергиясына байланысты (1.22 сурет); мәселе отқа төзімді материал пайдалану кезінде бұзылмайтындай етіп жобалануы тиіс, яғни оксиді бұзылмайтындай етіп, жүйеге алюминиймен болатқа қосылатын еркін оттегі бөліп, соңғы өнімге залал келтіретін алюминий тотығын қалыптастыра отырып, бүлінбейтіндей етіп жобалануы тиіс.



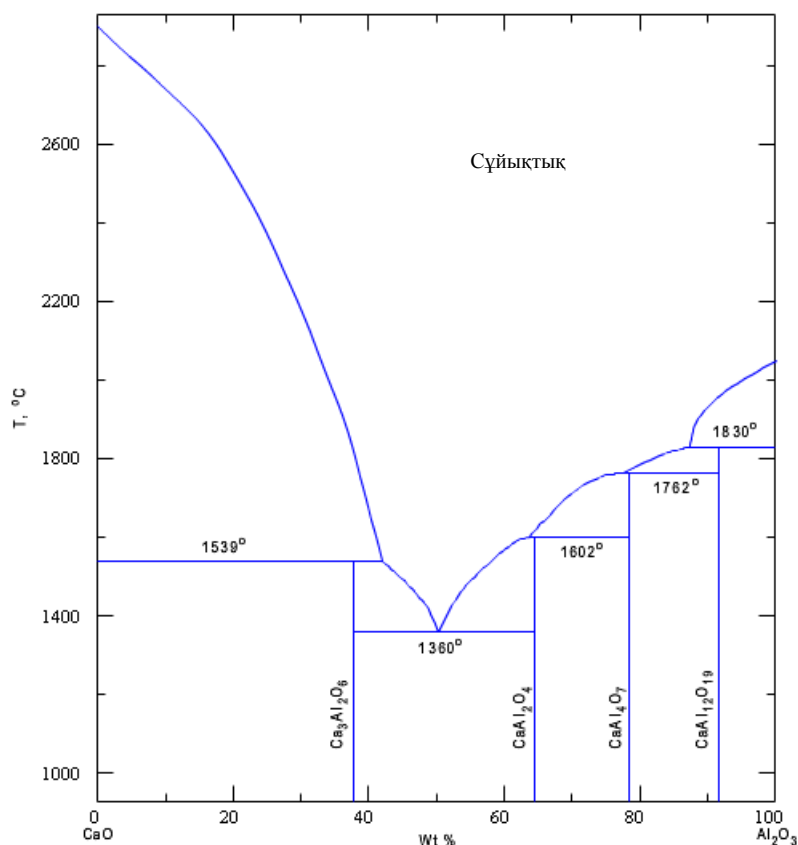
1.22-сурет: Эквивалентке қайта есептегенде T салыстырғанда қарапайым оксидтер түзілуінің бос энергиясы (сілтеме 23)

- Диаграммдан болат балқытудың температурасы кезінде (1600-1700°C) Гиббстің еркін энергиясымен тұрақсыз оксидтері 0-ден 150 кДж / экв-ға дейін кремний диоксиді, хром оксиді және темір оксиді болып табылатыны көрінеді.
- Болат балқытудың алғашқы жылдары және 1980 жылдардың соңында жоғары еркін кремнезем (50-70% кремнеземінде балшық шөміш) бар шөміштерде болаттың тазалығы төмен болар еді.
- Осы жұмысқа негізделе отырып, болат өндірушілер әрқашан барлық бөшкелік отқа төзімді материалдарда 70% Al_2O_3 астам болуы және еркін кремнезем мөлшері аз болуы үшін тырысты.
- Өте таза болат өндіретін цехтар үшін олар осы құбылысқа байланысты қаптаманың негізгі материалдарын (MgO және CaO негізінде) ғана көрсететін болады.
- Салада АМС/МАС кірпішіне көшу бізді бейреактивтік отқа төзімді материалдар бағытына қарай қозғалтуда.
- Бұл болатқа қатысты төгу құрылғысының спрейннің қаптамасы үшін де маңызды. Қазіргі уақытта көптеген қаптамалардың құрамында 30% кремний диоксиді бар, алайда қаптамалар оливинге негізделген, сондықтан кремний диоксиді бос емес және болатты балқыту температурасында бөлінбейді.
- Ваннадан глинозем сіңіріп, шын мәнінде болат тазалайтын негізгі флюстермен түрлі түрдегі ұнтақтармен жұмыс жүргізілді. П. Расмуссен орындаған жұмыс (1.23-сурет) болаттағы еркін оттегі негізгі ағындарды пайдалану кезінде 23-тен 23 промиллге дейін төмендеуі мүмкін екендігін көрсетеді.



1.23-сурет: Болаттың тазалығы

- Өзара іс-қимылдың екінші түрі - бұл мақсаттар мен болатпен өзара іс-қимыл жасауға арналған материалдар (мысалы, «тайғақ» батырмалы құйғыш стақан).
- Қосулар отқа төзімді және болаттың өзара әрекеттесуімен қалыптастырылуы мүмкін және кейбір жағдайларда бұған ықпал етеді.
- Мысалы, алдыңғы жағдайдағы құю ұнтағы сияқты.
- Тағы бір мысал - «тайғақ батырмалы стақан» немесе «тайғақ шүмектер». Бұл жағдайларда отқа төзімді материал қоспада 1.24-суретте көрсетілген фазалық диаграммаға сәйкес болаттағы глинозем мен еркін әк арасындағы реакцияға ықпал ететін еркін әк (CaO) болатындай етіп бапталған.



1.24-сурет: $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ жүйесінің қос фазалық диаграммасы

12715-сурет- $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ жүйесі. (А) - (В) есептік фазалық диаграммалар.

Н.Н. Мао, М. Селлеби и Б. Сандман С. , АЛЬФАД: Комп. Термохим. тіркесу фазаларының диаграммалары, 28 [3] 307-312 (2004).

Американның керамика қоғамының рұқсатымен қолданылады

Бұл реакция ластануға жақсы болғанымен, ол соңғы өнім үшін жақсы болуы мүмкін емес. Осы кальций алюминаты қайда барады? Стокс заңы бойынша, құю жылдамдығы тым жоғары болмаса, ол бетіне ұнтақ пішінде қалқып шығуы мүмкін және бұл оң нәтиже болып есептеледі. Егер ол қалқып шығуға үлгермесе, клиенттің соңғы өніміне байланысты болатта ақау болуы мүмкін. Қазір бұл бөлік болат құю цехтары үшін «қосу» деп аталады!

Демек, сіз болатты тазарту үшін отқа төзімді материалды пайдалана аласыз, бірақ бұл жіті бақылануы тиіс!

Отқа төзімді материалдармен ауаның кірісінен қоспаларды қалыптастыру

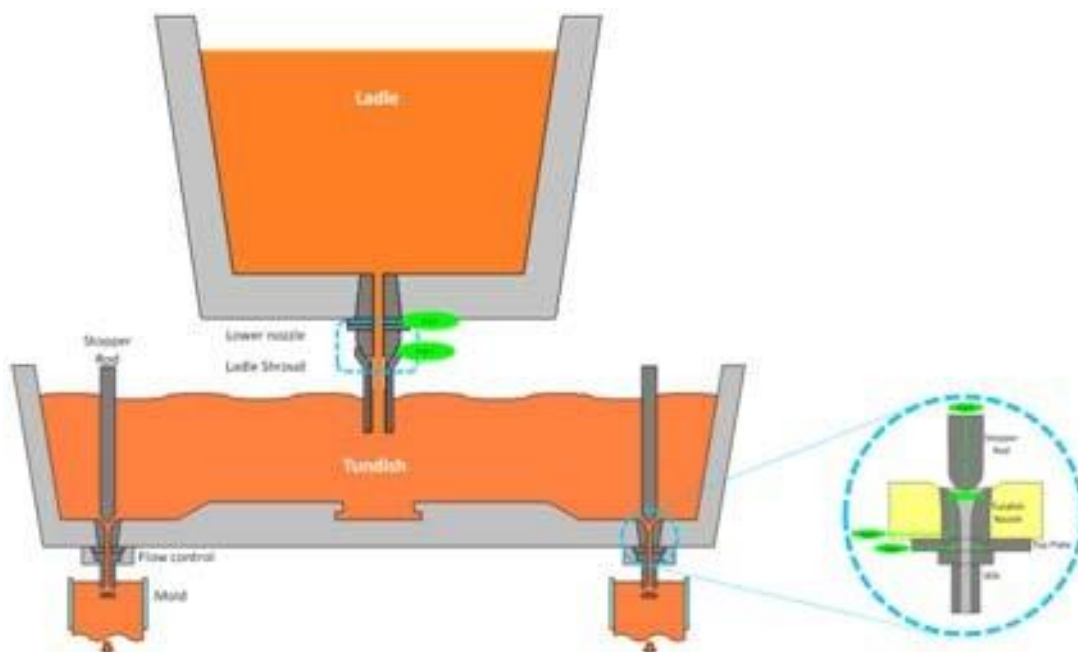
Өрт сөндіргіштерге қатысы жоқ, бірақ жүйемен байланысты бақылаудың басқа негізгі саласы ауаның кіруі болып табылады.

Болат тазарып, барлығы қалқып шыққан кезде, сізге қажет соңғы нәрсе - бұл болаттың ауаның әсеріне ұшырап, оттегі (алюминий тотығына айналатын) мен азотты жинауы. Бұл шөмішті жапқыш жүйесі мен төгу құрылғысының ағынын басқару жүйесінің негізгі функциясы.

Негізгі бағыттар 1.8-кестеде көрсетілген.

1.8-кесте: Шөміштің жапқышы үшін және ағынды бақылау жүйесі үшін қосуды бақылау

Аумақ	Мәселе	Басқару механизмі
Шөміштер жапқышының жүйесі	Шөміш жапқыштарының тілімдері арасындағы ауаның келіп түсуі	- Кез келген үзілуді шектеу үшін беткі жағына түсетін жоғары қысым - Тілімдердегі болат қабырғаларды бақылау және қабырғаларды ауа жүйесін ашатын сыналар құрмайтындай етіп алып тастау - Аргонды ауа ішке түспеуі үшін оны жабу үшін жапқышқа енгізеді
	Тілімдер мен жоғарғы шүмектер арасындағы ауаның түсуі	- Герметикалық нығыздауды қамтамасыз ететін және осы қосулар арқылы болаттың кез келген тесіп шығуын болдырмайтын С жақсы берік отқа төзімді төсемі (балшық негізінде) - Аргонды ауа болат ағынына түспеуі үшін оны жабу үшін жапқышқа енгізеді
	Төменгі шүмек пен шөміш қаптамасы арасындағы ауаның түсуі	- Бұл салада көптеген жұмыстар атқарылды: назар аударуға тұрарлық негізгі салалар: Шүмек геометриясы, тығыздауға сәйкес қаптаманың қосылуы тығыздауға арналған материал - Балқыту арасында оттегімен тазалау
Құйғыш құрылғысы ағынын басқару жүйесі	Тоқтатқыш өзек арқылы ауаның түсуі	- Тоқтатқыш өзегі, қатты болса да, төменгі жағында іліну және аргонды болат ағынына беру механизміне арналған орталық арқылы тесік болуы мүмкін. - Тығыздау құрылымының айналасындағы негізгі нүктелер қосылыстың жоғарғы нүктесінде ауаның түсуін болдырмайды.
	Жапқыш жүйесі арқылы ауаның түсуі	- Жапқыш механизмінде екі топса бар-бірінші топса мен пластина арасында ерітіндімен толтырылған. - Жоғарғы тілімшенің өзінде ауаға қолжетімділік болуы мүмкін, егер тілімше шытынайтын болса және құюдың жоғары жыламдығынан пайда болған вакуум ауаны жарықша арқылы сорып алатын болса - Пластина, сондай-ақ, енуден қорғау үшін сызаттар болса, аргон үшін тереңдетілген жырасы бар
	Батырылған құю стаканының өзгеруінен кейін ауаның түсуі	- Жүйедегі екінші қосу пластина мен батырма құю стаканының арасында орналасқан - Бұл түйіспеде жоғары қысым ауа үшін кез келген аралықты шектейді - Батырма құю стаканың өзгерткеннен кейін, бұл саңылау ауаның енуіне бейім және аргон болаттың қайта тотығуын болдырмау үшін осы аймақты орап алады



1.25-сурет: Шөміштің жапқышы мен ағынды бақылау жүйесі үшін қосуды бақылау

1.5 Қоршаған орта

Хром кені

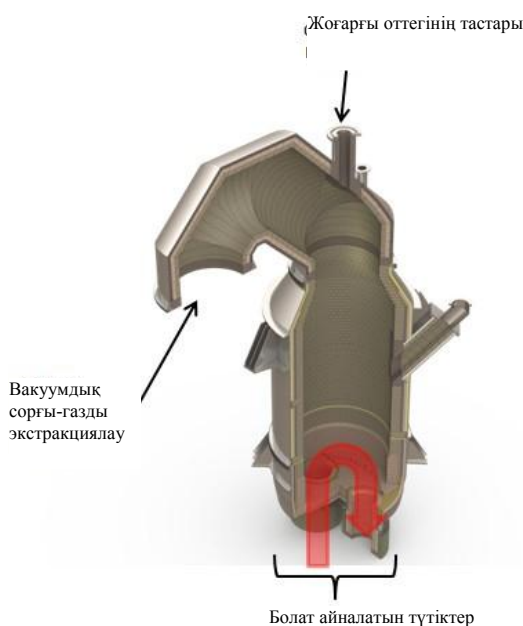
Хром негізінен екі валентті жағдайда қоршаған ортада кездеседі: (Cr III) үш валентті хром және (Cr VI) алты валентті хром. Әсері табиғи немесе өнеркәсіптік хром көздерінен болуы мүмкін. Хром (III) хром (VI) қарағанда әлдеқайда аз уытты. Топырақтағы Хром (VI) ұшатын бөлшектерді жұтқан кезде дерматит пен обыр қаупін тудыруы мүмкін. Алайда, табиғатта кездесетін бөлшектер, мысалы, қажалған кристалды материалдар, mmad (бұқаралық медиалық аэродинамикалық диаметрі) 10 мм-ден кем емес, сондықтан да өкпеге терең ену үшін тым үлкен. Бұдан басқа, хром (VI) суда еритін пішінде болуы мүмкін, ол толық канцерогенді емес немесе өте әлсіз канцерогенді болып табылады.

Хроммен ластанған (VI) топырақ дерматит қаупін тудырады, себебі ол теріге сіңірілуі мүмкін. Су ерітінділерінен хром (VI) терімен сіңуі бірқатар зерттеулерде тіркелген. Алайда, топырақпен байланысты хром су ерітінділерінен айырмашылығы теріге сіңіру үшін бірден қолжетімді емес; алдымен оны топырақтан шығару керек. Әдебиетте айтылып кеткендей, топыраққа байланысты хромның аз ғана пайызы жалпы хром немесе хром (VI) түрінде алынуы мүмкін. Демек, ластанған топырақ теріге әсер еткен жағдайда хромның сіңіру дәрежесі (VI) қанша хромның (VI) топырақтан бөлінуіне байланысты болады.

Хромдалған кен көбінесе R-HOB газаторларынан және металлургия өнеркәсібінің басқа да салаларында коррозияны жоюға арналған материалдарда пайдаланылатын MgO ($\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$) хром кірпіштерінде кездеседі.

Отқа төзімді материалдарды өндіру компаниясынан жеткізу кезінде олар зиянсыз, алайда болат өндіру процесінде қыздыру кезінде хромның валенттілігі сілтілердің Cr_3^+ Cr_6^+ денсаулыққа зиянды болып табылатын сілтілердің қатысуымен өзгеруі мүмкін. Ол 2100 °C жоғары балку температурасынан, сондай-ақ көміртегі жоқ болғандықтан пайдаланылады. Металлургиялық көзқарас тұрғысынан алғанда төмен көміртекті (ULC) болат шығаратын болат өндірушілері, $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ бар отқа төзімді қаптаманы пайдалануды артық көреді, өйткені оның құрамында көміртек жоқ. Дегенмен, $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ әдетте MgO-C кірпішіне қарағанда тозу жылдамдығы жоғары, сондықтан оны қолдануға байланысты тым қымбат.

Ruhrstahl Heraeus Oxygen Blowing (RHOB) түрінің еріту қондырғыларының көпшілігі беткі жағы кірпішпен әлдеқайда үлкен. 1.26-суретте R-HOB ұсынылған, онда шөміштен болатты рециркуляциялайды, бір түтікке жоғары көтеріледі, көміртекті жояды, содан кейін қалпына келтірілген болат басқа түтікке кері жібереді.



Диаграмманы Magnesita Refractories SA ұсынған

1.26-сурет: R-HOB процесіне арналған сызба

Беттің ауданымен болатын бұл жоғары байланыс көміртектендіруге бейім болады, сондықтан олар соңғы болат өнімімен өзара әрекеттесуді азайту үшін MgO Cr_2O_3 пайдаланады. Салада хром кенін пайдалануды барынша азайту бойынша жұмыс жалғасуда.

Радиоактивтілік

ТТРМ-бұл қоршаған ортада табылған барлық радиоактивті элементтерді қамтитын «табиғи текті радиоактивті материал» деген аббревиатура. Дегенмен, бұл термин адам қызметі өзгермеген жағдайлармен салыстырғанда сәулелену ықтималдығын арттырған, табиғатта кездесетін барлық радиоактивті материалдар үшін неғұрлым нақты пайдаланылады.

Цирконий нарығының 95% - дан астамы циркон пішінінде (цирконий силикаты) талап етіледі. Бұл минерал табиғатта кездеседі және шағын өңдеуді талап етеді. Ол негізінен құю өндірісінде, отқа төзімді материалдар мен керамикалық өнеркәсіпте қолданылады. Циркондарда әдетте 10,000 Bq/kg U-238 және Th-232 белсенділігі бар. Тиімсіз болғандықтан цирконнан радионуклидтерді жоюға ешқандай әрекет жасамайды. Циркон отқа төзімді материалдар мен глазурлер өндірісінде тікелей пайдаланылғандықтан, өнімдер радиоактивтіктің ұқсас мөлшерін құрайтын болады. Жоғары концентрациялар цирконий диоксидінде (цирконий тотығы) табылуы мүмкін. Ол кремний диоксидін бөлу үшін цирконды жоғары температуралы балқыту жолымен алынады.

Барлық дерлік отқа төзімді материалдарда табиғи радиацияның деңгейі төмен (радиоактивті элементтер жыныста, отқа төзімді материал - жай қалыптасқан жыныс). Радиация деңгейі жоғары отқа төзімді материалдар металлургия зауыттарының қақпаларында орналасқан радиация детекторларын іске қосады. Олар денсаулыққа қауіпті емес және цирконий диоксидінің (ZrO_2 SiO_2) негізінде жұмыс істейді. Олар кездесетін өнімдер - құдыққа арналған құм, кішкене кірпіш және бірнеше қондырмалар, ЭДП дельталары, батырмалы құйғыш стақан.

Бұл денсаулық және/немесе қоршаған ортаның мәселесі емес, негізінен хабардар болу мәселесі.

2-тарау



2.0 Жылулық, механикалық және химиялық (ЖМХ) талдауға шолу

Бұл кітаптың келесі тарауында отқа берік материалдар туралы мүлдем айтылмайды, дегенмен отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі маман болсаңыз, сізді еліктіруі мүмкін. Біріншіден, сіз ойлағандай, бұл мәселені шешетін - материал және әдіс. Бұлар 3 және 4-ші тарауларға дейін әдейі талқыланбайды, өйткені олар № 1 – «проблема неде?» деген отқа берік материалдарды таңдаудың кілті болып табылады. 1-ші тарауда мақсаттар айқындалғаннан кейін Сіз қандай тозу мәселесін шешпексіз.

Отқа төзімді немесе кез келген жаңа талданатын қондырғылармен болатын барлық проблемалар үшін толық жылулық, механикалық және химиялық (ЖМХ) талдауды жасауға қажет бірінші қадам болып табылады. Бұл талдаулар мен олардың комбинациялары отқа төзімді қаптамалардың тозу механизмдері және оларды талдау шын мәнінде отқа төзімді процестерді зерттеу болып табылады. Барлық әзірлеушілер мен отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі мамандар келесі сөйлемді есте сақтаулары керек (әрине, әзілмен болса да): «Отқа төзімді материалмен байланысты мәселелердің 95% пайызы басқаруға байланысты және отқа төзімді материалдармен ортақ ештеңесі жоқ».

«ЖМХ» талдауын құрайтын жалпы бақылама тізім 2.1-кестеде көрсетілген.

2.1- кесте-ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар	Есептік параметр
Жылулық	Шекті температура (T)	Қорытпаны шығару температурасы	Материалдың химиялық құрамы және физикалық қасиеттері (тазалығы, өлшемдері және т. б.)
	Термосоққы (ΔT) Температура өзгеруінің жиілігі және амплитудасы	Изотермиялық тозу температурасы	Жылуды кеңейту қасиеттері, тұтқырлығы
Механикалық	Соққылы әсер	Жиектің гарнисажын тазалау, металл ағысының әсер ету күші	Материалдың беріктігі/икемділігі және бұзылу процесі
	Қажалу	Араластыру энергиясы, шаң бөлшектерінің әсері	Тығыздығы, беріктігі/тұтқырлығы, матрица/астық қатынасы
	Қосымша кернеу	Кірпіштің төменгі қабатына (домна пеші) басым кірпіш салмағы	Беріктігі/жүгірткі
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Жоғары температураларда қожды матрицалық бұзу	Ұсақ тесіктердің мөлшерін азайту және ұсақ тесіктердің таралуын оңтайландыру, шикізаттың таралуы, тазалығы. Мұздату жазықтығы бетіне жылжиды
	Ену	Сұйық қождың енуі	

Термомеханикалық	Жылудың кеңею кернеуі	Үлкен пішінді құйма бұйымдарды кеңейту	Жылу кеңейтудің қасиеттері және жылу ағынының құрылымы
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бастапқы материалға байланысты ену аймағының шөміш қуысының сынған кірпішінің Жылулық кеңеюнің сәйкес келмеуі	Ұсақ тесіктердің өлшемін мүмкіндігінше азайту және ұсақ тесікшелердің өлшемі, шикізат тазалығы бойынша үлестірілуін оңтайландыру, ылғалданбайтын материалдарды пайдалану, мұздату жазықтығын бетке жақындатып жылжыту, жылулық кеңеюді мүмкіндігінше төмендету

Осы талдаудың негізі отқа берік материалдарға деген көзқарасты талдаудан тұрады. Ол үшін отқа төзімді материалдар бойынша мамандар пайдаланылады, себебі металлургия әдетте болат өндіру процесін түсінеді, бірақ отқа төзімді материалдардың қасиеттерді түсінбейді, демек, біріншісі екіншіге әсерін бағалай алмайды. Сонан соң ЖМХ талдау қолайлы материалды таңдау үшін отқа төзімді материалдардың қасиеттерімен салыстырады. Сізге көмегі жоқ ақпарат бере отырып, осы жеткізушілер туралы деректердің ағымдағы жай-күйінің пайдасы жоқ екенін түсіндірудің маңызы бар екенін ескеріңіз. Бұл өнім берушілердің кестелері тиімсіз болып табылады, себебі біріншіден, олар жаңылыстыруға әкеп соқтыратын жалпы химиялық құрамын береді (және әдетте кез келген негізгі компоненттер ескерілмейді), екіншіден, қожты сынау сияқты ең маңызды тестілердің модельдеуші стандарты жоқ. Тұтынушы тұрғысынан ең қолайлы жағдай ретінде жай ғана мағыналарын білу емес, қолданылатын минералдарды, олардың мөлшері бойынша бөліктердің бөлінуінде орналасуын және температурадағы бұзылудың ыстық модулін, бұзылу механизмін және жылу кеңею қисықтары сияқты техникалық сипаттамаларын білуге болар еді. Талқылдау барысында пайдаланушы отқа берік материалды таңдауда маңызды рөл атқарады. Талқылау барысында пайдаланушы отқа берік материалды таңдауда маңызды рөл атқарады. Бұл туралы 5-тарауда айтылады!

Соңында, «Проблема неде?» деген баяғы сұрақ отқа берік материалдарды таңдауды бастаудың негізі болып табылады. Бұл тарауда қаптама тозуының негізгі тетіктері егжей-тегжейлі қарастырылады:

- 2.1 ЖМХ талдауына шолу
- 2.2 Жоғары температураға шолу (бөлімшедегі атауы бірдей)
- 2.3 Отқа берік материалдың температураның кенет ауытқуындағы термиялық бТ - шытынауы
- 2.4 Механикалық әсері
- 2.5 Механикалық қажау
- 2.6 Химиялық еру
- 2.7 Химиялық ену
- 2.8 ЖМХ «сенбілік кешінің құрылымымен» және сынықтарды талдаумен өзара әрекеттесуі

2.1 Термиялық. Жоғары температураға шолу

Бұл тарауда жоғары температураның отқа төзімді материалдарға келтіретін әсері негізге алынады. Отқа төзімді материалдардың жоғары температураға төзімді екендігін барлығы жақсы біледі. Бірақ сіз олардың балку температурасы төмен нүктеде жақсы жұмыс істейтінін білмеуіңіз мүмкін.

Неге жоғары температура маңызды? Жоғары температура конструкцияның/таңдаудың төрт негізгі аймағына әсер етеді:

1. Құрылымдық тұрғыдан қарағанда отқа төзімділіктің өзі балку қасиеттері немесе материалдың жалпы «шегуі», немесе материалдың сырғымалығын тудыратын сұйықтықтың аз мөлшері шыншыл.
2. Отқа төзімді материалдардың коррозия жылдамдығы, геометриялық прогрессиядағыдай, белгілі бір температура жоғарылаған кезде артады, (барлық химиялық реакциялар атомдардың қозғалу себебінен температура жоғарылаған кезде артады. Бұл 2.6 және 2.7-бөлімдерінде талқыланады.
3. Отқа төзімді типті фазалық өзгерістер (мысалы, кремний диоксиді, цирконий диоксиді).
4. Жылулық кеңеюі (бұл «Термиялық жарылу» бөлімінде қарастырылады, 2.3-бөлім).

Отқа төзімді материалдардың табиғатынан біркелкі емес екендігін және бір кірпіштің/құйылған/және т.б. әртүрлі бөліктерін құрайтынын атап өткен жөн. Сондықтан олар басқа бөліктерге ешқандай әсер етпестен өзгеру мүмкіндігіне ие.

Отқа төзімді материалдың балқу қасиеттері

Отқа төзімді материал ериді және бұл пікірді бірнеше факторлардан ажырата білу керек:

- Бір фазалы минерал (мысалы, MgO)
- Көпфазалы минералдар (мысалы, $MgO \cdot Al_2O_3$ шпинелі)
- Отқа төзімді материалдардың көп бөлігі (бірнеше минералдар қоспасы)

Қысқаша баяндауды отқа төзімді материалдардың барлығы балку , алайда негізгі кезеңі белгілі бір жұмыс температурасында қанша сұйықтық шын мәнінде пайда болады және бұл теріс болып ұғыбылады ма. Қазір жұмбақтап айтқаныммен, кітапты оқу барысында түсіне аласыздар деген ойдамын. Сондықтан Пуристік көзқараспен бастауды жөн көрдім (шын мәнінде пайдаланылатын отқа төзімді материалдардың ешқайсысы таза емес)! 2.1-суретте негізгі отқа берік материалдар және олардың балку температуралары көрсетілген.:

IA	IIA	IIIA	IVB	VB	VIB	VII B	TRANSITION	IB	II B	IIIB	IVA	VA	VIA	
ALKALIES														
ALKALINE EARTH OXIDES														
Li ₂ O 1200	BeO 2450	B ₂ O ₃ 450	POLYMERIZING OXIDES: GLASSES & REFRACTORIES								ACIDIC OXIDES → CO (g) CO ₂ (g) N ₂ O ⁺ (g) N ₂ O ₅ (g)			
Na ₂ O 920	MgO 2852	Al ₂ O ₃ 2054	SiO ₂ 1723	CATALYSTS, GLAZES, COLORANTS							MISC. CHEMICALS P ₂ O ₃ ⁺ 24 SO ₂ ⁺ (g) P ₂ O ₅ 580 SO ₃ 62			
K ₂ O 360	CaO 2927	TiO ₂ 1857	V ₂ O ₅ ⁺ 1967	Cr ₂ O ₃ 2330	MnO ⁺ 1785	FeO ⁺ 1369	CoO ⁺ 1605	NiO 1984	Cu ₂ O ⁺ 1230	ZnO 1975	GeO ⁺ 550	GeO ⁺ 710	As ₂ O ₃ ⁺ 313	SeO ₂ ⁺ 340
			V ₂ O ₅ 670		Mn ₃ O ₄ 1590	Fe ₂ O ₃ 1565	Co ₂ O ₃ 895		CuO 1446		Ga ₂ O ₃ 1795	GeO ₂ 1115	As ₂ O ₅ 312	SeO ₃ 118
	SrO 2665	Y ₂ O ₃ 2410	ZrO ₂ 2715	Nb ₂ O ₅ ⁺ 1780	MoO ₃ ⁺ 1927	* Variable valence. A representative low-valence oxide is shown, and the highest-valence oxide that is ordinarily encountered. If only one oxide is shown, it is relatively stable.				Ag ₂ O 230	CdO 1520	In ₂ O ⁺ 700	SnO ⁺ 1042	Sb ₂ O ₃ ⁺ 656
				Nb ₂ O ₅ 1511	MoO ₃ 795									
	BaO 2013	La ₂ O ₃ 2307	HfO ₂ 2760	TeO ₂ ⁺ 1785	WO ₂ ⁺ 1700					HgO 500	PbO ⁺ 886	Bi ₂ O ₃ ⁺ 816	PbO ₂ 300	Bi ₂ O ₅ 150
EARTHY OXIDES			ThO ₂ 3220	UO ₂ ⁺ 2880					CERAMIC GLAZES, COLORANTS					

2.1-сурет Негізгі баяу балқитын шикізат және олардың балқу температурасы. Өнеркәсіптік отқа төзімді технологиялар жөніндегі анықтамалықты қараңыз.

Шын мәнінде 2.1-суретте отқа берік материал үшін қолданылатын жеті (7) негізгі оксиді бар екендігі көрсетілген процестің Процестің температурасын ең қарапайым көзқарас тұрғысынан анықтауға болады (мысалы, НОК ~ 1650°C болатын балқыту кезінде) және негізгі шикізаттың осы температурада сұйық болмайтынына көз жеткізуге болады.

Таза материалдардың сирек қолданылатынын ескере отырып, 2.2-суретте көрсетілген отқа төзімді материалдарда қолданылатын минералдарға қараған жөн.

Өнеркәсіптік отқа төзімді технологиялар жөніндегі анықтамалық

IV кесте. Баяу балқытын заттардың 1-ші балқыту нүктелері (11- сілтеме)

2.2--сурет. Баяу балқытын заттардың балку температурасы

АТАУЫ	ФОРМУЛАСЫ	Балку нүктесі °C	Балку нүктесі °F	Тамман температурасы °C
ТОТЫҚТАР				
ӘК; CaLС3A	CaO	2927	5300	2130
ПЕРИКЛАЗА; МАГНЕЗИЯ	MgO	2852	5165	2070
БАДДЕЛЕИТ; ЦИРКОНИЙ-ТОТЫҒЫ	ZrO ₂	2700	4890	1960
ЦИРКОН; ZIRC. СИЛИКАТ	ZrO ₂ SiO ₂	2550	4620	1850
КАЛЬЦИЙ ЦИРКОНАТЫ	CaOZrO ₂	2550	4620	1850
ХРОМ ТОТЫҒЫ; ХРОМИЙ	Cr ₂ O ₃	2330	4225	1680
МАГНЕЗИТО- АЛЮМИНАТ; ШПИНЕЛЬ	MgO Al ₂ O ₃	2135	3875	1530
ДИКАЛЬЦИЙ СИЛИКАТЫ	2CaO SiO ₂	2130	3865	1530
КОРУНД; АЛЬФА-АЛЮМИНИЙ ТОТЫҒЫ	Al ₂ O ₃	2054	3730	1470
КАЛЬЦИЙ ТИТАНАТЫ; ПЕРОВСКИТ	CaOTiO ₂	1975	3585	1410
МАГНЕЗИТО- ХРОМИТ; ХРОМ ШПИНЕЛЬ	MgOCr ₂ O ₃	1950	3540	1400
МУЛЛИТ	3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	1920	3490	1380
ФОРСТЕРИТ; OIMAG. СИЛИКАТ	2 MgO SiO ₂	1910	3470	1370
ДИАЛОМИНДИ СИЛИКАТ	Al ₂ O ₃ SiO ₃	1868	3395	1340
РУТИЛ; ШАМА	TiO ₂	1857	3375	1330
КРЕМНЕЗЕМ; КРИСТОБАЛИТ	SiO ₂	1723	3135	1230
ТЕМІР ХРОМИТІ; ХРОМИТ	FeO Cr ₂ O ₃	1700	3090	1210
ОТТЕКСІЗ ҚЫШҚЫЛДАР				
КОМІРТЕГІ; ГРАФИТ	C	3650*	6600*	2670
ТИТАН КАРБИДІ	TiC	3140	5685	2290
НИТРИД БОРИНІ	BN	3000*	5430*	2180
ТИТАН НИТРИДІ	TiN	2930	5305	2130
ТИТАН ДИБОРИДІ	TiB ₂	2900	5250	2110
КАРБОРУНД; КРЕМНИЙЛІ КАРБИД	SiC	2700*	4890*	1960
БОР КАРБИДІ	B ₄ C	2350	4260	1700

ауада және кез келген қалпына келтірмейтін атмосферада реакциялар мен олардың шығыны болады.

Енді бұл біздің шындыққа жақындатады («құрылым» тақырыбы отқа төзімділіктің біртектілігін және оның оған қатыстылығын жақсы түсіну 5.1-бөлімде қарастырылады) және отқа төзімді материалдар минералдардың қоспасы деген деректі түсіндіреді.

Мұны түсінудің ең жақсы жолы - фазалық диаграммаларды талдау. Менің жақсы досым доктор Джефф Смит осыны және «фазалар ережелерін», эвтектикалық жүйелерді зерттеу мақсатында көп уақытын жұмсады. Біз отқа төзімді материалды таңдау жөніндегі маманға практикалық тұрғыдан тәжірибенің атқаратын маңызы зор екеніне (шын мәнінде біз материалдарды әзірлеу арқылы өз үлесімізді қоса аламыз), жиі түсінік береміз. Сондықтан отқа төзімді материалдардың негізгі фазалық диаграммаларын және болашақта қажет болатын негізгі хабарламаларды немесе сыни сипаттамаларды қарастырамыз.

Мұндағы негізгі анықтамалардың бірі «Тамман температурасы» болып табылады. Бірақ шын мәнінде ол теориялық өлшем және минералда көрінетін бірінші сұйықтықтың нүктесі болып табылады. (Маңызды ескерту: отқа төзімді материал - бұл химия емес, минералогия. Бұл кітапта негізгі кезең болады.) Бұл материалдың «жұмсаруы» немесе «жылжығыштығы» басталатын сәт.

Мен тағы отқа төзімді сұйықтықтың пайда болуының жақсы не жаман екенін атап өтуім қажет Кернеуді жою НЕМЕСЕ одан берік құрылымды құру үшін жентектеуге ықпал жасау арқылы белгілі бір уақытта «икемді» жасай алатыны жақсы. Жаманы - егер коррозия тозудың негізгі механизмі болса, ол осы температурадан жоғары жылдамдайды.-Сұйық болатын (~ 1650° C) өндіру температурасында тек алты (6) тотықта сұйықтықтар жоқ екенін айта кету керек! Сондай-ақ, барлық тотықтар сұйылтылмайды. Бірақ олардың кейбірі оттегімен реакцияға түскен кезде

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі бастаушы мамандарға арналған фазалық диаграммалар

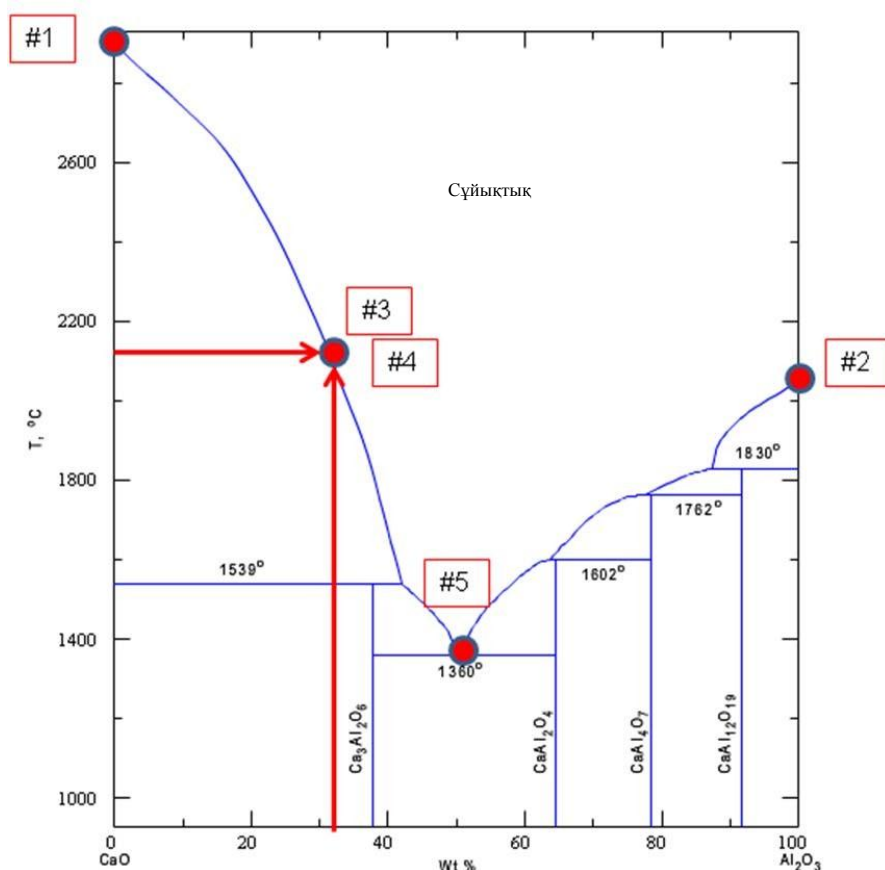
Фазалық диаграммалар өте күрделі және қорқынышты болуы мүмкін және толық түсінік әдетте керамика жөніндегі бакалавриаттың 1-2 семестрінің пәні болып табылады. Дегенмен, базалық түсінік тиісті диаграммалардан университетте оқу үшін керек болатын тапсырмаларсыз, дәрістер мен емтихандарсыз негізгі ақпаратты алуға мүмкіндік береді!

Отқа төзімді материалдарды зерттеу үшін көбінесе компоненттердің екі және үш фазалы диаграммалары қолданылады. Сондықтан біз оларға ғана назар аударамыз. Негізгі принциптерді түсіну мақсатында біз екі фаза үшін $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ диаграммасын және үш фаза үшін $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ диаграммасын қарастырамыз. Осы қағидаттар орнатылғаннан кейін сіз кез келген басқа схемаларды қарай аласыз.

Екілік диаграммалар

$\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ (2.3, 2.4 және 2.5-ші-суреттер)

Екі фазалы диаграмма - бұл, негізінен, минералды компоненттер бір-бірімен араласатынын көрсететін диаграмма - бірі оң жақта, екіншісі сол жақта және барлық температураларда қоспалардың барлық



комбинациялары көрсетілген (ескертпе - стандартты қысымға жол береміз).

2.3-сурет. $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$

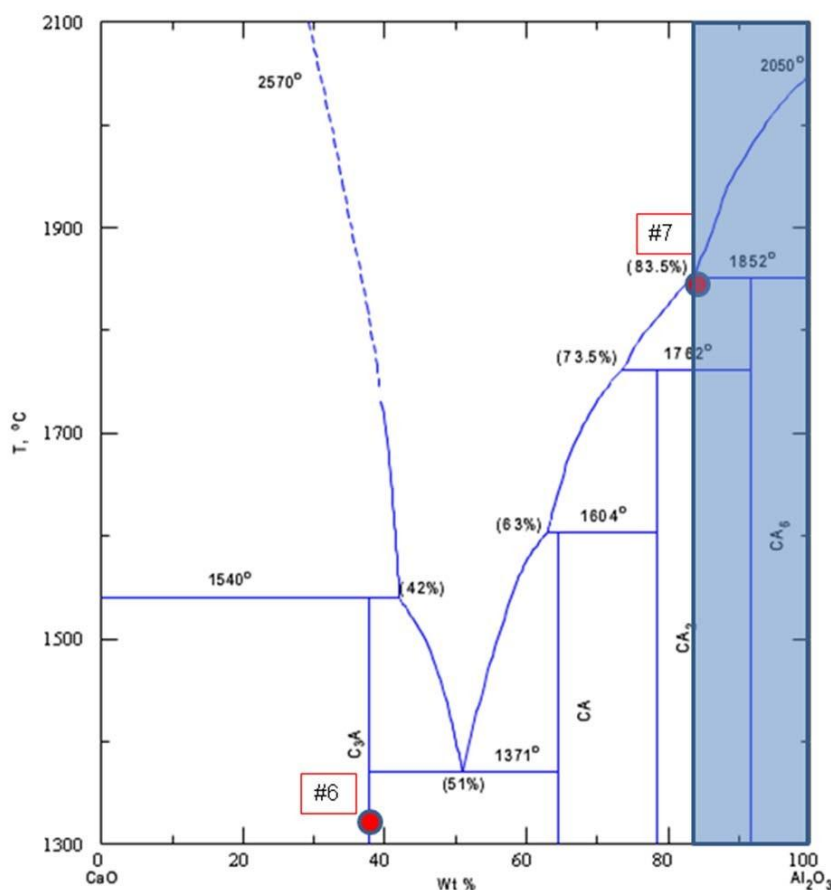
$\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ жүйесі. (А) - (В) Есептік фазалық диаграммалар.

H.H. Mao, M. Selleby, and B. Sundman C, ALPHAD: Comput. Coupling Phase Diagrams Thermochem, 28 [3] 307-312 (2004).

Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

Негізгі сәттер:

1. Біріншіден, бұл қисықтың ең жоғары сызығының қиылысу нүктесі, ал сол ось бірінші тотықтың балку температурасын көрсетеді. Бұл жағдайда әк немесе 2927°C құрайды.
2. Екінші негізгі ескерту - бұл ең жоғары сызық қисықтың қиылысу нүктесі, ал оң осі екінші аралас тотықтың балку температурасын көрсетеді. Бұл жағдайда алюминий тотығы немесе Al_2O_3 , ол 2054°C құрайды.
3. Үшіншіден, біз жоғарғы сызықтардың көлбеуіне қарай аламыз. Графиктің жоғарғы сызығының үстінен әрбір тұрғызу сұйық болып табылады. Сызықтың көлбеуі сұйықтың қалай тез пайда болатынын айтады - егер сызық тік болса - құрамындағы аздаған өзгерістер сұйықтың пайыздық құрамының үлкен өзгерістеріне әкеледі. Егер ол қысқа болса, онда аздаған өзгерістер сұйықтың пайыздық құрамына әсер етпейді. Әдетте, еңістік жерден гөрі, ол қиын, өйткені сұйықтың пайда болуы өте тез коррозияның жоғары жылдамдығына әкелуі мүмкін!
4. Біз көре алатын келесі нәрсе – сұйықтық пен қатты зат температурасында кездесетін нүкте (бұл жоғарғы сызық ликвидус сызығы деп аталатынына назар аударыңыз). Осыдан біз осы балкыту нүктесінің құрылысын анықтай аламыз. Жоғарыдағы мысалдан 33% CaO және 67% Al_2O_3 балку температурасы $\sim 2120^{\circ}\text{C}$ құрайтынын көреміз.
5. Ең төмен балку температурасын көріп отырған нүкте - ликвидустың екі желісі кездесетін орын. Ол эвтектика температурасы деп аталады. Бұл жағдайда $1360^{\circ}\text{C} \sim 51\%$ әк және 49% глинозем. Назар аударыңыз, бұл шекті нүкте. Өйткені сіз осы температураға жеткенде, отқа берік материал болып табылатын біртекті емес ортада, сіз түзілетін сұйықтың ең аз мөлшерін ала бастайсыз.



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

2.4.-сурет. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ca}_3\text{A} = \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; $\text{Ca}_{12}\text{A}_7 = \text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$; $\text{CA} = \text{CaAl}_2\text{O}_4$; $\text{CA}_2 = \text{CaAl}_4\text{O}_7$; $\text{CA}_6 = \text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ жүйесі

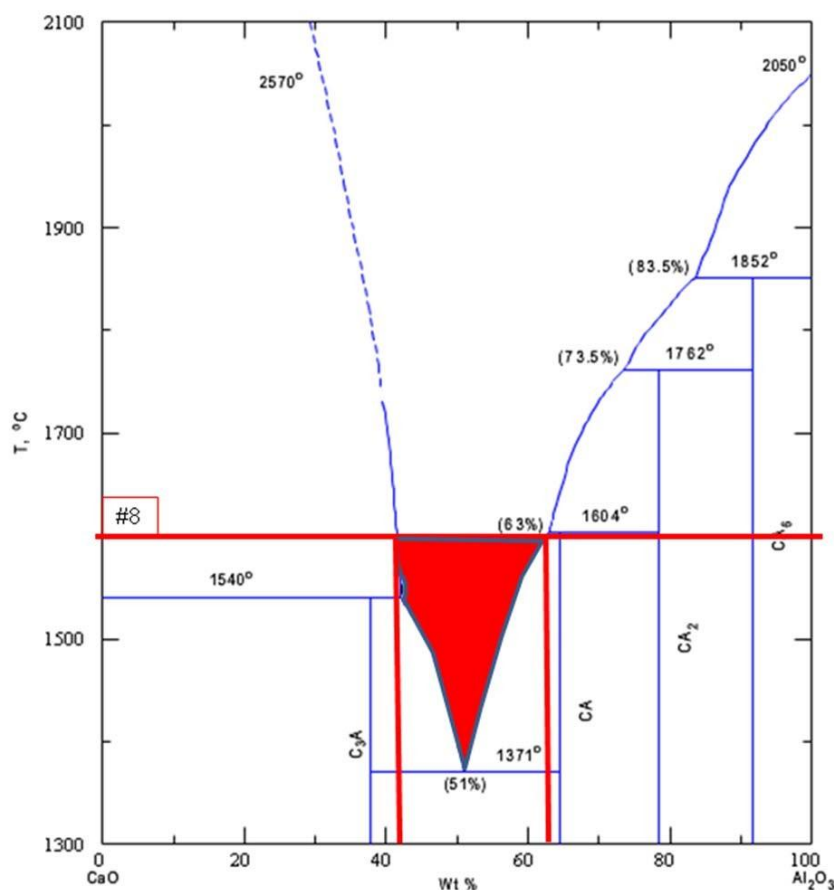
D.A. Jerebtsov and G.G. Mikhailov, *eram. Int.* 27 [1] 25-28 (2001)

6. Сіз диаграмманың ортасында композицияларды араластыра бастағанда кейбір негізгі аспектілерге назар аударыңыз. Ең алдымен, дұрыс атомдарды дұрыс кеңістікке орау үшін әртүрлі кристаллографияға ие компоненттердің әртүрлі арақатынасы бар компоненттер комбинациясы арқылы түзілген минералдарға. Бұл жағдайда бізде таза эк пен глинозем арасындағы бес (5) минералды комбинациялар бар. Бұл:

- Трикальций алюминаты, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A)
- Додекакальций алюминаты, $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7)
- Монокальций алюминаты, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA)
- Монокальций диалюминаты, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (CA2)
- Монокальций гексаалюминаты, $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ (CA6)

Олардың әрқайсысы және араласқан әр түрі қатты ерітінділер деп аталады. Бұл әртүрлі арақатынасы бар эк пен глиноземнің бір-бірімен араласуы. Неге бұл маңызды? Бұл маңызды, себебі олардың әрқайсысында әртүрлі балку температурасы бар.

7. Фазалық диаграмманың ішінде екі минералдың арасында ауысатын нүкте эвтектонид деп аталады. 2.4-суретте көрсетілгендей, сіз CA6 және CA2-ден өтетін нүкте 83,5% Al_2O_3 кезінде болады. Басқаша айтқанда, егер сізде >83,5% глинозем болса, онда сіз Ca6 мен таза глинозем қоспасын аласыз. Фазалық диаграммадағы кез келген жерде сұйықтық пен минералдардың нақты мөлшерін есептеуге болатынын ескеріңіз. Ол «тетік ережесі» деп аталатын қағиданы қамтиды. Бірақ мұнда ол қарастырылмайды (қар. Американдық керамикалық қоғамның керамистерге арналған фазалық диаграммалары).



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

2.5-сурет. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ жүйелері

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ca}_3\text{A} = \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; $\text{Ca}_{12}\text{A}_7 = \text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$; $\text{CaA} = \text{CaAl}_2\text{O}_4$; $\text{CaA}_2 = \text{CaAl}_4\text{O}_7$; $\text{CaA}_6 = \text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ жүйесі

D.A. Jerebtsov and G.G. Mikhailov, Ceram. Int. 27 [1] 25-28 (2001)

Өңдеу температурасы барысында пайда болатын сұйықты болдырмау тәсілін анықтайтын сәт те келіп жетті. болады болдырмау керек? Жоғарыда келтірілген мысалда 1600°C болат температурасында 42-62% CaO диапазонында кез келген қоспа 100% сұйық болатынын көреміз!! Отқа төзімді материалдар үшін өте нашар! Егер біз отқа берік материалды әзірлейтін болсақ, біз қандай да бір басқа қасиеттерді жоғалтпай, сұйықтық тұрғысынан осы кеңістіктен мүмкіндігінше алыс болуға тырысамыз (өйткені отқа төзімді материалдар-баланс, әрине!). Егер біз глиноземнің > 78% шегінде болуды көздесек, біз балқу нүктесі > 1762°C отқа төзімді материалдарға ие боламыз (сұйықтық аз мөлшерде пайда болса да әрқашан эвтектикалық температурадан жоғары

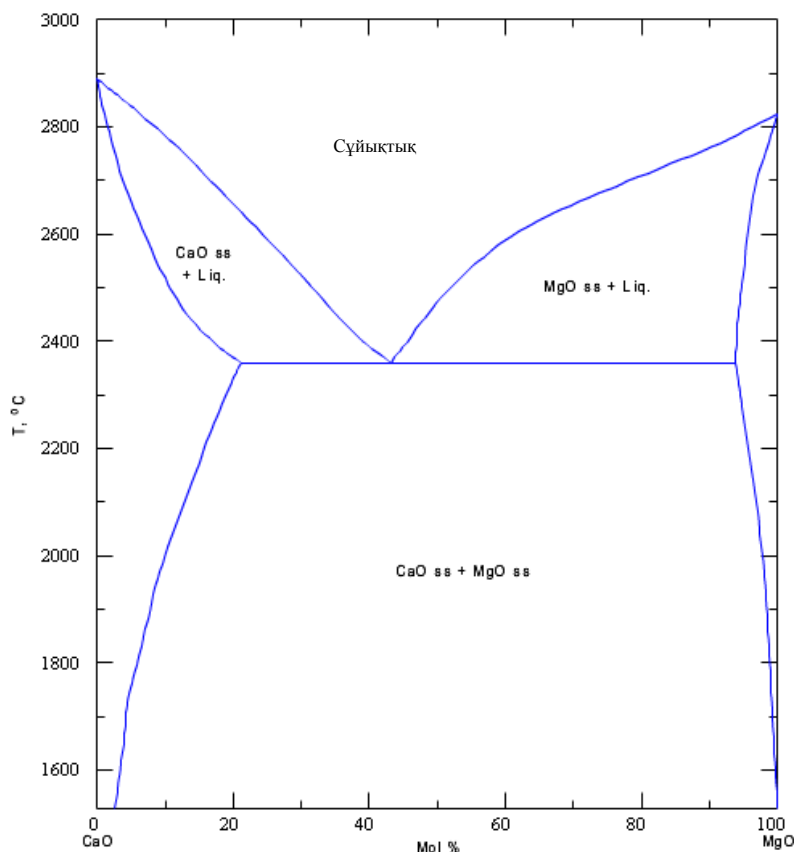
Отқа төзімді материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

Біз Әрбір фазалық диаграмма мен нақты сандар үшін негізгі факторларды, олардың отқа төзімді материалдарға қатысты ықпалын атап өтеміз $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ фазалық диаграммалар үшін басты сәттер:

- Бірінші сұйықтық эвтектиктерде 1390° C кезінде орналасады., сондықтан отқа төзімді тұрғысынан, біз сұйықтықтың болуын болдырмау үшін минералдар комбинациясына қатысты өте сақ болуымыз керек.
- Шын мәнінде фазалық диаграмма металлургиялық процестерде пайда болатын кожды ~~үшін~~ ~~қажет~~ зерттеу үшін негіз болады. Дұрыс таңдалған кождар әк және глиноземнің 50/50 диапазонына жақын болады.
- Отқа төзімді материалдар әсер еткен жағдайда еркін әк, балқу температурасы төмен болғандықтан, алюминий тотығынан немесе отқа төзімді материалдардан жасалған кірпішті жей бастайды. Дегенмен, CaO және Al_2O_3 в > 1750°C реакциясы отқа төзімді материалдар инженеріне көмек ретінде пайдалануға болады. Бұл реакцияны алюминий тотығы мен шөміш қалдықтары негізінде пайда болған өте таза (> 90%)-отқа төзімді қосындыларды біріктіре отырып болат шөміштің түбінде қолданады. Соның арқасында отқа төзімді минералдар пайда болады.
- $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ фазалық диаграммасы көпшілік үшін негіз болып табылады. 1600°астам балқу температурасы бар СА және/немесе СА2-ден тұратын байланысты қалыптастыру үшін кальций алюминаты негізіндегі цементтердің түрлі пішіні пайдаланылады. Өйткені олар тұрақты болып табылады. С. Кальций алюминаты негізіндегі цементтерді егжей-тегжейлі талқылау 3-тарауда өтеді.

CaO-MgO (2.6-сурет)

Келесі талқылайтын бинарлы фазалық диаграмма - бұл әк тас пен магнезия диаграммасы:



Американдық
қоғамның
колданылады

керамикалық
рұқсатымен

2.6-сурет. CaO-MgO

Есептелген CaO-MgO жүйесі.

Y. Yin, B. B. Argent, J. Phase Equilib., 14 [5] 588-600 (1993)

Бір қарағанда, біз бұл диаграмма глинозем және әк диаграммасынан ерекшеленеді. Себебі қатты ерітінділердің саны әлдеқайда аз екендігін көріп отырмыз. Демек, эвтектидтар жоқ!

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

CaO • MgO фазалық диаграммасына арналған негізгі нүктелер:

- Бірінші сұйықтық эвтектиктерде $\sim 2370^\circ \text{C}$ кезінде орналасқан, сондықтан отқа төзімділігі тұрғысынан бұл өте сенімді жүйе.
Конфигурацияны құрайтын екі минералдың да жеке балқу температурасы 2700°C жоғары. Сондықтан олар жоғары балқу температурасымен жақсы жүйені құрайды және оны болат құю зауытының отқа төзімділігі үшін пайдалануға болады.
- Көптеген болат құю цехтарында қолданылатын доломитті кірпіш осы фазалық диаграммаға негізделген. Доломит қалдық карбонатты тұқым болып табылады және отқа төзімді пішіні келесі реакцияға сәйкес көмірқышқыл газын қыздыру және жағу кезінде анықталады: (1- теңдеу):

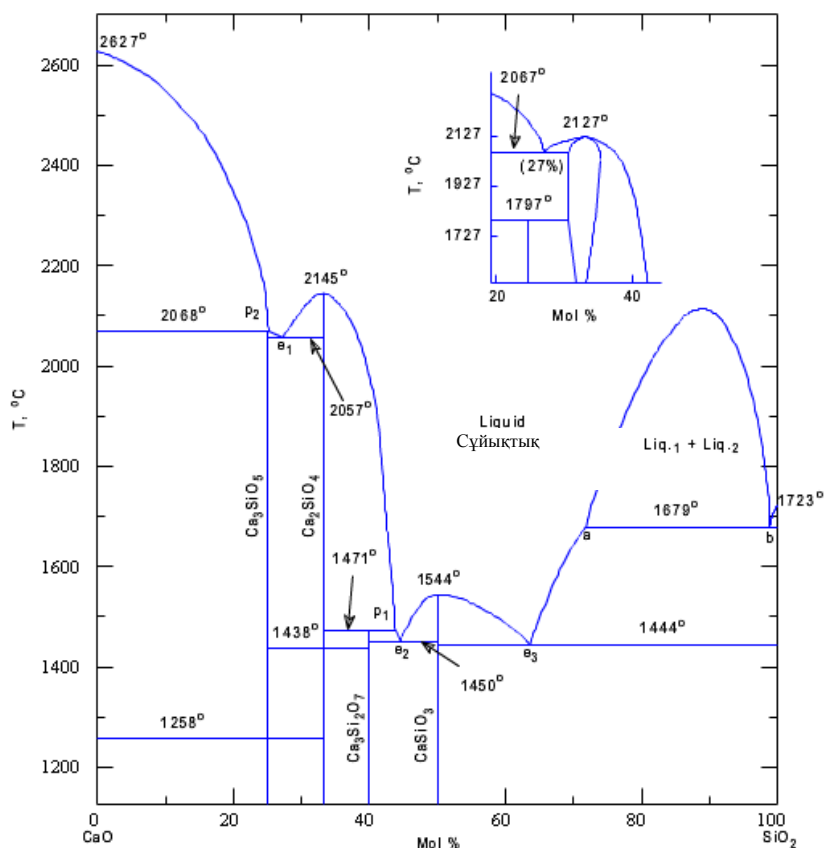


1- теңдеу.

- Типтік доломит кірпіштің қатынасы CaO 60% және MgO 40% қатынасына ие. Бұл эвтектиканың табиғи нүктесіне жақын.
- Доломитті отқа төзімді материалдарды пайдалану кезінде маңызды проблемаға мән беру керек. Бұндай отқа төзімді материалдарды гидратациядан қорғау қажет. Әк және магнезия, гидратацияға өте сезімтал болғандықтан, жоғары ылғалдылық пен температура жағдайында ыдырайды немесе бұзылады.

CaO-SiO₂ (2.7-сурет)

Біз талқылайтын келесі бинарлы фазалық диаграмма әк тас пен кремнезем диаграммасы:



Американдық
қоғамның
қолданылады

керамикалық
рұқсатымен

2.7-сурет. CaO-SiO₂

CaO-SiO₂ жүйесі, Есептелген фазалық диаграмма. Сілтемелерден алынған фазалық диаграммалар 9-11 А Zaitsev and B. M. MogutntMqorg. Moter. 3, 3 [8] 975-984 (1997); Inorg. Moter. (Ағылшын тілінен аударма), 33 [8] 823-831 (1997).

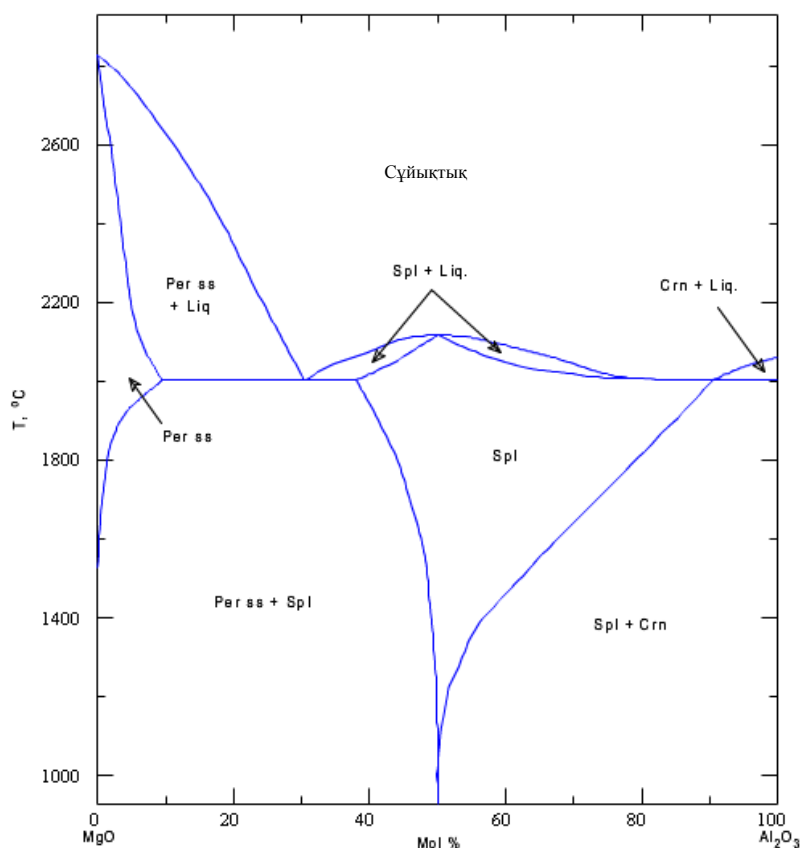
Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

CaO-SiO₂ фазалық диаграммаға арналған негізгі нүктелер:

- Бірінші сұйықтық эвтектиктерде ~ 1444° С кезінде орналасқан. Сондықтан отқа төзімділігі тұрғысынан бұл болат өндіру кезінде өңдеуге қиын болатын материалдар үшін нашар комбинация.
- Таза түрдегі әк пен кремнезем өте жоғары балқу температурасына ие болса да, комбинация өте тез сұйықтықты құрайды. Бұл ликвидус сызықтарының тік көлбеуі бойынша көрінеді. Тотықтар қатынасында болмашы өзгерістер балқу температурасында айтарлықтай өзгерістер беруі мүмкін. Бұл отқа төзімді бұйымдарды жасауды қалайтын жүйе емес дегенді білдіреді.
- Осы диаграммада қатты ерітіндімен түзілген волластонит және белит сияқты минералдар негізінен керамикалық плиткада және фарфорда, сондай-ақ оқшаулау талшығы («минералды мақта») ретінде пайдаланылады.

MgO-Al₂O₃ (2.8-сурет)

Біз талқылайтын келесі бинарлы фазалық диаграмма- магний тотығы және алюминий тотығы диаграммасы:



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

2.8-сурет. MgO-Al₂O₃

MgO-Al₂O₃ жүйесі, Балқудың температуралық-құрамдас тепе-теңдігі. Spl = MgAl₂O₄ қатты езінді негізіндегі шпинель; Per = периклаз MgO; Crn = корунд Al₂O₃; ss = қатты езінді.

T.I. Barry, A. T. Dinsdale, J.A. Gisby, B. Hallstedt, M. Hillert, S. Jonsson, B. Sundman, J.R. Taylor, J. Phase Equilib., 13 [5] 459-475 (1992).

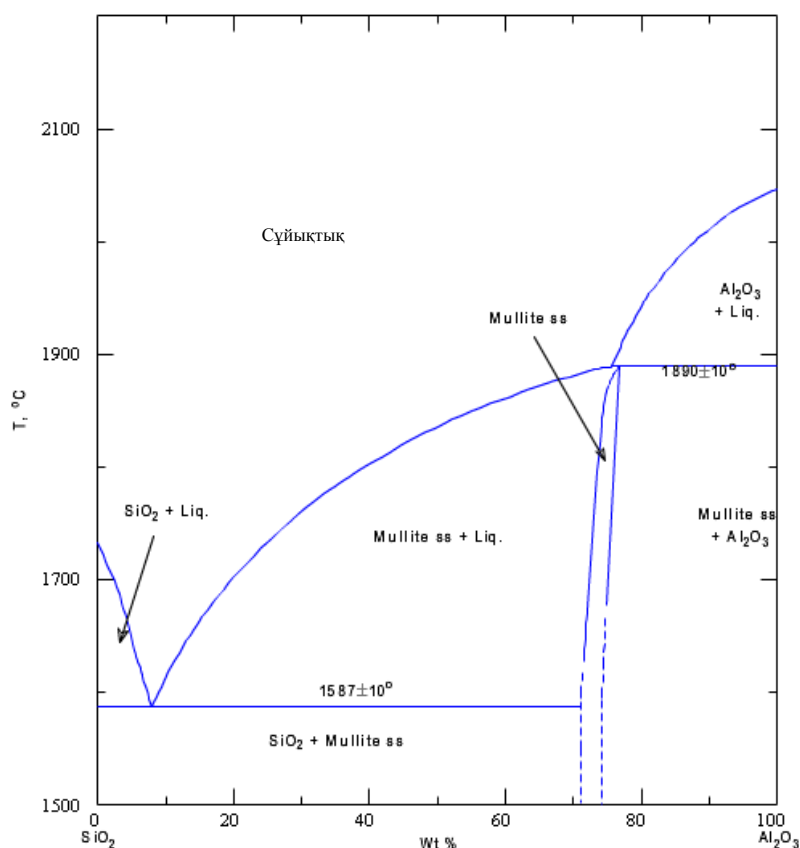
Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

MgO-Al₂O₃ фазалық диаграммасына арналған негізгі сәттер:

- Магнезия мен глиноземнің балқу нүктелері өте жоғары болғандықтан (>2000° C), бинарлық жүйе отқа төзімді. Қатты ерітінділер түзілетін болса да, барлық диаграммада сұйықтықтың түзілуін ұлғайтылмайды.
- Бұл фазалық диаграммадағы ең кереметі болғандықтан, отқа төзімді конструкция үшін алюминий/магний тотығы үйлесімдерінің шексіз саны жоғары термотөзімділікке нұқсан келтірмей жасалуы мүмкін. Сондықтан, егер сізге негізгі қождар үшін магнийге бай материал қажет болса, қышқыл қождарға глиноземге бай қышқыл қалдықтар немесе көп мақсатта пайдалануға болатын үнін қоспада мұның бәрі бар.
- Сонымен қатар, біз болат құю шөміштері туралы айтқан кезде, біз сіздің алдын ала өңделген немесе алдын ала қорытылған шпинельді өнімде пайдалана аласыз немесе өзініз іздеген қасиеттерге ие шпинель қалыптастыруыңызға болады. Кейбір жағдайларда екі әдіс оңтайлы сипаттар үшін қолданылады. 2000 жылдан бастап шпинель болат балқыту зауытының отқа төзімділігінде пайдалану үшін «реанимацияланды» және қазіргі уақытта кеңінен қолданылады.
- Жобалаудың тағы бір негізгі өлшемі магнезиялы-глиноземдік реакцияның ауқымды болуы (~ 3-5 об. %). Бұл жылу соққысына төзімділік үшін проблема тудырғанымен, шөміш қуысындағы кірпіш түйіспелерді жабу үшін өте жақсы болуы мүмкін (кейінірек 9-тарауда талқыланатын болады).

Al₂O₃ - SiO₂ (2.9-сурет)

Талқылайтын келесі бинарлы фазалық диаграмма - глинозем және кремнезем диаграммасы:



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

2.9-сурет. Al₂O₃-SiO₂

SiO₂-AL₂O₃ жүйесі. Қосарланған фазалық тепе-теңдік. (vA) ss тепе-теңдігінің ең жақын муллиттік аймағы -Al₂O₃ -сұйықтық (бұл жұмыс); (B) қайта қаралған қосарланған фазалық диаграмма.

FJ Klug, S. Prochazka, RH Doremus, J. Am. Ceram. Soc., 70 [10] 750-759 (1987).

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

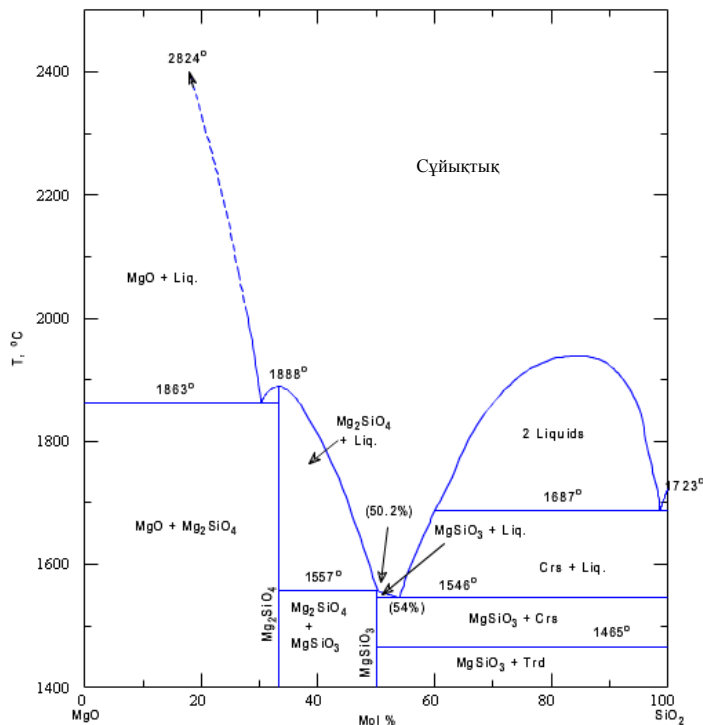
Al₂O₃ - SiO₂ фазалық диаграммасына арналған негізгі нүктелер:

- Бұл алюминий тотығы кремний диоксидіне (~1720° C) қарағанда толық балку температурасына (>2000° C) ие және екі компоненттер арасындағы араласу аз мөлшерде отқа төзімділіктің жылдам төмендеуіне әкеледі. Диаграмманың сол жағынан қосылған глиноземнің 8% ғана балку температурасын 1587°С дейін төмендеткенін көре аласыз. Бұл болаттың балку температурасынан төмен.
- Диаграмманың екінші жағында кремнеземнің аз мөлшері де тез жою сызығын төмендетеді. Бірақ ол болатты балқытудың қалыпты температурасынан әлі де жоғары.
- Бұл фазалық диаграмманың өте маңызды нүктесі-тұрақты қатты муллит ерітіндісі (~ 70% Al₂O₃ және 30% SiO₂). Бұл байланыс отқа берік материалдарды дайындау және пайдалану кезінде маңызды. Себебі отқа төзімді қасиеттері бар муллит пен корунд (таза глинозем) қоспасы глиноземнің > 70% минералынан тұрады. Алюмосиликатты отқа төзімді материалдар глиноземнің 50-60%-на жақын бағытталған кезде балку нүктелері құлап, сұйықтықтар пайда болады. Салдарынан агрессивті қалдықтардың қатысуымен коррозия жылдамдығының артуына әкеп соғады. 1990 жылға дейін, металлургиялық шөміштер пайда болар алдында, көптеген болат балқытатын шөміштер, диапазоны глиноземнің 50-60%-на жақын, саз балшық кірпішін қолданған. Бұл пештер жылдам тозып, қалдықтардың әсер етуіне ықтималдығы жоғары болатын. Жоғары табулярлы және балқытылған глиноземдер мен таза муллиттерді пайдалану арқылы шикізат әзірленуіне қарай тозу жылдамдығы төмендеп, болат шөміштің қызмет ету мерзімі ұлғая түсті.
- Сондай-ақ диаграмманың сол жағында орналасқан құрамында > 95% кремнезем бар кокс кірпіштеріне назар аударған жөн. Жоғарыда айтылғандай, глиноземнің аздаған мөлшері аз уақыт ішінде сұйықтықтың мөлшерін көбейте алады. Бұл қолданыста жіті бақылауды талап етеді.

MgO – SiO₂ (2.10-сурет)

Біз талқылайтын келесі бинарлы фазалық диаграмма - магнезия және кремнезем диаграммасы:

Американдық керамикалық
қоғамның рұқсатымен
қолданылады



2.10-сурет. MgO-SiO₂

MgO-SiO₂ жүйесі, есептелді. Crs = кристобалит (SiO₂); Trd = тридимит (SiO₂). P. Wu, G. Eriksson, AD Pelton, M. Blander, ISIJ Int., 33 [1] 26-35 (1993).

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

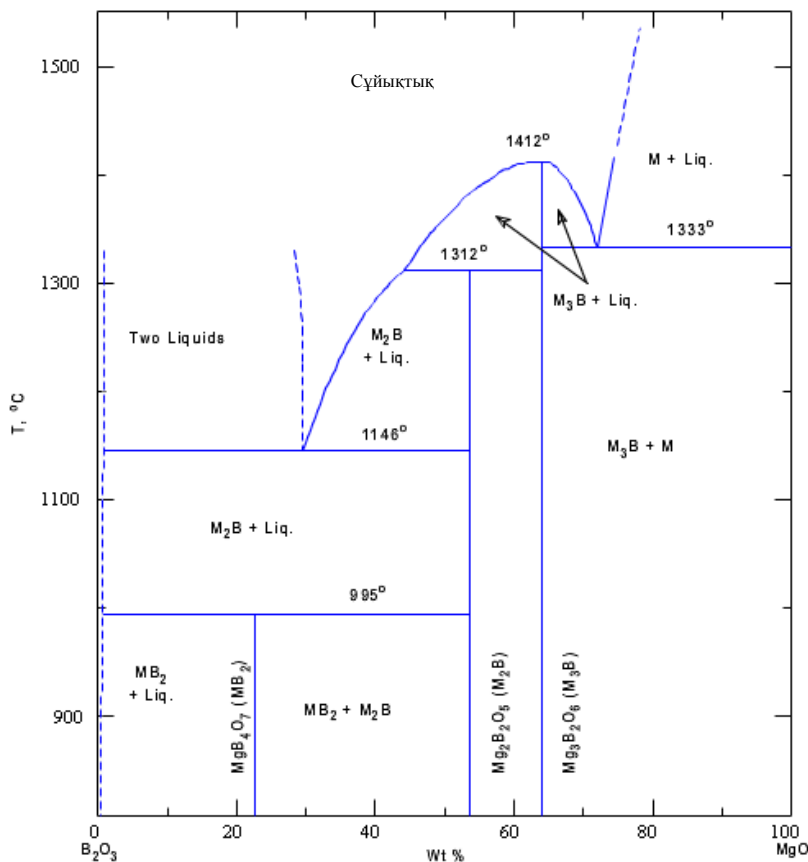
MgO-SiO₂ фазалық диаграммасына арналған үшін негізгі нүктелер:

- Бұл магний (>2800° C) кремний диоксидіне (~1720° C) қарағанда толық балқу температурасына және аз араластыру шамасына ие
- екі компоненттің арасында отқа төзімділіктің жылдам төмендеуіне әкеледі. Ликвидус сызығының тік екенін көруге болады. Бұл минералдар қатынасында аздаған өзгерістермен сұйықтықтың жылдам пайда болуын көрсетеді.
- Эвтектика нүктесінде 54% кремний диоксиді және 46% магний тотығының балқу температурасы 1546°С-ты құрайды. Бұл болат өндірісінің температураларынан төмен. Сондықтан тек осы екі минералдарға негізделген отқа төзімді заттар оларды пайдаланғанда күдік тудыруы мүмкін.
- Таза кремнезем мен магнезияның екі (2) қатты ерітіндісі бар екенін ескеріңіз. Бұл:
- Форстерит-Mg₂SiO₄ немесе MgO·2SiO₂ - эвтектоид 1863° C және
- Клиноэнстатит - MgSiO₃ немесе MgO·SiO₂ - эвтектоид 1557° C
- Отқа төзімді конструкцияны алу үшін және ликвидустың төменгі аймақтарынан аулақ болу үшін < 28% кремний диоксидінің деңгейі болуы керек.
- MgO болат өндірісіндегі шикізаттың негізгі түрлерінің бірі. Сондықтан қоспалардың барлық пішіндегі рөлін түсіну (SiO₂, Al₂O₃, FeO және т. б.) жақсы өнім алу үшін шешуші мәнге ие.

MgO - B₂O₃ (2.11-сурет)

Біз талқылайтын келесі бинарлы фазалық диаграмма-магний триоксидінің және дибордың диаграммасы:

Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады



2.11-сурет. MgO-B₂O₃

B₂O₃-MgO жүйесі, B₂O₃-MgO, MgB₂ = MgB₄O₇, Mg₂B = Mg₂B₂O₅, Mg₃B = Mg₃B₂O₆ и Mg = MgO, және M = MgO. T. Mutluer, M. Imucin J., Am. Ceram. Soc., 58 [5-6] 196-197 (1975).

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

MgO-, B₂O₃ фазалық диаграммасына арналған негізгі нүктелер:

- Бұл магний дибор триоксидіне (~500° C) қарағанда толық балку температурасына (>2800° C) ие. Сондай-ақ екі компоненттер арасындағы араласудың аз мөлшері отқа төзімділіктің жылдам төмендеуіне әкеледі. Ликвидус сызығының өте тік екенін көруге болады және бұл минералдар қатынасында аздаған өзгерістермен сұйықтықтың жылдам пайда болуын көрсетеді. Бұл отқа төзімділікте шешуші мәнге ие, өйткені магнезия шикізат түрінде, B₂O₃ болуы мүмкін. Бұл теңіз суының негізінен төмен балку температурасы бар шыныларды қалыптастыру кезінде пайдалану проблемаларына әкелуі мүмкін. Бұл коррозияға төзімділікті төмендетеді.
- Эвтектика 1146°C кезінде екенін көруге болады. Әсерінен сұйықтықтың осы жүйесінде ерте пайда болады.

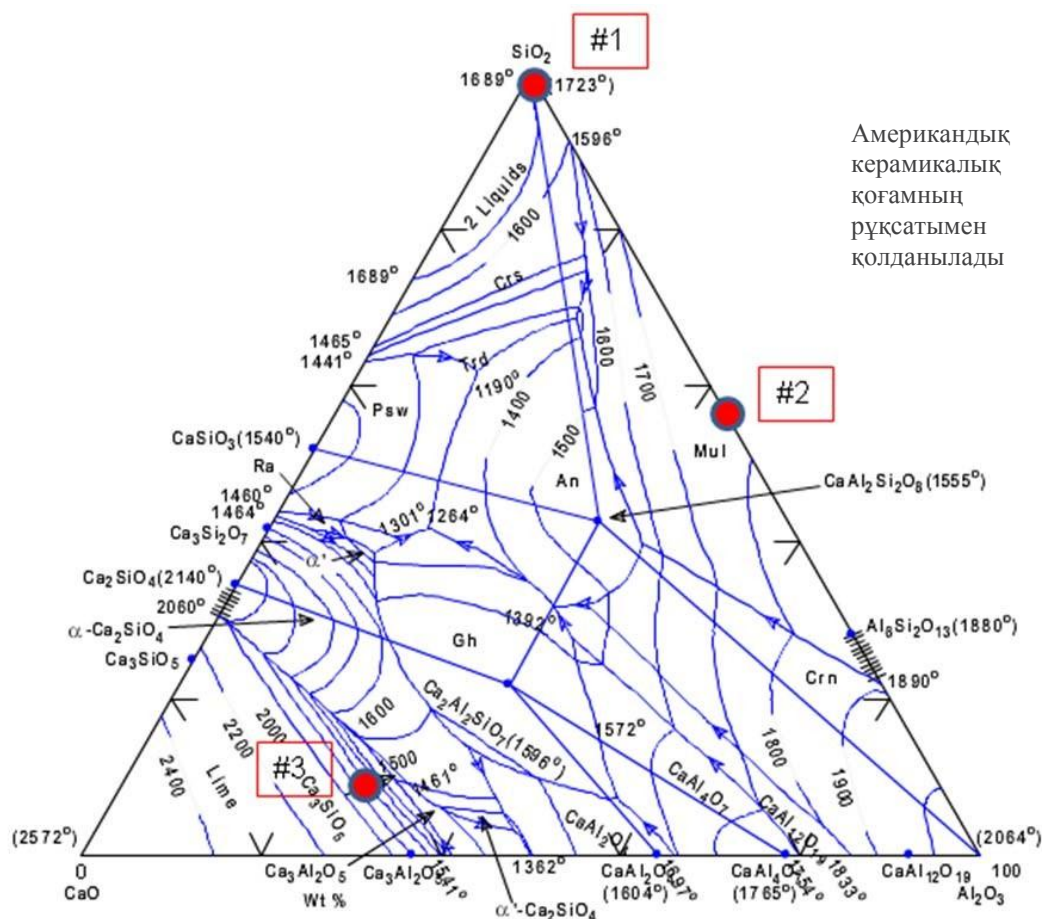
Үштік диаграммалар

Біз бинарлы диаграммалардан кейін үш фазалық немесе үштік диаграммаларға көшуге болады. Болат және тозу механизмдері өндірісінегі қалдықтардың қалыптасуын түсіндіруге бағытталады.

Негізгі принциптерді түсіну үшін үш фазаға арналған $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ диаграммасын қарастырамыз. Осы қағидаттар орнатылғаннан кейін, сіз кез келген схемаларға жүгіне аласыз.

Үш фаза: CaO-Al₂O₃-SiO₂ (2.12- 2.17-сурет)

Үш фазалы диаграмма-бұл негізінен минералды компоненттер бір-бірімен араласатын диаграмма: біреуі жоғары, біреуі сол жақтың төмен бөлігінде және біреуі оң жақтың төменгі бөлігінде. Кез келген температурадағы қоспалардың барлық ықтимал комбинациялары ортасында орналасқан (ескерту - стандартты қысымға рұқсат етіледі).



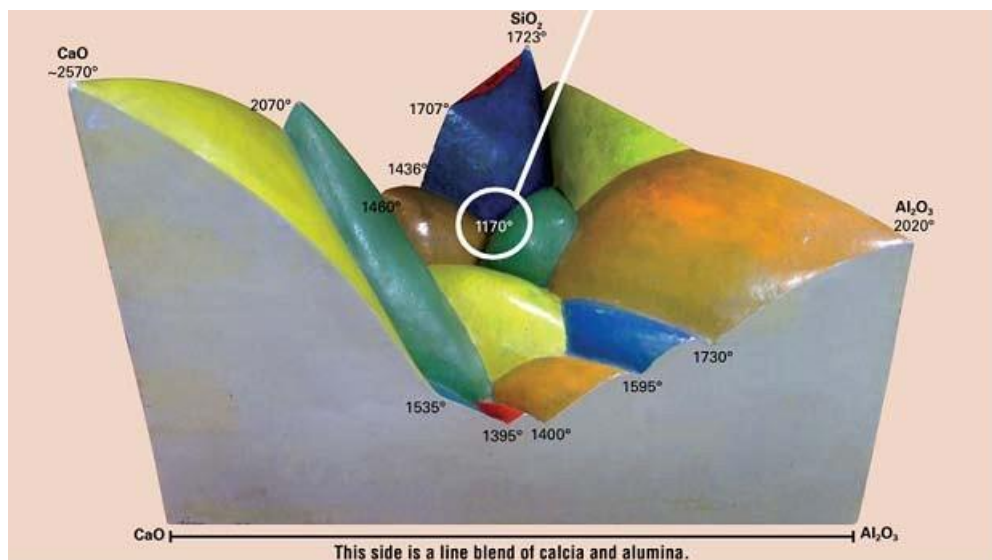
2.12-супер. CaO-Al₂O₃-SiO₂

CaO-Al₂O₃-SiO₂ жүйесі. Оңтайландырылды

G. Eriksson, A.D. Pelton, Metall. Trans. B. 24B{5} 807-816 (1993).

Негізгі сәттер:

1. Үш бұрыш үш таза тотықты және олардың жеке балқу температурасын білдіреді. Бұл жағдайда 1723°C-та кремнезем, 2572°C-та әк және 2054°C-та глинозем. Бірінші соған назар аударыңыз.
2. Екінші назар аудару керек нәрсе, бұл үш сыртқы сызық үш бинарлы яфазалық диаграмманы құрайды, егер сіз оларды сырттан қарасаңыз. 2.13-суреттегі диаграмма осыны жақсы көрсетеді, бүйірінен қарағандағы көрінісі $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ бинарлы диаграмманы бір жақтан көрсетеді. Егер біз диаграмманы аударатын болсақ, онда $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ және $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ жұптылығын көре аламыз.

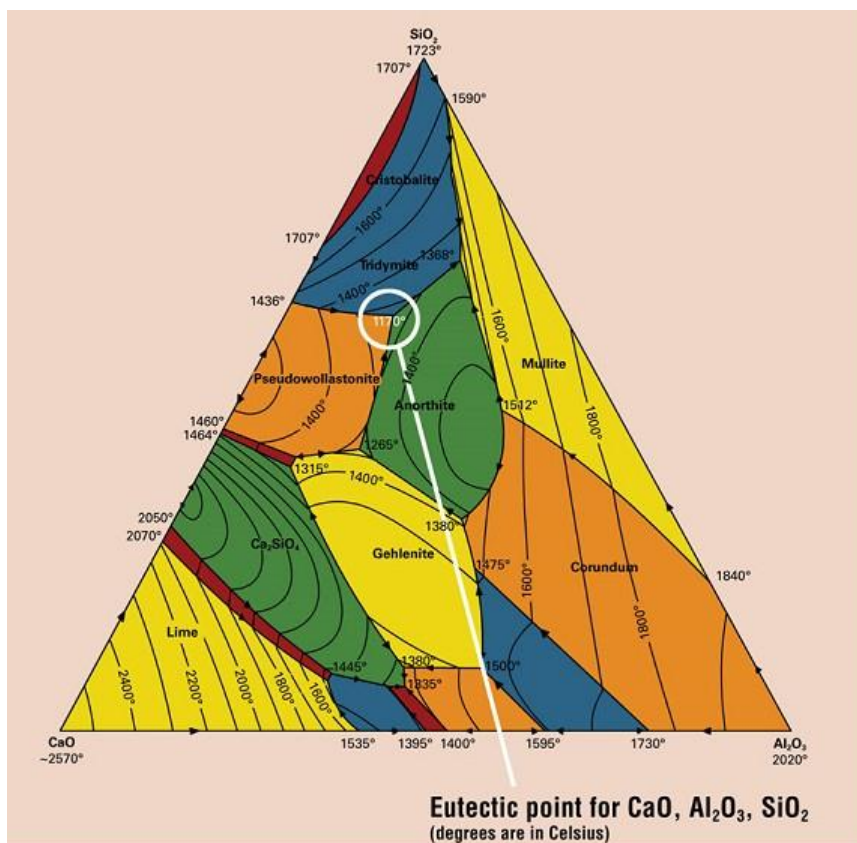


Американдық
керамикалық
қоғамның
руқсатымен
қолданылады

2.13-сурет. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ жүйесі-бүйірінен қарағандағы түрі, $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ бір жақта көрсететін қос сызба.
<http://ceramicartsdaily.org/ceramic-glaze-recipes/glaze-chemistry-ceramic-glaze-recipes-2/how-glazes-melt-in-search-of-the-elusive-eutectic/>

3. Үшіншіден, біз сызықтың көлбеуіне қарай аламыз. Үштік диаграммаларды оқу топографиялық карталарды оқуға ұқсайды. Сызықтар бір-біріне жақын болған сайын, еңіс тік және осы температураның өзгеруі үшін сұйықтық тезірек пайда болады. Үш өлшемді фазалық диаграмманың қарауға мүмкіндік беретін үш өлшемді диаграммаға назар аударыңыз (2.13-сурет). Сіз тығыз жапсырылған сызықтарды тік беткейлермен және температураның «қиғаш төбесімен» кең таралған сызықтарды жылдам салыстыра аласыз. Назар аударыңыз, «тау шыңдары» үстінде орналасқан әрбір композиция сұйық болып табылады. Әдетте, еңіс тік болған сайын проблема туғызады. Өйткені сұйықтықтың пайда болуы коррозияның жоғары жылдамдығына әкелуі мүмкін!
4. Келесі негізгі нүкте-балқудың ең төмен температурасын көріп отырған орын. Дәл сол жерде «ең төмен алқаптың» нүктесі ең төмен температурадағы беттер кездесетін тауларда орналасқан және балқудың бастапқы нүктесі болып табылады. Осы жағдайда бұл ~ 62% кремний диоксидінде, ~ 23% әктас пен 15% глиноземде 1170°C. Назар аударыңыз, бұл сыни нүкте, өйткені сіз осы температураға жеткенде, отқа берік материал болып табылатын біртекті емес ортада түзілетін сұйықтықтың ең аз мөлшерін ала бастайсыз.

Американдық
керамикалық
қоғамның
рұқсатымен
қолданылады



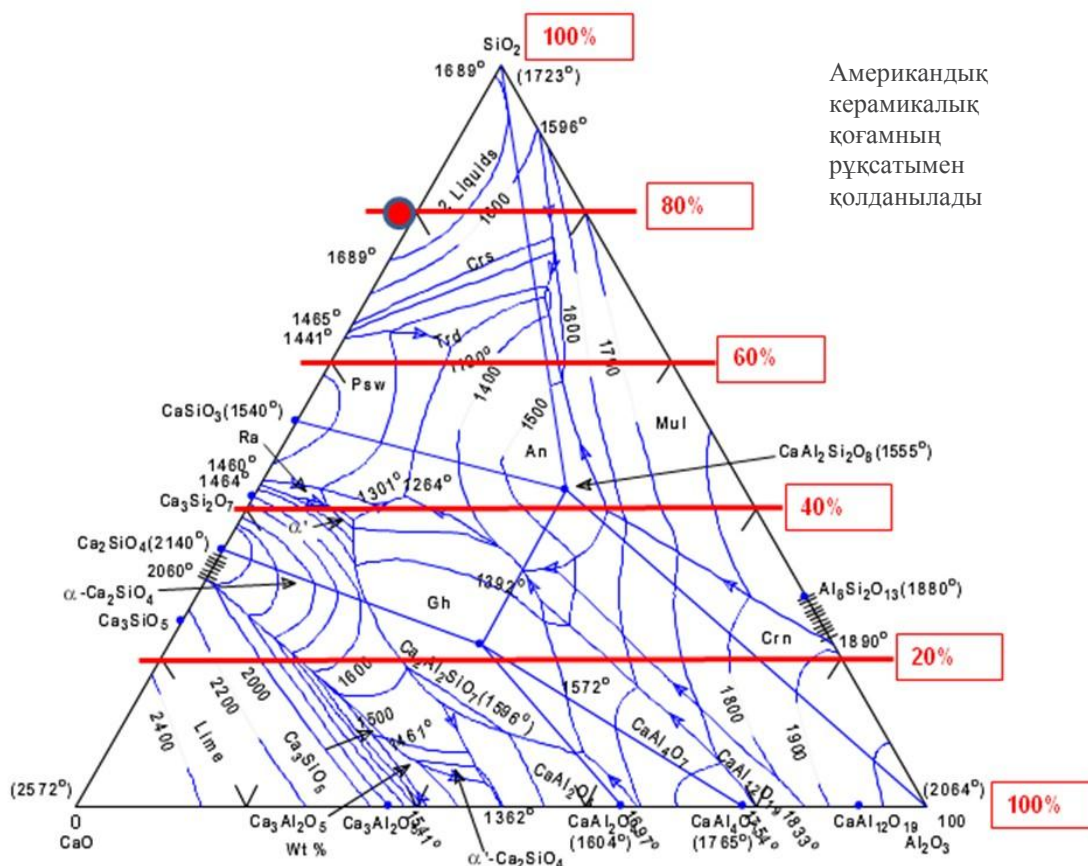
2.14-сурет. $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$
жүйесі.

<http://ceramicartsdaily.org/ceramic-glaze-recipes/glaze-chemistry-ceramic-glaze-recipes-2/how-glaze-melt-in-search-of-the-elusive-eutectic/>

5. Сіз диаграмманың композицияларын ортасында араластыра бастағаннан кейін кейбір негізгі аспектілерге назар аударыңыз. Ең алдымен, комбинация компоненттерінің көмегімен құрылған минералдар бар. Онда компоненттердің әртүрлі қатынасы бар. Диаграммадағы түстер өрістері (2.14-сурет) көрші облыстардың минералдарымен араласқан болса да, әр облыстың ерекшеленген минералын. Олардың негізгілері төменде аталған:

- Кристобалит/Тридимит (SiO_2)
- Корунд (Al_2O_3)
- Әктас (CaO)
- Муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$)
- Псевдоволластонит (CaO-SiO_2)
- Ранкинит ($3\text{CaO-}2\text{SiO}_2$)
- Анортит ($\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$)
- Геленит ($2\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$)

6. Келесі негізгі сәттердің бірі-композиция диаграммада немесе нүктеде жатуы мүмкін графикті қалай құру керектігін анықтау, композицияның кері есебін орындау. Ол үшін бізге 2.15-суретті қалай оқуға болатынын білу керек. Алдымен біз үшбұрыштың үш жағын белгілеуіміз керек (мысал ретінде қызыл нүктені қараңыз). Олар нақты градиенттерді белгілеу үшін тараптар бойынша белгіленген - бұл жағдайда әрбір 20% компонентте ұлғайған. 2.15-суреттегі диаграммадан біз кремнеземді мысал ретінде қолданамыз. Егер сіз таза кремнезем шыңында болсаңыз, сіз басқа екі компоненттің 100% бірге 0%. Шыңынан алып тастау шамасына қарай SiO_2 пайызы төмендейді, сіз үшбұрыш негізінде 0%. қол жеткізбейінше, SiO_2 -нің пайызы төмен түсе береді.



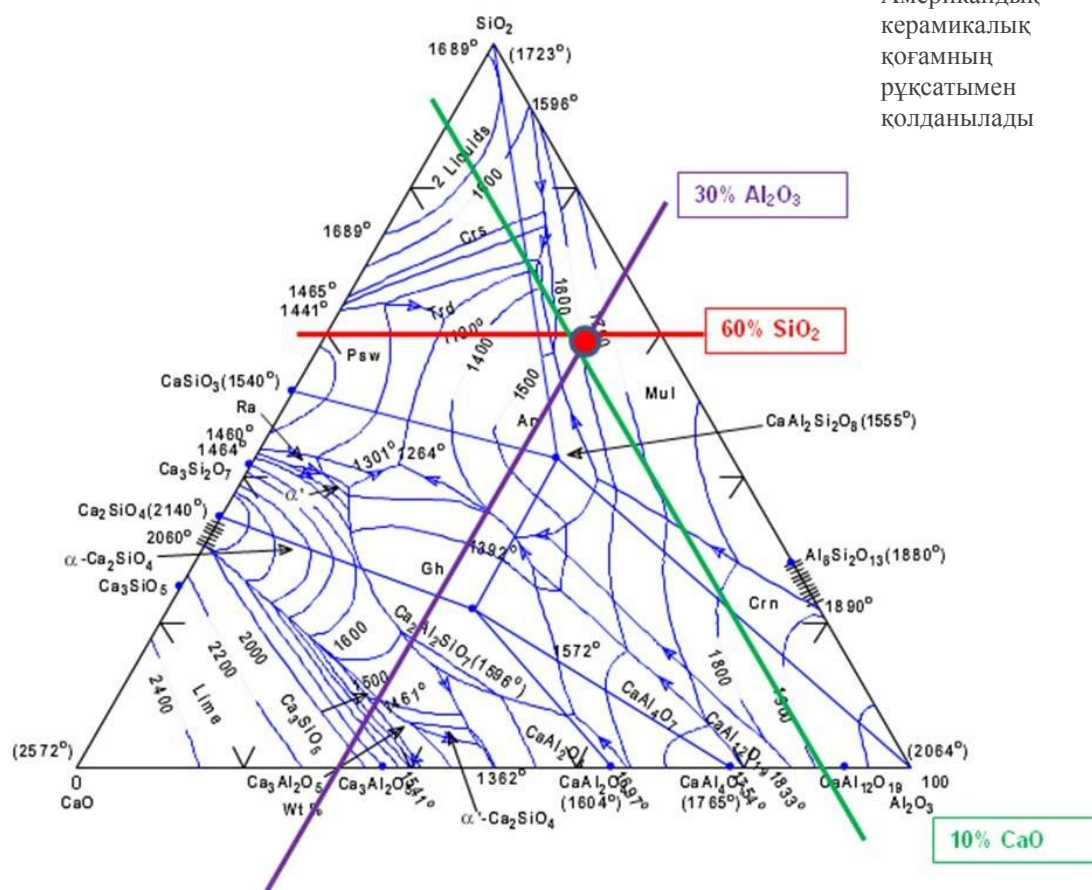
2.15-сурет. $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ жүйесі. Оңтайландыру

G. Eriksson, A.D. Pelton, Metall, Trans. B. 24B[5] 807-816 (1993).

2.16-суретте көрсетілген мысалда біз 60% кремний диоксидінің, 30% алюминий тотығының және 10% әк құрамының нүктесімен қалай жұмыс істейтінін көрсетеміз. Негіздердің/шыңдардың параллель сызықтарының бұл әдісі кез келген фазалық диаграммадан композицияларды құру және/немесе оқу үшін қайтадан пайдаланылуы мүмкін.

Американдық
керамикалық
қоғамның
рұқсатымен
қолданылады

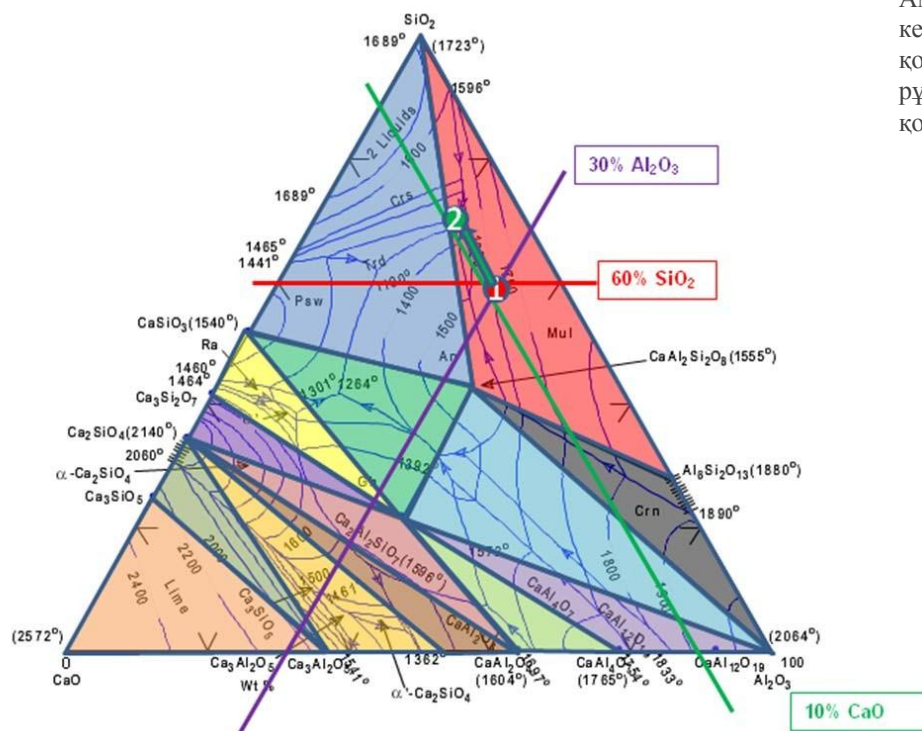


2.16-сурет. CaO-Al₂O₃-SiO₂

CaO-Al₂O₃-SiO₂ жүйесі. Оңтайландыру

G. Eriksson, A.D. Pelton, Metall, Trans. B. 24B[5] 807-816 (1993).

7. Келесі негізгі тармақ - осы композиция үшін балқытудың бастапқы температурасы қандай екенін анықтау және барлық композициялардың бетінде жататынын және нүктелік мәндер емес екенін көру. Алдымен біз тағы бір маңызды сәтке, атап айтқанда, Алькемад үшбұрышына назар аударуымыз керек. Бұл үшбұрыштар фазалық диаграммада ұсынылған және пайдалану үшін 2.17-суретте түспен бөлінген.



2.17-сурет: $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

$\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ жүйесі. Оңтандырылған

G. Eriksson, A.D. Pelton, Metall, Trans. B. 24B[5] 807-816 (1993).

Алькемаде үшбұрыштары үш бастапқы минералды фазаларды ұсынады. Олар кез келген қатты ерітінділерді құрайды және құрамы үшбұрыштың шегінде болады. Егер біз алдыңғы мысалымызды қарастырып, графикалық түрде көрсетсек, Алькемад үшбұрышы 60% кремнезем, 30% алюминий тотығын және 10% әк тас құрамын көрсетеді. Ол кремнезем, муллит және анортиттің бастапқы минералды фазалары бар үшбұрыш шегінде болады.

8. Өңдеу температурасы кезінде сұйықтықтың орналасқан жерін қайда және оны қалай болдырмау керектігін білу қажет. Мысалда (2.17-сурет) диаграммадағы бірінші сұйықтық үшбұрыш ішіндегі үштік жүйенің күйі аралас үшбұрыштарда Алькемад үшбұрышының ішіндегі ең төменгі эвтектикалық нүкте болып табылады. Мысалы, құрамы №1 (~1600°C) нүктесінде болса да, Алькемад ішіндегі ең төмен балқу нүктесі ~1368°C кезінде №2 нүктесінде орналасқан. Бұл негізгі айырмашылық болып табылады және бұл сәт отқа төзімді конструкцияның құрамында қарастырылуы керек. Отқа төзімділікке арналған конструкциялар және олармен байланысты қождар тозу жылдамдығы төмен болған кезде жоғары балқу температурасы бар Алькемад үшбұрышына есептелуі тиіс. Кремнезем жүйедегі негізгі ағын болғандықтан, таза алюминий тотығына мүмкіндігінше жақын қалған әрекет жақсы нәтиже береді.

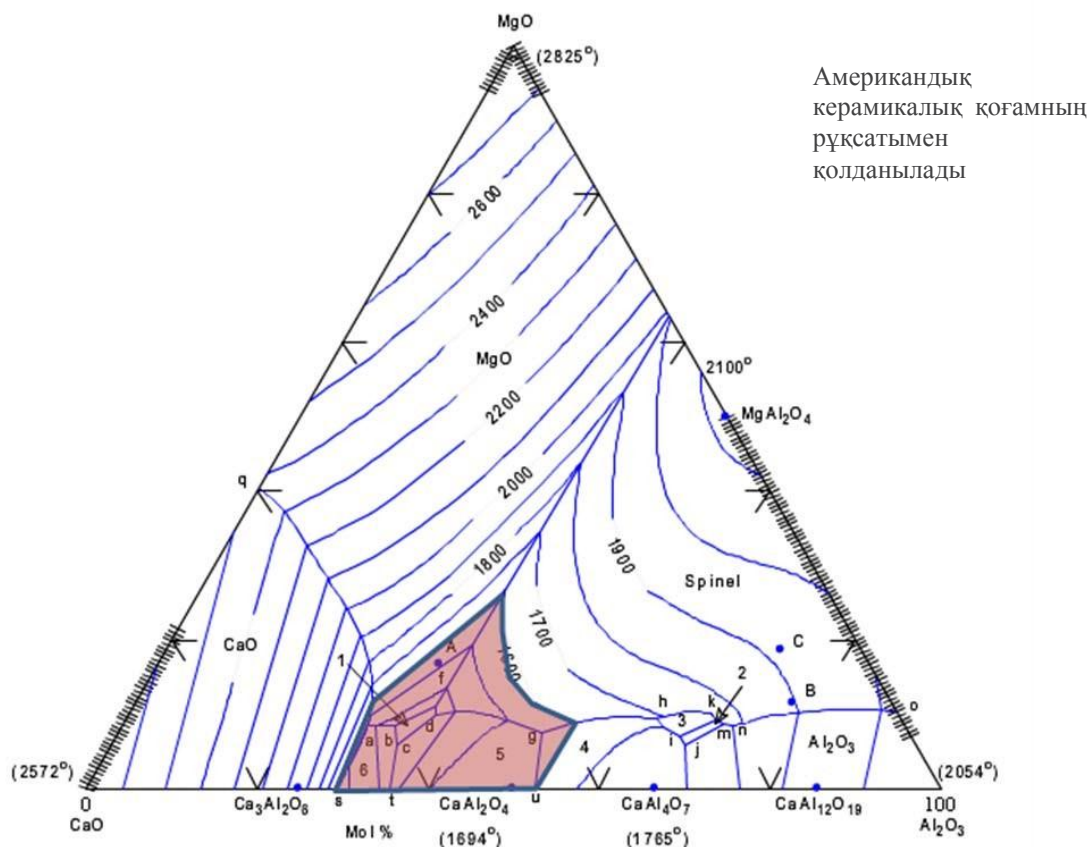
Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

Әрбір фазалық диаграмманың нақты сандары үшін негізгі факторларды және отқа төзімді материалдарға қатысты шешімдер қалай әсер ететінін атаймыз. $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ фазалық диаграмма үшін негізгі нүктелер:

- Бірінші сұйықтық 1170°C кезінде эвтектикалық нүктеде, егер құрамы осы аймақта болса. Сонымен қатар әктас пен кремнезем жағында көптеген қарыспа сұйық беттер бар. Сондықтан сұйықтықтың ерте пайда болуына жол бермеу үшін, отқа төзімді материал тарапынан минералдар пропорциясына қатысты ерекше ұқыпты болу қажет. Егер сізде коррозиямен маңызды проблемалар туындаса (кем дегенде 80% алюминий тотығы), алюминий тотығының 100% шыңдық мәніне жақын қалу негіз болып табылады.
- Дәл осы сәт соңғы 30 жылда болат шөміштер үшін 50-60% алюминий тотығынан >80% алюминий тотығына жылжу үрдісін түсіндіреді. Себебі шөміштер сақтауға/тасымалдауға арналған жай ғана ыдыстардан өңдеуге арналған ыдыстарға айналған.
- Бұл диаграмма балқу нүктесі төмен фазалар глазурь үшін қолайлы болғандықтан, керамикалық ыдыспен немесе сантехникалық өніммен айналысатын адамдар арасында өте танымал.

CaO- MgO-Al₂O₃ (2.18-сурет)

Келесі үш фазалық диаграмма, бұл әктас диаграммасы, магний тотығы және алюминий тотығы:



2.18-сурет: CaO-MgO-Al₂O₃

CaO-MgO-Al₂O₃ жүйесі

I.H. Jung, S.A. Decterov, A.D. Pelton, J. Phase Equilib, Diff., 25 [4] 329-345 (2004)

Бір қарағанда, біз CAS диаграммасынан балкудың төмен нүктесі бар аймақтардан қатты айырмашылығы бар екенін көріп отырмыз және ол қатты ерітінділерден әлдеқайда оңай.

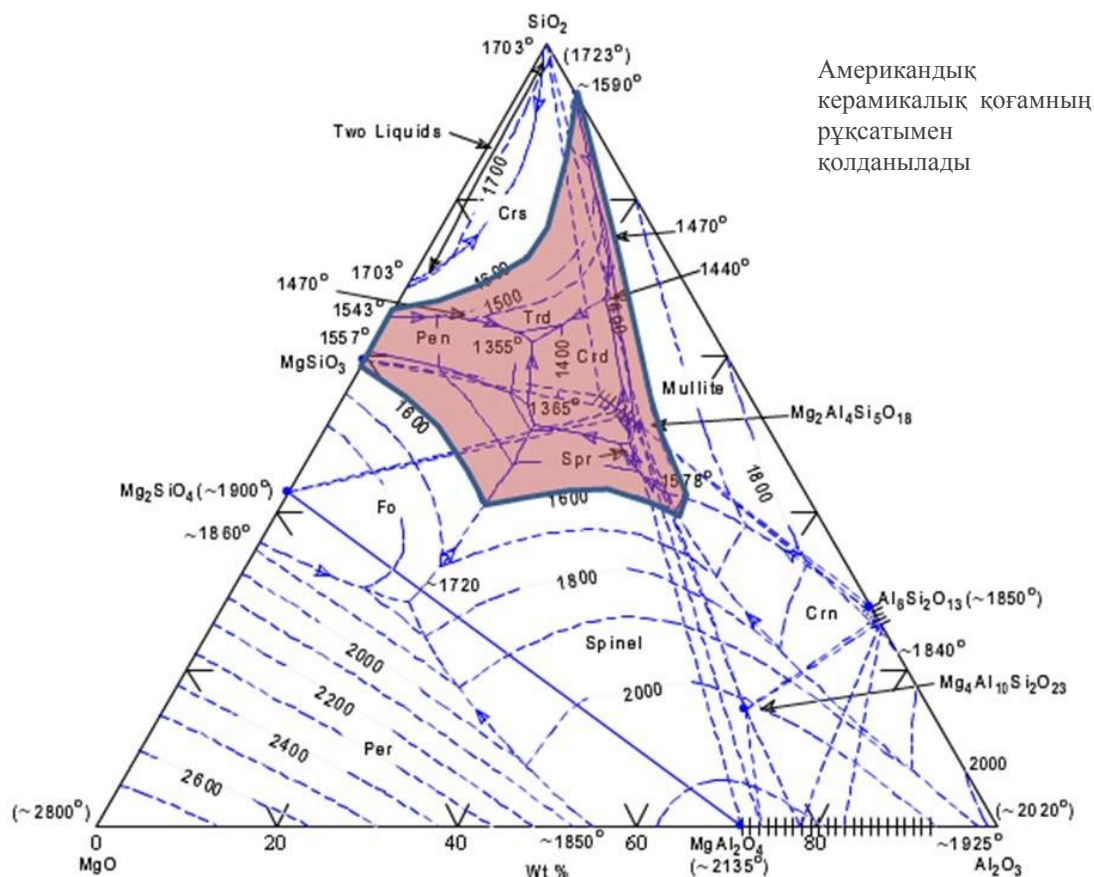
Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер CaO-MgO-Al₂O₃ фазалық диаграммасы үшін негізгі нүктелер:

- Диаграмманың көп бөлігі өте жақсы жоғары температуралы рефрактерлік аймақтарға ие. Шағын облыста сұйық тәрізді белгіленген <1600°C.
- Осы себепті болат өнеркәсібінде MgO-C отқа берік материалдар, доломит және шпинель қолданылады
- (АМС-алюминий тотығын, магний тотығын және көміртекті қоса алғанда).
- Бұл диаграммадағы негізгі сәттердің бірі-көптеген болат құю цехтарында қолданылатын доломитті кірпіштер кальций алюминатынан қоқыстарға қарсы қою қиын.

Диаграммада көрініп тұрғандай, химия балку температурасы төмен аймаққа ығысады. Бұл өте жоғары тозу жылдамдығына әкеледі!

MgO-Al₂O₃-SiO₂ (2.19-сурет)

Келесі үш фазалық диаграмма магний тотығы, алюминий тотығы және кремнезем диаграммасы:



2.19-сурет: MgO-Al₂O₃-SiO₂

MgO-Al₂O₃-SiO₂ жүйесі; құрамасы, E.F. Osborn and A. Muan, тотықты жүйелердің фазалық тепе-теңдігінің жаңартылған және қайта суреттелген диаграммалары, 3 Пластина, американдық керамикалық қоғам және Edward Orton, мл., керамикалық қоры, 1960. ~1550°C дейінгі температура геофизикалық зертхананың шкаласында болады; 1550°C жоғары температура халықаралық шкалада 1948. E.F. Osborn and A. Muan, Пенсильвания мемлекеттік университеті, Мемлекеттік колледж, Пенсильвания; жеке хабар, 1960.

Минералдардың комбинациясы кремнезем деңгейі <25% деңгейінде болғанда жақсы отқа төзімді материалдар бере алады. Сәйкесінше төмен балку нүктелері бар сұйықтықтар түзілмейді.

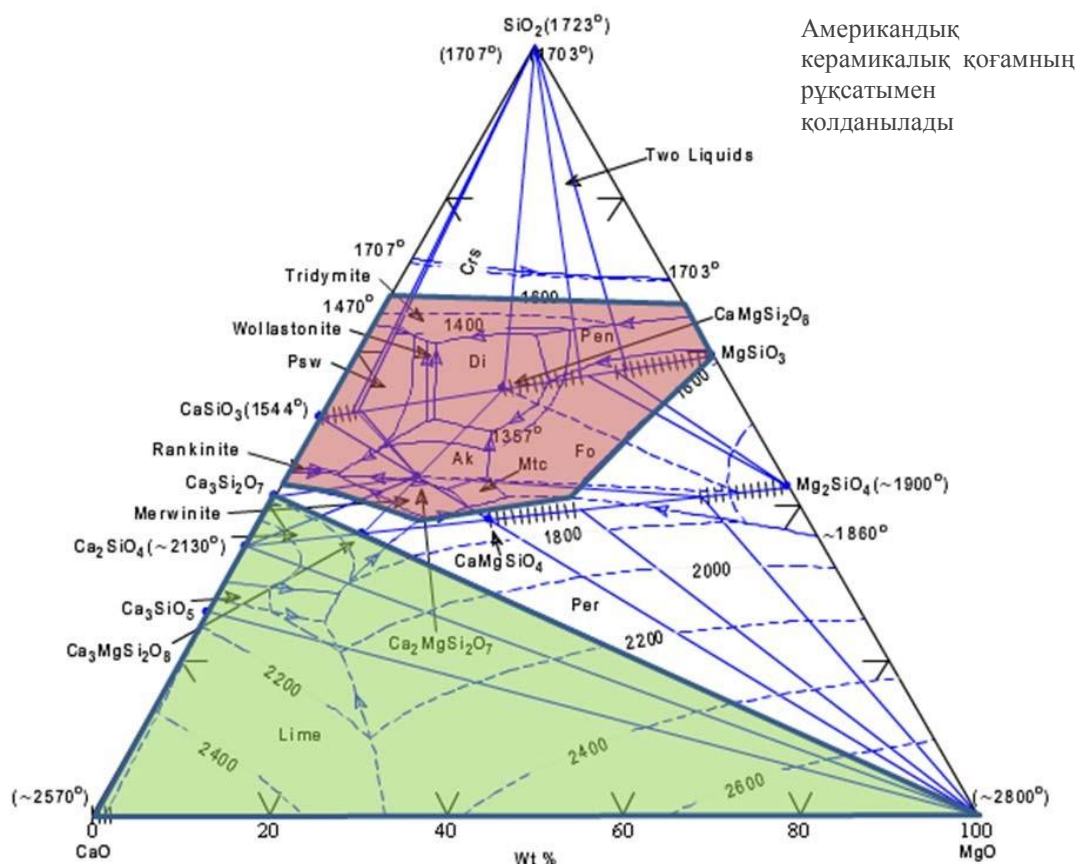
Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

MgO-Al₂O₃-SiO₂ фазалық диаграммаға арналған үш негізгі нүктелер:

- Диаграмманың үлкен бөлігі өте жақсы жоғары температуралы рефракторлы аймақтарға ие. 1300-1400°C температура диапазонында кордиерит және сапфирин сияқты төмен балку нүктесінде компаундтарды жасау арқылы жүйені балқытатын кремнеземнің әсерін айта кету керек. Осы себепті болат өнеркәсібінде MgO-C отқа төзімді материалдар мен шпинель (АМС-алюминий тотығы, магний тотығы, көміртек және МАС-магний тотығы-алюминий тотығы-көміртек) қоса алғанда қолданылады және алюминий тотығы жоғары қождардан аулақ болуға тырысады.

CaO-MgO- SiO₂ (2.20-сурет)

Келесі үш фазалық диаграмма, бұл әктас диаграммасы, магний тотығы және кремнезем:



Американдық
керамикалық қоғамның
рұқсатымен
қолданылады

2.20-сурет: CaO-MgO-SiO₂

CaO-MgO-SiO₂ жүйесі; құрамасы. Е.Ф. Осборн және А. Муан тотықты жүйелердің фазалық тепе-теңдігінің жаңартылған және қайта суреттелген диаграммалары, 3 Пластина, американдық керамикалық қоғам және Edward Orton, мл., керамикалық қор, 1960. ~1550°C дейінгі температура геофизикалық зертхананың шкаласында орналасады; 1550°C-тан жоғары температура 1948 халықаралық шкалада орналасқан. a=1336°C, b=1430°C, c=1436°C, d=1490°C.

Е.Ф. Осборн және А. Муан, Пенсильвания мемлекеттік университеті, Мемлекеттік колледж, Пенсильвания; жеке хабар, 1960.

Отқа берік материалды таңдау жөніндегі мамандарға арналған негізгі нүктелер

CaO-MgO-SiO₂ фазалық диаграммасына арналған негізгі нүктелер:

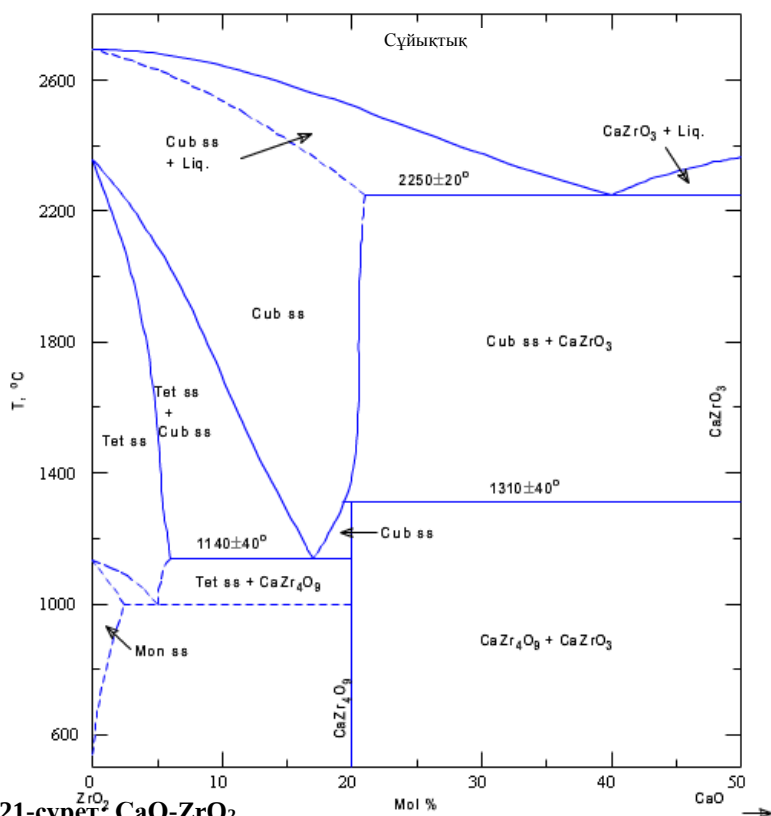
- Балку нүктесі төмен минералдардың үлкен аймағында кездеседі (CaO-MgO-2SiO₂ диопсидінің орталығы бар). Олардан аулақ болу керек. Егер қатынас CaO/SiO₂ <1.5 болса, сұйықтық түзілетін аймақ қалыптасады.
- Бұның отқа төзімді материалдар үшін магний тотығы шикізатын таңдауда өте маңызды екеніне назар аударыңыз. Магний тотығының тазалығын (мысалы, 95% MgO) және қоспалар мен олардың арақатынасын білу қажет. Мысалы, егер қоспалар 1% CaO, 2% SiO₂, 2% өзгелердің 3% CaO, 1% SiO₂ және 1% басқа қатынасын құраса әртүрлі көрінетін MgO кристаллографиясы пайда болады. Микроскоп астындағы қоспалар, әдетте, дәннің шекарасында болады, ал сұйықтықтар екінші мысалмен салыстырғанда, бірінші мысалда шекаралық сызықтарда болады.

Отқа төзімді материалдың фазалық өзгеруі

Отқа берік материалдардағы өзгерістердің көпшілігі әрең ажыратылатын, баяу және бұзылмайтын болып табылады. Дегенмен, олар болат құю цехтарында алынатын отқа төзімді материалдарда шешуші рөл атқаратындықтан, қарастыру қажет екі негізгі өзгеріс бар. Олар: цирконий және кремнезем.

Цирконий

Цирконий- балку нүктесі өте жоғары $\sim 2700^\circ\text{C}$ тамаша материал. Ол табиғи түрінде екі фазаға ие- моноклиникалық (төмен температурада $<1200^\circ\text{C}$) және тетрагональды (жоғары температурада $>1200^\circ\text{C}$). Кристалдық құрылымның теорияларына кірмей тұрып, шамамен 1200°C температура кезінде (диаграмманың сол жағындағы 2.21-суретті қар.) ZrO_2 осы екі фаза арасында ауысады және бұл өзгеріс көлемнің шамамен 7% ұлғаюымен/қысқаруымен (қыздыруға немесе салқындатуға байланысты) қоса жүреді. Мұндай өзгеріс өте жойқын, өйткені материалдың жарылуы мен беріктігінің жоғалуына себеп болады.



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

2.21-сурет: CaO-ZrO_2

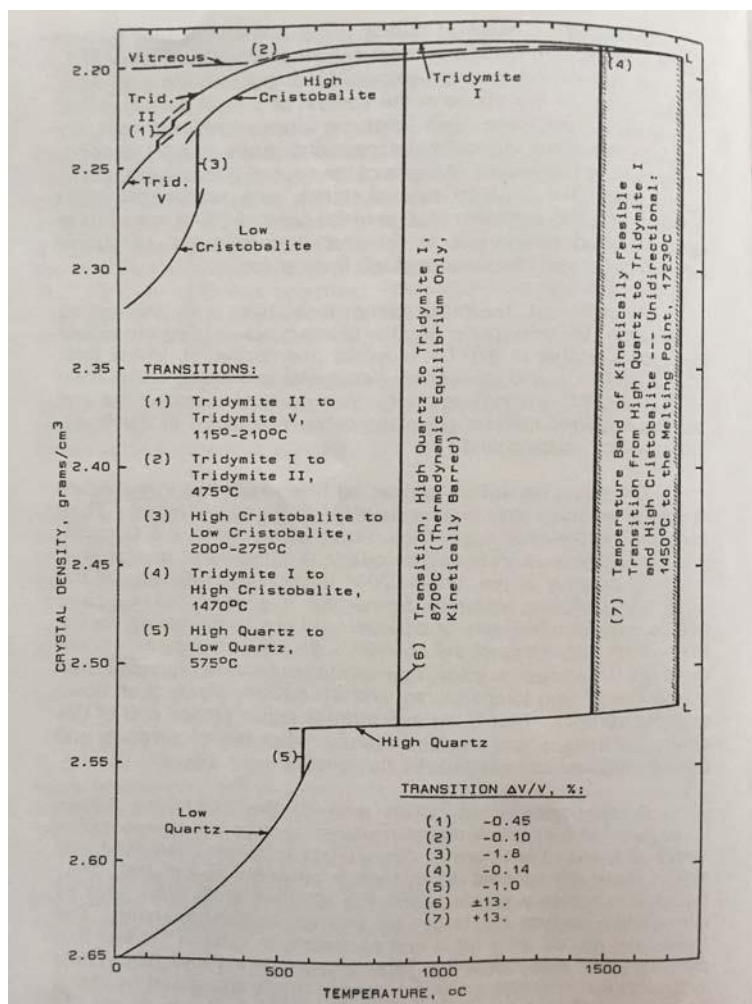
ZrO_2 - CaZrO_3 жүйесі, (A) толық диаграмма,

V.S. Stubican, J.R. Hellmann, Adv. Ceram, 3 [Sci.Techno.Zirconia] 25-36 (1981). V.S. Stubican, S.P. Ray, J. Am. Ceram. Soc., 60 [11-12] 534-537 (1977).

Бұл проблеманы болдырмас үшін цирконийді әктас немесе иттримен «тұрақтандырады» (иттрий отқа берік материалдарды пайдалану үшін тым қымбат болса да). Әк тас массасының 8 %-ын қосу арқылы тұрақты кубтық кристалды құрылымы бар кеңею/қысу проблемаларына ұшырамаған минерал алуға ықпал етеді.

Кремнезем

Кремнезем 2.22-суретте көрсетілгендей өте күрделі бір фазалы минерал болып табылады. Ол төменгі фазадан жоғары кристобалитке (1,8% шектегі кеңейту) немесе кварцтан тридимитке немесе кристобалитке (13% шектегі кеңейту) өзгереді. Бұл отқа берік материалдар үшін жойғыш әсерге ие. Кремнезем негізінде отқа төзімді материалдарды қыздыру және салқындату (кокс пешінен жасалған кірпіш немесе домна пештерінде кремнеземнен жасалған кірпіш)-тек мамандандырылған компаниялар ғана орындайтын өте күрделі процесс. Таза балқытылған кремнеземді жасау өте тиімді термотөзімділік екенін ескеріңіз. Балқытылған кремнеземде нөлдік кеңейту болғандықтан кернеу болмайды.



Өнеркәсіптік отқа берік материалдарды дайындау әдістерінің анықтамалығы (168 бет)

2.22-сурет: Фазалық өтпелер және SiO₂ тығыздығы (3, 11, 21-ші сілтемелер)

2.2 Температураның күрт ауытқуы кезіндегі шытынау

Отқа төзімді материалдарға болат өндіру барысында температураның күрт өзгеруі негізгі проблема болып табылады. Шытынау процесінің жоғары температурасы мен олардың «сериялық» сипатындағы тұрақсыздық температураның жоғарлауына және циклдың жиі ауысуына әкеп соғады.

Шытынау әртүрлі болуы мүмкін: кептіру, уату, еріту немесе қатпарлау. Бұның барлығы жылу жарықтары. Ол қаптаманың ыстық бетінен аздаған ара-қашықтықта пайда болады және оның үстіңгі бетімен қатар өтеді.

Мысалы: болат құю өндірісіндегі шөміштің сырғымалы бекітпесінің пластиналары жарылуға бейім. Олар санаулы секундтарда бөлме температурасынан 1600°C температураға дейін қызады және дұрыс жобаланған жағдайда олардың қызмет ету мерзімі 1-3 циклға дейін төмендейді.

Шытынауға байланысты келесі факторлар қарастырылады:

1. кернеу және деформация
2. жылулық кеңею
3. көрсетілген факторлардың отқа төзімді материалдарға әсері
4. жарылу әсерін төмендету үшін конструкция параметрлері

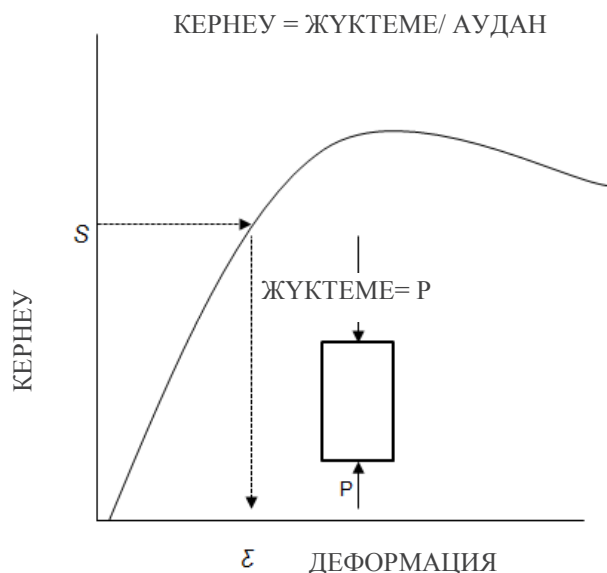
1. Кернеу/ деформация

2.23-суретте көрсетілгендей, конструкцияға ұшырауы мүмкін жүктемелердің екі түрі бар:

1. Кернеуді реттеу жағдайындағы жүктеме
2. Деформацияны реттеу жағдайындағы жүктеме

Кернеуді реттеу жағдайындағы жүктеме

- - Бұл отқа төзімді конструкцияға әсер ететін сыртқы жүктеме күші
- - Бұл ауырлық күші, механикалық жүктеме және қысым
- - Өте жақсы мысал ретінде шөміштің төменгі бөлігіндегі кірпіштерді алуға болады. Кірпіштердің жоғарыдағы жиынтық жүктемесі нәтижесінде ең үлкен кернеуді сынайды.
- - Бұл жағдайда негізгі қасиеттер тығыздық пен беріктілік (мор беріктік шегі) болып табылады. Олар ASTM стандарттарымен өлшенуі мүмкін. Теориялық тұрғыдан карасак, егер жүктеме материалдың беріктігінен асып кетсе, онда материал жойылады.



2.23-сурет: Кернеу/деформациядан түсетін жүктемелер

Шын мәнінде көптеген керамикалық материалдар қысу нәтижесінде пайда болған жүктеме кезінде бұзылмайды (> 90% қысу кезінде бұзылмайды). Ерекшелік болат құю өндірісінде емес, биіктігі жүздеген фут қаптама конструкцияларында (мұнай-химия өнеркәсібінде) анықталады.

- - Нәтижесінде отқа төзімді материалдарды бұзу үшін жеткілікті қысу күші пайда болуы мүмкін.

Деформацияны реттеу жағдайындағы жүктеме

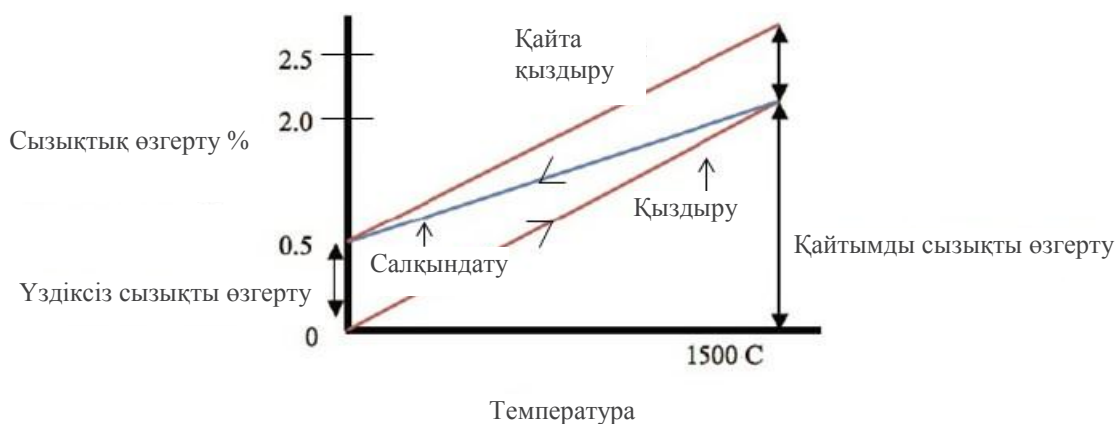
Екінші жүктеме түрі деформациялық немесе ішкі жүктеме болып табылады.

Ішкі жүктеме отқа берік материалдың жылулық ұлғаюының салдарынан құрылады. Өйткені ол қызады және осы температурада сақталады. Бұл материалдың едәуір зақымдануына әкелетін отқа төзімді материалдар үшін жүктеменің негізгі түрі.

Егер жылудың ұлғаюы еркін болса, онда ешқандай проблема туындамас еді. Алайда, олар сауытта болғандықтан (яғни болат қаптамасы, жиектер сегменттері, үздіксіз құю), отқа төзімді материалдардың өсуін шектейтін болат қаптамасы/шекарасы бар.

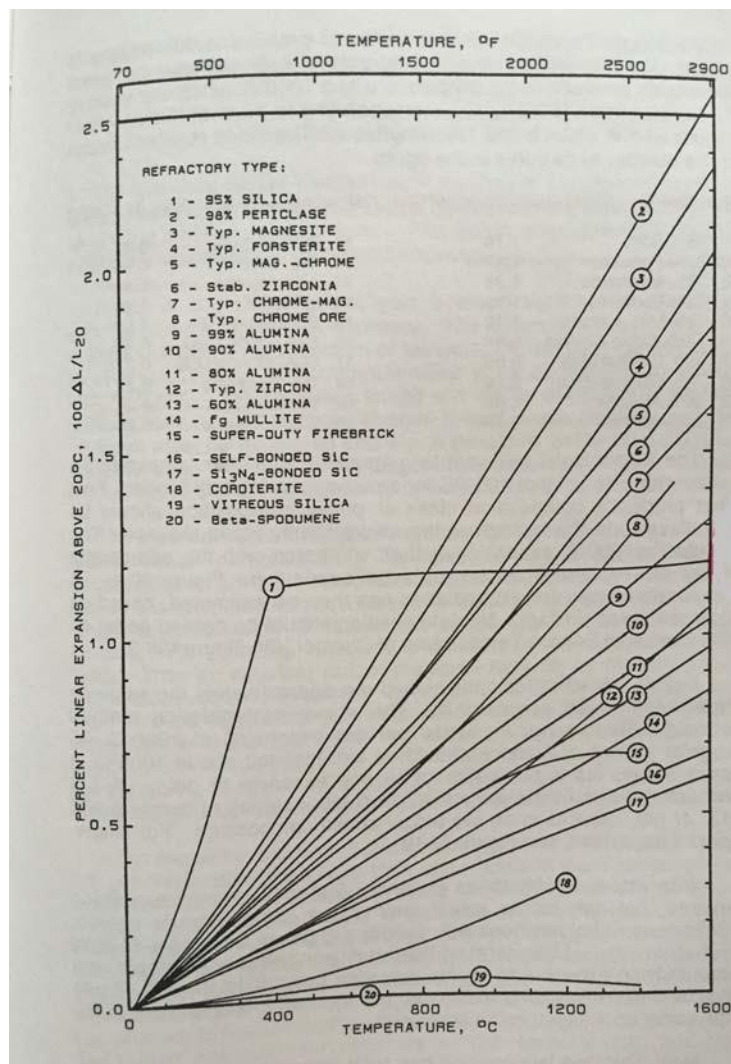
Жылудың ұлғаюы 2.24-суретте көрсетілгендей екі негізгі бөлікке бөлінген:

- Үздіксіз сызықтық өзгерісі бар материал белгілі бір температураға дейін қызады және содан кейін салқындатылады. Материалдың бастапқы өлшемдерінің өзгеруі материал ішіндегі химиялық реакцияның салдарынан болады.
- Кері сызықты өзгерісі бар материал белгілі бір температураға дейін қызады; материалдың бастапқы өлшемдерінің өзгеруі отқа берік материалдарда пайдаланылатын шикізаттың табиғи атомдық кеңеюі салдарынан болады.



2.24-сурет: Жылулық кеңеюнің ұлғаюының сұлбалық көрінісі: үздіксіз және қайтымды сызықты өзгеріс

2.25-суретте көрсетілгендей қайтымды сызықтық өзгерістің (0.05% MgO үшін 2.7% дейін балқытылған кремнезем үшін) айтарлықтай өзгеретінін ескеріңіз.



Өнеркәсіптік отқа берік материалдарды дайындау әдістерінің анықтамалығы (168 бет)

2.25-сурет: Отқа төзімді материалдардың желілік жылулық кеңеюі

Жоғары кеңейту жоғары кернеуге әкелетініне назар аударыңыз. Бұл құбылыстарды айналып өтудің бірнеше жолы бар. Олардың біріншісі 2 және 3 теңдеулерінде көрсетілгендей сауыттың құрылымына жылудың кеңеюіне арналған әдісті қосу болып табылады.

Жылудың ұлғаю әдібі

$$T.E. = \alpha = (1 + \%PLC) \times (\%RLC \times T) \times t$$

2- теңдеу

T.E. = a = жылулық кеңею

%PLC = пайыз түріндегі үзіліссіз сызықтық өзгеріс

%RLC = пайызбен көрсетілген үзіліссіз сызықтық өзгеріс

T = температура

t = материал қалыңдығы

T.E.A = жылулық кеңеюдің әдібі

$$T.E.A. = 0.5 \times T.E. \text{ (Том ережесі)}$$

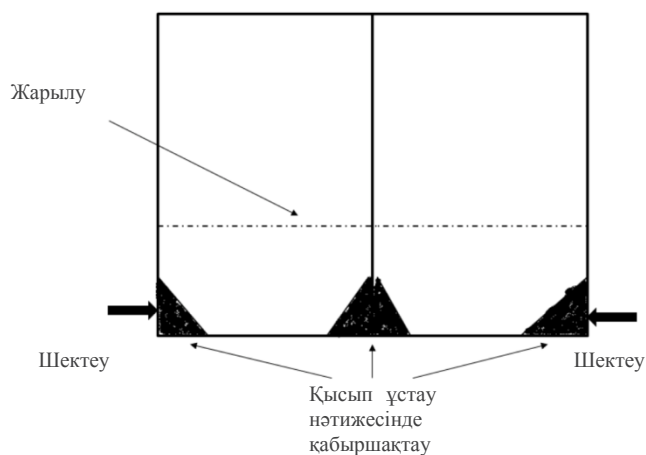
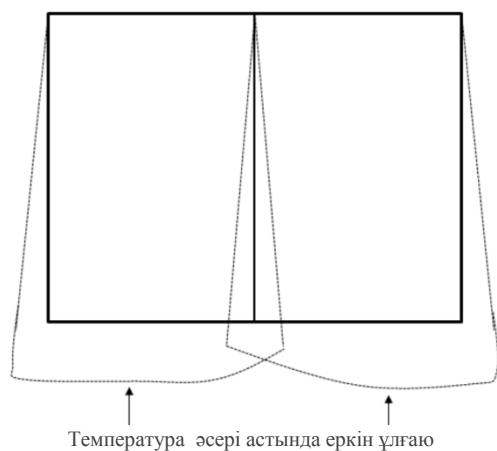
Мысалы: Пештен шыққан кірпіштің жылулық кеңеюі КОБМ T.E. = ~50 мм, осылайша, T.E.A. = (50/2) = 25 мм Екі тікелей нәтиже мүмкін:

1. Кеңейткіш қағазы жеткіліксіз/шағын әдіб = олар шектеулі кеңістікте кеңейтілетіндіктен, кірпіштер жарылып кетеді. (Олар кернеуді сіңіре алмайды).
2. Кеңейткіш қағазы тым көп/ірі әдіб = кірпіш түйіспесінің арасында саңылаулар пайда болады. Соның нәтижесінде болаттың ену қаупі артады және/немесе кірпіштер жылжуы пайда болады.

Сурет 2.26-суретте көрсетілгендей кірпіштің радиалды түйіспесінің ыстық жағындағы бұрыштарында оның бұзылуына себепші болатын түйіндік тығыздауыштардың пайда болуы және/немесе қысып ұстау нәтижесінде қабыршақтайтын аймақ байқалады.

а) Еркін ұлғаю

б) Шектемелі ұлғаю және кернеу әсері астында жарылу



Сурет. 2.26: Кірпіштердің радиалды түйіспесінің ыстық жағының бұрыштарында түйіндік тығыздауыштардың пайда болуы және/немесе қысып ұстау нәтижесінде қабыршақтау

- Кірпіштің алдыңғы (ыстық) жағы артқы (суық) жағынан көбірек кеңейтіліп, кірпіштің жылулық кеңею әдібі және/немесе кірпіштің жұмсауы жеткіліксіз болған жағдайда және қысып ұстау нәтижесінде қабыршақтау пайда болады.
- Бұл жерде белгілеп қойылатыны, осы фактіні дәлелдейтін, бір өлшемді және тіпті екі өлшемді жылулық есептеулердің отқа берік материалдардың шынайы талдауы үшін жарамсыз екендігін және көптеген болат сауыттарда стационарлық күй болмайтынын растайды. Сондықтан, алдымен, шын мәнінде не болып жатқанын көріп, жағдайды модельдеуге тырысыңыз.

Деформация нәтижесіндегі жүктемелерге арналған материалдық орындалуын талдау нәтижесі

Деформация нәтижесінде ішкі жүктеме үшін бұл сипаттаманы дәл өлшеу үшін ASTM немесе басқа сынақ жоқ. Өйткені варианттылығы үлкен мәнді сынауға қиындық бар.

Қолданылатын сынақтардың бірі (бірақ тиімді емес) қыздыру кезінде (HMOR) беріктік шегі сынағы; дегенмен, біртекті кірпіштің құрылымын, отқа төзімді қоспаны және т.б., сондай-ақ материал бойынша біркелкі температураның болуын болжайды. Отқа берік материалдар біркелкі болмағандықтан және бүкіл материал бойынша температура градиентінің жоғарылауымен, сондай-ақ температураның өзгеруімен, мұндай материалдардың қасиеттері әртүрлі температурада әрекет ететін әр түрлі қосылыстарды қамтиды - бұл процесті өлшеу қиын.

Теориялық тұрғыдан кернеуді есептеу 2.27-суретте ұсынылған:

S – термиялық кернеу

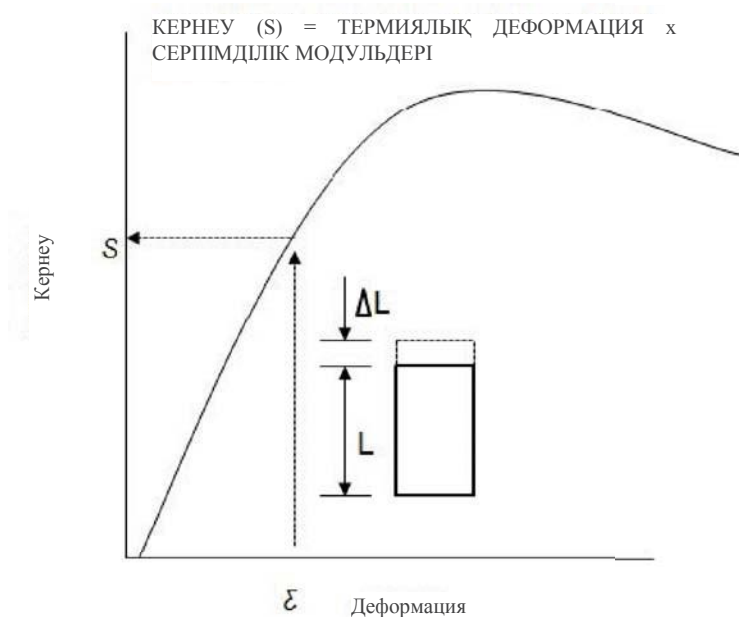
E – серпімділік модулі

α - жылулық кеңею

ΔT – температураның өзгеруі

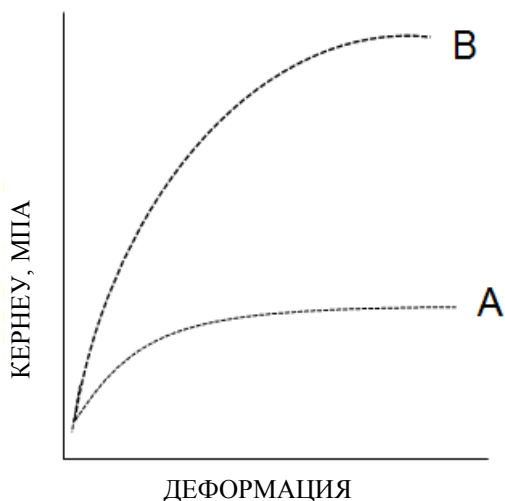
$$S = \alpha \Delta T E \quad (\text{толық бекітілген қаптама})$$

4 теңдеу



2.27-сурет: Кернеудің теориялық есебі

Тағы бір маңызды фактор - бұл материалдың температураға байланысты әртүрлі әрекет етуі. 2.28-суретте көрсетілгендей бөлме температурасында отқа берік материалдар морт қасиеттерге ие (A), алайда жоғары температура кезінде олар «жылжымалылықты» (сұйықтықтың қалыптасуына байланысты жұмсарту) көрсетіп, иілімді материалдар (B) сияқты әрекет етеді.

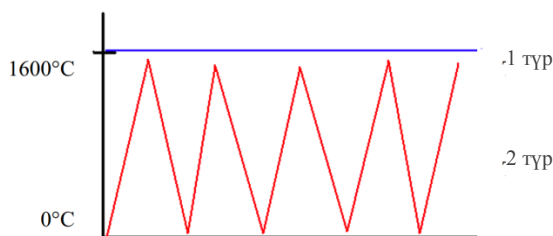


Сондай-ақ, жылжымалылық «уақытқа тәуелді деформация» деп аталады және температура өсуіне сәйкес көтеріледі.

Айта кететіні, мұндай жағдай, әдетте, болат балқытуға арналған отқа төзімді материалдармен байланысты емес, өйткені қайта қаптамалаудың басым бөлігі бірнеше айдан кейін жүреді (НОК пештері үшін ең ұзын процес 6 айды құрайды). Уақыт туралы мәселе пеш кірпіштерін немесе кокс зауытында немесе кез келген сауыт болған жағдайда маңызды болады. Өйткені бұл жағдайда 5 жылдан 40 жылға дейінгі уақыт туралы айтып отырмыз.

Кернеу немесе деформация әсерінен материал жүктемеге ұшыраған жағдайларда, басқа да отқа төзімді материал жасалуы керек. (2.29-суреттегі 1-типті салыстыру ұсынылады - шағын температураның өзгеруімен сыртқы кернеу нәтижесінде жүктемеге ұшыраған материал және 2-типті - қысқа уақыт кезеңі ішінде жоғары температураның өзгеру кезеңділігі бар материал).

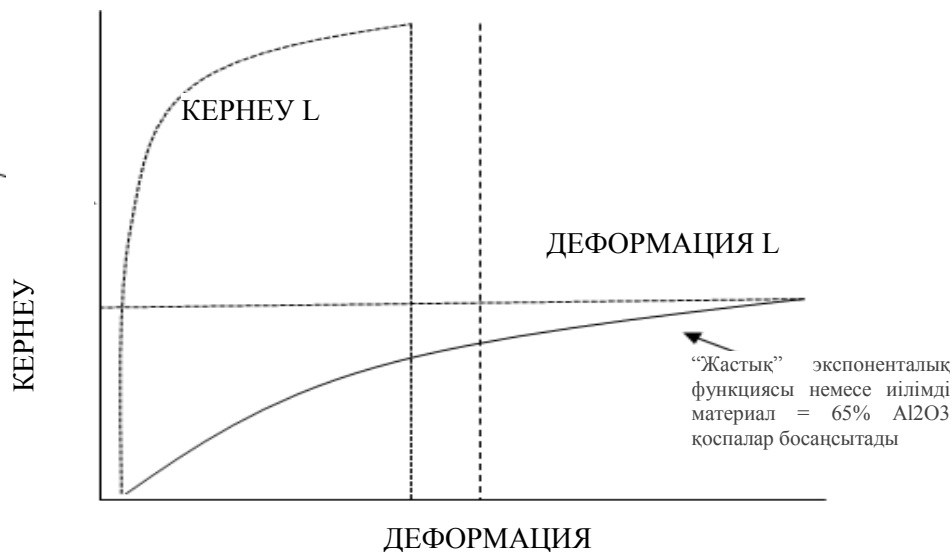
2.28-сурет: Температураның көтерілуіне байланысты морт (А) және иілімді (В) материалдың сипаттамалары



2.29-сурет: Шағын температураның өзгеруімен (1 түр) және жоғары температура өзгеру кезеңділігімен (2 түр) материал үшін кернеу мен деформация нәтижесіндегі жүктеу.

2.30-суретте төмен температураларда морт керамиканың екі мысалы көрсетілген. Ал кернеуге байланысты жүктемемен (кофе шыныаяғы) сұйық фазаның кейбір ішкі формасы бар иілімді материал, деформацияны сіңіретін және иілімді түрдегі материал.

Морттылықтың экспоненталық функциясы = 90% Al_2O_3 тазалық = төмен беріктік, яғни кофе шыныаяғы



2.30-сурет: Төмен температурадағы морт керамика (90% Al_2O_3) және иілімді материал (65% Al_2O_3)

Төзімді материалдарды өндірумен айналысатын NARCO фирмасында жұмыс істеген Бо Брезнмен әңгімем әлі есімде. Ол кернеу нәтижесіндегі жүктемелер үшін (жарықтардың пайда болуына кедергі жасайтын) немесе деформация нәтижесінде (жарықтардың таралуына кедергі жасайтын) жүктемелерге «жастық» бола алатын мүмкіндігінше берік материал жасау керек екенін айтты.

Салада уақыт өте келе ~~салада~~ дамыған кейбір практикалық ережелер:

1. Қаттылық (морттылық) алюминий тотығы құрамының артуымен артса, тығыздық көбейеді (мүмкін, сұйық фазаның пайда болуына және кернеуді азайтуға ықпал ететін қоспалардың санын азайту есебінен).
2. Химиялық байланыстырылған жоғары сазбалшықты кірпіштер күйдірілген жоғары сазбалшықты кірпішке қарағанда (жарықтарға әлдеқайда сезімтал, себебі күйдірілгеннен кейін барлық икемділік жоғалады және күйдірілген кезінде пайда болған сұйық фазаның бір бөлігі енді шыныға айналады және жарықтың таралуына ұшырайды) үлкен икемділікке ие (қыздыру кезінде кернеудің сіңуіне және иілуіне байланысты).
3. Тығыздық, шамасы, кірпіштің қаттылығына (морттылығына) айтарлықтай әсер етеді. Тығыздық артқан кезде, қаттылық (негізінен, сызаттардың пайда болуына кедергі келтіретін кемірекше тесіктердің аз саны нәтижесінде) артады.
4. Жоғары жылулық кеңеюі бар кірпіш әрқашан төмен жылулық кеңеюі бар (мысалы, 0,05% кеңейтуі бар балқытылған алюминий тотығы жарылмайды, магний тотығынан 2,5% кеңейтуі бар кірпішті қабыршақтануға төтенше үрдіс көрсететін) кірпішке қарағанда қабыршақтануға бейім болады.

Жарылудың алдын алу үшін екі теория

Жарылыс жойғыш әсерге ие болғандықтан одан аулақ болғымыз келетіні анық. Себебі ол, біздің коммерциялық мақсатымызға жетуде кедергі келтіреді. Сондықтан, жарылудың алдын алу шешуші сәт болып табылады. Жарылудың алдын алу үшін екі теория бар және олар төменде сипатталады:

1. Жарықтардың пайда болуына жол бермеңіз: ең берік материалды қолданыңыз және жарықтар үшін бастапқы нүкте бола алатын жарықтар және/немесе ақаулар жоқ екеніне көз жеткізіңіз. Бұл теория фарфор және техникалық керамикаға қарағанда отқа төзімді материалға жарамды. Олар әртекті материалдар болғандықтан, соңғылары әрдайым жарықшалар мен ақауларға ие. 5 және 6 теңдеулер осы материалдар түрлерінде қолданылады:

$$R = \frac{\sigma_f(1 - \mu)}{Ea} \quad 5 \text{ теңдеу}$$

$$R' = \frac{k\sigma_f(1 - \mu)}{Ea} \quad 6 \text{ теңдеу}$$

Мұнда:

R, R' – термиялық кернеулерге кедергілер коэффициенттері

Sigma – беріктік (σ+)

μ – Пуассон коэффициенті

E – серпінділік модулі

α – сызықтық кеңею коэффициенті

Осындай сценарийде, беріктілігі жоғары материалдар жарықтарға төзімді болуы керек. Ешқандай жарық жасалмағандықтан, бұл отқа төзімді материалдарға тән емес. Жарық пайда болғаннан кейін, ол апатты түрде тез тарайды.

2. Жарықтың таралуына жол бермеңіз: Жарықтар мен ақаулар әрдайым болатындығын білетіндіктен, жарықтың таралуын болдырмау үшін жарылуды тоқтату дұрыс шешім. Бұл отқа төзімді материалдарға қолданылатын жалғыз әдіс!

7-ші теңдеуде осы көрсетілген:

$$R''' = \frac{E\gamma_e f_f}{\sigma^2(1 - \mu)} \quad 7\text{- теңдеу}$$

R'' – термиялық кернеуге кедергі коэффициенті

y – жою жұмысы (икемділікті айтарлықтай дәрежеде өлшейтін деформация-кернеу қисығы астындағы аймақ)

σ – беріктік

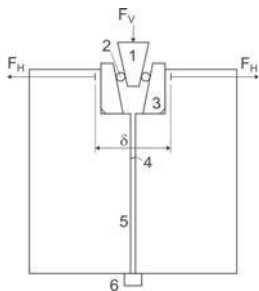
μ – Пуассон коэффициенті

E – серпімділік модулі

Осы сценарийге сәйкес, жарылуға қарсы тұруды жақсарту үшін «жою жұмыстарын» арттырып, беріктігін азайту керек. Яғни кернеуді сіңіретін «жастық» кірпіш жасау қажет.

Жою жұмыстарын өлшеуге қабілетті сынақты жасау үшін кейбір жұмыстар жасалғанын атап өту керек.

Бұл сынақ - жою модулінің (MOR) модификацияланған сынау нұсқасы немесе сынаны пайдаланып, жаруға арналған сынақтар; 2.31-суретте көрсетілгендей, қолданылатын жүктеме бойынша жылжу/деформацияны өлшеу үшін пішінді қамтуға түрлендірілген.



2.31-сурет: Сынаны пайдалану арқылы отқа төзімді материалдарға арналған жару сынықтары Г. Гармут рұқсатымен

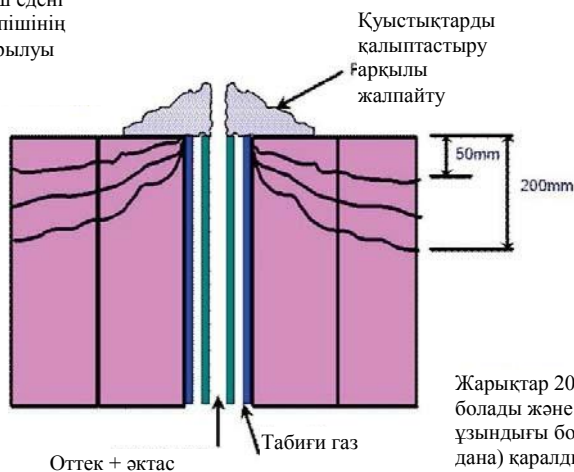
Отқа төзімді материалдың жарылу беріктігіне қатысты сұрақты шешудің кілті

Осы күрделі тозу механизмі үшін біз енді жұмыс ортасын қалай жобалауға және баптауға болатынын талқылауға келдік! Бірнеше нұсқалар бар және олардың барлығы қолдануына байланысты түрлі табыстармен сыналды.

Осыны көрсету үшін біз «Максхютте» (Kloeskner) металлургиялық зауытында қолданылатын пеш еденінің мысалын қолданамыз. 2.32-суретте көрсетілгендей, осы аймақ болат өнеркәсібіндегі жарылуға ең сезімтал болып табылады. Пеш едені табиғи газды және оттегіні НОК-та балқытылған болатпен ваннаға фурмалар сериясы арқылы себу процесінде қолданылады. Сұйық ванна 1650°C температурада, ал фурмаға жақын аймақ (табиғи газбен реакциясына байланысты) шамамен 200°C температурада болады; бұл деңгей бүкіл процесс бойы сақталады. 2.32-суретте кернеуден туындаған табиғи жарылу мысалдары келтірілген; бұл мәселе 1990-шы жылдардың басында шешілген.

Мысалы: КОВМ пеш еденінің кірпіші

Пеш едені
кірпішінің
жарылуы



2.32-сурет: КОВМ пештің камерасындағы пеш еденінің кірпіші жарылуының схемалық көрінісі

Жарылу беріктігін арттырудың алты тәсілі бар. Олардың барлығы кейінірек талқыланады.

№ 1) Жоғары жылуөткізгіштігі/жоғары температура өткізгіштігі

Жылу жүйеден тез ыдыраған сайын, кірпіштің алдыңғы бөлігінен артқы бөлігіне дейін температураның градиенті соғұрлым төмен болса, соғұрлым жарылуға ықпал ететін кернеу төмен болады. Өткізгіш және оқшаулағыш материалдың сипаттама мысалдары 2.33-суретте келтірілген.

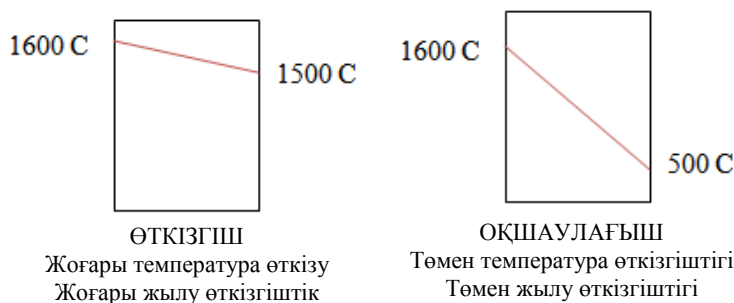
Кейінірек мәтінде кездесетін бірнеше жылдам анықтамалар :

Жылу өткізгіштік (K)-материал бойынша жылу өткізу қабілеті.

Жылу сыйымдылығы (C) - материалдың жылуды сақтау қабілеті.

Температура өткізгіштігі (β) - материал бойынша жылуды тарату қабілеті.

Тығыздық (P) - материал тығыздығы.



2.33-сурет: Өткізгіш және оқшаулағыш материал сипаттамаларының мысалдары

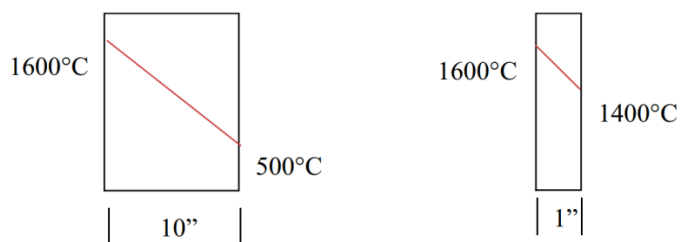
Үй тұрмысынан жақсы мысал ретінде алюминий және шойын табаларын салыстыруға болады. Алюминий қызады және жылдам салқындатылады - жоғары температура өткізгіштігі; жоғары жылу сыйымдылығы бар және жылуды ұстап тұратын шойынмен салыстырғанда оның қызуы мен салқындауына көп уақыт кетеді. Бірақ ол тұрақты температураны жақсы сақтайды.

Біздің КОВМ пеш еденінің кірпіші мысалында, жоғары C деңгейлері жарылудың алдын алуға көмектесті (басқа коэффициенттер тұрақты болып қалды). Көміртектің жоғары деңгейлерінде графит үздіксіз фаза болып табылады. Сондықтан жоғары K мәніне және төмен беріктікке байланысты жарылудың алдын алуға көмектесетін тотықты байланыс жоқ.

№ 2) Қаптама/көлденең қимасы жұқарақ болса, жарылуға сонша жақсырақ

Жүйеден жылу тез ыдырауы мүмкін болса, кірпіштің алдыңғы бөлігінен артқы бөлігіне температураның градиенті неғұрлым төмен болса, соғұрлым жарылуға ықпал ететін кернеу төмен болады.

Температура градиентін азайтудың тағы бір тәсілі - ыстық және суық беттер арасындағы жылулық кеңею айырмашылығы олардың арасындағы қашықтықты жұқарақ қаптама көмегімен азайту болып табылады. 2.34-суретте ыстық және суық бетінің температурасы арасындағы айырмашылық (ΔT) жұқа қаптама жағдайда әлдеқайда төмен екенін көреміз.



2.34-сурет: Ыстық және суық беттер арасындағы температура айырмашылығы (6Т)

Біз НОК пеш еденінің кірпіші үшін кірпіштің көлденең қимасын 150 мм-ден 100 мм-ге ауыстыру арқылы жарылуға қарсы тұрақтылықты жақсартуға мүмкіндік алдық. (Ыстықтан суық бетке ауысқанда ешқандай айырмашылық болмаса да, кішірек кірпіштің өлшемі көлденең жылулық кеңеюді және жарылуды қамтамасыз етті. Қар. 2.35-сурет.



2.35-сурет: НОК пеш еденінде көлденең қиманы азайтудың практикалық мысалы

№ 3) Беріктігі төмен материалдар жарылу деңгейінің төмендігін көрсетеді

Материалдың қасиеттері бойынша бұрын жүргізілген жұмыстарды ескере отырып, біз қайтадан жарылуға (R'') кедергі коэффициентін қысқаша қарастырамыз. Берілген отқа төзімді материалдың мәні неғұрлым жоғары болса, жарықтар пайда болуға тұрақтылығы соғұрлым жақсы болады.

Формула 8-теңдеуде көрсетілген

8 -теңдеу

$$R'' = \frac{E \epsilon_f}{\sigma^2 (1 - \mu)}$$

R'' – термиялық кернеуге қарсы кедергі коэффициенті

ϵ_f – жою жұмысы (деформация-кернеу қисығы астындағы аймақ, ол икемділікті айтарлықтай дәрежеде өлшейді)

σ – беріктік

μ – Пуассон коэффициенті

E – серпімділік модулі

Осы формулаға сәйкес, жарылуға қарсы тұруды жақсарту үшін беріктікті азайту немесе басқа сөзбен айтқанда кернеуді сіңіретін «жастық» кірпіш жасау қажет.

Бұл көптеген адамдардың интуитивті түсінігіне қайшы келетінін айта кету керек. Өйткені олар оны берік қылып жасаса жарылмайды деп ойлайды.

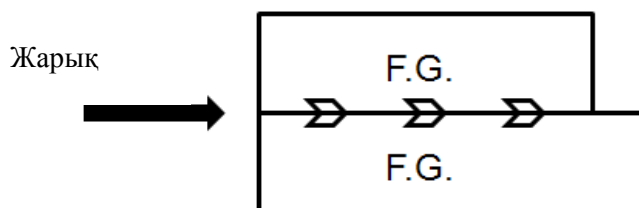
Көміртек деңгейін арттыру және антиоксиданттар мөлшерін азайту арқылы материалдың беріктігін азайту үшін КОБМ пеш еденінде жұмыс жүргізілді. Нәтижесінде бұл материалдың жарылуын азайтты.

№ 4) Жойлудың жоғарғы жұмысы (жарықтарды сіңіру қабілеті)

Жою жұмыстарын арттырудың бес негізгі жолы бар:

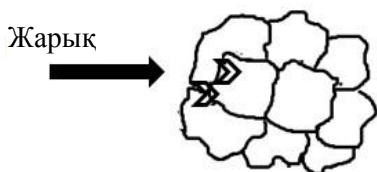
1. Кеуектіліктің жоғарылауы (материалдың кеуектілігі неғұрлым жоғары болса, сынудың қалыптасу кезінде тесіктерге жетуі ықтималдығы көп. Бұл тесік кернеуді сіңіреді, ал сыну тарауды тоқтатады). Алайда жоғары кеуектілік жоғары тоттану төзімділігіне әкелуі мүмкін, бірақ біз бұл туралы кейінірек талқылаймыз!
2. Көп микроақаулар саны (мысалы материалдағы микроақаулар көп болса, тазалығы жоғары MgO дәндерінің айналасындағы балку кезеңі, сынықтың қалыптасуы кезінде бұл ақаулыққа келу ықтималдығы, соғұрлым жоғары болады. Соңғысы кернеуді сіңіреді, нәтижесінде сыну таралуын тоқтатады).
3. Ерітілген дәнді емес, күйдірілген шикізаттан дәндерді қолданыңыз.

Ерітілген дәндер жарықтарды сіңіре алмайды, өйткені ол дәннің шекара бойымен өтіп, таралуын жалғастырады (тіпті матрицадан дәндерді тарта алады). Ол сызба бойынша 2.36-суретте көрсетілген.



2.36-сурет: Балқытылған дәндегі жарықтарды сіңуі: жарық дәннің шекара бойымен өтеді

Күйдірілген материалдар жарықты сіңіре алады. Өйткені олар материалдың өзінде микроақаулар болып табылады. Дән шекарасы бойында кішкентай жарықтар пайда болып, содан кейін 2.37-суретте көрсетілгендей, басқа ұсақ дәнге өтіп, тоқтай алады.



2.37-сурет: Күйдірілген дәнде жарықтарды сіңіру: жарықтар микроақаулармен жұтылады

4. Жұмсартқыш материалдарды қосыңыз. Мысалы, MgO-C кірпішіндегі шайыр ұнтақтарын пайдалану жоғары температурада шағын сұйық фазаны жасайды және ол кернеу сіңіргішке айналады. (В 2 О3 аз саны осындай тиімділігін қамтамасыз ете алатындығына назар аударыңыз).
5. Тот баспайтын болаттан жасалған инелер (немесе кез келген талшықтар) «жарықтардың жабуы» ретінде пайдаланылды. Бұл оларды болаттан жасалған инелермен бірге ұстап, таралудан сақтайды. Олар тек инелердің балку нүктесіне дейін әсер етеді және бұл жағдайда олар қуысқа айналады.

№ 5) жылулық кеңеюі төмен шикізатты пайдалану

Материалдың қасиеттері бойынша бұрынғы жұмыстарды ескере отырып, біз кернеу жылулық кеңеюден және оның шектеулеріне байланысты құрылатынын еске алуымыз керек. Егер біз төменгі жылулық кеңеюі бар шикізатты қолдансақ (мысалы, балкытылған SiO_2), онда материалдың алдыңғы және артқы жағындағы кернеу айырмасы азайтылады. 2.2-кестеде әртүрлі материалдардың 2.2°C -де сызықтық қайтымды ұлғаю көрсетілген.

2.2-кесте: Әртүрлі материалдар үшін 1000°C температурада сызықтық қайтымды ұлғаю

Отқа төзімді материалдың 1000°C % сызықтық ұлғаюы		Отқа төзімді материалдың 1000°C % сызықтық ұлғаюы	
1. 95% кремнезем	1,18	11. 80% алюминий тотығы	0,65
2. 98% периклаз	1,47	12. циркон станд.	0,55
3. Магнетит станд.	1,35	13. 60% алюминий тотығы	0,58
4. Форстерит станд.	1,16	14. муллит	0,49
5. магнетитті - хромитті станд.	1,12	15. Аса берік оттөзімді	0,58
6. Тұрақты кубтық цирконий	0,99	16. өзіндік байланысты карборунд	0,42
7. хромитті-магнетитті станд.	0,99	17. байланысты Si_3N_4 карборунд	0,375
8. хромитті (кен) станд.	0,84	18. Кордиерит станд.	0,22
9. 99% алюминий тотығы	0,82	19. Кварц шыны	0,04
10. 90% Алюминий тотығы	0,73	20. В-сподумен	0,00

КОВМ пеш едені жағдайында материалдың жылулық кеңеюі көміртек деңгейін жоғарылату және антиоксиданттар мөлшерін азайту есебінен азайды. Нәтижесінде бұл материалдың жарылуын азайтты.

№ 6) Жылулық кеңею әдісін және/немесе кірпіш түйіспелерін қосыңыз

Отқа төзімді материалдарға қатысты жастары келген жолдастар «Онда кірпіштерді бірге ұстап тұру немесе оларды бір-бірінен ажырату үшін ерітінді бар ма?», деген қысқартылған сұрақ қояды. Бұл сұрақтың жауабында айла бар. Қаптама арқылы өтіп кетуге жол бермеу үшін тігістер оларды біріктіріп тығыз ұстап тұрады. Сонымен қатар жылу кернеуін төмендету үшін бір-бірінен бөледі.

Жылулық кеңею әдібі, бұрын талқыланды, бақыланатын өсуді қамтамасыз ететін кернеу сіңіргіші ретінде сауыт құрылымында қолданылады.

Жеткіліксіз жылулық кеңею әдібі кірпіштің жарылуына әкеліп соғып, шектеулі кеңістікте кеңейетінін естеріңізге салат кетейік. (Олар кернеуді сіңіре алмайды). Алайда, тым көп мөлшерде берілетін әдіп кірпіштің түйіспе арасындағы айырмашылыққа әкеліп соғады. Бұл болат ену қаупін не кірпіш сырғуын арттырады.

КОВМ пеш еденінің жағдайында біз кірпіштің түйіспелерінің қалыңдығын құрастырдық және жылулық кеңеюді сіңіру үшін осы үлкен қалыңдығын қамтамасыз ететін қаптауыш сызбасын жасадық. Бұл КОВМ пеш еденінің жарылуын азайтудағы табыстылығымыздың кілті.

Осылайша, жарылу- отқа төзімді материалдардан жасалған қаптамалардың тозуының өте жойғыш механизмі; дегенмен тіпті төтенше аймақтарда оның әсерін азайту үшін материал мен конструкцияны жобалау әдістері бар.

2.3 Механикалық әсері

Механикалық әсер жарықтардың таралуымен байланысты болғандықтан жарылуға ұқсайды. себебі ол сонымен қатар жарықтар таралуымен байланысты. Бұл әсер отқа төзімді материалдарға арналған болат өндірісіне мұндай үлкен мәселе болмаса да, көптеген аймақтарда маңызды фактор болуы мүмкін (мысалы, ыстық металдың және сынықтың НОК жүктеу платформасына әсер етуі, шөміштің түбінде орналасқан соқпалы жастықтар және т.б.).

Біз бұл мәселені екі негізгі бағытта қарастырамыз:

- Жүктеу және сынық әсері
- Ыстық металдың жүктеуі мен әсері

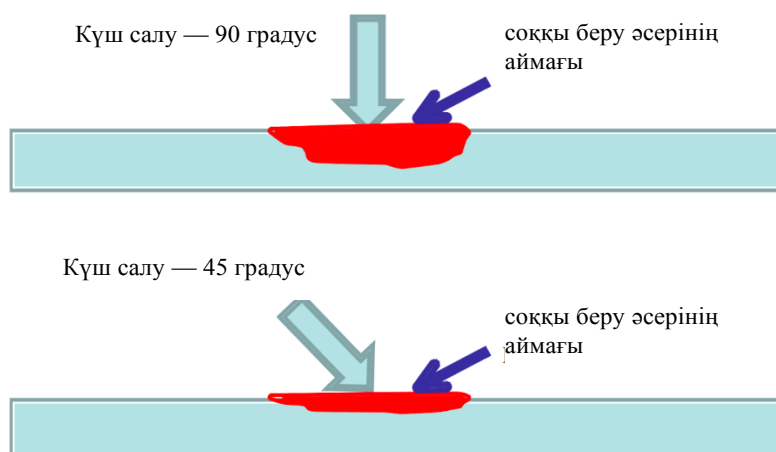
1. Сынықтың әсері

Сынықтың НОК жүктеу платформасына әсері елеулі болып табылады және бүкіл әлемдегі көптеген НОК үшін ең жоғары тозу аймағы болып қала береді. Сынық әсерінің күші пеш қаптамасына байланысты:

1. Биіктік: материалдың түсіру биіктігі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым әсер ету күші жоғары
2. Көлем: сынықтың көлемі неғұрлым жоғары болса, әсер соғұрлым жоғары болады. Осы сәт цехтен цехке өте өзгереді, себебі жапондық өндірушілері әдетте ең аз көлемді қамтиды (5%). Бұл орындарда сынықтардың қолжетімділігі төмен болуына байланысты жүктеу платформасының тозу жылдамдығының төмендеуіне әкеледі.

Кейбір цехтерде сынықтардың ең жоғарғы көлемі (27%) сауыт құрылымына байланысты. Ол жоғары сынықтардың көлемін пайдалануға мүмкіндік береді.

3. Пештің орнату бұрышы: 90 градус бұрышпен перпендикулярлық орналасуға жақындаған кезде, әсер ету аймағының әсер күші мен сіңірілуі соғұрлым жоғары болады. 2.38-суретте көрсетілген.



2.38-сурет: Пештің орнатылу бұрышына байланысты сынық әсерінің күші

4. Өлшемі/пішіні: 20 тонналық жеңіл және түкті ұнтақталған, пакеттелген материалдың және 20 тонналық құйғыш құрылғының гарнисажы арасындағы әсер күшінің айырмашылығы бар. 1980-жылдары жапондық болат құю зауыттары тозу тек жүктеу платформасында ғана емес, сонымен қатар стадионда және түбінде нақты оттегімен тазалау процесінде үлкен материалды пайдалану кезінде екі немесе үш еселенгенін көрсетеді.

Сынықты өңдеуді арттыру қосымша торкреттеуден/пешті қайта пісіруден әлдеқайда қымбатырақ.

2. Сұйық металдың соққы беру әсері

Сұйық металдың НОК жүктеу платформасына немесе шөміштің түбіне әсері маңызды және бұл әлемдегі көптеген НОК тозуының негізгі себептерінің бірі.

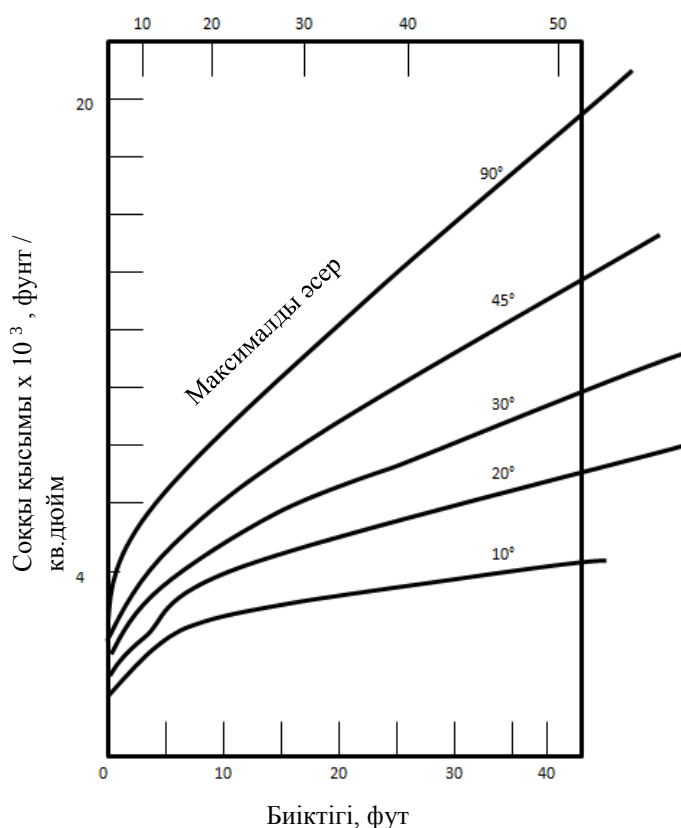
Ыстық металдың пештің қаптамасына әсері үш фактордың өзара байланысы:

1. Биіктік
2. Әсер ету бұрышы
3. Әсер етуші ағынның диаметрі

Биіктік

Биіктік артқан сайын соққы күші де артады (пропорционалды)

Бұл бағытта 1970 жылы R.C. жасаған жұмыс ең жақсы еңбектердің бірі Padfield: «Ыстыққа беріктік пен НОК оттөзімділердің тиімділігі арасындағы байланыс». Ол жаңбыр тамшысының ұшақтың қанатына түсу арқылы пайда болған күштің механикасын НОК-а немесе шөмішке ыстық металды және болатты құю арқылы зерттеу жасады. Осы арқылы биіктіктің/бұрыштың соққы қысымына тәуелдігін көрсеткісі келді



Американский
керамический завод
разрешает
использовать

2.39-сурет. Соққы қысымы мен биіктіктің қатынасы.

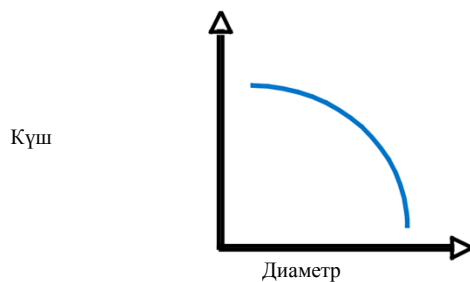
2.39-суретте көрсетілгендей үлкен биіктік пен тік бұрыштар жоғары күшке, үлкен тозуына әкеледі.

Әсер ету бұрышы

Соққы әсерінің бұрышы ұлғайған сайын, соққы күші де артады (кар. 2.39-сурет).

3. Әсер етуші ағынның диаметрі

Ағын диаметрі артқан сайын, 2.40-суретте көрсетілгендей, соққы күші төмендейді (кері пропорционалды). Көлемнің тұрақты екендігін болжай отырып, концентрацияланған күштің энергиясы кеңірек ағыннан әлдеқайда зиянды. Жобалау өте қиын, өйткені тесіктердің диаметрі, әдетте, пеш шығуының жылдамдығымен және қожды тасымалдаудың қажетті мөлшерімен анықталады.



2.40-сурет. Ағын соққысынан тозуға арналған күш пен диаметр арасындағы қатынас

Отқа берік материалдың механикалық соққы әсеріне қарсы тұру проблемасын шешу

Осы күрделі тозу механизмі үшін біз енді жұмыс ортасын қалай конфигурациялауға болатынын талқылауға келдік! Бірнеше нұсқалар болды және олардың барлығы қолдануына байланысты түрлі табыстармен сыналды.

Жобалау кернеулерді сіңіріп жою үшін көп мөлшердегі материалды қолдануды талап ететін жылулық соққы әсері үшін жобалауға ұқсас.

2.3-тараудың мазмұнын қайталамай, материалдың жойылу процесін жылдамдату негіздерін немесе басқа сөзбен айтқанда, кернеуді сіңіретін «жастық» кірпішін жасауды қарастырайық. Алдыңғы тарауда жойылу процесін жеделдетудің бес жолы қаралды.

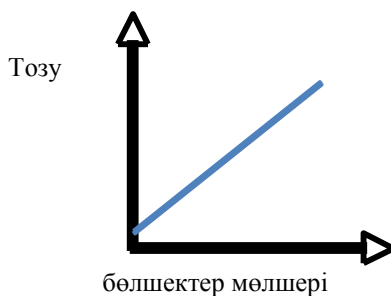
Бұл механикалық соққыға төзімділіктің жобалаудың екі негізгі саласы (металл сынығы және ыстық металл); басқа да әсер нұсқалары (мысалы, Gradall көмегімен шөміштерді тазалау) осы қағидаларғаның сәйкес болуы мүмкін.

2.4 Механикалық қажалу

Қажалу материал беткейінің механикалық тозуына, әдетте сұйық немесе газ бетіне түсіп кететін бөлшектерге жатады. Әдетте, қажалу тербелу, үйкеліс, соққы және т.б. жылдам қозғалатын сұйықтықтармен байланысты. Соққы мен қажалудың арасындағы айырмашылық - бұл жылдам, уақытша, үлкен күш қолдану, ал қажалу - баяу, ұзақ уақыт бойы қайталанатын күш қолдану.

Қажакты тозу ол – әсер:

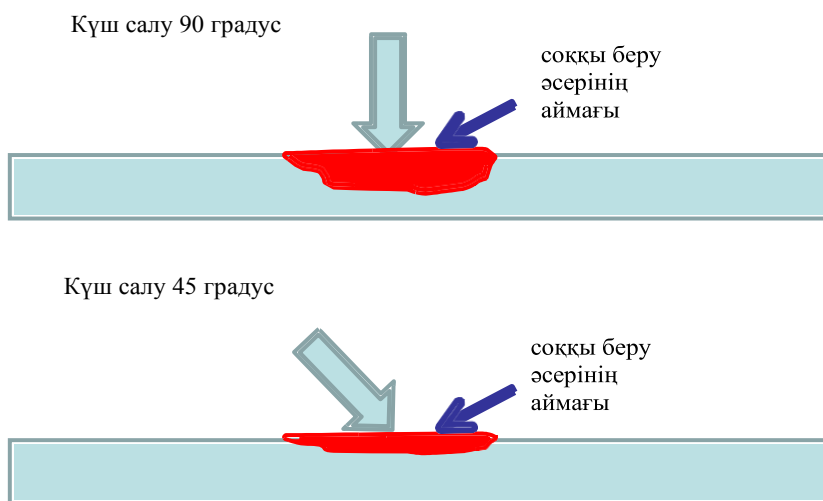
Бөлшектер мөлшері: әдетте бөлшектердің мөлшерін жоғарылату абразивтік тозуды арттырады. 2.41-суретте көрсетілген.



2.41-сурет. Тозу мен бөлшектердің мөлшері арасындағы байланыс

Бөлшектер пішіні: тегіс шеттері бар бөлшектер өткір, қатты бұрыштары бар бөлшектерге қарағанда тозуды азайтады.

- Бөлшектер қаттылығы: бөлшектердің қатты болуы немесе бөлшектердің және оттөзімділердің (жұмсақ) қаттылығы арасындағы айырмашылық неғұрлым көп болса, соғұрлым тозу жоғары болады.
- Бөлшектер саны: бөлшектердің үлкен саны көп зақым келтіруі мүмкін.
- Жылдамдық: жоғары жылдамдық үлкен тозуға әкеледі (шөміште араластыру кезінде сыни мән - аргон тығындарын немесе фурма араластыру қарқындылығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым тозу жоғары болады).
- Соққы әсерінің бұрышы: соққы тозуға ұқсас, бұрыш неғұрлым тік болса, тозу соғұрлым жоғары болады. 2.42-суретте көрсетілген.



2.42-сурет. Соққы әсерінің бұрышы мен қажалу арасындағы байланыс

Отқа төзімді материалдың механикалық қажалуына қарсы тұру мәселесін шешу

Қажалуға қарсы тұруды арттыру үшін оттөзімділерді жобалаудың бірнеше нұсқалары бар. Бастысы олардың арасында оны қажайтын материалдан гөрі ауыр және тығыз отқа төзімді материал болуы керек. 2.3-кестеде отқа төзімді материалдардың қаттылығының кейбір мысалдары көрсетілген.

2.3-кесте: Кейбір отқа төзімді материалдардың қаттылығы

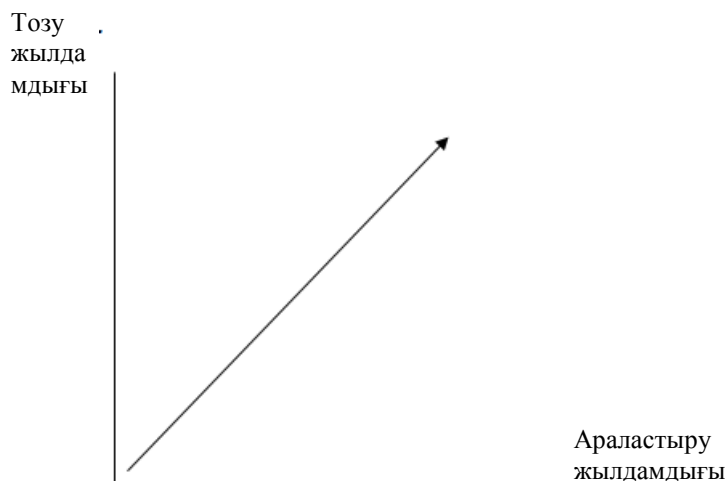
Заттек	Моос бойынша қаттылық		Зат	Моос бойынша қаттылығы	
Корунд	Al_2O_3	9	Кремнийлі карбид	SiC	9,5
Шпинель	$MgAl_2O_4$	7.5-8	БОР КАРБИДІ	B ₄ C	9+
Циркон	$ZrSiO_4$	7.5-8	ТИТАН КАРБИДІ	TiC	(9+)
Хром Шпинель	$MgCr_2O_4$	(7.5-8)	ТИТАН НИТРИДІ	TiN	9+
Муллит	$Al_6Si_2O_{13}$	(7.5)	Көміртек (түрлі)	C	(4-6)
Кремнийтопырақ (кварц)	SiO_2	7	Графит	C(gr.)	2+
Цирконий	ZrO_2	6,5	Титания (рутил)	TiO ₂	6-6.5
Магнезия (Периклаз)	MgO	6			

Көріп отырғандарыңыздай, MOR жоғары материалдар жақсы соққыға төзімділікке ие.

Бұдан басқа, егер сізде Моос бойынша қаттылығы 7 кремний топырақты шаң бар болса, абразивтік зақымға қарсы тұруға арналған > 7 материалдан жасалған отқа төзімді қаптама болуы керек.

Тағы бір маңызды ескерту: Сіз таңдаған отқа төзімді материалда негізгі ірі дәндері ғана емес, сондай-ақ оны біріктіретін матрицасы да берік болуы керек. Әйтпесе матрица тозып, берік дәндер жай ғана құлайды!

Болат жасау процесі тұрғысынан, тозуды бақылаудың негізгі факторы, егер мүмкін болса, араластырудың қарқындылығын төмендету. 2.43-суретте көрсетілгендей жоғары араластыру жылдамдығы тозу жылдамдығына әкеледі, 2.43-суретте көрсетілгендей.

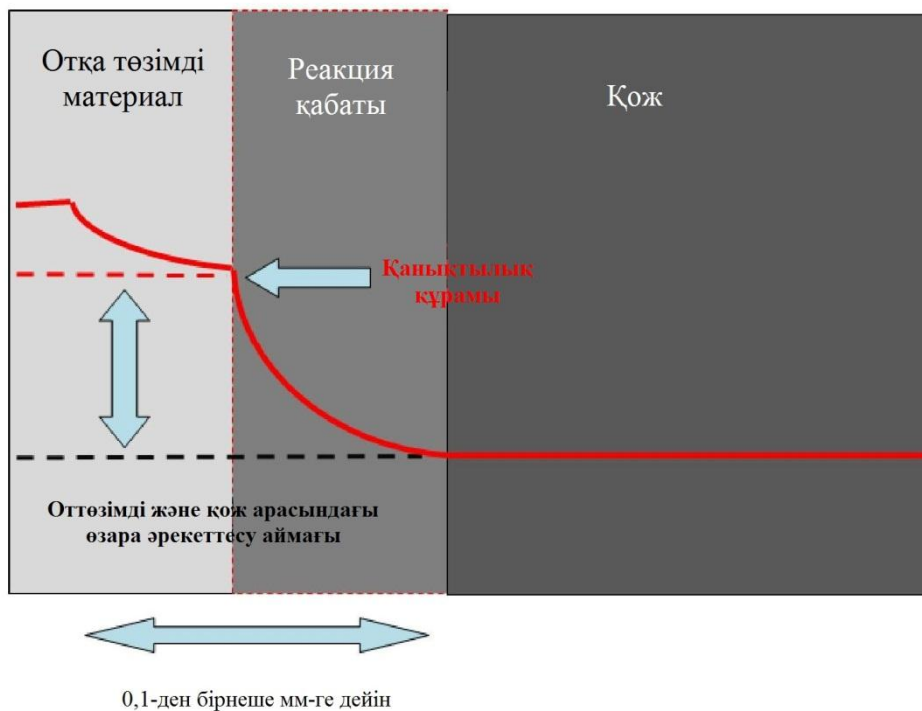


2.43-сурет. Араластыру жылдамдығы мен тозу жылдамдығының арақатынасы

2.5 Отқа төзімді материалдардың тозуы. Еруі

Еріту - бұл қождың кірпішке сәйкес келетін таза химиялық әсері

Еріткіш бірнеше факторларға байланысты болады, мысалы, шоғырлану айырмашылығы, бетінің ауданының, қож қабаты қалыңдығының, қож тұтқырлығы, қож қозғалысының жылдамдығы, уақыты мен температурасы. Отқа төзімді материалдардың тоттануының ең қарапайым үлгісі қожда еруі болып табылады және ол схемалы түрде 2.44а-суретте келтірілген.



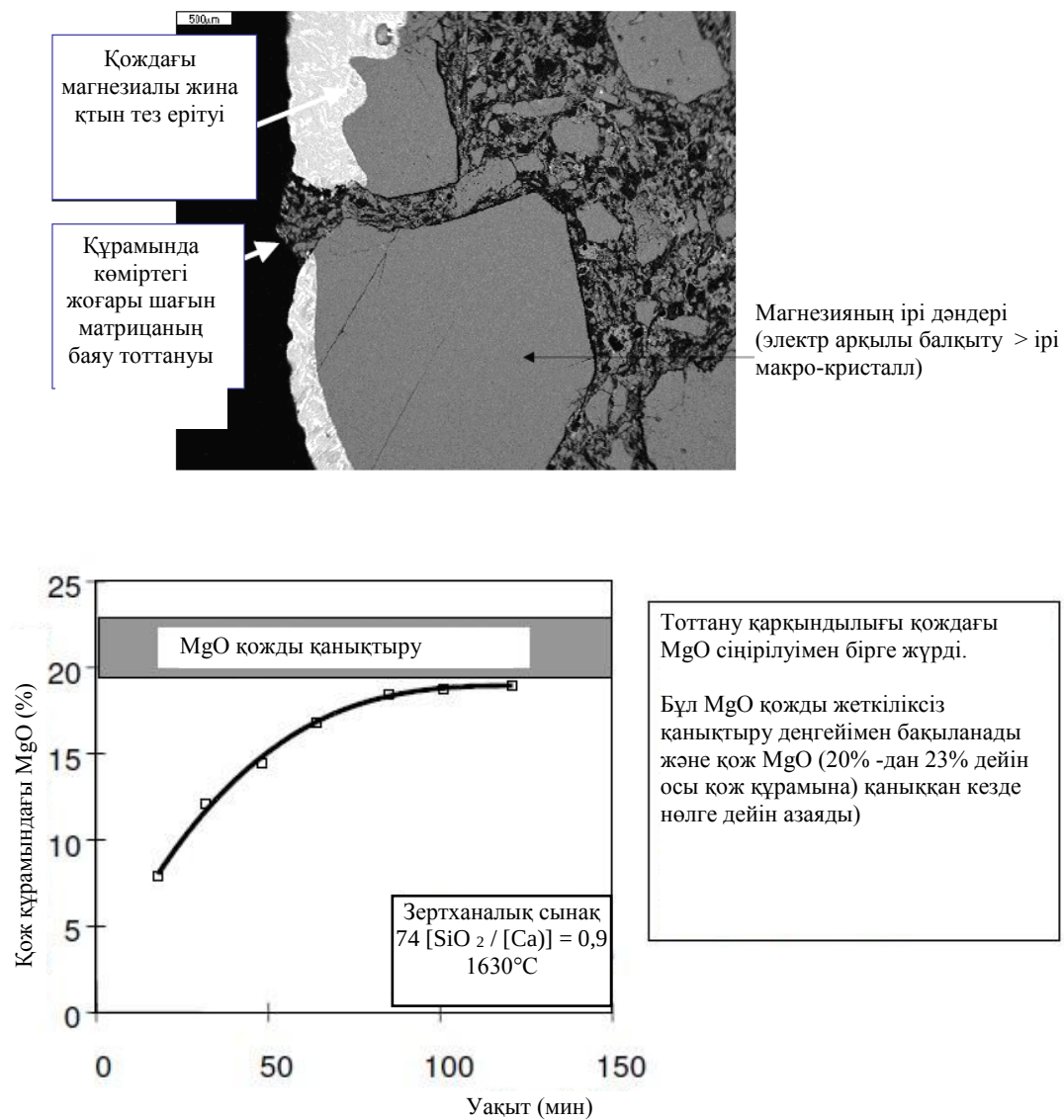
2.44-сурет. Отқа төзімді материалдың қожда еруінің моделі

- Тозудың басты механизмі – отқа төзімді материалдың негізгі компоненті тотықтың қожда еруі. Мысалы, магний кристалдары қожда MgO ретінде ерітіледі. Негізінен, бұл суда қант пен тұзды ерітуге ұқсас және кинетика отқа төзімді материал бетіндегі диффузиялық қабат арқылы өту жолымен бақыланады.
- Егер қож отқа төзімді компоненттерге жеткілікті бай болса, яғни компонентпен қаныққан болса, еріту судағы тұздай тоқтатылады. Қождың-қанықпауы қаншалықты жоғары болса, соғұрлым тезірек еруі мүмкін.
- Концентрациядағы айырмашылық
- Қожға 7% MgO талап етіледі
- - Қож құрамында MgO пайызбен және қалаған құрамы айырмашылығы.
- - Егер қожда 3% MgO болса, бұл жағдайда құрамындағы 90% MgO кірпішті жеп қояды.

Қож → 7% MgO ← Кірпіш 3%
 MgO 90% MgO

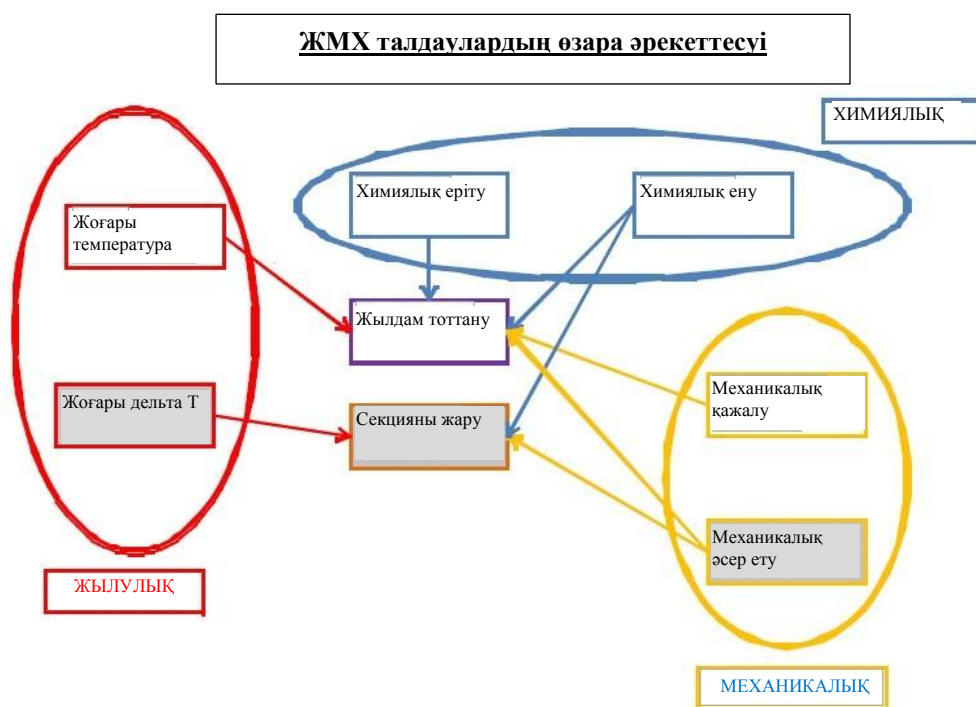
- Керісінше, MgO құрамын қанықтыратын отқа төзімді бұл материал үшін (айталық магний базасында), оттөзімдінің тоттануын бәсеңдету үшін осы сауыт ішінде қосылған қожға қанша MgO қосу керектігін айтады. Егер қанықтыру деңгейі асып кетсе, MgO бар қатты кристалдар тұнбаға түседі. Тым көп болған жағдайда, қож «тұтқыр» болады және суытқан кезде тез қатып қалатын болады. Бұл болат өндіру процесіне теріс әсер етеді.
- Кейде еріту оңайға түспейді. Қож оттөзімдімен реакцияға түсіп, жаңа қатты фазаларды қалыптастырады. 2.44b-суретте көрсетілгендей «реакциялық немесе енжарланатын қабат» жасайды. Бұл тоттануды қатты баяулататын өте қолайлы жағдай. Алайда, бұл қожбен байланыста болатын оттөзімділер үшін тиімді емес, өйткені реакция қабаты әдетте жаңа қатты заттар мен сұйықтықтардың қоспасын қамтиды.
- Қанықтыратын құрам және қож қанығуы астындағы деңгей отқа төзімді компонентке қатысты ~~қож~~ қож құрамымен, қож/металл/оттөзімді бөліну шегіндегі температурамен және MgO бастапқы мөлшерімен анықталады.
- Қож Қанықтылық пен нақты қож деңгейі арасындағы ең жоғары айырмашылықтар оттөзімділердің тозу қажеттілігіне әкеледі.
- - Тасымалдау жылдамдығымен қабат арқылы анықталатын тасымалдау коэффициенті және қабаттың қалыңдығы қождың құрамы мен температурасына, сондай-ақ конвертер ішінде араласқан қож немесе балқытпа мөлшеріне байланысты. Қарқынды араластырумен оттөзімдінің/қож қабаты «жуылады».

Оттөзімді тоттануының ең қарапайым моделі: Қожбен-тоттануды ерітумен басқарылатын мысал 2.44b-суретте келтірілген.



2.44b-сурет: Отқа төзімді материалдардың тоттану моделі: қождың басқарылатын ерітуі
Shinagawa Refractories Co. Ltd. Ltd.

2.45-суретте қожты еріту процесінің негізгі параметрлер ақпары келтірілген.



2.45-сурет: Отқа төзімді материалдың тоттануы: процестің негізгі параметрлері

Бұл процесте барлық үш фактор (температура, химиялық құрамы және механикалық тозу) қатысатындығын ескеріңіз.

Нақты жағдайларда, барлығы оңай емес, өйткені тоттану ешқашан қатты бір тотық заттың еруіне әкелмейді. Отқа төзімді материалдың құрылымы күрделі:

- Кристаллдар шегінде қоспалық фазалары бар поликристалды агрегаттарды құрайды.
- Өртүрлі фазалар мен түрлі кеуектілік қоспасынан шағын матрицаны құрайды.

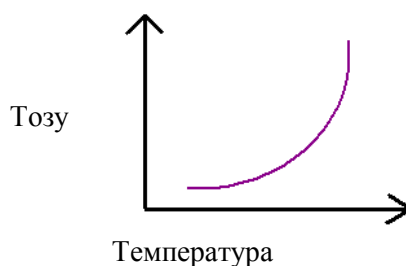
Тоттану бетінде шығады, бірақ қож отқа төзімді материалға еніп, сұйықтықты қамтитын реакциялық қабат жасай алады. Мұндай жұмсақ қабат балқымалардың араласуына байланысты үйкеліспен жойылуы мүмкін.

Барлығы бірге, күрделі болса да, процестің көптеген параметрлері әдетте оттөзімдінің еруін және эрозиясын бақылайды:

- Қож құрамы (қожты қанықтыру жеткіліксіз болғандықтан, жаңа қатты заттар мен ~~қож~~ қож тұтқырлығының пайда болуы ықтимал)

Балқытпа температурасы: бірдей параметрлерде әрекет етеді.

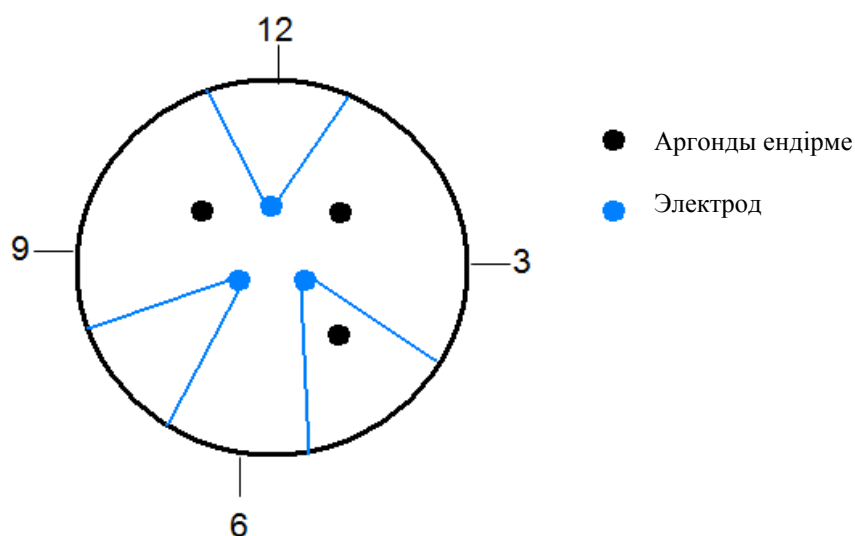
Температура көтерілген сайын, 2.46-суретте көрсетілгендей, тозу геометриялық прогрессияда өседі.



2.46-сурет: Тоттану тозуы мен температураның арақатынасы

- Балқытпаны араластыру: диффузия жылдамдығына, сондай-ақ эрозияның әсеріне әсер етеді
- Қождың қозғалу жылдамдығы
- Кірпіштің қасында қозғалмалы күйде орналасатын ~~қож~~ қож, аргонмен араластырылатын ~~қожбен~~ қожбен салыстырғанда аз тозады. Таза қож кірпіштің бетіне тұрақты түрде шығады.
- Төмен жылдамдық - қождың тоттану әсерлерін азайтады
- Жоғары жылдамдық - қождың-тоттану әсерлерін ұлғайтады

Болат шөмішке арналған үлгі 2.47-суретте көрсетілген. 4-5 сағат жағдайында қождың ең жоғары жылдамдығы байқалады. МЖҚ жылытылған кезде аргон мен электродты араластыру арқылы тозудың екі механизмі де өзара әрекеттеседі.



2.47-сурет: Болат шөміштегі қож жылдамдығының орташа мән мысалы

Уақыт

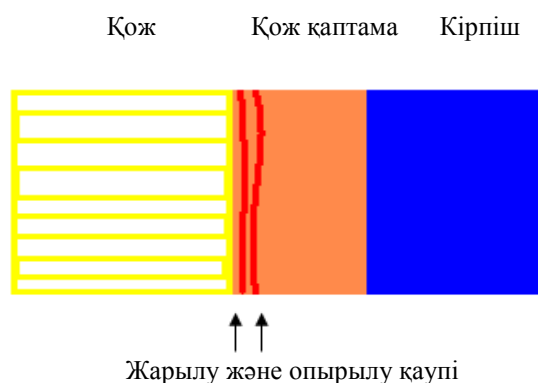
- Қож неғұрлым ұзағырақ тұндырылса, соғұрлым тозу жоғары болады.
- Сондықтан көптеген компаниялар балқыту санын ғана емес, кешіктіретін уақытты бақылайды.

Бет ауданы

- Сол қант ұнтағы қант текшесіне қатысты ұқсас теориялар
- От төзімді материал бетінің аумағы неғұрлым көп болса, соғұрлым ол қорғаныссыз әрі тоттануға ұшырайды.

Қож қаптаманың қалыңдығы

- Қож кірпіштің бетіне жақын жабын қалыптастырады және 2.48-суретте көрсетілгендей, қорғаныш қабат ретінде әрекет етеді.
- Қож қаптау және кірпіш әртүрлі жылулық кеңею коэффициенттеріне ие. Жылулық алмасу кезінде еніп кеткен қабаттар үзілуі мүмкін.



2.48-сурет: Қорғаныш қабаты ретінде әрекет ететін кірпіштің бетіндегі қож қаптамасы

Қождың тұтқырлығы

- Тұтқырлық - шөгу кернеуі немесе созылу әсер астында деформацияланатын сұйықтың кедергі шарасы. Күнделікті тұрғыда тұтқырлық сұйықтың «тығыздығы», яғни «сұйықталғандық» төмен тұтқырлығы бар, ал жоғары тұтқырлығы бар бал «қою» болып табылады.
- Сұйықталған қож күшті әсерге ұшырайды; барлық отқа төзімділер кірпіште 7-10% кеуектілігі бар және олар осал.
- Қою және жабысқақ: әсері аз

Отқа төзімділердің тоттануына негізгі отқа төзімділер тұқымдастарының қождың әртүрлі химиялық қасиеттеріне сезімталдығы әсер етеді.

- Оңайлатылған көзқарас ретінде 2.4 кестеде негізгі отқа төзімді материал композицияларының тоттануға төзімділігінің жалпы үрдістері келтірілген:

- - Глиноземмен байытылған оттөзімділер тотықтырылған Қожқа (FeO және MnO байытылған) төтеп бере алмайды, бірақ магний негізіндегі оттөзімділер әлдеқайда жақсы жұмыс істейді.
- - Глиноземмен байытылған оттөзімділер кремний топырақпен (қышқыл қож баламасы) байытылған қожға төзімді, бірақ магний негізіндегі отқа төзімділер - жоқ. Сіз бұны SiO_2 - CaO қожда магнезияның еруін көрсететін алдыңғы микротүсірілімдерден көре аласыз.
- - Глиноземмен байытылған отқа төзімділер CaO -мен байытылған қожға қарсы тұрмайды (негізгі қож баламасы), бірақ магний мен долом негізіндегі оттөзімділер (негізгі оттөзімділерге баламалы) одан да жақсы болып шығады. Дегенмен доломдар негізіндегі отқа төзімділер тотыққан қождарға шыдамайды. Сондықтан олар қождар негізгі болып саналатын тотыққан НОК-та пайдаланылуы мүмкін емес. Мұндай қож магний негізіндегі отқа төзімділерді қажет етеді.

2.4-кесте: Қож бен отқа төзімділердің жалпы үйлесімділік үрдістері

Отқа төзімді материал түрі	Қождың негізгі компоненті			
	FeO, MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
Төмен глиноземді Нашар		Жақсы	Жақсы	Жарасымды
Жоғары глиноземді	Азайған	Жақсы	Жақсы	Жарасымды
Магний-хром	Жарасымды	Жақсы	Жарасымды	Жақсы
Магнезия	Жақсы	Азайған	Жарасымды	Жақсы
Магний-көміртек	Жақсы	Жарасымды	Жарасымды	Жақсы
Доломит	Жарасымды	Жарасымды	Азайған	Жақсы

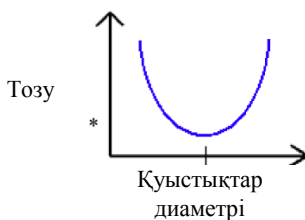
2.6 Отқа төзімді материалдардың тозуы. Енуі

Отқа төзімді материалдар сұйық қожбен енуі отқа төзімді материалдардың тозуы үшін материалдардың тоттануына (жылу алмасуымен) қарағанда зиянды немесе нашар болуы мүмкін.

Ену отқа төзімдінің қуыстар диаметріне, оның тығыздығына, сұйықтықтың беттік керілісіне және сулау бұрышына байланысты.

Отқа төзімді материалдардың қуыс диаметрі

- Үлкен тесікшелер қожда сіңіреді
- - Кішірек қуыстықтарға қож енуін азайту міндетті емес
- - Егер қуыстықтар өте кішкентай болса, олар сіңіру қасиеттерін бастайды және 2.49-суретте көрсетілгендей, одан да көп қожты сіңіреді.

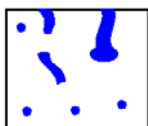


2.49-сурет: Енудегі тозу мен қуыстықтар диаметрі арасындағы байланыс

Қождың енуі қиын болғандықтан ашық кеуектілікке қарағанда жабық болуы керек кез келген кеуектілікті іздеуге назар аударатынымызда атап өтейік. Жабық кеуектілік - қуыстықтар бетпен байланыспаған кезде



- Ашық кеуектілік - қуыстықтар бетпен байланысқан кезде



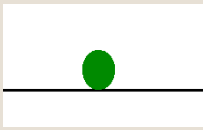
Отқа төзімді материалда байланысқан кеуектілік саны оның өткізгіштігін тексеру арқылы өлшенуі мүмкін. Өткізгіштігін өлшеу үшін үлгінің төрт жағын жабыңыз және газды басқа тараптан қаншалықты өтетінін көру үшін үлгіден қысым астымен өткізіңіз. Жоғары өткізгіш материалдардың терең енуі болады.

Отқа төзімді материалдардың тығыздығы

- Тығыздығы төмен өте жеңіл материал ену үшін өте нашар, себебі ол жөке секілді әрекет етеді.
- Тоттану тұрғысынан қарап шыққан кәдімгі үрдіс жоғары тығыздықтағы үлкен қарсылыққа әкеледі.
- Материалдардың қалың (мысалы, кофе шыныаяғындағы сияқты) болуын қалаймыз. Дегенмен, жоғары тығыздығы, төмен кеуектігі бар материалдар сынғыш болғандықтан, шытынауға және жарылуға беталыстары бар.

Сұйықтықтың беттік керілісі (σ)

- Сұйықтықтың жоғары беттік керілісі кірпішке жабысуды төмендетеді және, 2.50-суретте көрсетілгендей, беттік керілісі төмен материалдан артық болады. Осыған байланысты болат құю цехында қож құрылымы әсер етуі мүмкін.

Жоғары σ		*қалаулы Кірпішке жабыспайды.	Мысалы, Сынап
Төмен σ	 Оттөзімді беті	* Қажет емес Отқа төзімдіні жабады және оған енеді	Төмен тұтқырлық қож

2.50-сурет: Сұйықтық беті керілісінің енетін тозуға әсері

Сулаудың байланысу бұрышы

2.51-суретте сұйықтықтың бетте сулау бұрышы көрсетілген.



2.51 сурет: Бетте сұйықтықтың сулау бұрышы

Ену және циклдық температура әсері

Оттөзімділерді сұйық қождар мен термоциклдеуді үйлестіру кезінде сіндіру шөміш кескінінде, 2.52-суретте көрсетілгендей, жарықша пайда болуына әкеледі. Ену тереңдігін азайту - бұл тозу механизмінің алдын алудағы табыстың кілті болады.



2.52-сурет: Сұйық қож бен термоциклдеуді үйлестіруге байланысты енуімен пайда болған жарықша

2.7 ЖМХ талдаулардың «сенбілік кешінің конструкциясымен» және «қиыршық тас үйіндісі» талдаумен өзара әрекеті

Осы тараудың соңғы бөлімінде үш негізгі тақырып қарастырылады:

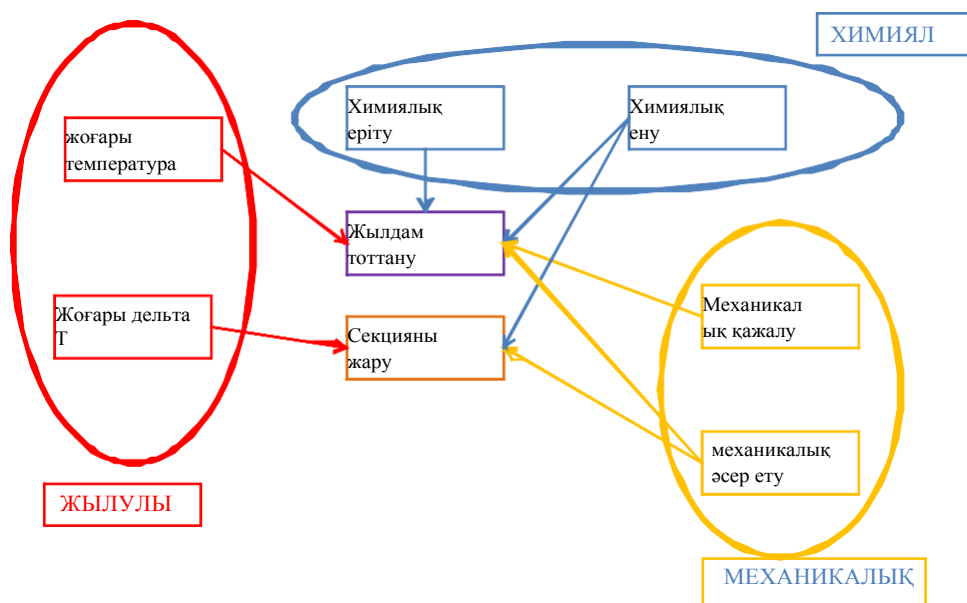
1. ЖМХ талдаулардың өзара әрекеттесуі
2. «Сенбілік кешті» жобалау
3. «Қиыршық тас үйіндісінің» талдауы

Барлық үш тақырыпты шолу барлық нәрселерді жинақтауға көмектеседі және бір тақырыпты айқындайды. Олар бірінші бөлікте айтылған нәрселерді түсінуге мүмкіндік береді. Бұл отқа төзімді материалды таңдаудың кілті алдымен: 1-ші тараудағы «Проблема неде»? деген мақсаттар айқындалғаннан кейін сіз қандай тозу проблемасын шешпексіз.

1. ЖМХ талдауларының өзара әрекеттесуі

Отқа төзімділер немесе кез келген жаңа қондырғылармен жобаланған барлық проблемалар үшін толық ЖМХ талдауы біз қабылдауға тиіс алғашқы қадам болып табылады және бізге бірінші бөлім диаграммаларының негізгі компоненттерін жылу, механикалық және химиялық тозудың негізгі механизмдері туралы егжей-тегжейлі баяндайды. Осы құбылыстардың өзара әрекеттесуін 2.53-суретте көрсетілгендей қарастырайық.

ЖМХ талдауларының өзара әрекеттесуі



2.53-сурет: ЖМХ талдауының өзара әрекеттесу диаграммасы

Шын мәнісінде, бұл диаграмма, ретсіз болса да, пайдалану барысында не болып жатқанын жақсы көрсетеді. Шөміштің реттеуші бекітпесі жақсы үлгі болар еді:

- Жылжымалы отқа төзімді беттері бар жоғары абразивті орта
- Болат құюдан сөндіруге дейін жоғары дәрежелі жылулық соққы әсері
- Кальцийлі болаттарға арналған кальций буының химиялық әсерінің жоғары дәрежесі

Егер біз қажалу және пайдалану үшін өте қатты және берік материалдардың дамуын қаласақ, біз жылу әсерінен тез сәтсіздікке ұшыраймыз. Өйткені бізге жұмсақ, икемді материалдар қажет. Егер біз қатаң жылулық соққы әсерін жобалайтын болсақ, онда қажалу тілімдерді тез тоздырады. Егер біз тоттануға арналған қуыстықтары шағын көлемді өте тығыз материалдарды немесе магнезиялы түрлі материалдарды қолдануға тырыссақ, жоғары температура әсері кезінде, тілім жылулық соққыға немесе екеуіне шыдамайды. Мінсіз жауап жоқ және цехта балқудан бастап балқытуға дейінгі процестің өзгермелілігі қосымша проблемаларды тудырады.

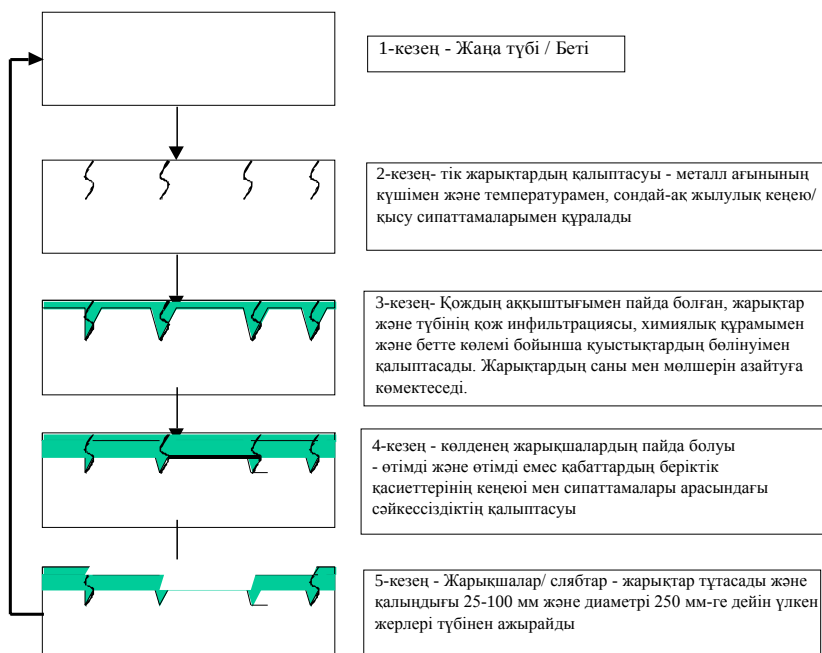
Сонымен біз не істейміз? Біз ымыраға келіп, теңгерімді сақтаймыз. Мен оны «Алтын шаш және үш аю» ертегісімен салыстыруды ұнатамын - бұл теңдестірілген тәсіл.

Проблеманың тағы бір жақсы мысалы - соққыға қарсы болат шөміштің тығыздағышы. Dofasco осы саладағы жұмыстарды ұсынды және мақаланың бөлімдері ЖМХ тозу механизмі мен өзара әрекеттесу күрделілігін сипаттайтын 2.5-кестеде көрсетілген.

2.5-кесте: Болат шөміштің болаттан жасалған соққыға қарсы тығыздағышына арналған ЖМХ талдауы.

Түр	Тозу механизмі	Сипаттамасы
Жылулық	Жоғары температура Термоциклдеу	% балқыту $>1640^{\circ}\text{C}$-де анықталды - цехта кеңінен қолданылатын шөміштер және қақпақ жылытқыштары - шөміштер тәуліктегі орташа балқытулар
Механикалық	Соққылы әсер	- металл шығаратын әсер ету күші: биіктігі/босату бұрышы мен түсетін ағынның соққысын жұмсартатын, сұйықтық шалшығын жасау уақытының құрамдастырымы. - уақыт %, болат шөміштің соққыға қарсы тығыздағышы үшін операторлар өндіретін метала шығаруы.
	Қажалу	- шөміштерде барлық балқытуларда аргонды тығындармен араласу орын жүреді - шөміште болатын уақыт өзгермелі (құюды бастау үшін соңғы тығын)
Химиялық	Болат Химиялық әсер ету	- көміртекті, алюминий қышқылсызданған төмен құрамды балқытулар % - балқытулар % - кальций-кремний, болатта соңғы кальциймен тазартылған 30 бөлік/млн.
	Қож әсері	- синтетикалық қождың химиялық құрамы және аққыштығы; құюдан кейін түбінде қалатын қожды пайдалану керек - Түбіндегі қождың тұру уақыты шүмектің бар болуына байланысты 2-ден 15 минутқа дейін өзгереді

2.54-сурет құйылғанға дейін шөміштің түбіне бес кезеңде (жарылу тозуына арналған жаңа) тозудың схемалық бейнесін көрсетеді. Тозу механизмінің егжей-тегжейлі сипаттамасы 2.6-кестеде келтірілген.



2.54-сурет: Құрама шөміш түбінің тозу механизмі

2.6-кесте: Dofasco-дағы шөміштің құрама түбінің тозу механизмінің сипаттамасы

Кезең	Кезең сипаттамасы	Осы кезеңге әсер ететін негізгі жұмыс параметрлері	Бұл кезеңге әсер ететін материалдың негізгі параметрлері
Жаңа түбі/Беті 1-кезең	Жаңа түп Dofasco-ға жеткізілді және орнатуға дайын немесе жаңа бет процесте орнатылды.	Дұрыс кептіру және алдын ала қыздыру болжанады.	
Тік жарықша ның пайда болуы 2-кезең	Төменгі қабат іске қосылады және 1-15 балқытудан кейін (түбінің материалына қарай), соққыға төзімді тығыздалған аймақта тік сызаттар пайда болады. Жарықтар «футбол торына» ұқсайды, ұяшықтардың саны мен өлшемі де материалға байланысты.	Металл ағынының күші-маңызды (қараңыз 2.39-сурет) - ағынның түсу биіктігі, көлбеу бұрышы және сұйықтық толтыру уақыты негізгі көрсеткіштер болып табылады	• Төмен материалдардың кеңею коэффициенті • Төмен тұрақты сызықтық өзгерісі бар материалдар • Төмен беріктік коэффициенті бар материалдар және икемділік • Жұмыс істеп тұрған температурада жылжымалылықтан деформацияланатын, жоғары бұзылымдылығы бар материалдар
Қождың шоғырлануы 3-кезең	Қож шөміштің түбінде орналасады және сызаттар мен бетіне ене бастайды. Ену тереңдігі пайдаланылатын өттөзімді минералогиясына және материалдағы кеуектердің материал мөлшері бойынша таралуына негізделеді.	Қождың аққыштығы және химиялық құрамы. Балқытпа тотығы ең төменгі мөлшері бар жоғары тұтқыр қож шөміш түбіне енбейді.	Магnezия шпинельден гөрі енетін қожты жылдамырақ байланыстыратындықтан түбінің айрықшаламасын анықтау маңызды болып табылады. Бұл шпинель алдымен магnezияны қожбен әрекет етуден бұрын алып тастауы керек, бос магnezия бірден әрекет ете алады. Dofasco түбі бетін саңылаусыздандыратын қож реакциясы, микроскоптың көмегімен анықталды және төменде көрсетілген: $\text{FeO} + \text{MnO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} = (\text{Fe, Mn, Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \dots \text{күрделі шпинель (1)}$ Бұл күрделі шпинелдің қалыптасуы кенірек және қождың енуі үшін ыстық беттердің тесіктерін жабады. Бос магnezия мәселесі, егер ол дұрыс мөлшерде және пропорцияда қосылмаса және дұрыс қоспалармен қамтамасыз етілмесе, ол материалдағы микрожарықтарға әкеледі. Қож енуіне төзімділікті жетілдірудің негізгі жолдары материалдағы дұрыс құрылымды және қалыңдығын үлестіруді дамыту болып табылады. Назар аударыңыз, бұл параметрлер жұмыс температурасына сәйкес келеді.
Көлденең жарықтардың пайда болуы 4 кезең	Кеңею коэффициенттерінің, материалдың беріктігі мен серпімділік модулінің сәйкес келмеуіне байланысты, сондай-ақ жұмыс кезінде түбіндегі температураның өзгеруі енуден қорғалған ену аймақтары мен түбінің аймақтары арасында жарықтар пайда болады.	Түбін термоциклдеу	Басқару мүмкін емес, қож енуді азайту бұл қабаттың қалыңдығын барынша азайтады.
Шөгуі/түбінің жарылуы 5-кезең	Тік сызықтар мен көлденең сызаттар, түбінің үлкен аудандары, қалыңдығы 25-100 мм, диаметрі 250 мм-ге дейін, түбінен шөгіп қабат пайда болуын бастайды.		

Көріп отырғаныңыздай, проблемалар өте күрделі. Бұл жобалаушыға/таңдау жөніндегі маманға отқа төзімді материалдарды таңдауда маңызды ымыраға келуге итермелейді. Отқа төзімді материалдарды құрылымында/таңдау кезінде қолданылатын үш негізгі ережені еске түсірейік:

1. Сіз ешқашан тамаша шешім таңдай/ әзірлей алмайсыз, бірақ оңтайлы шешім қабылдауыңыз керек!
2. Егер сіз оңтайлы шешім тапсаңыз, жұмыс параметрлері өзгереді және сіз процесті қайта бастауыңызға тура келеді!
3. Бұл әрқашан қызықты болады!

2. «Демалыс күні» жобалау ережесі

«Демалыс күні» ережесі - бұл қарапайым құрылымдау. Ол нашар сценарийлерді есепке алуға және толық тәуекелдікті сақтауға тырысады.

Егер орташа температура, орташа дельта T, орташа химиялық құрам және т.б. негізіндегі қосымшаны дамытатын болсаңыз, ол мерзімінен бұрын бұзылуға бейім болады. Болат зауытының ең нашар сценарийі әдетте сенбі күнінің кешкі уақытына келеді. Қадағалау әлсіреген уақытта және операторлар болат шығаруға мәжбүр болғанда - әдетте 1700°C температурасынан шығатын «ыстық балқытулар» сияқты заттар немесе қызып кеткен қож және т.б. қатысуды қажет етеді.

Бұл жобалау кезінде назарға алынады. Отқа төзімді материалдар саласында еңбек еткен адамдардың басым көпшілігі жиі келесідей ұсыныс жасайды: «Егер сіз сенбі кешін бір жүйеге келтірсеңіз, аптаның қалған күндері өздігінен реттеледі!»

3. «Қиыршық тас үйіндісінің» талдауы

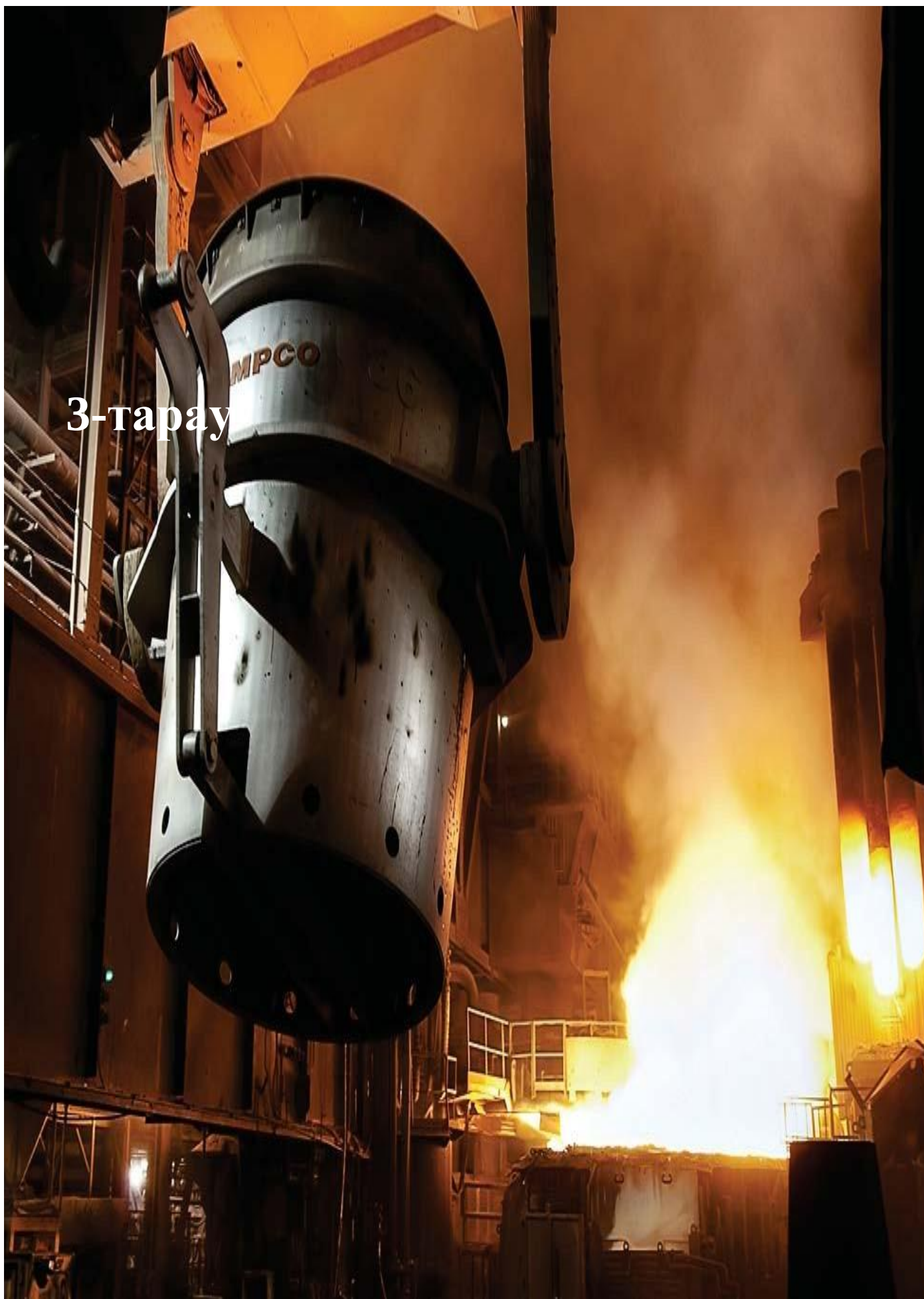
Бұл бөлім - қосымшалардың әрбір бөлімінде қолданылатын көпшіліктің алғашқы «кеңесі немесе ұсынысы». Бұл ең маңыздысы болуы мүмкін.

Отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі маман ешқашан оңтайлы конструкцияға/ құнына қол жеткізгісі келсе, ластанудан қашпауы керек!

Тозу механизмдерін шынымен түсіну үшін сіз болат цехында қокыс іздерін іздестіруге дайын болуыңыз керек. Болат шөміш гарнисажы қалыңдығының лазерлі талдауы сізге тозу деңгейін көрсетеді. Егер сіз шөмішке түссеңіз, әлдеқайда көбірек табасыз. Бір немесе екі кірпішті кен балғамен немесе кірпіш балғасымен қашаған жағдайда келесілерді байқай аласыз:

- Сіз байлау тотығуынан қазып алған кезде кірпіштің жұмсақтығын сезінесіз
- Алдын ала қыздыру кезінде және/немесе циклдық процесте артқы жағына кіретін газдармен тотығудан пайда болған артқы ақ беті
- Тік, көлденең сызаттар - қанша? Қайда? Ыстық беттік жағынан қаншалықты терең? Бұрыштар барлық беті бойынша ма?
- Қождың/ болаттың түйіспеге енуі
- Қож енуінің тереңдігі (шағын/ үлкен)
- Матрицаның немесе дәндердің немесе екеуінің де еруі

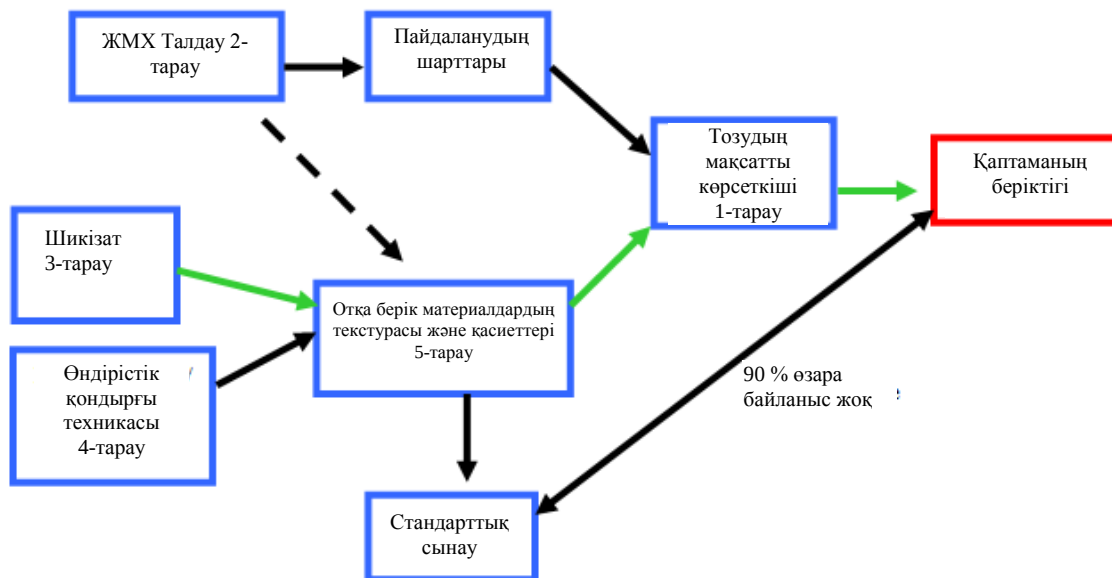
Мұның бәрі Сізге кез келген деректерді зерттеуге немесе процесті компьютерлік талдаудаға қарағанда тозу механизмі туралы он есе көп ақпарат береді. Ол сондай-ақ сізге әрі қарай құрылымдаудың шешімін береді!



3-тарау

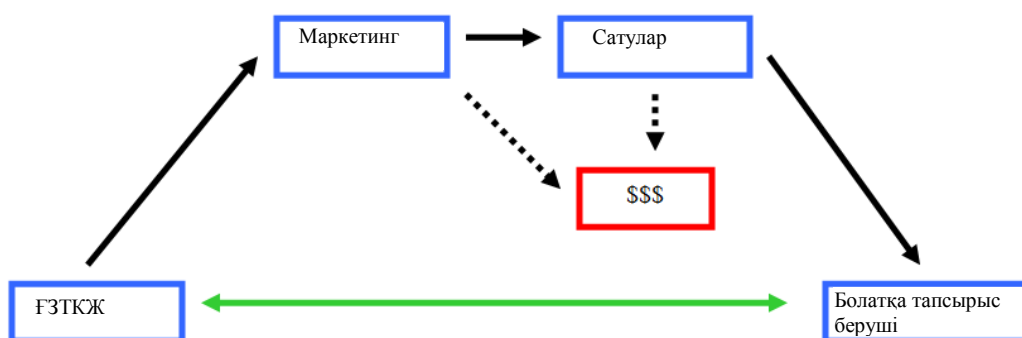
3.0 Шикізатты таңдау - Шолу

Неліктен отқа төзімді материалды таңдау үшін соншалықты шикізат қажет? Неге біз оған көп назар аударамыз? 3.1-суретте отқа төзімді материалдардың пайдаланушылық сипаттамаларына жалпы шолу көрсетілген және де қаптаманың төзімділігі шикізат негізінде құрылатыны көрініп тұр. Егер сіз сапасыз шикізаттан бастайтын болсаңыз, орнату және өндіру жағдайды қиындатса да, сипаттамаларды түзете не жақсарты алмайды.



3.1-сурет: Отқа төзімді материалдардың негізгі пайдаланушылық сипаттамаларына шолу

Көптеген өнім берушілер өздерінің шикізаттары туралы айтқылары келмейді (мысалы, Coca-Cola немесе Kentucky Fried Chicken). Олардың ойынша бұлар меншіктік құпия рецепт болуы тиіс. Алайда, болат құю зауыты мен отқа төзімді материалдар өндірушілері арасында шынымен пайдалы топтық талқылау басталуы мүмкін. Осы модель негізінде жетістіктерге жеткен болат құю зауыттары жеке тапсырыс бойынша жасалған материалдарды бірлесіп әзірлеген. Бұл саудалық қызметкерлер құрамымен емес, отқа төзімді материалдардың ҒЗТҚЖ қызметкерлер құрамымен бірге жүзеге асырылуы қажет екендігіне назар аударыңыз. Өйткені олардың 3.2-суретте көрсетілген схема талқылау үшін білімдері жеткіліксіз. Біз "кебек қалыңдығынан" өтіп, ҒЗТҚЖ қызметкерлер құрамымен бір материалдың неге жақсырақ немесе нашарлау екенін, ол неден жасалғанын және де сатулар мен маркетинг бойынша мамандар бізге айта алмайтын қандай механизмдерді пайдалану жөн екендігін тікелей талқылағымыз келеді.



3.2-сурет: Отқа төзімді сипаттамаларды жақсарту үшін тапсырыс беруші мен өнім беруші арасындағы қарым-қатынастарды көрсету

Бұл кезеңде стандартты сынау туралы қысқаша мағлұмат берілсе де, оны 5-тарауда толыққанды қараймыз. ASTM сияқты стандартты сынақтар ISO стандартты сынақтары тығыздық, кеуектілік, суық жаншу кезінде беріктікті анықтау және т. б. сияқты негізгі ақпарат үшін ғана жарамды. Бұл көрсеткіштер сізге мінсіз үлгі зертханада бөлме температурасында немесе бір өлшемді сынау режимінде өзін қалай ұстайтынын көрсеткенмен, пайдалану барысында не болатынын көрсетпейді.

Сөз отқа төзімді қоспа, торкрет-масса және т. б. туралы қозғалған болса, орнатуға қатысты айырмашылықтар зертханалық модельдеуден артып кетеді және нақты сипаттамалар туралы тағы да жалған түсінік береді.

ASTM «стандартты» сынақты және т. б. бекіту үшін 7-10 жыл қажет болуы мүмкін екендігіне назар аударыңыздар. Өйткені соңғы пайдаланушылармен, өндірушілермен, университеттер мен шикізат жеткізушілерімен мұны қалай істеу қажет екендігі туралы келісу өте қиын. Оған қоса, олар пайдалану барысында не болатынын сізге айтпайды.

Мұнай-химия өнеркәсібінде пайдалануға арналған төмендеу температуралары және жаңадан өндіруге болатын стандартталған жағдайлары бар жақсы болжамдар бар екендігіне назар аударыңыздар. Стандартты сынаулар мен қаптамалардың пайдаланушылық сипаттамалары арасында болат құю өнеркәсібінде өзара байланыс жоқ деуге болады (~ 90% байланыссыз). Қож, цикл, уақыт және т. б. сияқты қоршаған ортаны қайталап қалпына келтіру тым қиынға түседі.

Дегенмен бұл "айрықша" заттарға арналған нұсқаулық. Мысалы, егер сіз бағасы белгіленген ұсынысты іздесеңіз және үш немесе төрт өнім берушіде CCS 300 МПа кірпіштері болса, ал бір өнім берушіде CCS 100 МПа болса, бұл бір нәрсенің дұрыс еместігін көрсетеді.

Шикізат

Отқа төзімді материалдар отқа берік өнімнің (кірпіштің монолитке қарсы) құнынан ~ 40-80% құратын минералдар болып табылады. Жеткізушілер баға туралы толық мәлімет беруден аулақ болу мақсатында шикізатты ұсынуда құлықсыз (немесе техникалық қызметкерлер құрамымен сөйлесуге мүмкіндік беру) екендерін еске саламыз. Алайда, осы кітапта жинақталған білім – ең төмен ШТСТ арналған отқа төзімді материалдарды іріктеуде жетістікке алып келетін кілт. ШТСТ-тың ең табысты саласы - өнімділік пен құнның арасындағы балансты сақтауға мүмкіндік беретін отқа берік ҒЗТКЖ аналогымен, шикізатты қосқанда, бірігіп тапсырысқа өнім жасау. Өнімділік тұрғысынан бастапқы материалдар негізгі болып табылады, өйткені олар балку нүктелерін, жұмсарту нүктелерін, бөлшектердің өлшемдер бойынша үлестірілуін және т. б. бақылайды және де тиімді іріктеу үшін белгілі болулары қажет.

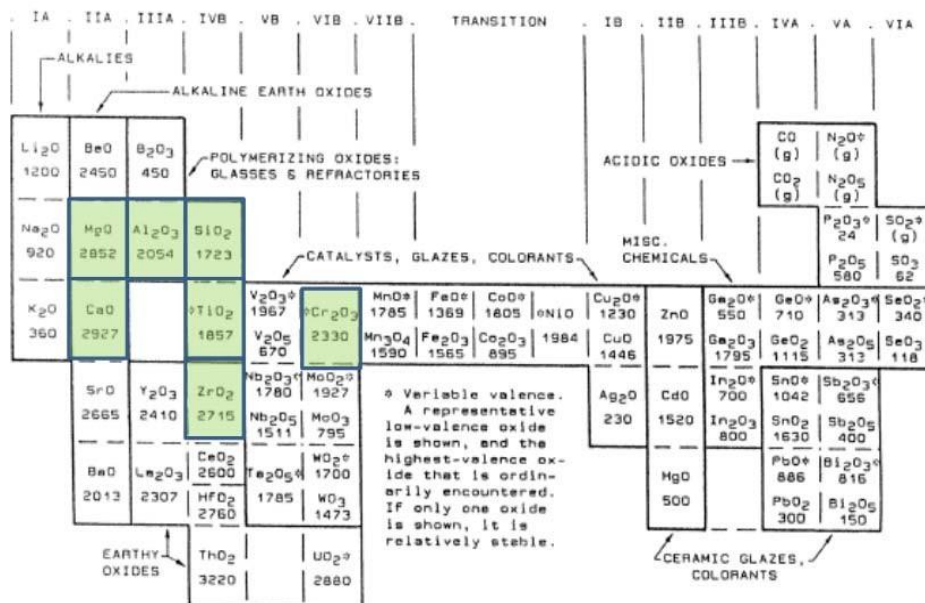
Осы кезеңде мен 2-ші тараудың бөлігін қайталау арқылы болат зауытында отқа төзімді материалдарды қолдану пайдасына сүйеніп, біз талқылайтын негізгі отқа төзімді материалдардың бар екендігін көрсеткім келеді.

Отқа төзімді материалдың балку қасиеттері (Қайта қаралды)

Отқа төзімді материал ериді және бұл пікірді бірнеше фактормен ажырата білу керек:

- Бір фазалы минерал (мысалы, MgO)
- Көп фазалы минералдар (мысалы, шпинель-MgO Al_2O_3)
- Бірнеше минералдардың қоспасы - көптеген отқа төзімді материалдар

Қысқаша баяндауды барлық отқа төзімді заттар ериді деп бастаймыз. Алайда негізгі кезең белгілі бір жұмыс температурасында қанша сұйықтықтар шын мәнінде пайда болатынында және бұл шынында жаман ба? Қазір мен жұмбақтап айтып отырмын, бірақ істің барысында түсіндіретініме сенімдімін. Пурист көзқарасынан (алайда пайдаланатын отқа беріктердің ешқайсысы таза емес) алғанда, 3.3а-суретте отқа төзімді материалдар және олардың балку температуралары көрсетілген.



3.3а-сурет: Отқа төзімді материалдар және олардың балку температуралары (Өнеркәсіптік отқа төзімді материалдар технологиясы жөніндегі анықтамалық)

3.3b-суретте шын мәнінде отқа төзімді материал үшін қолданылатын жеті (7) негізгі оксид бар екені көрсетілген. Ең қарапайым көзқарас тұрғысынан процестің температурасын анықтауға болады (мысалы, НОК ~ 1650°C болатын балқыту кезінде) және негізгі шикізат осы температурада сұйық болмайтынына көз жеткізуге болады.

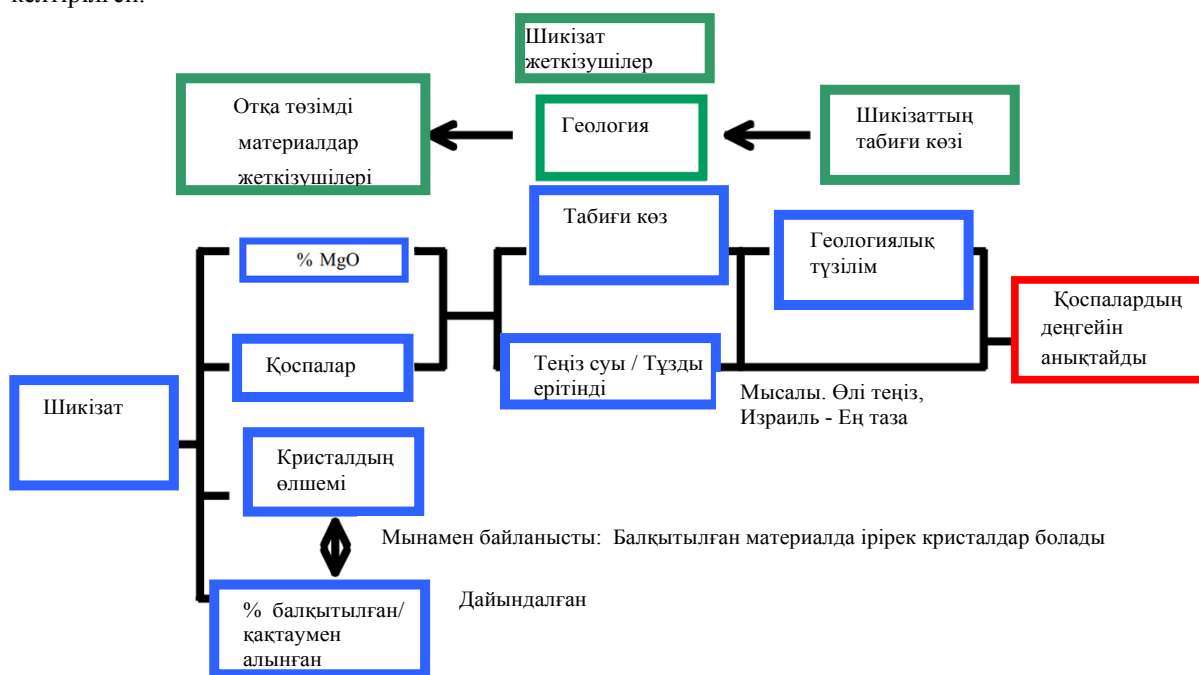
Сіздер таза материалдарды пайдалана алмайсыздар. Сондықтан, 3.3b-суретте көрсетілген отқа төзімді шикізатта пайдаланылатын минералдарға назар аударған жөн.

Өнеркәсіптік отқа төзімді материалдардың технологиялары бойынша анықтамалық

АТАУЫ	ФОРМУЛАСЫ	XLP. °C	XLP. °F	TAMXLAN N ТЕМП, °C
ТОТЫҚТАР				
ЭКТАС; КАЛЬЦИЙ ТОТЫҒЫ	CaO	2927	5300	2130
ПЕРИКЛАЗА; МАГНИЙ	MgO	2852	5165	2070
БАДДЕЛЕИТ; ЦИРКОНИЙ	ZrO ₂	2700	4890	1960
ЦИРКОНИЙ СИЛИКАТЫ; ЦИРКОНИЙ; СИЛИКАТ	ZrO ₂ SiO ₂	2550	4620	1850
КАЛЬЦИЙ ЦИРКОНАТЫ	CaO ZrO ₂	2550	4620	1850
ХРОМ СЕСКВИОКСИДІ, ХРОМ	Cr ₂ O ₃	2330	4225	1680
МАГНЕЗИТО- АЛЮМИНАТ; ШПИНЕЛЬ	MgO Al ₂ O ₃	2135	3875	1530
ДИКАЛЬЦИЙ СИЛИКАТ	2CaO SiO ₂	2130	3865	1530
КОРУНД; АЛЬФА-АЛЮМИНИЙ ТОТЫҒЫ	Al ₂ O ₃	2054	3730	1470
КАЛЬЦИЙ ТИТАНАТЫ; ПЕРОВСКИТ	CaOTiO ₂	1975	3585	1410
МАГНЕЗИТО-ХРОМИТ; ХРОМ ШПИНЕЛЬ	MgO Cr ₂ O ₃	1950	3540	1400
МУЛЛИТ	3Al ₂ O ₃ 2SiO ₂	1920	3490	1380
ФОРСТЕРИТ; СИЛИКАТ	2MgO SiO ₂	1910	3470	1370
ДИАЛЮМИНИЙ СИЛИКАТ	Al ₂ O ₃ SiO ₂	1868	3395	1340
РУТИЛ; ТИТАН ДИОКСИДІ	TiO ₂	1857	3375	1330
КРЕМНИЙ ДИОКСИДІ; КРИСТОБАЛИТ	SiO ₂	1723	3135	1230
ТЕМІР ХРОМИТ; ХРОМИТ	FeO Cr ₂ O ₃	1700	3090	1210
ОТТЕКСІЗ ҚЫШҚЫЛДАР				
КӨМІРТЕГІ; ГРАФИТ	C	3650*	6600*	2670
ТИТАН КАРБИДІ	TiC	3140	5685	2290
НИТРИД БОРИНІ	BN	3000*	5430*	2180
ТИТАН НИТРИДІ	TiN	2930	5305	2130
ТИТАН ДИБОРИДІ	TiB ₂	2900	5250	2110
КАРБОРУНД; КРЕМНИЙЛІ КАРБИД	SiC	2700*	4890*	1960
БОР КАРБИДІ	B ₂ C	2350	4260	1700

3.3b-сурет: Баяу балқитын заттардың балқу температурасы

Осылайша 3-тараудың қалған бөлігі шикізаттың негізгі түрлерінің әрқайсысын және олардың отқа берік конструкцияларда пайдалануын толығырақ қарайтын болады. MgO-ға арналған мысал 3.4-суретте келтірілген.



3.4-сурет: Отқа төзімді материал ретінде пайдаланылатын MgO процесі

3.1 Магний тотығына (MgO) шолу

Магний тотығы қазіргі заманғы әлемдегі болат құю өнеркәсібіндегі отқа төзімді шикізаттың негізгі ингредиенті болып табылады. Оның негізгі сипаттамаларын түсіну кез келген болат құю зауыты үшін жақсартулар мен баға/өнімділік көрсеткіштері үшін өте маңызды. Оның $\sim 2800^{\circ}\text{C}$ ең таза күйінде жоғары балку нүктесі бар және жердегі минералдардан немесе теңіз суының қандай да бір түрінен жасалған. MgO ешқашан табиғатта таза тотық түрінде кездеспейді. Яғни, ол 3.5-суретте көрсетілгендей жасалуы тиіс. 3.1-кестеде әртүрлі MgO көздері көрсетілген, ал 3.2-кестеде әртүрлі тұзды ерітінділердегі орташа құрамының кейбір мысалдары келтірілген.



3.5-сурет: MgO шикізатын өндіру
3.1-кесте: MgO-ның әртүрлі көздері

Минералдың атауы	Мінсіз формула	Құрамдағы MgO мінсіз мөлшері (салмақ-%)
Периклаз, тек қана табиғатта сирек және шамалы мөлшерде кездеседі	MgO	100,00
Брусит	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	69,1
Форстерит оливин	Mg_2SiO_4	57,2
Магнезит	MgCO_3	47,8
Брейнерит	$(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2$	38,8
Оливин	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	32,0
Доломит	$\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$	21,8
Серпентин	$(\text{Mg, Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	12,4

3.2-кесте: Тұзды ерітінді және MgO мөлшерінің мысалдары

Тұз ерітіндісі	Мысал	MgO-ның орташа мөлшері (салмақ-%)
Тұзды ерітіндіні шығаруға арналған ұңғымалар	Мичиган, АҚШ	9,0
Құрлықшілік көлдер/теңіздер	Өлі теңіз, Израиль	4,6
Континенттік жоғары	Цинхай, Қытай	2,6
Биік сулы көкжиектер	Атакама, Чили	1,0
Теңіз суы	Орта мұхит	0,12

Бұл магнезиялы минералдар химиялық өңдеу арқылы отқа беріктікке пайдалану үшін MgO-ға және/немесе оларды қолданғымыз келетін таза нысанды алу үшін жылытуға түрленеді. Бірнеше негізгі қағидаттарды қоспағанда, олардың өндірісіне тереңдемейміз:

- Теңізде пайда болған магнезия табиғи магнезиядан тазарак
- Балқытылған магнезия біріктістік арқылы жасалған магнезиядан тазарак
- Жалпы қоспалардың жоғары деңгейлері магнезия сапасы үшін зиянды

Бастапқы материалды түсіну маңызды екеніне және 5.1-тарауда толық талқыланатынына назар аударыңыз. Бірақ егжей-тегжейлі деректерге тән сұраныстың мысалы 3.3-кестеде келтірілген және біз бұл қарым-қатынастарды талқылайтын боламыз.

3.3-кесте: Dofasco-ғы болат төгу қауғасының бағасына әдеттегі сұратудың мысалы

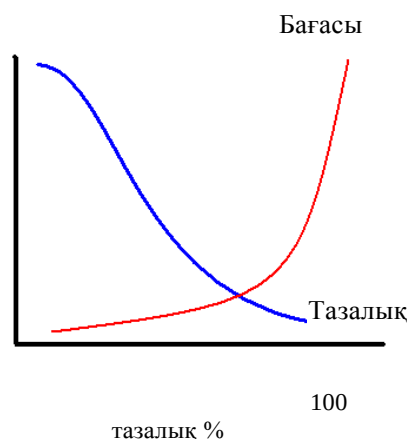
Болат төгу қауғасының отқа төзімді кірпішінің сипаттамалары		
DOFASCO БІЛІКТІЛІК ПАРАҒЫ		
		Кірпіштің түрі
I/ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ		
Қожға төзімділік және тотығуға төзімділік үшін пайдаланылады		
a/ Балқыған Магнезия (%)		
% MgO		
% SiO ₂		
% Al ₂ O ₃		
% Fe ₂ O ₃		
% CaO		
% B ₂ O ₃		
Кристалдың өлшемі (микрондар)		
Магнезия көзі (яғни, табиғи, теңіз суы, тұзды ерітінді)		
Шыққан елі		
b/ біріктірумен алынған магнезия (%)		
% MgO		
% SiO ₂		
% Al ₂ O ₃		
% Fe ₂ O ₃		
% CaO		
% B ₂ O ₃		
Кристалдың өлшемі (микрондар)		
Магнезия көзі (яғни, табиғи, теңіз суы, тұзды ерітінді)		
Шыққан елі		

Магний тазылығының маңыздылығы

MgO негізгі компоненттері болып табылатынына назар аударыңыз

- 1) % MgO
- 2) Кристалдың өлшемі
- 3) Қоспалар
- 4) % біріктірумен/балқыту арқылы алынған

Өнімділік (тозу жылдамдығы)



3.6-сурет: Өнімділік пен шикізат тазалығының ара салмағы: мақсат - «ең жақсы аймақта» жұмыс істеу

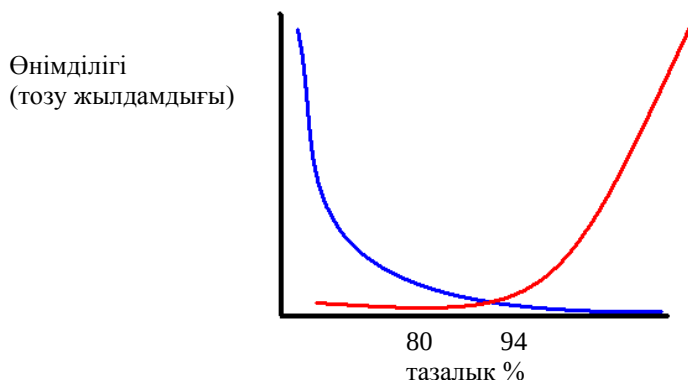
Бұл неге бізді алаңдатады?

- Өнімділігі, пайыздық тазалығы және бағасы өзара байланысты.
- Біз, 3.6-суретте көрсетілгендей, «ең жақсы аймақта» жұмыс істеуді қалаймыз.
- Өмірлік мақсат (отқа төзімді материалдар жөніндегі инженер): ең жақсы аймақты табу!

Осы қисық бағалар/тазалық қолдануға байланысты. Мысалы, 1) тоз сызығының төменгі кірпіші (3.7-сурет) және 2) НОК төменгі орталық секциясы (3.8-сурет) арасындағы айырмашылыққа қараңыз.

а) Қож сызығының төменгі кірпіші

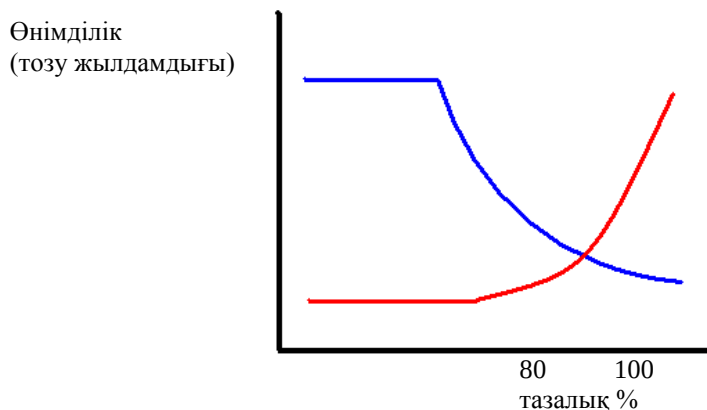
- Егер сіз 94%-дан астам тазалыққа жеткен болсаңыз, өнімділік қатты зиян тартпауы мүмкін
- Егер сіз өнімділіктің азғантай жақсаруы үшін экспоненциалды көбірек төлейтін боласыз



3.7-сурет: Өнімділігі мен қож сызығының төменгі кірпішінің тазалығы арасындағы арасалмақ.

б) НОК төменгі орталық секциясы

- Тазалықтың > 98% қажеттілігімен шекті пайдалану.



3.8-сурет: Өнімділік пен НОК төменгі орталық секция тазалығы арасындағы арасалмақ

2) кристалдың өлшемі

Өнімділік пен тазалық кестелері өнімділік пен кристалл өлшемінің және құн ара салмағына өте ұқсас.

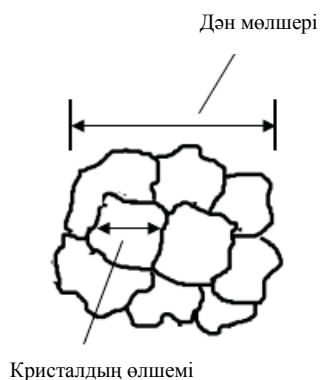
Кристалдар өлшемі — ол, 3.9-суретте көрсетілгендей, MgO дәндер ішіндегі жеке кристалдардың өлшемі. Осының химиялық реакция жылдамдығындағы маңыздылығы (қант ұнтағы туралы кофедегі кесек қантпен салыстырып ойлаңыз).

Егер сіз кофеге қанттың үлкен кесегін салған болсаңыз, ол, қант ұнтағымен салыстырғанда, едәуір жылдам еріп кететін еді.

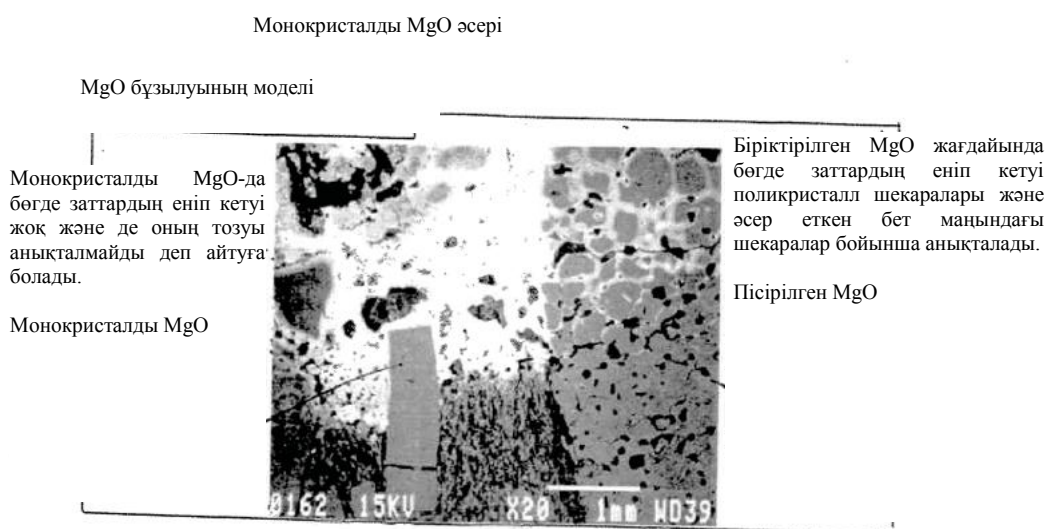
MgO монокристалл әсері - қож өте алмайды (бірыңғай тазалық жағдайында):

~ 1000 мкм-да қож өте алмайды немесе осал жерлерді таба алмайды.

~ 100 мкм-да қож, 3.10-суретте көрсетілгендей, дәннің әр шегі арқылы еніп кетеді.



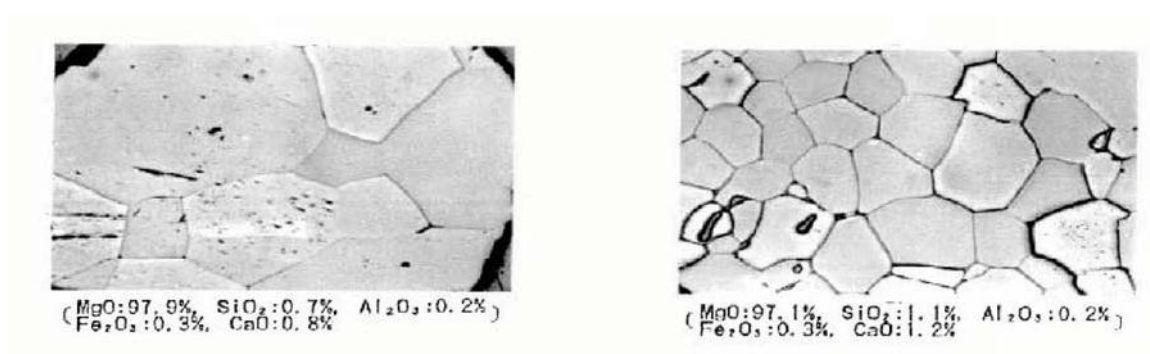
3.9-сурет: Кристалл өлшемі мен дәннің өлшемі арасындағы байланыс



«Shinagawa Refractories Co» ЖШС рұқсатымен.

3.10-сурет: Монокристалды MgO қождың өтіп кетуіне әсері

Кристалл өлшемі/MgO тазалығы деңгейінің және оның шикізат сапасына әсер етуінің мысалдары 3.11-суретте көрсетілген. Сіз кристалдарда жұмыр жиектерді көре аласыз. Бұдан сұйықтық қоспалар деңгейлерінен дәндер шектерінің бойымен пайда болғаны білінеді. Үшкір тік бұрышты жиектер дәндер жиектерінің бойында сұйықтықтың минималды пайда болуын шамалайды.



Shinagawa Refractories Co. Ltd. рұқсатымен.

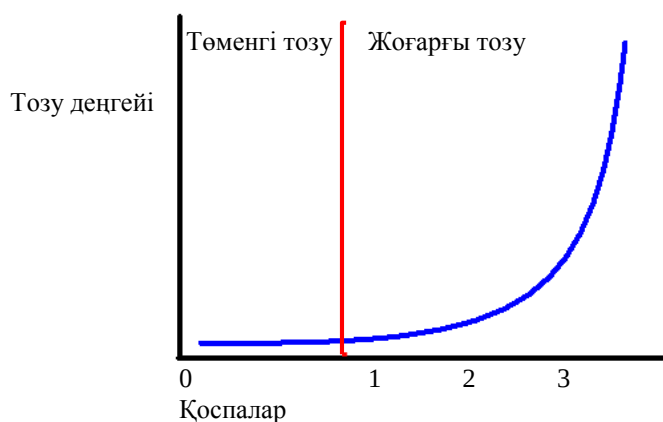
3.11-сурет: MgO дәндері тазалығының деңгейі: (а) үшкір тік бұрышты жиектер (сұйықтықтың шамалы пайда болуы) және (б) жұмыр жиектер (сұйықтықтың мол пайда болуы)

3) Қоспалар

Қоспаларға қатысты үш маңызды кезенді тексеру қажет: жалпы мөлшері B_2O_3 деңгейі және C/S қатынасы (немесе $эк/кремнезем$ қатынасы).

а) Қоспалы қосындылардың жалпы мөлшері: Al_2O_3 , CaO , SiO_2 , B_2O_3 , FeO , Fe_2O_3

Қоспалардың жалпы саны жоғарлаған сайын кристалдардың өлшемі төмендейді, ал одан кейін, 3.12-суретте көрсетілгендей, тозу жылдамдығы жоғарлайды.



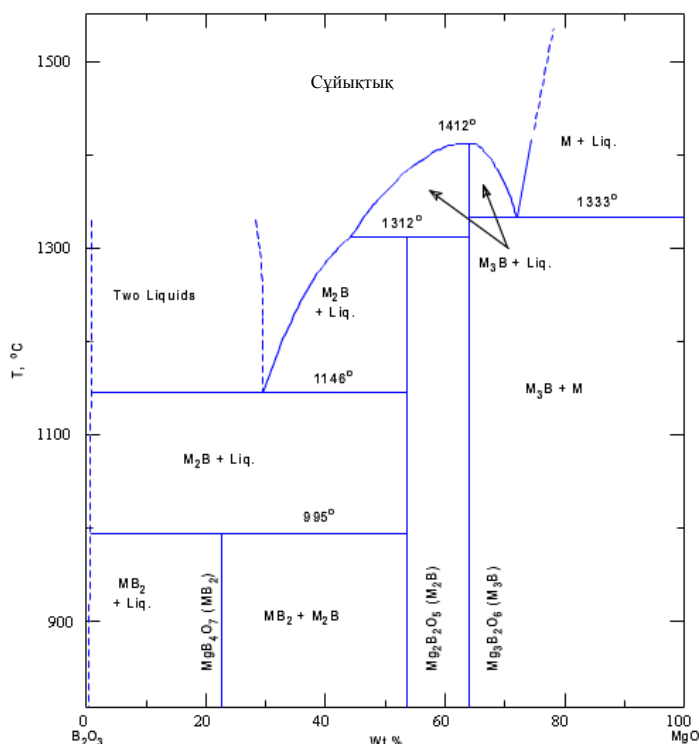
3.12-сурет: тозу жылдамдығы мен MgO дәндеріне арналған қоспалар арасындағы арасалмақ.

Сандар дәл емес - алайда осындай ара салмақтар қосымшаға да байланысты.

Сандар дәл емес - дегенмен ара салмақтар осындай (бұл қосымшаға байланысты).

б) % B_2O_3

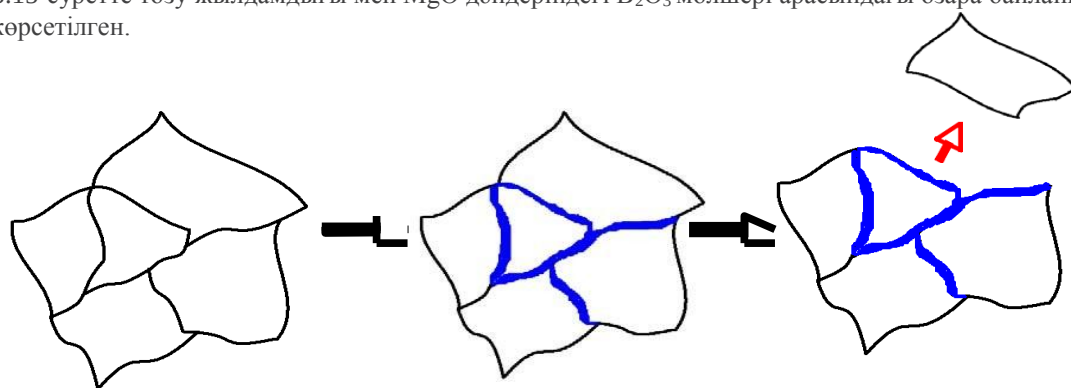
Құрамында шамалы мөлшерде B_2O_3 (0,001%-дан кем) болғанда, болат қорыту температураларда ($1600^{\circ}C$) сұйықтық, 3.13-суреттегі фазалық диаграммада көрсетілгендей, $1155^{\circ}C$ температурада пайда болады. 3.14-суретте көрсетілгендей, ол дәндер жиектері бойымен қалыптасады. Осылайша, сізде $> 98\%$ MgO болса да, мұның маңызы болмайды. Таңғажайып кристалл пайда болатын сұйық фазаның болымсыз мөлшерінің әлсіздігінен шығып кетеді.



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

3.13-сурет: B_2O_3 және MgO қос фазалы диаграмма

3.15-суретте тозу жылдамдығы мен MgO дәндеріндегі B_2O_3 мөлшері арасындағы өзара байланыс көрсетілген.

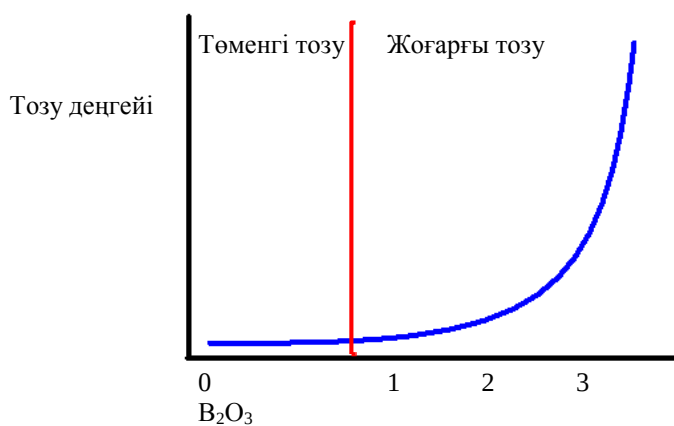


MgO дәндері B_2O_3 -пен (немесе $>1\%$ қоспалар) фаза

MgO B_2O_3 -пен (немесе $>1\%$ қоспалар) 1155°C -гі MgO -дан ертерек балқытылады. Сұйық фаза дәндердің шектерінде пайда болады

B_2O_3 сұйық фазаның (немесе $>1\%$ қоспалар) түзілімі MgO кристалының қатпарлануына әкеледі

3.14-сурет: B_2O_3 болғанда MgO дәндер шектерінде сұйықтықтың пайда болуы

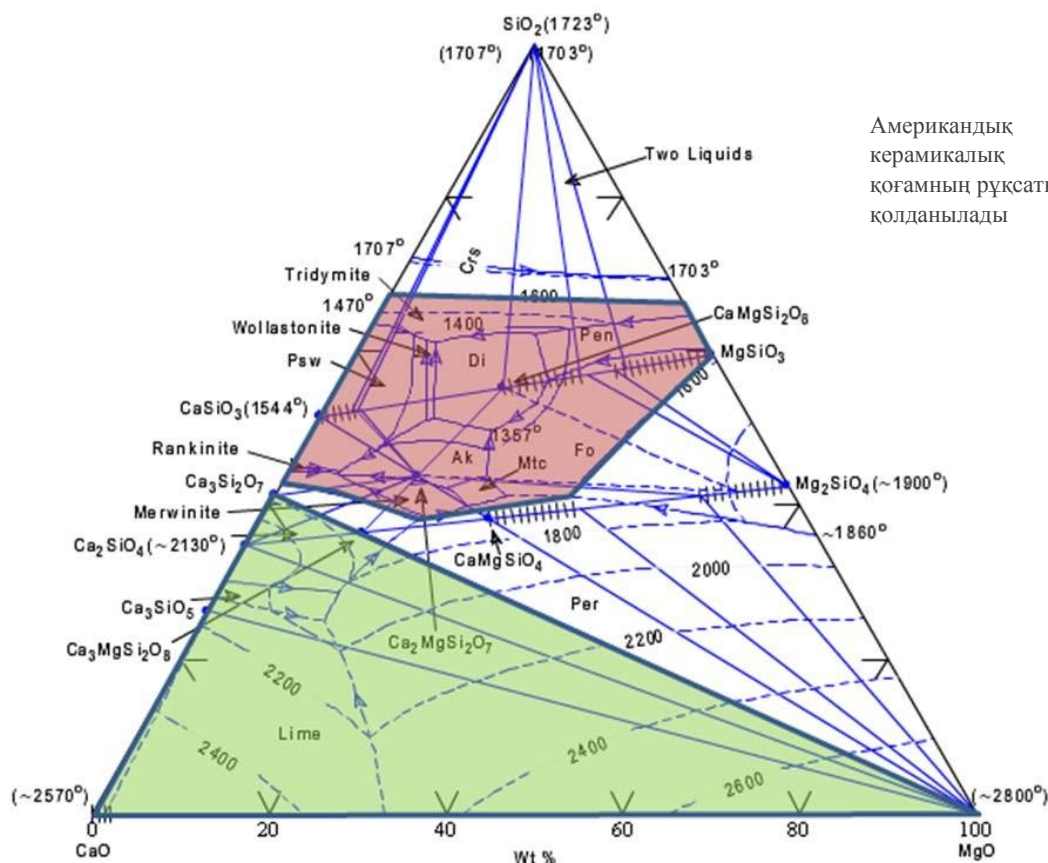


3.15-сурет: Тозу жылдамдығы мен MgO дәндеріндегі B_2O_3 мөлшері арасындағы арасалмақ (цифралар дәл емес, бірақ ара салмақ осындай)

MgO-C кірпішінде арнайы қоспаларды пайдаланғанда (мысалы, B_4C_3 , MgB_2) тек қана сұйықтықтың пайда болуына және жабынды графитке жағуға әкелетіндей болымсыз мөлшерді пайдалану қажет екендігін ескеру керек. Егер сіз тым көп қоспалар пайдаланатын болсаңыз, MgO жойылады.

Шикізат/катализатор арақатынасы

Әк пен кремний диоксидінің арақатынасы, 3.16-суреттегі үш еселенген диаграммада көрсетілгендей, тек қана қатты фазаға жету үшін 2-ден астам немесе тең болуы қажет. Арасалмақ 0,2-ден кем болуы мүмкін, алайда бұл кең таралмаған.



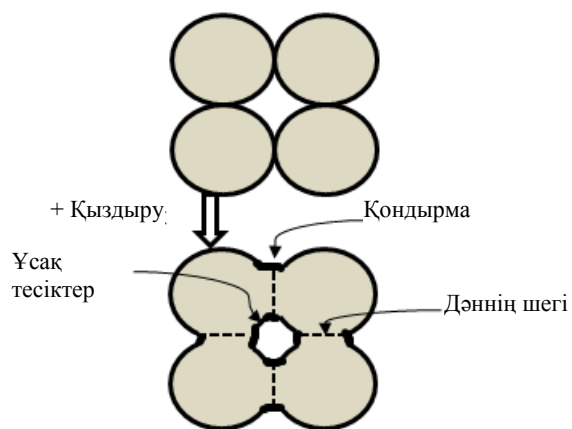
3.16-сурет: Үш еселенген диаграмма $CaO-Al_2O_3-SiO_2$

Сурет 11323-Жүйе $CaO-Al_2O_3-SiO_2$. Оңтайландырылған

G. Eriksson, A.D. Pelton, Metall. Trans. B. 24B[5] 807-816 (1993).

% біріктірумен алынған/балқытылған дәндер

Дәндердің екі түрі бар - біріктірумен алынған (3.17-суретте көрсетілгендей, ішінара балқыту үшін қыздырылған) және балқытылған (толық балқытылған және кристалдардың пайда болуымен салқындатылғандар).



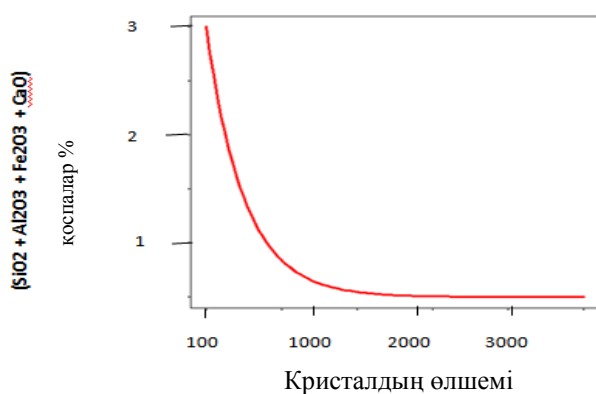
3.17-сурет: Біріктірумен алынған MgO дәнінің схемалық бейнесі

Негізгі ақпар 3.4-кестеде көрсетілген:

3.4-кесте: Біріктірумен алынған және балқытылған MgO арасындағы айырмашылықтардың қысқаша мазмұнамасы

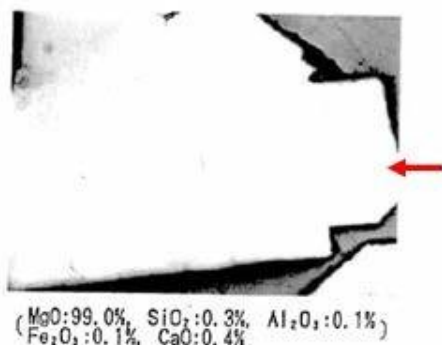
	Қақтаумен алынған	Балқытылған
Температуралар	1200°C (балқытылғаннан төмен)	2500°C (ЭДП пайдаланумен)
Қоспалар	Балқытылған	Балқытылған
Кристалдың пішіні	Жұмыр жиектер	Үшкір жиектер
Шикізат көзі	Топырақ	Теңіз суы
Қоштың енуі	Химиялық шабуыл үшін көп мүмкіндіктер	Химиялық шабуыл үшін аз мүмкіндіктер

Кристалл неғұрлым үлкен болса, 3.18 және 3.19-суретте көрсетілгендей, тозудың жылдамдығы соғұрлым жоғары болады. Бұл шешуші рөл атқарады.

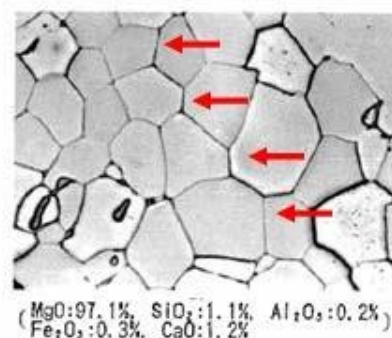


3.18-сурет: Қоспалар мен кристалдар өлшемі арасындағы арасалмақ

Қоштың еніп кетуі



(а) Шабуылға арналған беттің кішірек ауданы, химиялық шабуылдың төмен ықтималдығы



(б) Шабуылға арналған беттің үлкен ауданы, химиялық шабуылдың жоғары ықтималдығы

3.19-сурет: Қождың еніп кетуі (суреттің шегі - бет деп елестетіп көріңіз) - Кристалл өлшеміне шабуылдағы айырмашылықтар: (а) беттің шамалы ауданы және (б) беттің үлкен ауданы.

Shinagawa Refractories Co рұқсатымен.

Бұл қазіргі әлемде болат құю өндірісіндегі отқа төзімді материалдардың негізгі ингредиентін жалпылайды және оның негізгі сипаттамаларын түсіну кез келген болат құю зауытында жақсартулар мен баға/өнімділік көрсеткіштері үшін шешуші мән болып табылады. Осылайша заманауи әлемде болат құю өндірісіндегі отқа төзімді материалдардың негізгі ингредиенті жиынтықталады. Оның негізгі сипаттамаларын түсіну кез келген болат құю зауытының бағаның/сапаның жақсаруында шешу мәнге ие

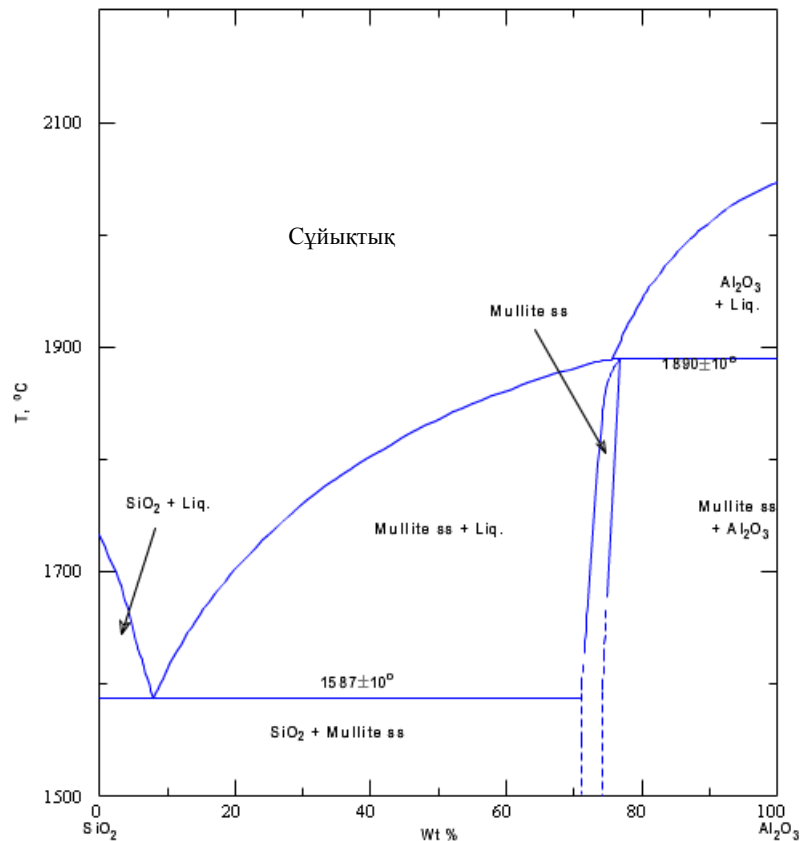
3.2 Алумосиликаттарға шолу ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$)

Алумосиликаттар магнезияға қарағанда айтарлықтай күрделі болады. Өйткені, 3.20-суретте көрсетілгендей, фазалық диаграммада отқа төзімделерде пайдаланатын бірқатар минералдарды құрайтын минералдардың кең спектрі көрсетілген.

Al_2O_3 - SiO_2 фазалық диаграммадан біз топты төрт негізгі бөлімге бөле аламыз:

- Кремнеземді отқа төзімділер
- Төмен глиноземді отқа төзімділер
- Жоғары глиноземді отқа төзімділер
- Таза глиноземді отқа төзімділер

Олардың әрқайсысы келесі тарауларда толық талқыланатын болады.



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

3.20-сурет: Al_2O_3 - SiO_2

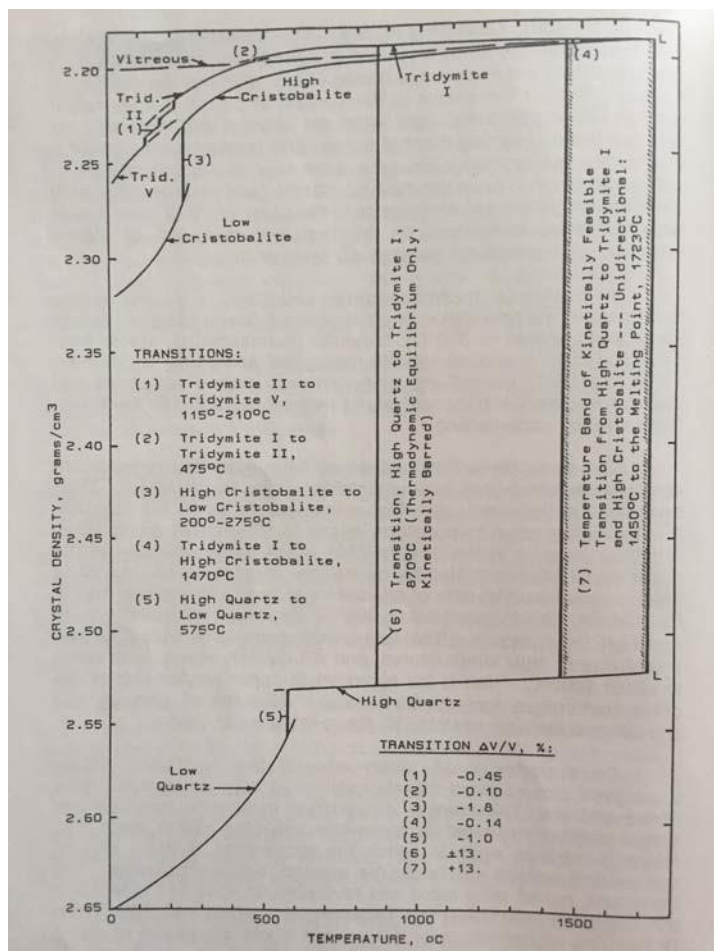
SiO_2 - Al_2O_3 жүйесі. Қосарланған фазалық тепе-теңдік. (vA) ss тепе-теңдігінің ең жақын муллиттік аймағы - Al_2O_3 -сұйықтық (бұл жұмыс); (B) қайта қаралған қосарланған фазалық диаграмма.

FJ Klug, S. Prochazka, RH Doremus, J. Am. Ceram. Soc., 70 [10] 750-759 (1987).

Кремнеземді отқа төзімділер

Егер біз 3.20-суреттің сол жақ шетінен бастайтын болсақ, отқа берік материал ретінде ең алдымен коксті пештерде және жеделдетілген тартуы бар пештерде қолданылатын кремний диоксидін көреміз. Таза күйінде оның балқу температурасы $\sim 1700^{\circ}\text{C}$ болса да, глиноземнің аздаған мөлшері оны 1600°C -ден сәл төмен температурада эвтектикалық қоспаға жылдам түсіреді.

2-тарауда талқыланғандай, кремнеземнің басты ерекшелігі- тиісті кеңейтілу арқылы аса күрделі фазалық өзгеріске ұшырауы. Ол қыздыру немесе суыты кезінде отқа төзімді материалды бұзуы мүмкін. 3.21-суретте көрсетілген.



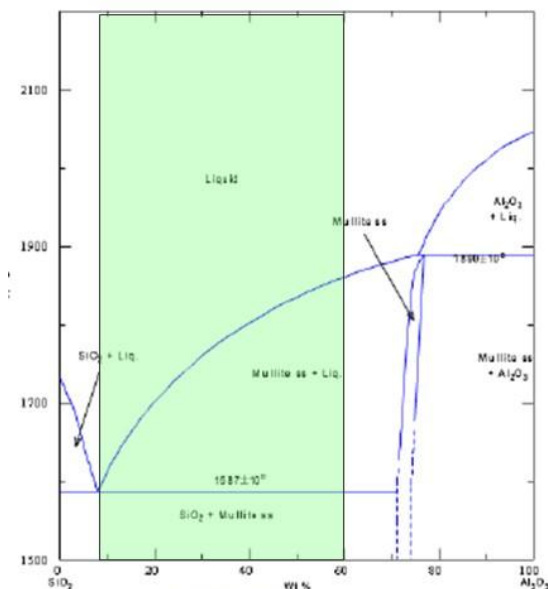
Өнеркәсіптік отқа төзімді материалдардың технологиялар бойынша анықтамалығы

3.21-сурет: Фазалық өтпелер және SiO₂ тығыздығы

Атап өтетіні, кремнезем - жылулық кеңеюі нөлге тең болғанда шыны тәрізді фазаға айналады. Оны 2000°C -ден жоғары температураға дейін қыздыруға болады. Балқытылған кремнеземді арнайы өнім ретінде қолдану айтуға тұрарлық негізгі кезеңнің бірі. Бұл қождың қолданылуында артықшылыққа ие бола алады (мысалы, МЖҚ электродты жалғастырғыштар).

Төмен глиноземді отқа төзімділер

Құрамында глинозем төмен мөлшерде болатын отқа төзімділер, 3.22-суретте көрсетілгендей, құрамында <50% глинозем бар отқа төзімділер ретінде әлсіз анықталады (негізгі эвтектика - 1600°C-гі алғашқы сұйықтық).



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен жарияланады

3.22-сурет: Құрамында таза алюминий бар отқа беріктердің ауданын көрсететін қосарланған фазалық Al_2O_3 - SiO_2 диаграммасы

Осы өнімдерді өндіруге арналған шикізат сазбалшық болып табылады (Si, O, Al, OH қоспасы). Мысалы:

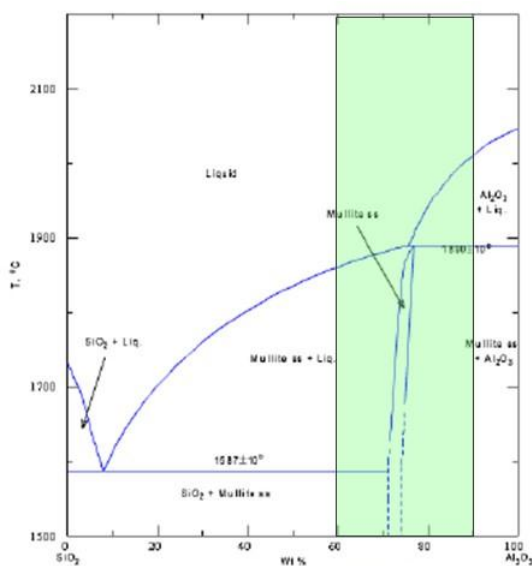
- Каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Пирофиллит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- Монтмориллонит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Қажетті минералдарды дайындау мақсатында суды жою үшін ең алдымен шикізатты қыздырады, ал одан кейін, фазалық диаграммада көрсетілгендей (3.22-сурет), кремнезем + муллит қоспасын жасайды.

Осындай тәсілмен дайындалған кірпіштер немесе бетондар әдетте төмен температуралар жағдайларында пайдаланылады және «отқа төзімді саз» деп аталады. (Болат құю өнеркәсібінде оларды шойын өндірісінде немесе оқшауламада табуға болады). Бос кремнезем жөніндегі қағидалардан соңғы жылдары осы материалдардың мөлшері азайғанына назар аударыңыз.

Жоғары глиноземді отқа төзімділер

Құрамында глинозем жоғары мөлшерде болатын отқа төзімділер, 3.23-суретте көрсетілгендей, құрамында 50-ден 90% дейін глинозем бар отқа төзімділер ретінде әлсіз анықталады (негізгі эвтектика 1830°C-де).



Жоғары глиноземді
Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен жарияланады

3.23-сурет: Құрамында көп мөлшерде алюминий бар отқа беріктердің ауданын көрсететін қосарланған фазалық Al_2O_3 - SiO_2 диаграммасы

Мен оларды екі санатқа бөлемін:

1. Сазды материалдар (кремнезем мен глиноземнің 50-70%)

Осы өнімдерді өндіруге арналған шикізат үш бірдей полиморфты химиялық формуласы бар ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) силлиманит тобы болып табылады. Олар: силлиманит, андалузит және кианит.

Фазалық диаграммада көрсетілгендей, қажетті минераларды жасау үшін, муллит пайда болуы үшін қайтадан кремнезем + муллит қоспасын, шикізатты қыздырады. Минералды андалузит, басқа минералдармен салыстырғанда, төмен жылулық кеңеюге беталысы бар және жылулық соққы проблемасы кездескен жағдайларда (ожауларға арналған болат бөшекелер) пайдаланатынын айту керек.

Осылайша жасап шығарылған кірпіштер немесе отқа берік қоспалар орташа температуралық диапазонды қолданғанда пайдаланылады. Мысалы, шойын құятын қауғаларда, құйғыш білдектерде және кейбір кезде қауғалардың болат бөшекелерінде, металды шығарудың төмен температурасы бар шөміштерде.

Муллит табиғи түрде пайда болмайтынына, алайда оны 72% Al_2O_3 кезінде ең тұрақты пішінге дейін цементтеу немесе балқытуға болатынына назар аударыңыз. Жеткізушілер осындай түрдегі муллит негізіндегі өнімдер туралы айтып береді.

2. Алюминий тотығы гидраты негізіндегі материалдар (~58-80% алюминий тотығы, бірақ <1% кремний тотығы)

Бұл өнімдерді өндіруге арналған шикізат – құрамында құрылымдық су мөлшерінің әртүрлі деңгейі бар бір химиялық формуланың ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) нұсқасы болып саналатын бокситтер немесе диаспоралар топтары болып табылады.

Қажетті минераларды жасау үшін қайтадан саздақ + муллит + шыны қоспасын алып, оларды фазалық диаграммада көрсетілгендей қыздырады.

Дегенмен, көптеген металлургиялық пайдаланулар үшін алюминий тотығының жоғары нысаны немесе балкытылған қоңыр глинозем, балкытылған ақ глинозем, немесе, 3.24-суретте көрсетілгендей, қақтаумен алынған/табулярлы глинозем қолданылады.



3.24-сурет: Глинозем негізіндегі әртүрлі агрегаттарды өндірудің технологиялық схемасы және оны қолдану

Осылайша жасалған кірпіштер немесе отқа төзімді қоспалар болат бөшекелер және шөміш түптер, құю цехтарына арналған отқа төзімді материалдар және т. б. сияқты жоғары температурада пайдалануға қолданылады. Оңтайлы өнімділікке жету үшін қандай шикізат пайдаланатынын білу маңызды.

Глиноземнің пайыздық өнімділігіне байланысты мөлшері

Глиноземнің өнімділігі шикізаттың кең таңдалымына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Мысалы, мен көрген 70% глиноземнен жасалған кірпіш үшін болат төгу қауғасының өнімділігі жеткізушінің бірдей жеңілдетілген техникалық деректермен 50-ден 100-ден астам балқытуға дейін өзгереді. Онда 70% глинозем/30% кремнезем бар деп айтылған.

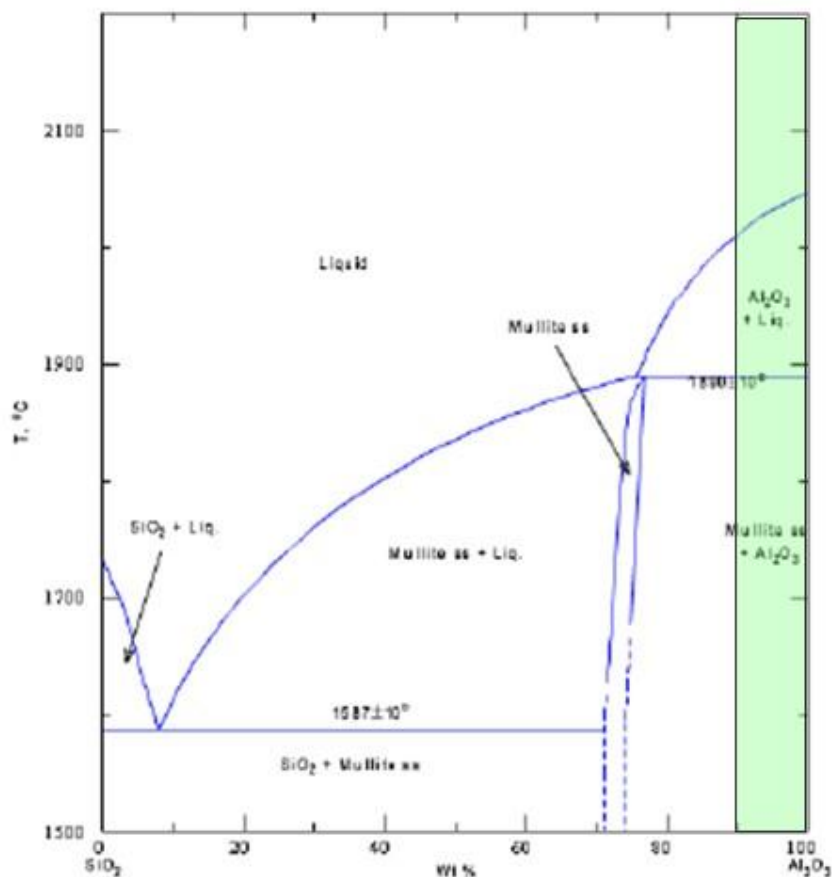
3.5-кестеде 70% глиноземді кірпіш шығару үшін қанша нұсқалар жасауға болатыныны мысал ретінде келтіреді. Бірақ бұл небәрі азғантай есеп ғана. Көптеген нұсқаларды балқудың әртүрлі нүктелерімен, бөлшектердің әртүрлі өлшемдерімен және т. б. жасауға болады. Бұл сипаттамалардың айтарлықтай өзгеруіне әкеп соқтырады. Сондықтан сіз жеткізушілер ұсынған парақтарды емес, өздеріңіздің техникалық деректер парақтарыңызды көрсете аласыз.

3.5-кесте: Al_2O_3 кірпіштің кейбір айрықшамаларының 70%-на арналған шикізат нұсқаларының мысалдары.

Шикізат			
	Al_2O_3	SiO_2	Басқасы
Саз 1	41	56	3
Саз 2	48	48	4
Андалузит	61	37	2
Муллит 1	70	27	3
Муллит 2	75	21	4
Боксит 1	88	6	6
Боксит 2	89	5	4
Балқытылған қоңыр глинозем	93	2	5
Балқытылған ақ глинозем	99	0,2	0,8
Табуляры глинозем	99	0,2	0,8
70% глиноземге арналған комбинациялар			
№ 1 комбинация	100% муллит № 1		
№ 2 комбинация	85% муллит № 2/15% саз 1		
№ 3 комбинация	35% боксит № 1/65% андалузит		
№ 4 комбинация	30% алюминийдің балқытылған қоңыр тотығы/70% андалузит		

Таза глиноземді отқа төзімділер

Таза глиноземді отқа төзімділер, 3.25-суретте көрсетілгендей, глиноземнің > 90% отқа беріктері ретінде белгіленген.



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен жарияланады

3.25-сурет: Құрамында таза алюминий бар отқа төзімді материалдардың ауданын көрсететін қос фазалы диаграмма Al_2O_3 - SiO_2 .

Осы түрдегі отқа төзімді материалдар тек қана шамалы термиялық циклдары бар қатты тозу жағдайларында пайдаланылатынына назар аударыңыз. Өйткені глиноземнің осы деңгейінде олар өте сыңғыш және шытынау мен жылу соққысына бейім болады.

3.3 Көміртекке - Графитке шолу (C)

Отқа төзімділерде көміртектің үші түрі пайдаланылады. Олар: графит, байланыстырғыштар және ұнтақтар. Алайда біз осы тарауда тек қана графитті талқылайтын боламыз және шайырларды, шайыр қалдықтарын, байланыстырғыш заттар мен ұнтақтарды 3.6-тарауға қалдырамыз.

Көміртек массасы бойынша жер жүзіндегі ең кең таралған төртінші элемент және жер қыртысындағы ең кең таралған 15-ші элемент болып табылады. Оның химиялық символы C және ол бейметалл болып табылады (дегенмен жылу және электрді өткізгенде металл сияқты әрекет етуі мүмкін).

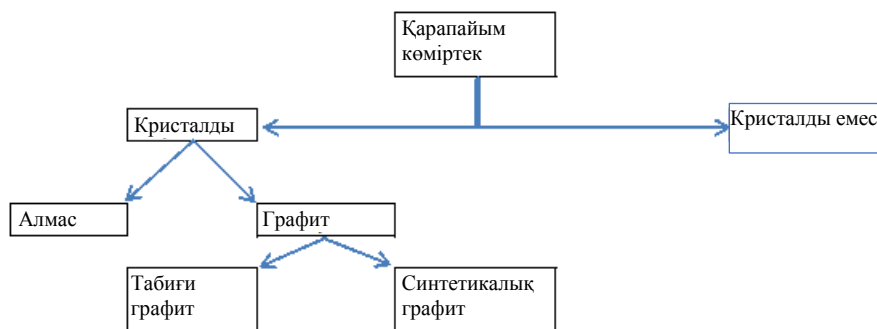
Оның біз табиғатта кездестіретін, 3.26-суретте көрсетілгендей, көмірден алмасқа дейінгі көптеген түрлері болады.



3.26-сурет: Көміртек көздерінің әртүрлі нысандары

Графит қазіргі заманғы әлемдегі болат құю өнеркәсібіндегі отқа төзімді материалдардың ішіндегі негізгі ингредиент болып табылады және оның негізгі сипаттамаларын түсіну кез келген болат құю зауыты үшін жақсартулар мен баға/өнімділік көрсеткіштері үшін өте маңызды.

Өзінің ең таза күйінде оның балку температурасы жоғары болады (~3680°C) және ол 3.22-суретте көрсетілгендей, көміртектен табиғи, сонымен қатар синтетикалық жолмен пайда болған.



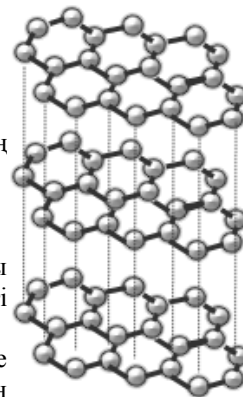
3.27-сурет: Графит көздерінің әртүрлі нысандары

Көміртек мыналардың арқасында отқа беріктерде пайдаланылады:

- Балкудың жоғары температурасы
- Жемірілуге жоғары төзімділік және сұйықтық түрінде ағатын қождың болмауы
- Жылуға жоғары төзімділік

Көміртектің кемшілігі – оның тотығуға төмен төзімділігі (әсіресе болат қорытудағы температураларда) және оның сұйық болатпен сіңірілуі (әсіресе аса төмен көміртекті болаттарды өндіргенде).

Графиттегі ең қызықты заттардың бірі - 3.28-суретте көрсетілгендей, бірінің үстіне бір қаланған жұқа үлпектер (немесе құймақтар) топтамасы болып көрінетін физикалық құрылымы.



3.28-сурет: Графит - ол физикалық құрылым

Бұл құрылым үлпектердің бағытына байланысты қасиеттердің өзгеруін тудырады. Үлпектерге қатысты сізде:

- Жоғарырақ жылу өткізгіштік
- Төменірек жылулық кеңею. Жоғарырақ электр өткізгіштік
- Төмендеу беріктігі (үлпектердің «сырғанауы») болады.

Бұл отқа төзімді материалдарда аса маңызды, өйткені өндіріс оттек және/немесе қож әсер етуі үшін беттің минималды ауданын қамтамасыз етіп, ыстық бет ылғи да үлпектердің шетінде болуы үшін орындалады.

Бастапқы материалды түсіну маңызды болып табылатынына және 5.1-тарауда егжей-тегжейлі талқыланатынына назар аударыңыз. Бірақ егжей-тегжейлі деректерге тән сұраныс мысалы 3.6-кестеде келтірілген және біз бұл арақатынастарды талқылайтын боламыз.

3.6-кесте: Отқа төзімді кірпіштің болат шөмішке арналған Dofasco біліктілік парағының мысалы

<u>Болат төгу қауғасының отқа берік кірпішінің сипаттамалары</u>		
<u>DOFASCO БІЛІКТІЛІК ПАРАҒЫ</u>		
		Кірпіштің түрі
I/ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ		
- қожға төзімділік және тотығуға төзімділік үшін пайдаланылады		
с/ Графит(%)		
Түрі (яғни, Табиғи, синтетикалық)		
Шыққан елі		
Үлпек мөлшері		
% Ұшпалы емес көміртек		
% SiO ₂		
% Al ₂ O ₃		
% Fe ₂ O ₃		

Графиттің негізгі компоненттері:

- 1) % C/қоспалар
- 2) Үлпектердің өлшемі екеніне назар аударыңыз.

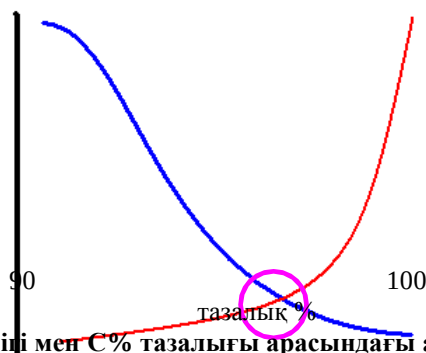
Көміртек тазалығының маңыздылығы

1) % C

Неге бізді бұл алаңдатады?

- - Өнімділік, пайыздық тазалық және баға өзара байланысты.
- - Біз, 3.29-суретте көрсетілгендей, «ең жақсы аймақта» жұмыс істегенді қалаймыз.
- - Өмірдегі мақсат (отқа төзімді материалдар бойынша инженер): Ең жақсы аймақты табу!

Өнімділігі
(тозу жылдамдығы)

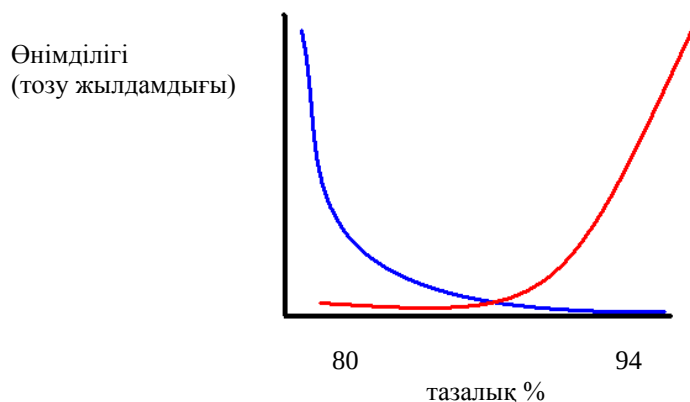


3.29-сурет: Графиттегі өнімділігі мен C% тазалығы арасындағы арасалмақ: "Ең жақсы аймақ" мінсіз жағдай болып табылады.

Баға/тазалықтың осы қисық сызықтары қолдануға байланысты. Мысалы, 1)қож сызығының төменгі кірпіші (3.30-сурет) және 2) НОК төменгі орталық секциясы (3.31-сурет) арасындағы айырмашылыққа қараңыз.

а) Қож сызығының төменгі кірпіші

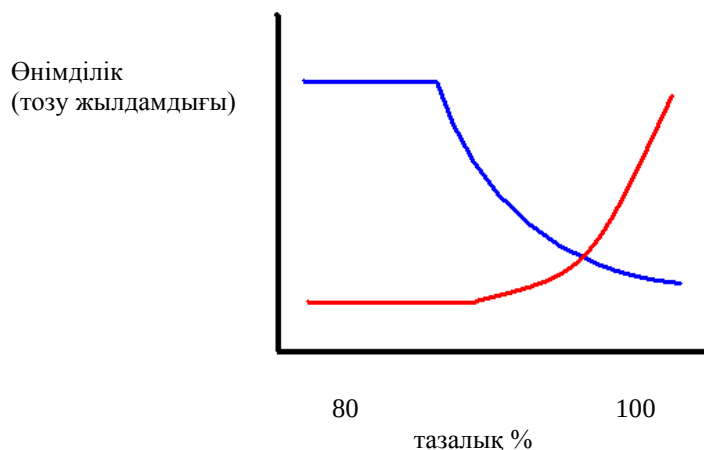
- Егер сіз 94%-дан астам тазалыққа жететін болсаңыз, өнім қатты зиян тартпайды және де сіз өнімділіктің азғантай жақсарғаны үшін геометриялық прогрессияда көбірек төлейтін боласыз.



3.30-сурет: Өнімділік пен қож сызығының төменгі кірпішінің тазалығы арасындағы арасалмақ

б) НОК төменгі орталық секциясы

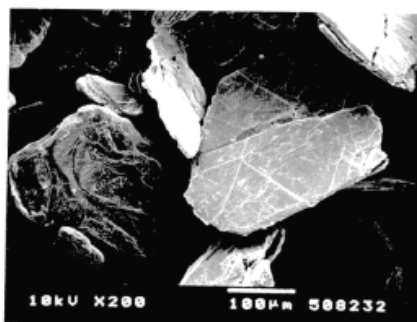
- Тазалықтың > 98% қажеттілігімен шекті пайдалану.



3.31-сурет: Өнімділік пен НОК төменгі орталық секция тазалығы арасындағы арасалмақ

2) Графит - үлпектер өлшемі

Үлпектер өлшемі — ол графиттің жеке үлпектерінің өлшемі (үлпектердің ең үлкен ұзындығы). Мысал 3.32-суретте көрсетілген.



Shinagawa Refractories Co. Ltd. ұсынған.

3.32-сурет: Графит үлпектерінің микроқұрылымы (көбею x200)

Осының химиялық реакция жылдамдығындағы маңыздылығы (қант ұнтағы туралы кофедегі кесек қантпен салыстырып ойлаңыз).

Егер сіз кофеге қанттың үлкен кесегін салсаңыз, ол, қант ұнтағымен салыстырғанда, едәуір жылдам еріп кететін еді.

Үлпектер өлшемінің әсер етуі – Қож өте алмайды (дәл сол тазалықта)

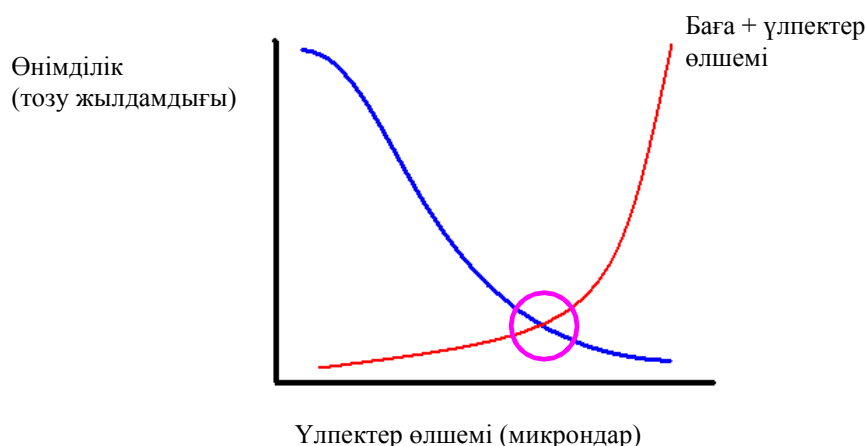
~ 500 мкм-да тотығуға төзімділік жоғары

~ 100 мкм-да тотығуға төзімділік төмен

Алдында көрсетілгендей, үлпектер өлшемі отқа төзімді материалдарда аса маңызды. Өйткені өндіріс оттек және/немесе қож әсер етуі үшін беттің минималды ауданын қамтамасыз етіп, ыстық бет ылғи да үлпектердің шетінде болуы үшін орындалады.

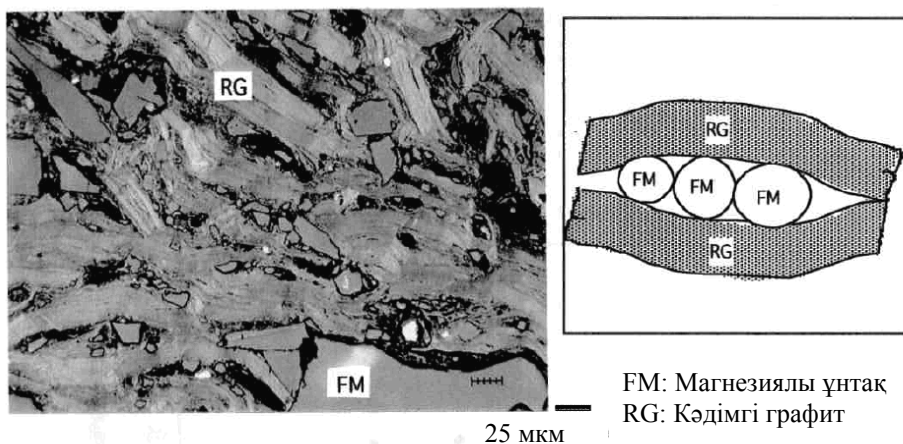
Іс жүзінде графитке арналған өнімділік:

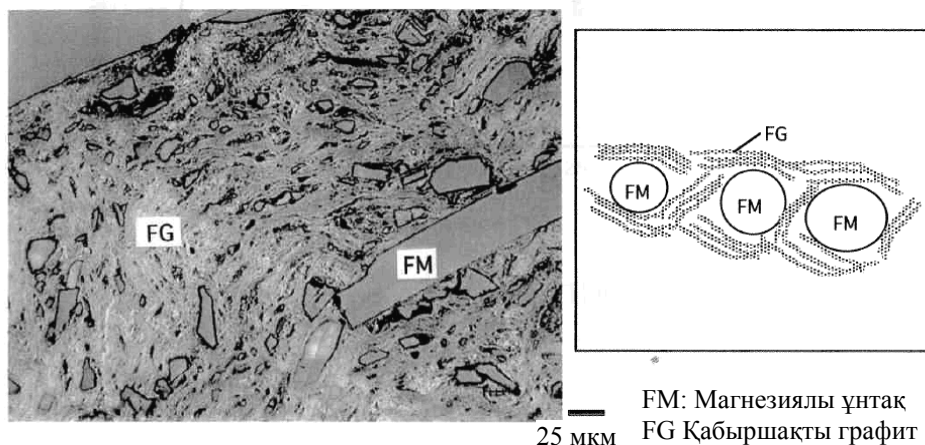
- Үлпектер өлшемі неғұрлым үлкен болса, жұмыстық сипаттамалары соғұрлым жақсы болады (тотығу төмен, жемірілу аз, жылу өткізгіштік жоғары), 3.33-суретте көрсетілгендей.



3.33-сурет: Үлпектер өлшемі мен өнімділік арасындағы арасалмақ

- Үлпектердің ені/қалыңдығының арақатынасы неғұрлым жоғары болса, өнімділігі соғұрлым жоғары болады (әсіресе жылу соққы)
- 3.34-суретте MgO-C кірпіштің микроқұрылымының мысалы келтірілген. Арнайы қолдану үшін графитті жеке үлпектерге бөлетін аса жұқа гарфит қолжетімді екендігіне назар аударыңыз. Ол қымбат, дегенмен сыртқы құйғыш стакандар (күюға арналған білдек); НОК пеш табанды кірпіш сияқты мамандырылған қолдану үшін қолданылады.





“Жұқа графит” магнезияның жеке микротүйіршіктері



Магнезияның сіңірілген жылулық кеңеюі

Shinagawa Refractories Co. Ltd. ұсынған.

3.34-сурет: Арнайы қолдануға арналған кәдімгі және қабыршақты графит қосылған MgO-C кірпіштің микроқұрылымындағы айырмашылықтар

3) Материалда пайдаланылған жалпы C %

Негізгі мәселелердің бірі ылғи мынадай: отқа беріктерге көміртектің қандай пайызын таңдау қажет?

Бұл сұраққа қысқаша күлкілі әңгімеден кейін жауап берген жөн. Отқа беріктердің инженері болғанымда мен осы сұраққа шөміштердің қож аймағына қатысты жауабын білгім келетін. Сондықтан мен өнім берушілердің бірінен маған шикізат негізіндегі үш бірдей кірпішті, жалғыз ғана өзгеріспен - көміртектің үш деңгейімен - 5%, 10% және 15%-пен дайындап беруді сұрадым. Олардың үшеуі де шөміштің қож сызығына екі шөміш үшін бір шөмішке алты панельден алмасумен жайғастырылған болатын (Бұл мені технологтар арасында әйгілі етсе, ал тас қалаушылар арасында танымалдығымды нашарлатты!)

Нәтижелер тозудың жалпы жылдамдығы барлық үш деңгей үшін статистикалық бірдей болғанымен таңғалдырды. Алайда құрамында 5% C бар кірпіш мерзімді түрде қатпарланатын қождан қорғаныш жабын құрастырып тұрды; құрамында 15% C бар кірпіш тез тозады, бірақ қатпарланбайды; және де құрамында 10% C бар кірпіш шамамен орталарында болды.

C% туралы жиынтық ақпарат ЖМХ талдауы мен сынауларға негізделген және процестердің әрқайсысы үшін анықталуы қажет.

Бұл қазіргі заманғы әлемдегі болат құю өндірісіндегі отқа төзімді материалдардың негізгі ингредиенттерінің бірін жалпылайды және оның негізгі сипаттамаларын түсіну кез келген болат құю зауыты үшін жақсарту және сапа құны үшін шешуші мәнге ие болады.

3.4 Антиоксиданттар (ең қолайлы тотық құрастырушылар)

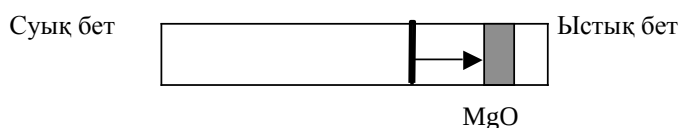
1. Оларды не үшін пайдалану қажет?

Антиоксиданттар көміртекті материалда (әсіресе MgO-C кірпішіндегі көміртекті) тотығудан қорғау үшін пайдаланылады. Көміртек оттегімен түйіскенде тура немесе жанама түрде тотығады. ~ 1400°C-де CO (газ) құру үшін тікелей көміртек пен оттегі бірігеді.

Жанама түрде, көміртек 1500 °C-ден жоғары температурада MgO көміртекпен реакциясы нәтижесінде Mg (газ) және CO (газ) тудырып, тотығады. Егер жағдайлар дұрыс болса (тозудың төмен жылдамдығы және тұрақты жағдайлар), онда Mg, 3.35-суретте көрсетілгендей, кірпіштің ыстық бетінде MgO тығыз қабатына дейін қайталап тотығуы мүмкін екендігіне назар аударыңыз:

ТУРА $C + O_2 = 2CO$

ЖАНАМА $MgO + C = Mg \text{ (бу) } + CO \text{ (НОК-та 1600°C-де)}$



3.35-сурет: Көміртектің MgO-C кірпіште тура емес тотығуы: тығыз қабаттың пайда болуы

Антиоксиданттардың үш негізгі функциясы бар екеніне назар аударыңыз:

- - Ең қолайлы тотық құрастырушылар (көміртек орнына)
- - Ұсақ тесіктерді бекітіп, оттектің кірпішке еніп кетуіне жол бермеу
- - Бетке жақын жерлерде тығыз қабаттардың пайда болуымен қайталама тотығу ықтималдығы

Антиоксиданттар тек қана шайырмен біріктірілген кірпіште пайдаланылып, шайыр қалдығымен біріктірілген кірпіште пайдаланылмайтынына назар аударыңыз. Өйткені тиімділік төмен және шайыр қалдығы басқа құрылымды түзеді (бұл 3.6-тарауда талқыланатын болады).

Отқа беріктер конструкторы жұмыс істей алатын төрт айнымалы бар:

1. Антиоксиданттың түрі: Al, Si, Mg, Al-Mg, B₄C, MgB₂, SiC
2. Антиоксиданттардың мөлшері (әдетте 0-ден 5% дейін)
3. Бір кірпіштегі әртүрлі түрлердің арасалмағы (мысалы, A/B және т. б.)
4. Антиоксиданттар өлшемін анықтау (кіші/үлкен - реакция жылдамдығын бақылау)

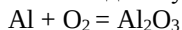
Күн соңында—сіз тиімділікті осы төрт айнымалылардың үйлесімі үшін төлейтін бағамен салыстырып анықтауға тырысасыз. Ең алдымен антиоксиданттардың әр түрін, одан кейін үш басқа негізгі саланы қараймыз.

2. Антиоксиданттың түрі: Al, Si, Mg, Al-Mg, B₄C, MgB₂, SiC

Алюминий (Al)

Алюминий болат құю өндірісінде пайдаланылатын № 1 антиоксидант болып табылады, өйткені ол тиімді және арзан (ол барлық жерлерде пайдаланылады). Әсіресе 1500°C дейін тиімді.

Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм келесі түрде көрсетіледі:



$Al + C = Al_4C_3$ (бұл ұсақ тесіктерді бұғаттаушы екендігіне назар аударыңыз). Екінші реакция MgO қатысуымен:

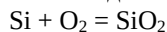


Al пайдалануда кемшілік бар: алюминий карбиді пайда болғанда, әсіресе қандай болса да ылғал бар болғанда, тиісті жарықшалар мен материалдың тозуымен айтарлықтай кеңею орын алады. Мерзімді пайдаланылатын қаптамалар үшін бұл проблемаға айналуы мүмкін.

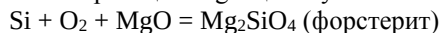
Кремний (Si)

Кремний болат құю өндірісінде ең жиі пайдаланылатын екінші антиоксидант болып табылады, өйткені ол да тиімді әрі арзан (ол барлық жерлерде пайдаланылады). Әсіресе ол 1300°C дейін тиімді. Сондықтан Al-мен салыстырғанда соншалықты жақсы болмаса да, төменірек температураларға әсер ете алады..

Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм қалыпты түрде көрсетіледі:



Екінші реакция MgO қатысуымен:



Әдетте ол өзімен өзі байқалмайды. Себебі пайда болатын кремний диоксиді сұйық құрастырушы ретінде болуы мүмкін (2-ші тараудағы фазалық диаграммада көрсетілген).

Ең жақсы әсер алу үшін 1-2% қоспадағы басқа антиоксиданттармен араластырады. Ұсақ тесіктердің бастапқы бұғаттаушысын құрастырып, төмен температураларда әрекет еткендектен, оны болат төгу қауғаларында пайдаланады.

Si пайдалануда кемшілік бар: Отқа беріктерде SiO₂ балқытпа болып табылады, бұл химиялық әсер еткенде, әсіресе глиноземді кірпіште, тозу жалдамдығының ұлғаюына әкеп соқтырады.

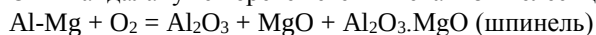
Магний (Mg)

Теориялық тұрғыдан бұл жоғары тиімді антиоксидант болар еді. Бірақ, іс жүзінде, ұнтақ түріндегі Mg оңай жаңғыш және/немесе жарылыс қаупіне жақын болғандықтан, отқа төзімділерде пайдалануға жарамайды.

Al-Mg қорытпасы

Алюминий-магнийлі қоспа (Al-Mg) болат құю өндірісіндегі отқа төзімділерде кең пайдаланатын үшінші антиоксидант. Ол да тиімді және айтарлықтай арзан (бірақ құны Al немесе Si-мен салыстырғанда жоғарырақ). Әсіресе болат қортылатын температураларда тиімді.

Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм келесі қалыпта көрсетіледі:



Сонымен қатар оның НОК кірпішіндегі Mg (r) + O₂ = MgO жанама тотығу механизміне мүмкіндік туғызуында екінші артықшылығы бар. Осы антиоксиданттың жалғыз кемшілігі болып жоғары бағасы табылады.

3. НОК кірпіші үшін 3.7-кестеде мысал ретінде пайдаланылатын үш жоғарғы антиоксиданттардың ымыралы арасалмақтары келтірілген:

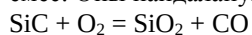
3.7-кесте: Al, Si және Al-Mg антиоксиданттарды салыстыру

	Al	Si	Al-Mg
Тотығуға төзімділік	2	3	1
Күш және механикалық кедергі	2	3	1
Жылуға төзімділік	1	3	2
Құны	2	1	3

1- Өте жақсы; 2- Жақсы; 3- Ең нашары

Кремний карбиді (SiC)

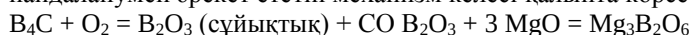
SiC болат құю өндірісінде отқа беріктерде пайдалануға болады (алайда өте сирек). Ол арзан, бірақ аса тиімді емес. Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм келесі қалыпта көрсетіледі:



Кемшілігі SiO₂-мен Si-де болатыны, бірақ сізге форстерит (Mg₂SiO₄) құрудың қосымша механизмі көмектеспейді.

Бор карбиді (B₄C)

B₄C болат құю өндірісінде өте қымбат болғандықтан сирек пайдалануға болады. Бірақ өте тиімді! Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм келесі қалыпта көрсетіледі:

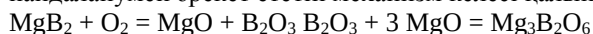


Пайда болатын B₂O₃ (сұйық) графитті жауып, ұсақ тесіктерді жылдам толтырып тастайтындықтан бұл өте тиімді. Әдетте ол өзінің жоғары бағасынан тек қана жоғары тозуы бар пайдалануда қолданылады.

Тағы бір кемшілігі бар: егер тым көп және қожбен үйлесімде тым көп MgO пайдаланатын болса, бұл, біз B₂O₃ + MgO = жеңіл балқытылатын қосындылар фазалық диаграммадан білетіндей, 1155°C температурада жоғары тозуға апарып соғуы мүмкін. Сондықтан да ол тек қана 0,5-тен 1%-ға дейінгі диапазонда пайдаланатын болады.

Магний бориді (MgB₂)

MgB₂ болат құю өндірісінде өте қымбат болғандықтан өте сирек пайдаланылуы мүмкін. Бірақ өте тиімді! Оны пайдаланумен әрекет ететін механизм келесі қалыпта көрсетіледі:



Пайда болатын B₂O₃ (сұйық) графит жабылып, ұсақ тесіктер жылдам толтырылатындықтан тиімді. Ол өзінің бағасынан әдетте тек қана жоғары тозуы бар пайдалануда қолданылады. Оның тотығуға төзімділігінің ең жоғары деңгейі бар, сондықтан ол тек қана 0,5-тен 1%-ға дейінгі диапазонда пайдаланылады. Назар аударыңыз: AMD-да жүргізілген сынаулар бор карбиді үшін НОК-ғы тозу жылдамдықтарында, магний боридімен салыстырғанда, болымсыз айырмашылықты көрсетті.

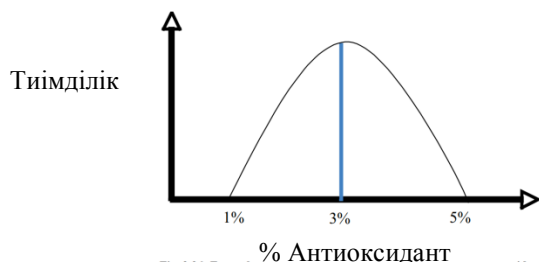
Антиоксиданттың түрін жалпылап, 3.8-кестеде төзімділік теңгерімін тотығуға бағамен салыстырғандағы жақсы шолу диаграммасы келтірілген. (Жылулық және механикалық кедергілер көрсетілмегеніне назар аударыңыз).

3.8-кесте: Төзімділіктің тотығуға теңгерімі әртүрлі антиоксиданттар үшін бағамен салыстырғанда

Антиоксидант	Жоғалту % C	Бағалардың ара салмағы
0 AO	95	0
3% SiC	70	1
3% Si	50	1
3% Al	35	1,2
Al ₂ MgO ₄	25	2,0
3% B ₄ C	20	8,0
MgB ₂	қолданылмайды	қолданылмайды

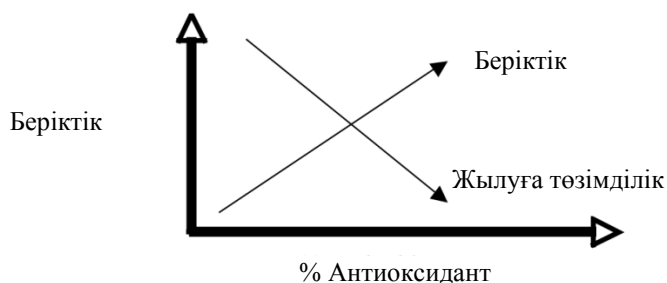
3. Антиоксиданттың мөлшері

Екінші негізгі фактор – бұл антиоксиданттың мөлшері. 3.36-сурет пайдаланылатын мөлшердің антиоксидант тиімділігімен салыстырғандағы мысалды көрсетеді. Жеке пайдаланудың әрқайсысы үшін өзінің теңгерім нүктесін табу қажет екендігін айтып ескерту қажет. (Бұл тек қана жалпы мысалдар.)

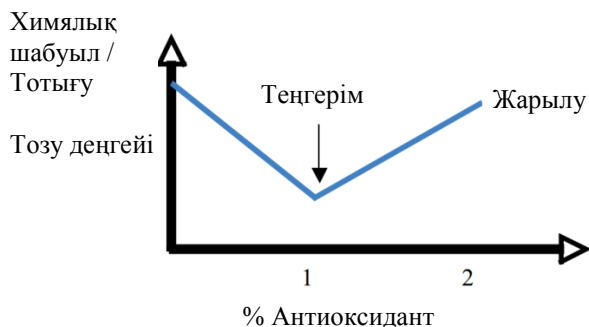


3.36-сурет: Тиімділік пен антиоксидант % арасындағы өзара байланыстың мысалы.

Түсіну қажет болатын негізгі арасалмақтардың бірі 3.37-суретте келтірілген. Антиоксиданттарды кеңінен пайдалану жоғарырақ беріктік береді, сонымен қатар жылу соққыға төмен төзімділік береді. Жемірілу мен тотығу үшін ұқсас әрекет. Сонымен қатар, 3.38-суретте көрсетілгендей, жақсы өнімділік үшін антиоксиданттың оңтайлы мөлшері болады. Бұл теңгерім әр жұмыс күйге негізделген.



3.37-сурет: Беріктік пен жылуға төзімділікпен байланысты тотықтырғыш % арасындағы арасалмақтың мысалы



3.38-сурет: Жемірілу/тотықтырғыш пен тотықтырғыш % арасындағы өзара байланыстың мысалы

4. Бір кірпіштегі антиоксиданттардың әртүрлі түрлері арасындағы арасалмағы (мысалы, А/В және т. б.) Біз бұл тақырыпты мұқият талқыламаймыз, өйткені ол жеке пайдалануға өте байланысты және оның жалпы ұсыныстары жоқ. Дегенмен, әртүрлі арасалмақтарда әртүрлі түрлерді араластыру ең жақсы ымыраға келіп, тозуға төзімділік пен баға арасындағы дұрыс теңгерімді табу үшін пайдалануға болатын есептік критерий екенін айта кету керек.

5. Антиоксиданттардың өлшемін анықтау (кіші/үлкен - реакция жылдамдығын бақылау)
Біз сондай-ақ осы тақырыпты мұқият талқыламаймыз. Тек қана кеңеюдің әртүрлі сипаттамаларын және реакцияның әртүрлі жылдамдықтарын алу үшін антиоксиданттың мөлшерін өзгертуге болатын ортақ ереже бар екендігін айтатын боламыз. Ол өте сирек, алайда, бұл дұрыс теңгерім табу үшін пайдалануға болатын тағы бір есептік критерий.

3.5 Шайырларға, күйдіргіш пен байланыстырғыш заттарға шолу

Отқа төзімді материалдарда көміртектің үш түрі пайдаланылад. Олар: графит, байланыстырғыштар және ұнтақтар. Дегенмен біз осы тарауда тек қана шайырларды, күйдіргіштер мен байланыстырғыштарды талқылаймыз, өйткені графит 3.3-тарауда қаралған болатын.

Шайырлар, күйдіргіштер мен байланыстырғыш заттар — бұл қазіргі заманғы отқа беріктерді екі негізгі себеппен бекітетін желім:

- Өндіру процесінде кірпішке беріктік беру
- Пайдалану барысында кептіру/қыздыру процесі көміртек пен газдарды кірпіштен құрады, ал қалдықты көміртек 3.3-тарауда сипатталған және төменде белгіленіп көрсетілген барлық артықшылықтарымен қалады:
- Балқудың жоғары температурасы
- Жемірілуге жоғары төзімділік және қож бен сұйық металдың дымқылдануының болмауы
- Жылуға жоғары төзімділік

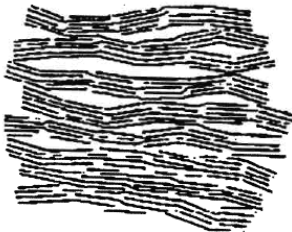
1970-ші жылдарға дейін барлық отқа төзімділер біріктіру және күйдіру жолымен бірге ұсталған болатын. Алайда 1980-шы жылдарда асфальтты қалдықты шайыр мен шайыр негізіндегі көміртекті байланыстырғыш шикізат пайда болды. Еуропа қалдықты шайыр негізіндегі өнімдерге, ал Жапония шайырмен желімделген материалдарға артықшылық беретінін айта кету керек.

Қалдықты көміртек

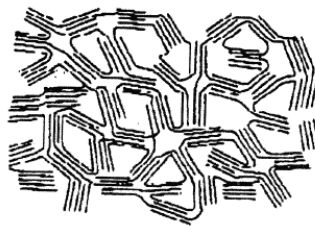
«Желім» тұрғысынан шайыр да, қалдықты шайыр да олар жүзеге асырғанда, нақты айырмашылықсыз, тек қана денсаулық пен қауіпсіздік тұрғысынан материалдады ұстап пайдалануды қоспағанда, тиімді.

Қызықты сәт болып кірпіштің тек қана 2-3% құрайтын осы материал бұрынғыдай кірпіш өнімділігінде негізгі фактор болып табылатындығы және негізгі компоненттердің технологиясы кемеліне жеткізілгендіктен, аса көңіл аудару керек болатын мәні.

Екі негізгі түрлері бар: тас көмір күйдіргіші мен синтетикалық фенолды шайыр. Олардың екеуі де қыздырғанда кірпіште ~ 50% көміртек береді, дегенмен осы екі компоненттің құрылымдары, 3.39-суретте көрсетілгендей, әртүрлі болады.



а) Тас көмір күйдіргішін қыздырғанда құрылған ұзын жұқа графитке назар аударыңыз



б) Синтетикалық фенолды шайыр қыздырғанда құрылған қысқа матрицалы графитке назар аударыңыз

3.39-сурет: А) тас көмір күйдіргіші мен б) синтетикалық фенолды шайыр құрылымы

Екі түрдің артықшылықтары 3.9-кестеде көрсетілген:

3.9-кесте: Қалдықты шайыр мен фенолды шайырдың артықшылықтарын қысқаша мазмұндау

Сипаттама	Көміртекті қалдықты шайыр	Көміртекті шайырлар
Қалдықты қалыптастырылған графит	Ұқсас	Ұқсас
Кеуектілік	Үлкен диаметр - нашарлау	Кіші диаметр - жақсырақ
тотығуға төзімділік	Биіктеу	Төмендеу
Беріктік (Бөлме темп. MOR)	Төмендеу	Биіктеу
Бойлық серпінділік модулі	Төмендеу	Биіктеу
Кірпіштің иілгіштігі (Жұмсаруы)	Жақсырақ	Нашарлау
Соққылық тұтқырлығы	Биіктеу	Төмендеу
Жылулық кеңею коэффициенті	Ұқсас	Ұқсас
Еңбекті қорғау және қауіпсіздік техникасы	Нашарлау	Жақсырақ
Экологиялық проблемалар	Биіктеу	Төмендеу

Екі мысал желімдеудің осы екі жүйесі арасындағы айырмашылықтарды көрсету үшін пайдалы болады.

1) Болат шөміштің шибер тақталары

- Бір компания көптеген жылдар бойы шайырмен байланысқан шиберлік тілімшелерді пайдаланды және әзірлеу мен дизайнның арқасында біз тілімшелер жиынтығына орташа алғанда ~ 5-7 жылу бірліктерін алдық, оған қоса негізгі факторлар болып жылулық соққы, тотығу және кальцийлі шабуыл табылады.
- Көміртекті тақтаға көшіп (шын мәнінде, негізгі компоненті болып күйдіргіш табылатын отқа жоғары төзімді тілімшеге), олар қызмет ету мерзімін бір апта ішінде орташа алғанда 10-14 жылу бірлігіне дейін екі есе жоғарлата алды! Шын мәнінде желімдеу жүйесі жалғыз өзгеріс болды.
- Көміртекті тақталар өндіруде едәуір қымбат екендігін (қалпына келтіретін газды атмосферасы бар пештерде қыздыру) және сатып алғанда қымбат тұратынын айта кету керек. Дегенмен жалпы құны/болат тоннасы тақталарды орнататын адамдар санын азайтуды қосқанда, айтарлықтай төмендейтін еді.
- Осындай қатты тотығу, термиялық соққыға арналған. Бұл қарастырылатын науқан үшін дұрыс шешім болар еді.

2) Екі ванналы пештегі ЭДП кірпіштер

Қосарлы қабықшасы бар дара дінгекті электродқа арналған конструкция бірегей және ЖМХ талдауда көрсетілгендей негізгі міндеттерді қояды. Талдау 3.10-кестеде көрсетілген.

3.10-кесте: Электр доғалы пештің «ЖМХ» талдамасы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Болат шөміштің реттығыны	Негізгі қасиеттер
Жылулық	Шекті температура (Т)	Қранның температурасы: Максат - 1650°C Макс. - 1700°C	Пайдаланылатын шикізаттың тазалығы. Көміртектің пайызы және көміртекті байланыстың бүтіндігі.
	Жылулық соққы - температураның кенет ауытқуындағы шытынау (6 Т): температура өзгеруінің жиілігі мен амплитудасы	Қосарлы қабықшасы бар конструкцияның арқасында максималды өнімділік күніне жылудың 24 бірлігін құрады, бұл пешке күнделікті жылудың небәрі 12 бірлігін құрады.	Жылулық соққыға кедергі қыздырғандағы төмен беріктікпен, төмен МОЕ, төмен жылулық кеңеюмен, жоғары жылу өткізгіштікпен анықталады
Механикалық	Қажалу	Болат пен қождың кірпіш бетімен жылжуы	Қыздырғандағы беріктік
	Соққылы әсер	Сынықтардың кірпішке құлауының әсері	Қыздырғандағы беріктік, бұзудың жоғары жұмысы
Химиялық	Еру	Қождың химиялық құрамы, өңдеу уақыты және температурасы	Шикізаттың тазалығы және минералдары жайғастыру, ұсақ тесіктерді өлшемдер бойынша үлестіру
	Ену	Қождың аққыштығы, жоғары тотықтырғаш әлеует, өйткені қыздыру/кезен/пеш өте төмен	Көміртектің мөлшері мен көздеріне, сонымен қатар ұсақ тесіктерді өлшемдер бойынша үлестіруге негізделген тотығуға төзімділік

Екі ванналы электр пештер үшін қажетті қасиеттер жылулық соққыға жоғары төзімділік қажеттілігі және әр пештегі өндірістің салыстырмалы төмен көлемінен тотығуға беріктіктегі қажеттілік болып табылады. Бұл жағдайлар магнезиялық-көміртекті емес, күйдіргішпен байланысқан магнезиялық-көміртекті кірпіштерді таңдауға алып келді. Жылулық соққыға ең жақсы төзімділік аралық температуралардағы күйдіргіштің жұмсартқыш қасиеттерімен негізделген, ал тотығуға ең жақсы төзімділік күйдіргіш құрастырған көміртекті құрылымның арқасында енгізілген.

Басқасы

Шайыр және күйдіргішті жеткізушілер өзінің қоспаларын ең жақсы үйлестіруге қол жеткізу үшін ұсынады. Оған қоса, күйдіргіш ұнтақтар (ұсақ күйе) отқа төзімді материалдарға жұмсартқыш қасиеттер беру үшін пайдаланғандықтан, желімдеу жүйелері одан да күрделіге айналады.

Экологиялық факторлар

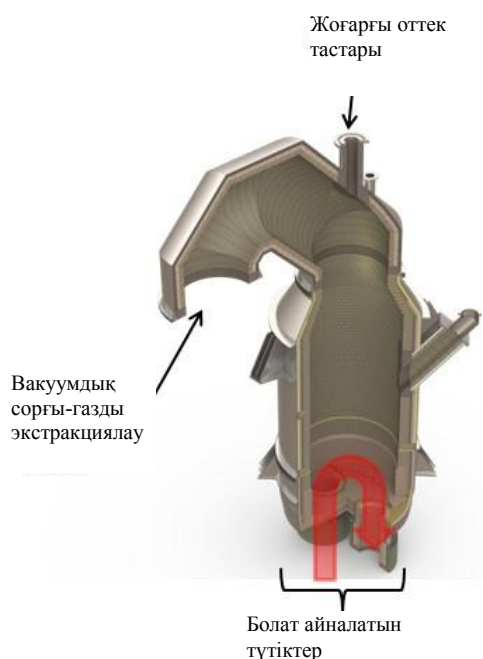
Тас көмір күйдіргіште де, сонымен қатар синтетикалық фенолды шайырда да негізгі кемшілік бар. Осы кірпіштер қатайғанда денсаулық, қауіпсіздік пен қоршаған орта үшін проблема тудыруы мүмкін буларды шығарады.

Қызметкерлер компанияларға булардың әсер етуіне қатысты көптеген шағымдар түсірді. Атап айтқанда: жүрек айнуы, бастың ауруы және тамақ/көздерінің тітіркенуі. Сипатталған симптомдардың баяу балқитын шайырлардың ыдырау өнімдерін деммен ішке тартқандағы реакциямен байланысты болғаны анықталды.

Өртүрлі концентрацияларда бөлініп шығарылатын кейбір өнімдер - бензол, фенол, формальдегид және күйе. Осы мәселелерді шешуге арналған стратегиялар:

- Күйіктеспені қашықтағы жерде, қызметкерлер құрамынан алыста жою (нақты шешім емес)
- Табиғи газ, оттегі және т. б. теңгерімдеу үшін жанарғының максималды тиімді жағып жіберу мақсатындағы (жақсы, бірақ толық емес) жақсартылған технологиясы
- Кірпіштегі байланыстырғыштың мөлшерін төмендету тәсілін іздеуді жалғастырыңыз (2%-дан төмен алу қиынға түседі)
- Өндірушінің жерінде алдын ала кептіру және/немесе күйдіру (құны жоғары және материал құлдырауы мүмкін)
- Буларды жинау және кейін оларды жағып жіберу (қымбат, бірақ 100% тиімді)

ULC болаттар үшін кейбір өндірушілер вакуумдық бакты газсыздандыру қондырғысын пайдаланады. Ал басқа зауыттарда кірпішпен беттік үлкен контактісі бар R-HOB түрін пайдаланады. (3.41-суретті қараңыз). Шөміштен келіп түскен болат қайта айналатын R-HOB бір түтікке жоғары қарай көтеріледі, көміртекті қалпына келтіреді, одан кейін қалпына келтірілген болатты кері қарай басқа түтікшеге жібереді. Беттің ауданы бұл жоғары байланысты көміртектендіруге бейім болады. Сондықтан олар соңғы болат өніммен өзара әрекеттесуді азайту үшін MgO SiO_2 пайдаланады.

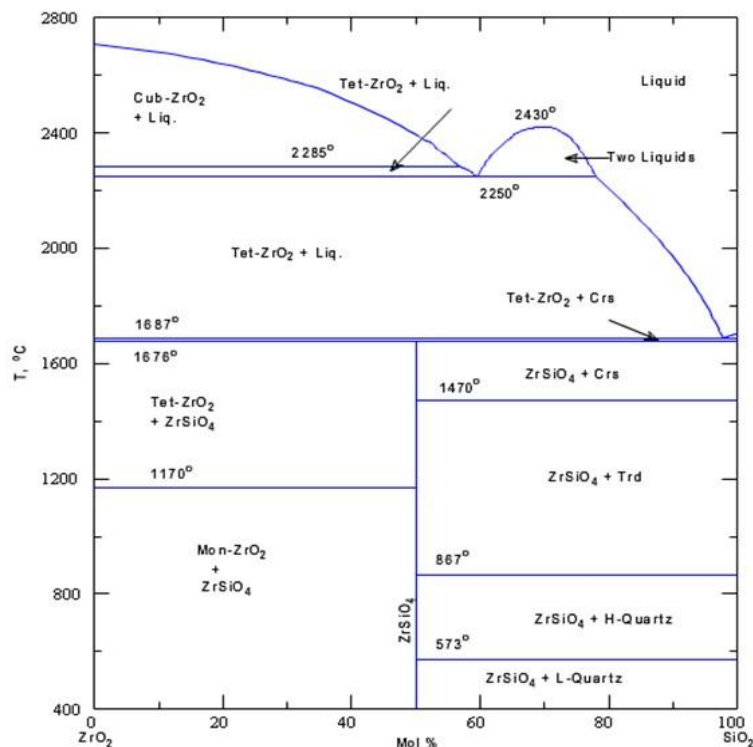


3.41-сурет: R-HOB процесіне шолу

2. Циркон/Цирконий

Цирконий — ол ZrO_2 , сонымен қатар бадделеит деген атаумен белгілі. Табиғи нысанда ол тек қана Бразилияда кездеседі. Ол балкудың жоғары температурасына $> 2300^{\circ}C$ ие және оның тамаша отқа төзімділік қасиеттері бар. Дегенмен, 2-тарауда талқыландандай, оның тұрақтылықпен проблемалары да бар.

Циркон ($ZrSiO_4$) — ол құм түрінде Флорида АҚШ және Оңтүстік Африкада табылған және ожау құмына арналған материал ретінде кеңінен пайдаланылады. Қосарлы фазалық диаграмма SiO_2 - ZrO_2 3.42-суретте келтірілген. Цирконий диоксиді циркония, ZrO_2 1700 °С-ден жоғары температураға дейін қыздыру жолымен алып шығарылуы және отқа берік материал ретінде пайдаланылуы мүмкін.

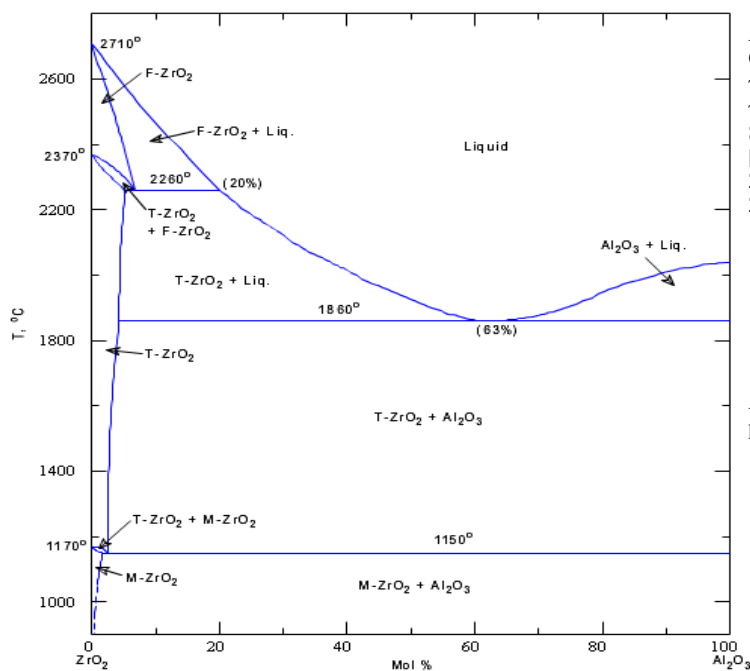


SiO_2 - ZrO_2
Сурет 02400-Жүйе ZrO_2 - SiO_2 ұсынылған. C, mon және tet, сәйкесінше, текше, моносиналы және тетрагоналы симметрияға жатады. Crist кристобалит, Trld = тридимит, ZrO_2 (mon) = бадделит, а $ZrSiO_4$ = циркон. W.C. Buttermann, W.R. Foster, Am. Mineral 52 [5-6] 880-885 (1967)

Американдық
керамикалық қоғамның
рұқсатымен қолданылады

3.42-сурет: Қосарлы фазалық диаграмма SiO_2 - ZrO_2

Глиноземді графиттің отқа беріктеріндегі сырғымалы ысырмаларда және батырмалы құйғыш стакандарда пайдаланатын басқа материал болып балқытылған глинозем-цирконий диоксиді табылатынын айтып кету қажет. Сонымен қатар оның жоғары температурасының, қымбат болса да, тамаша қасиеттері бар. 3.43-сурет Al_2O_3 - ZrO_2 үшін қосарлы фазалық диаграмманы көрсетеді.



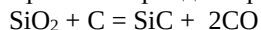
Al_2O_3 - ZrO_2
Сурет Zr-088-Жүйе ZrO_2 - Al_2O_3 . T = тетрагоналды; M = моносиналы; F = флюоритті түр (куб.). S. N. Lakiza, L.M.Lopato, J. Am. Ceram.Soc.,80 [4] 893-902 (1997). 2600 2200

Американдық керамикалық қоғамның
рұқсатымен қолданылады

3.43-сурет: Қосарлы фазалық диаграмма Al_2O_3 - ZrO_2

3. Кремний карбиді

Кремний карбиді кварцты құм мен кокс реакциясынан келесі түрде жасалған табиғи шикізат болып саналады:



Бұл отқа беріктерде түйіршіктелген пішінде пайдаланылатын қара материал.

Кремний карбидін пайдаланудың негізгі артықшылығы келесілер:

- Өте берік және үйкеліске/әсер етуге тұрақты материал
- Процестен жылуды бұруға арналған жоғары өткізгіштік - жылулық соққы үшін жақсы
- Қождың дымқылдатпайтын қасиеттері

Оның екі негізгі кемшілігі бар:

- Ол оттегімен 800°C-ден бастап реакцияға түскендіктен тотықтырғыш ортада жақсы отқа берік болып табылмайды.
- Ол оттегімен реакцияға түскенде болат құю өндірісінде отқа берік заттардың көбіне залал келтіретін кремнеземді құрайды.

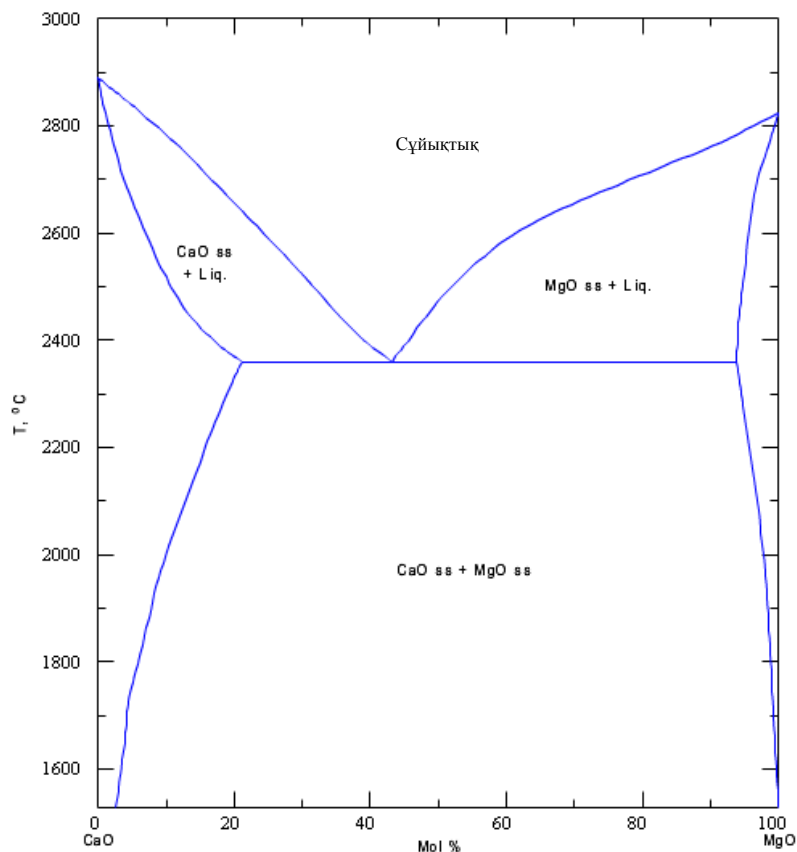
Осы себептер бойынша тар шеңберде мамандырылған отқа берік шикізат бірнеше негізгі қолдануда пайдаланылады:

- Домна пештері (қалпына келтіру атмосферасы, сондықтан мұнда отқа беріктік жақсы)
- Ыстық сұйық шойынмен (BF астаулар, торпедалар, ыстық металл шөміштер) оны кремнезем мен көміртек үйлесімімен пайдаланылады. Оның дымқылдатпайтын қасиеттері осы қождар үшін жақсы және тотығу орын алғанда осы қышқылдарға төзімді отқа берік жағдайларда лайықты болып табылады.
- Құю өндірісінің кейбір отқа берік материалдары көміртекті қорғауға арналған басым тотықтыру мақсаттарында пайдаланылады.

3.7 Доломит

Доломит - ол карбонатты шөгінді жыныстың және кристалдарда табылған кальций-магний карбонатынан $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ тұратын минералдың атауы.

Қыздырған кезде көмірқышқылды газ жойылып, әк пен магнийдің қоспасы қалады. Бұл химиялық теңдікте және 3.44-суреттегі диаграммада көрсетілгендей, балқудың жоғары температурасы бар отқа жоғары берік материалды береді:



Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

3.44-сурет: Қос фазалы диаграмма CaO - MgO

Негізгі сәттер

- Бірінші сұйықтық 2370°C-де (өте жоғары) - отқа беріктер үшін өте жақсы
- Өте тұрақты отқа берік доломит ретінде, ең бастысы, кірпішті қорғайтын қождың кремнеземді жүйесін пайдаланатын электр цехының болат шөміштерінде қолданылады. Бұл материалдың негізгі проблемасы оның гидратация - кез келген бос сумен (тіпті ылғалмен де) әрекет ететін және бөлме температурасында үгілетін гидраттарды құратын болады.

Доломит көптеген елдерде қымбат емес және оңай қолжетімді болып табылатынын айта кету керек. Бұл оны металлургия зауыттарында пайдаланудың негізгі себептердің бірі болып табылады. Басқа негізгі себебі CaO және MgO осыншалықты тұрақты болғандықтан, болатқа өте инертті және қосылыстардың аз мөлшері бар жоғары сапалы болаттарды дайындау үшін өте жақсы. (1.4-тарауды қараңыз).

Әдетте доломиттен жасалған отқа берік бұйымдардың үш түрі пайдаланылады:

1. Күйдірілген кірпіштер

- Күйдірілген кірпіш түйіршіктерді өлшемдер бойынша лайықты үлестірілген доломитті шикізатты су негізіндегі уақытша байланыстырғыш заттармен араластыру, одан кейін оларды кірпіш пішіндеріне сығымдау жолымен жасалады. Одан кейін оларды біріктіреді. Бұл оларды соңғы өнім үшін қақтап біріктіреді.

- Стандартты доломитті кірпіштің құрамы ~ 40% MgO және 60% CaO. Кейбір жақсартулар белгілі қасиеттерге жету үшін жасалуы мүмкін екендігіне назар аударыңыз. Мысалы, кейбіреулері магниймен байытылған, химиялық төзімділеу кірпіш шығару үшін кірпіштерге MgO қосады. Басқалар жылулық соққыға төзімділікті жоғарлату үшін цирконий диоксидін қосады. Өйткені ол жарықшалардың пайда болуын бәсеңдете алатын жылулық кенеюдің сәйкессіздігінен ішкі жарықшаларды жасап шығарады.

2. Күйдірілмеген кірпіштер (шайырлы немесе күйдірілген)

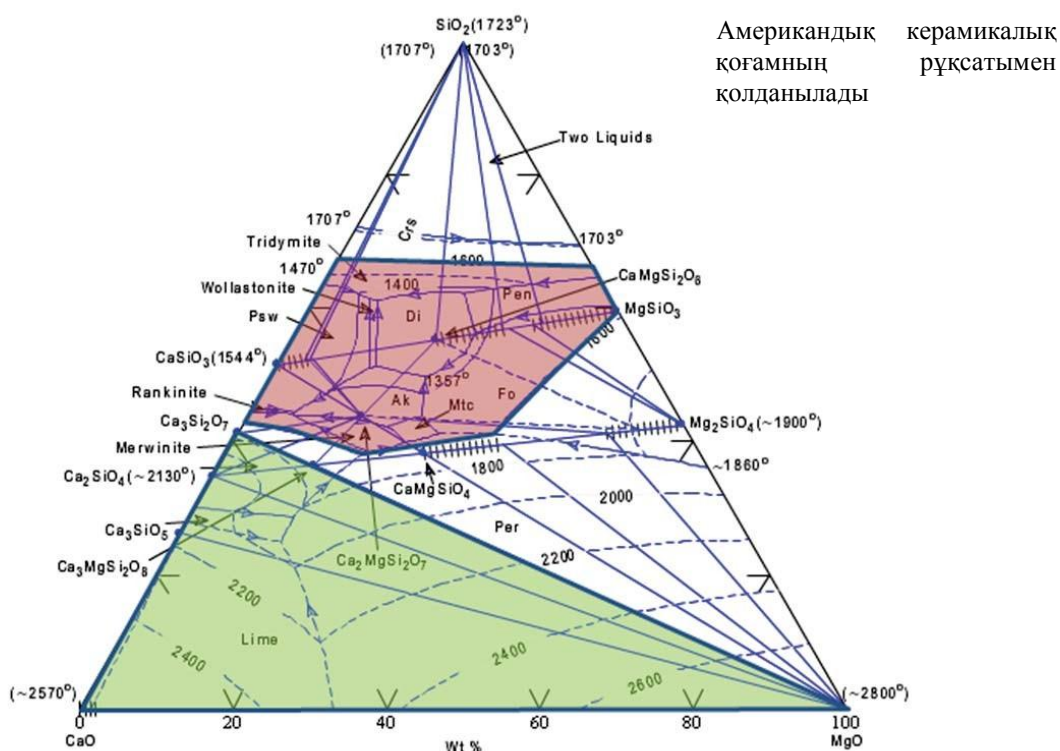
- Күйдірілмеген кірпіш доломитті шикізатты шайыр қалдықтары, қара май немесе шайыры бар тиісті гранулометриялық құраммен араластыру, одан кейін оны кірпіш пішініне сығымдау жолымен жасайды. Содан кейін олар тек қана белгілі буларды жою үшін қатырылады және оларға өңдеуге арналған жеткілікті беріктік беріледі.
- Стандартты долмитті кірпіштің химиялық құрамы ~ 40% MgO және 58% CaO және 2% C. Күйдірілмеген кірпіштің негізгі артықшылығы болып химиялық төзімді және жылу соққысына төзімді, сонымен қатар жеңіл және де өндіру үшін арзан кірпішті шығаруға мүмкіндік беретін көмірсуды қосуы табылады. Күйдірілмеген кірпіштің кемшілігі күйдірілген кірпішпен айырмашылығы - гидраттану мәселелеріне көбірек ұшырауы.

3. Тегістейтін отқа төзімді бос масса немесе пластикалық материалдар

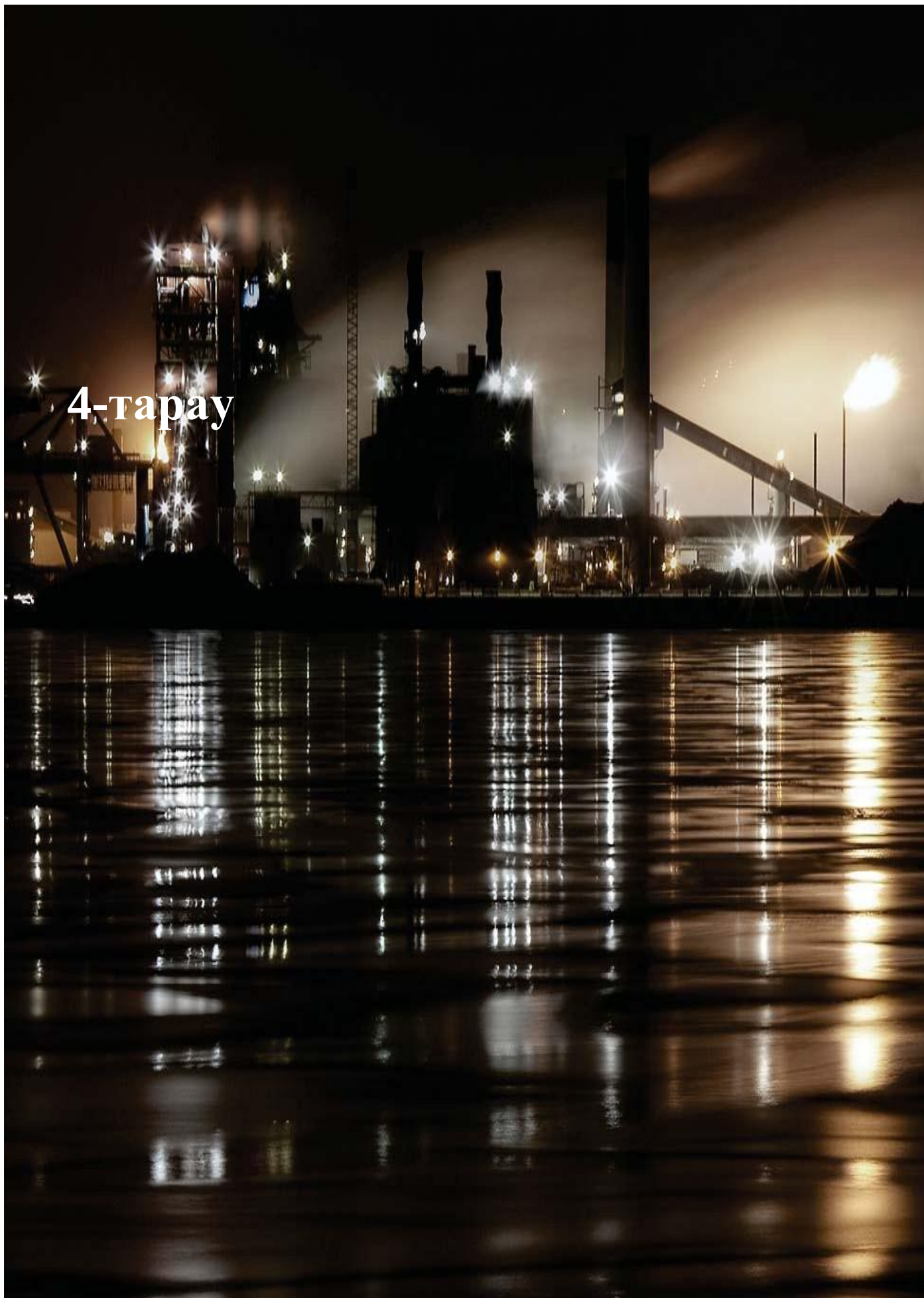
- Бос материалдар дәндері өлшемдер бойынша тиісті түрде үлестірілген доломитті шикізатты суға негізделмеген байланыстырғыш заттармен (мысалы, тағамдық майлармен) араластыру, одан кейін оларды ЭДП ошақтарында сусымалы және/немесе сығымдалған/дірілден оқшауланған материалдар ретінде пайдалану үшін пакеттерге орналастру жолымен жасалуы мүмкін.
- Бұл жөндеуге арналған өте арзан материал және айтарлықтай жиі пайдаланады, дегенмен ол, қақталудың әртүрлі қасиеттері бар басқа материалдарға қарағанда, соншалықты төзімді материал емес.

Болат шөміштердегі доломитті талқылау, 3.45-суретте көрсетілгендей, әктің, магнийдің, кремний диоксидінің фазалық диаграммасын еске алусыз ешқашан толық болмайтынына назар аударыңыз. ЭДП болат құятын шөміштердің қождары тек қана болат өндіру үшін емес, сонымен қатар қызмет ету мерзімін ұзарту үшін кірпіш бетіндегі жоғары балку температурасы бар жабындарды қалыптастыруға да арналған.

1800°C-ден жоғары балку температуралы үшін дикалий силикаты және/немесе трикальций силикатын құрастыру үшін CaO/SiO₂ арасалмағы > 2,0 болуы керек.



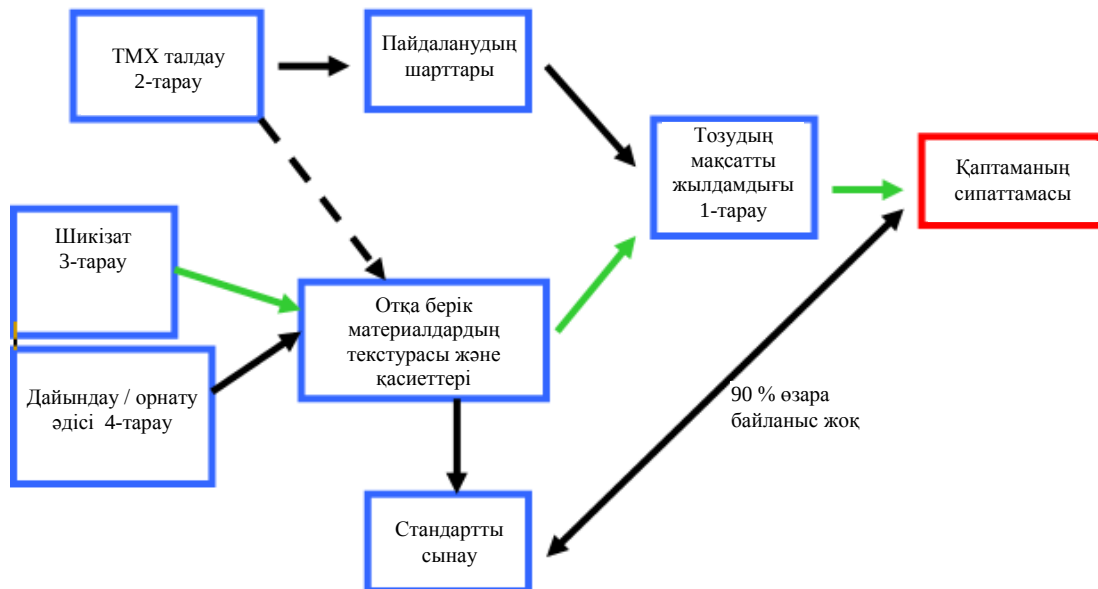
3.45-сурет: Үштік фазалы диаграмма CaO-MgO-SiO₂



4-тарау

4.0. Отқа төзімді материалдарды бекіту және кептіру тәсілдеріне шолу

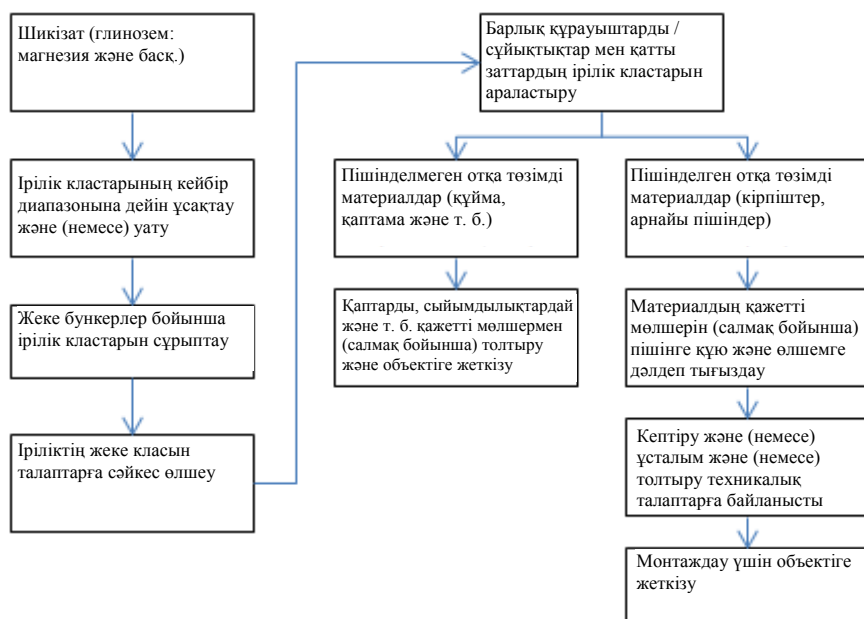
Отқа төзімді материалдарды таңдағанда неліктен монтаждау әдісі маңызды? Неге біз осыған көп көңіл бөлеміз? 4.1-суретте отқа төзімді материалдар сипаттамаларына жалпы шолу берілген. Әлбетте, материал қасиеттеріне және қаптама сипаттамаларына құрастыру және жасау процесі әсер етуі мүмкін шығар.



4.1-сурет. Отқа төзімді материалдардың негізгі қасиеттеріне шолу

Маған отқа төзімді материалдарды монтаждауды Марк Твеннің сөзімен салыстыру ұнайды: «Гольф — ол бұзылған жақсы серуен». Алайда біздің жағдайымызда — бұл жақсы бастапқы материалдарды бүлдіру мүмкіндігі. Сіз бастапқы материалдарды жақсартып алмасаңыз да, нашар құрастырған кезде олардың қасиеттерін нашарлатуыңыз мүмкін. Монтажды талқылау алдында бізге отқа берік материалдар (отқа төзімді) өндірісіне жалпы шолу қажет.

4.2-суретте көрсетілген отқа төзімді материалдарды жасап шығару процесінің қарапайым блок-схемасынан бастайық.



4.2-сурет. Отқа төзімді материалдар өндірісі

Отқа төзімді материалдарды өндірудің алғашқы кезеңдері — уату, елеу және әртүрлі шикізатты араластыру. Жеңілдігіне қарамастан, химиялық құрамы және бөлшектердің ірілігі бойынша үлестірілуі жөніндегі талаптарды сақтау үшін отқа берік материалдарды өндірушінің өндірістік процесін бақылау қажет. Егер бөлшектердің ірілік бойынша үлестірілуі жаңсық болса, бұл физикалық қасиеттерге қатты әсер етеді. Мысалы, жоғары борпылдақтық немесе өткізгіштігі немесе төмен механикалық беріктік пайда болуы мүмкін.

Процестің басқа бөлігі отқа төзімді материалдардың түріне байланысты болады:

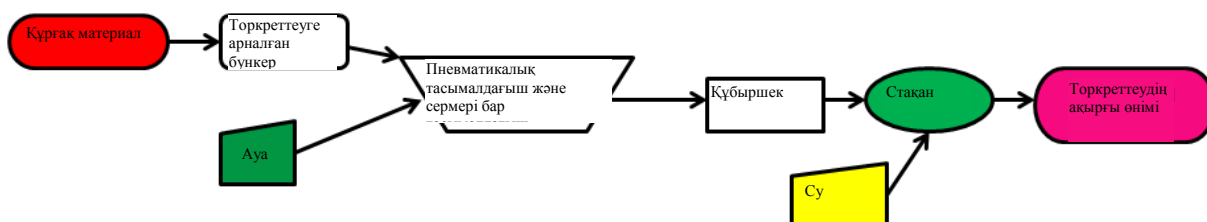
- кірпіштер белгілі пішінде дайындалып, қимылдар жасау және тасымалдау үшін, жеткілікті механикалық беріктікті иелену үшін қатаюға түседі (күйдірілмеген кірпіштер). Егер отқа төзімді материалдар күйдірілетін болса, онда кірпіштер 24 сағат ішінде 1200-ден 1800°C дейінгі температурада шахта немесе туннель арқылы өтеді. Көміртектіз отқа берік материалдарды ауада, ал ысырмалар сияқты синтетикалық шайырлардағы элементтерді кокспен толтырылған қорапшаларда, оттектің жетіспеушілік жағдайларында күйдіреді. Күйдіргенде қоспа керамикалық байланысты құрып, жымдастырылады.
- Құйма қаптама, құрылыс ерітінділер, пластмассалар және т. б. сияқты монолитті отқа төзімді материалдар үшін пішіндеу әдісі, 4.1-суретте көрсетілгендей, монтаждау орнына, дағдыларға және монтаждау орнымен байланысты жеке сұрақтарға тәуелді болады. Бұл отқа төзімді материалдардың қасиеттері монтаждау мен «катаю» процесіне (су қосу, араластыру, құю уақыты, кептіру) тәсілдемелерге тәуелді дегенді білдіреді, сондықтан гидравликалық байланысу құрамында жоғары Al_2O_3 мөлшері бар цементтің гидраттануымен дамиды. Отқа берік қоспаның реологиялық әрекетінің де бірінші дәрежелі мәні бар: ол белсенді құрауыштардың (катализаторлар немесе бәсеңдетушілер және жеткізушінің ноу-хау негізінде өндірудің құрамы мен тәсілі жататын аса ұсақ бөлшектер) кейбір процентінің бар болуымен бақыланады. Егер құрам жаңсақ болса немесе басқа шикізатпен енгізілетін ерекше қосындар болса, бұл реологияға және құйма отқа төзімді материалдардың ақырғы қасиеттеріне қатты әсер етеді.

4.1-кесте — Отқа төзімді материалдарды өндіру/монтаждау әдістері

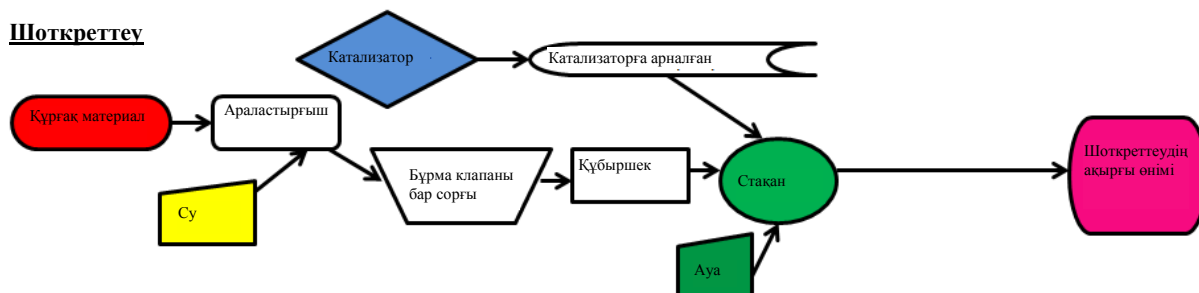
Дайындау/монтаждау әдісі	Анықтамасы	Суреті
Кірпіш	Анық белгіленген өлшемдері бар баспақтың көмегімен жасалған, қатайтылған немесе жоғары температураға дейін күйдіріліп пішінделген отқа төзімді материал білікті тас қалаушымен бекітілген тәртіпте монтаждауға арналған.	
Отқа төзімді қоспа — құрамалы	Анық белгіленген өлшемдері бар, пішінге отқа төзімді материалдың сумен құйылуымен жасалған, қатайтылған немесе жоғары температураға дейін күйдірілген пішінделген отқа берік материал бірыңғай блок түрінде орнатуға арналған.	
Отқа төзімді қоспа — дірілмен нығыздалған	Анық белгіленген өлшемдері бар, пішінге отқа төзімді материалдың сумен құйылуымен жасалған, қатайтылған немесе жоғары температураға дейін күйдіріліп пішінделмеген отқа төзімді материал білікті діріл жабдығының көмегімен дірілді нығыздалады немесе қосылған қозғалтқыштар арқылы монтаждау орнында қатайды.	
Отқа төзімді қоспа — өздігінен аққан	Отқа төзімді қоспаны сумен бірге пішінге құю жолымен дайындап, пішінделмеген, анық белгіленген өлшемдермен, өздігінен құйылатын отқа төзімді материал монтаждау орнында қатайды.	
Шоткреттеу (ылғал торкреттеу)	Араластырылғаннан кейін бүріккіш шүмекке айдалатын отқа берік қоспа, ал шүмектің өзінде лезде қатаюы және отқа берік қоспаның пішінін шөгусіз сақтау үшін катализаторды қосады.	
Торкреттеу	Араластырылатын және қысыммен шүмекке берілетін құрғақ отқа төзімді материал, ал тікелей шүмекте бетке жағылатын отқа төзімді материалдың «иілімді» массасын құрастыру үшін су құйылады.	
Пластикалық	Кеңістікке орналастыруға болатын және тегістеудің көмегімен нығыздауға болатын «тілімшелер» түрінде пішінделген отқа төзімді материал.	
Тегістейтін отқа төзімді масса	Тегістеудің көмегімен кеңістікке орналастыруға болатын борпылдақ материал түріндегі пішінделмеген отқа төзімді материал.	
Ерітінді	Пішінделмеген отқа төзімді қоспа әдетте қауғада алдын ала араластырылады және кірпіштерді түйістіру үшін пайдаланылады (сонымен қатар сол жерде сумен араластыруға арналған ұнтақ түрінде болуы мүмкін).	
Оқшаулағыш плита	Қабырғаға немесе бетке құрастыруға болатын «тақталар» пішініндегі қалыптастырылған отқа төзімді материал әдетте оқшаулағыш материал ретінде жылу оқшаулағыш қасиеттерді беру үшін пайдаланылады. Дегенмен өзінің табиғаты бойынша міндетті отқа төзімді болмауы мүмкін.	
Орама оқшаулауы	Қабырғаға немесе бетке құрастыруға болатын төсем пішініндегі қалыптастырылған отқа төзімді материал әдетте оқшаулағыш материал ретінде жылу оқшаулағыш қасиеттерді беру үшін пайдаланылады. Дегенмен өзінің табиғаты бойынша міндетті отқа төзімді болмауы мүмкін.	

4.3-суретте монолитті отқа төзімді материалдарды монтаждауды үшi негiзгi әдiсi салыстырылады.

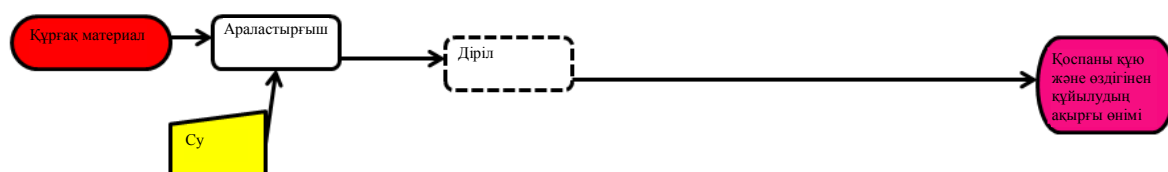
Торкреттеу



Шоткреттеу



Қую/өздігінен ағу



4.3-сурет. Монолитті отқа төзімді материалдарды монтаждау схемасы

4.2-суретте өндіру/монтаждаудың әртүрлі әдістері және олардың негізгі қасиеттері салыстырылады.

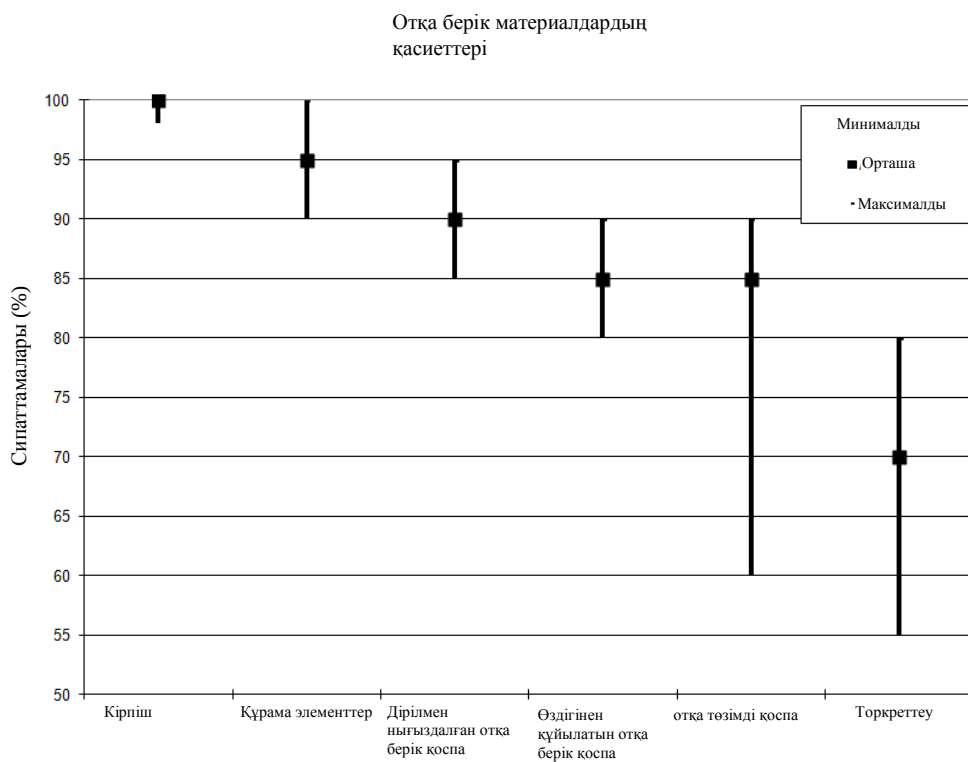
4.2-кесте — Өндіру/монтаждаудың әртүрлі әдістерін салыстыру

Дайындау/монтаждау әдісі	Қасиеттер	Монтаждау үшін қажетті дағдылар	Монтаждау орнымен байланысты сұрақтар
Кірпіш	Минималды ауытқуы бар материалдың ең жақсы сапасы	Оқытылған тас қалаушы	Таскескіш ара қажет болатын көптеген жағдайларда пайдаланылуы мүмкін
Отқа төзімді қоспа — құрамалы	Материалдың өте жақсы сапасы, бақыланатын жағдайларда жасалу және қалыпты қатаю	Аздаған дағдылар талап етіледі, өйткені элементтер алдын ала дайындалған	Элементтердің өлшемдеріне байланысты кран талап етілуі мүмкін. Көтергіш жұмыстардың қауіпсіздігін қамтамасыз етіңіз.
Отқа төзімді қоспа — дірілмен нығыздалған	Материалдың сапасы жақсы, алайда адамдар мен жабдыққа көбірек тәуелді	Отқа берік қоспалармен жұмыс істеу дағдылары бар адамдар қажет	Тиісті араластырғыш, дірілді жабдық және кептіруге арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15 °C-ден жоғары температурасын сақтау қажет
Отқа төзімді қоспа — өздігінен аққан	Материалдың сапасы жақсы, алайда адамдар мен жабдыққа көбірек тәуелді	Отқа берік қоспалармен жұмыс істеу дағдылары бар адамдар қажет	Тиісті араластырғыш, сорғы және кептіргішке арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15°C-ден жоғары температурасын сақтау қажет
Шоткреттеу	Материалдың сапасы өте жақсы, алайда адамдар мен жабдыққа қатты тәуелді. Монтаждау мәселелеріне өте сезімтал. Егер бәрі дұрыс жасалған болса, онда нәтиже тамаша болады, егер қате жасалса - өте жаман.	Отқа берік материалдарға арналған шоткреттеу жүйелерімен жұмысқа мамандырылған адамдар қажет.	Тиісті араластырғыш, сорғы, шоткреттеуге арналған жабдық және кептіруге арналған жабдық қажет. қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15 °C-ден жоғары температурасын сақтау қажет. Катализаторды дәл мөлшерлеу қажет.
Торкреттеу	Материалдың сапасы жақсы, алайда адамдар мен жабдыққа көбірек тәуелді. Ескерту: ыстық немесе суық күйінде құрастырылуы мүмкін тиісті тұтқыр пайдаланылады.	Торкреттеуге арналған жабдықпен жұмыс істеу дағдылары және монтаждауды жүргізу дағдылары бар қызметкерлер құрамы қажет.	Суық күйде монтаждауға арналған торкреттеу құрылғысы және кептіруге арналған тиісті жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15 °C-ден жоғары температурасын сақтау қажет

Пластикалық	Материалдың жақсы сапасы аздап шашыраңқы болса да, монтаждауға сезімтал болуы мүмкін.	Тегістеуге арналған жабдықпен жұмыс істеу дағдылары және монтажды жүргізу дағдалары бар қызметкерлер құрамы қажет.	Тиісті тегістегіш машиналар және кептіруге арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың 15 °С-ден жоғары температурасын сақтау қажет
Тегістейтін отқа төзімді масса	Материалдың жақсы сапасы аздап шашыраңқы болса да, монтаждауға сезімтал болуы мүмкін.	Тегістеуге арналған жабдықпен жұмыс істеу дағдылары және монтажды жүргізу дағдалары бар қызметкерлер құрамы қажет.	Тиісті тегістегіш машиналар және кептіруге арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың 15 °С-ден жоғары температурасын сақтау қажет
Ерітінді	Отқа берік қасиеттерді беру үшін емес, элементтерді байланыстыру үшін қолданылады. Алайда, пайдаланудың жағдайларына шыдау үшін, сапасы тиісті болуы қажет	Қалаудың тиісті әдістері	Құрғақ араластырғанда сапаны қамтамасыз ету үшін араластыруға арналған құралдар қажет.
Оқшаулағыш плита	Отқа төзімді қасиеттер беруге арналмаған. Тек қана термооқшаулама ретінде қызмет атқарады	Монтаждаудың жеңілдігі, түйінді дағдыларды талап етпейді	Арнайы назар аударуды талап ететін сұрақтар жоқ
Орама оқшаулауы	Отқа төзімді қасиеттер беруге арналмаған. Тек қана термооқшаулама ретінде қызмет атқарады	Монтаждаудың жеңілдігі, түйінді дағдыларды талап етпейді	Арнайы назар аударуды талап ететін сұрақтар жоқ

Қасиеттердің өндірілуі және монтаждау процестеріне тәуелділігі

Әртүрлі өнімдерге арналған жақсы қысқаша шолу 4.4-суретте келтірілген. Шолу тұжырымдамалық тұрғыдан стандартты отқа төзімді материалдардың сипаттары тек қана орнату/өндіру әдісіндегі өзгерістерде қандай болатынын көрсетеді.



4.4-сурет. Отқа төзімді материалдар сипаттамаларын және монтаждау/өндіру әдістеріне шолу

Осылайша, монтаждау әдісінің факторы отқа төзімді материалдарды таңдау кезінде маңызды. Өйткені қаптаманың сипаттамаларына монтаждау және өндіру процесі әсер етуі мүмкін. Бұл туралы толығырақ жеке тарауларда мазмұндалған.

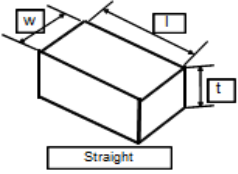
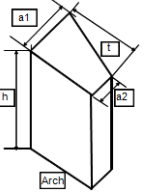
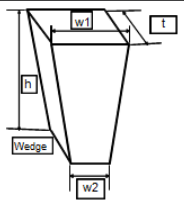
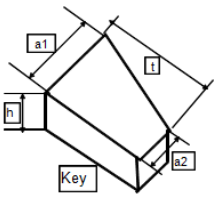
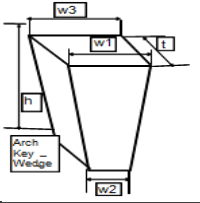
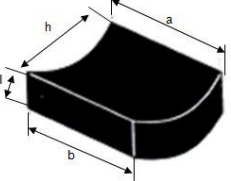
4.1. Кірпіштер

Кірпіштер ерте заманнан бері пайдаланып келеді. Олар тұрақты және құрамында көміртек бар материалдар монолитті отқа төзімді материалдарда қолданылуда сынақ кезеңінде болғандықтан, оларды болат балқыту агрегаттарында пайдалану жалғастырылуда. (Жапония монолитті отқа төзімді материалдарды пайдалану саласында көшбасшы болып табылады. Алайда, кірпіштерді бұрынғыдай шөмішті қож аймақтарында, НОК және ЭДП-да пайдаланады. Себебі магний және көміртек оксиді негізіндегі монолитті материалдар сатылымда әлі қолжетімді емес.)

4.0-тараудан кірпіштер анық белгіленген өлшемдері бар сиыққының көмегімен дайындалатынын, қатаятынын немесе жоғары температураға дейін күйдірілетінін айта кетейік. Бекітілген тәртіпте білікті тас қалаушылары монтаждайды.

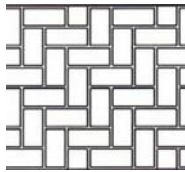
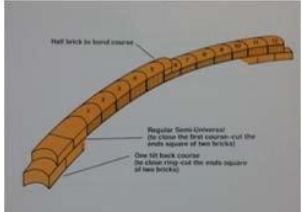
4.3-кестеде кірпіш пішіндері, олардың өлшемдері және пайдалану бойынша түсініктемелер сипатталады.

4.3-кесте — Әдеттегі кірпіш пішіндері, өлшемдері және түсініктемелер

Кірпіштің пішіні	Түрі	Түсініктемелер
Тура (стандартты)		Едендер мен қабырғалар үшін пайдаланатын кірпіштің стандартты пішіні еден немесе қабырғалардың талап етілетін қалыңдығына байланысты әртүрлі өлшемді болады. Шөмішті кірпіштермен қаптағанда, тураларды пайдаланған кезде оларды ешқашан сына ретінде пайдаланбау керек екендігіне назар аударыңыз. Өйткені олар қыздыру немесе шөміштің жұмысы басталғанда тайып шығып кетуі мүмкін.
Аркалы (немесе Р сериясы)		Аркалы кірпіштің биіктігі қалыңдығынан немесе енінен үлкен биік кірпіш болып саналды. Болат құю қауғаларында пайдаланылады (әсіресе олар Р сериясы ретінде Еуропада белгілі). Шөміштің ең тығыз сақиналы қаптамасы үшін ең жақсы таңдау. Дегенмен монтаждау үшін дарынды тас қалаушылар талап етіледі. Пайдалану процесінде олар кернеуді арылту үшін, бірақ сипаттамаларға нақты әсер етусіз, көлденеңінен жарылуы мүмкін.
Сыналар		Аркалы кірпіштермен үйлесімде конус тәрізді болат төгу қауғаларында пайдаланылады. Өйткені диаметрі ожаудың бүйірлері бойынша жоғарлайды. Мәні тек қана қажетті мөлшерін пайдалануда және оларды қауғаның шеңбері бойынша тең мөлшерде орнатуда болады. Оған қоса, сіз оларды кірпішті қалау барысында «қыспақтау» қажетсіз, ал оларды орынға тек қана бүкіл сақина дайын балғаннан кейін ғана итересіз, әйтпесе конусты тартудың тиімділігі жұмыс істемейтін болады.
Құлыпты кірпіш немесе құлыпты шағын кірпіш		Құлыпты кірпіш — ол ұзынырақ кірпіш. Оның ұзындығы қалыңдығынан немесе енінен үлкен. НОК-та, ЭДП-да өте ұзын кірпіш үшін (құлыпты кірпіш) және болат таратқыш ожауларға арналған қысқарық кірпіштер үшін (құлыпты шағын кірпіштер) пайдаланылады. Шөмішті тығыз сақиналы қаптауға арналған өте жақсы теңгерілген кірпіш. Бірақ монтаждау үшін дарынды тас қалаушылар талап етіледі. Олар аркалылардан жеңіл болғандықтан эргономика тұрғысынан ең қолайлы болатындарына назар аударыңыз.
Аркалы-құлыпты сына		НОК түптеріне немесе ЭДП қаппақшаларына арналған қос конусты тиімділігі бар арнайы пішіндер. Монтаждау үшін міндетті түрде дарынды тас қалаушылар талап етеледі.
Жартылай әмбебап		Шойын таситын шөмішті немесе болат төгу қауғасын орнатуға арналған ең қарапайым кірпіш. Өйткені оны жұмыскерлерді минималды дайындаумен орнатуға болады, әсіресе сіз жеке сақиналарды емес, шиыршықты конструкцияны пайдаланатын болсаңыз. Ең басты кемшілігі — сіз қалыңдықтың соңғы 25 %-на жеткен кезде, олар тайғанап шығып кетуі мүмкін, өйткені олардың бекіп қалуына мүмкіндік беретін конустығы жоқ. Көбі пайдаланады, алайда көбінесе бейінді мамандарда қажеттілік болмағанда.

4.4-кестеде қалаудың кейбір әдеттегі конфигурациялары, олардың өлшемдері және пайдалануға қатысты түсініктемелері сипатталады.

4.4-кесте — қалаудың кейбір әдеттегі конфигурациялары, олардың өлшемдері және пайдалануға қатысты түсініктемелері сипатталады

Кірпіштің пішіні	Түрі	Түсініктемелер
Етпетінен қаланған		Тегіс еден немесе қалың қабырға үшін жіктері бір-біріне беттеспей, жабылып қалатындай пайдалынады (кірпіштер етпетінен қаланады).
Қырынан қаланған		Тегіс еден немесе қалың қабырға үшін жіктері бір-біріне беттеспей, жабылып қалатындай пайдалынады (кірпіштер қырларынан қаланады).
Тігінен қаланған		Тегіс немесе жұқа қабырға немесе шөміштің өте қалың түбі үшін жіктері бір-біріне беттеспей, жабылып қалатындай пайдалынады (кірпіштер шетжағымен қаланады).
Шырша түрінде қаланған		Шөміш түптерінде сұйық металл үшін кірпіштің тығыз отырығызылуы және маталдың өтіп кетуін мүмкіндігінше төмендету үшін пайдаланады.
Шиыршықтап қаланған	 *	Шиыршықты қалау — білікті тас қалаушылар жоқ болған жағдайда пайдалануға болатын әдіс. Бастапқы жиынтық шиыршықтың басында пайдаланылады (ДНК молекуласын елестетіп көріңіз), ал одан кейін сіз айнауды шөміштің жоғарғы бөлігіне жеткенше немесе, НОК жүйесін, әдетте, моноклит материал немесе төңкерілген бастапқы жиынтықтың көмегімен жапқанша жалғастырасыз. Мәселе бұл әдіс немқұрайлы қаланауында және сұйық металдың өтіп кетуіне әкеп соқтыру мүмкіндігінде болады. Сақиналы қалау күрделілеу болса да, ең қолайлы болып табылады.
Сақина түрінде қаланған		Сақиналы қалау — білікті тас қалаушылардың болуын талап етсе де, цилиндрлі конструкцияларды (НОК ЭДП ожаулар) жасаудың ең жақсы тәсілі. Сақиналардың әрқайсысы жекеленіп құрылады, ал сақинадағы соңғы кірпіш, сақина тығыз болмау үшін, қажетті өлшемдерге дейін омырылады.

* Harbisan Walker International Inc. компаниясы ұсынған.

Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

Ерітіндіні пайдалану — артықшылықтар және кемшіліктер

Отқа төзімді материалдарға қатысты аға буын «Ерітінді кірпіштерді біріктіру үшін бе әлде оларды бір-бірінен бөлу үшін бе?» секілді қитұрқы сұрақтарды жиі қояды. Бұл қитұрқы сұрақтың жауабы: «Біріншісі де, екіншісі де!» Қаптамалау арқылы өтіп кетуге жол бермеу үшін жіктер оларды біріктіріп тығыз ұстап қана тұрмай, сонымен қатар жылу кернеуін төмендету үшін бір-бірінен бөледі.

Болат балқыту өндірісіндегі кірпішке келетін болсақ, құрылыстық ерітінді кірпіштердің көптеген түрлерімен жұмыс істегенде сирек пайдаланылады. Өйткені жіктер кірпіш материалының ұдайы кеңеюінен өздері жабылады. Ол кейбір ерекше жағдайлар үшін пайдаланылуы мүмкін. Мысалы, ең алдымен кернеуді арылту маңызды болғанда. Бірақ басқа жағдайларда — пайдаланылмайды.

Жылудан кеңеюді есепке алуда ерітіндінің басқа баламасы — картон. Ол НОК-та қаптаманың өзінің үлкен кеңеюін өтемдеу үшін пайдаланылады және жанғаннан кейін із қалдырмайды.

Ерітіндіні пайдалану өте сирек кездеседі, егер пайдаланатын болса, тас қалаушының арнайы білімін талап етеді.

Кірпішке арналған тас кескіш аралар

Бірнеше негізгі ескертпелер:

- Сақиналы қалауда соңғы кірпіш арамен кесіледі — мұнда дәлдік қажет! Тым тығыз қалағанда кернеу орын алады, тым бос қалағанда сақина бекітілмеген болып қалады. Соңғы кірпіштің тиісті түрде жасалғанына көз жеткізу маңызды.
- Кірпіш жеткілікті тығыз қаланбаған жағдайдағы алдаудың бір тәсіліне назар аударыңыз: тас қалаушылар, тығыздық елесін құрып, кірпішті екі жақтан ортаға қарай жылжытуы мүмкін; сұйық металл құйылғаннан және қысым кірпішті итеріп шығарғаннан кейін елес жоғалып кетеді, ал қаптама бекітілмеген болып шығады.

4.2. Құйма қаптамаға, торкреттеу және шоткреттеуге шолу

Монтаждаудың құйма қаптамасы, торкреттеу және шоткреттеу сияқты әдістері өзара тығыз байланысты. Олардың бәрі материалды монтаждау үшін құрғақ отқа төзімді материалдың сұйық бөлікпен (әдетте сумен) араластырылуын қамтиды. Сонымен қатар торкреттеу және шоткреттеу ауаны, ал шоткреттеу оған қоса тағы катализаторды қамтиды. 4.4-суретте отқа төзімді материалдардың сипаттамасы және олардың қасиеттерін монтаждаудың осы және басқа әдістеріне байланысты салыстыру матрицасына шолу келтірілген.

4.5-кестеде көрсетілгендей әртүрлі әдістерді қарапайым шолудан бастаймыз.

4.5-кесте — Құйма қаптамаға шолу

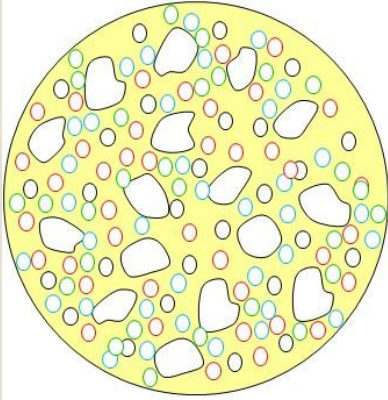
Дайындау/монтаждау әдісі	Суреті	Анықтамасы
Отқа төзімді қоспа — құрамалы		Анық белгіленген өлшемдері бар, пішінге отқа төзімді материалдың сумен құйылуымен жасалғып қатайтылған немесе жоғары температураға дейін күйдіріліп пішінделген отқа төзімді материал бірыңғай блок түрінде орнатуға арналған.
Отқа төзімді қоспа — дірілмен нығыздалған		Анық белгіленген өлшемдері бар, пішінге отқа төзімді материалдың сумен құйылуымен жасалып қатайтылған немесе жоғары температураға дейін күйдіріліп пішінделмеген отқа төзімді материал білікті діріл жабдығының көмегімен нығыздалады немесе қосылған қозғалтқыштар арқылы монтаждау орнында қатайды. Дірілмен нығыздалған отқа берік қоспадағы бөлшектердің өлшемі максималды тығыздыққа, ең жақсы физикалық қасиеттерге, минималды кеуектілікке жету үшін реттеледі.
Отқа төзімді қоспа — өздігінен аққан		Отқа төзімді қоспаны сумен бірге қалыпқа құю жолымен дайындалып пішінделмеген, анық белгіленген өлшемдермен, өздігінен құйылатын отқа төзімді материал монтаждау орнында қатайды. Өздігінен құйылатын отқа берік қоспадағы бөлшектердің өлшемі жақсы аққыштыққа, сонымен қатар ең жақсы физикалық қасиеттерге, максималды тығыздыққа және минималды кеуектілікке жету үшін реттеледі.

Торкреттеу		Араластырылатын және қысыммен шүмекке берілетін құрғақ отқа төзімді материал тікелей шүмекте бетке жағылатын отқа төзімді материалдың «иілімді» массасын құрастыру үшін су құйылады. Торкрет қатайту жүйелері жылдам әрекет етуі үшін және материалға бірден қатаю мен бетке жабысуға мүмкіндік беретіндей арнайы әзірленген.
Шоткреттеу (ылғал торкреттеу)	 	Араластырылғаннан кейін бүріккіш шүмекке айдалатын отқа төзімді қоспа, ал шүмектің өзінде лезде қатаюы және отқа берік қоспаның пішінін шөгусіз сақтау үшін катализаторды қосады. Шоткреттеу — ол құйма қаптаманың физикалық қасиеттерін азаматтық құрылысқа арналған бетон конструкцияларды монтаждауда пайдаланатын шоткреттеу процесімен үйлестіретін монтаждау технологиясы. Отқа берік қоспалар сумен араластыру үшін және бұрмалы үтікшесі мен қатаю катализаторы бар сорғының көмегімен пневматикалық тәсілмен жағу үшін арнайы әзірленеді. Шоткреттеуге арналған барлық материалдар сорғымен айдауға мүмкіндік беруі қажет. Айдалатын құрғақ қоспа, дірілмен нығыздалатын қоспа сияқты үш ингредиенттен тұрады. Алайда иілімдікті және айдау үшін қажетті реологиялық қасиеттерді сақтау үшін әртүрлі үйлесімділікте болады. Дірілмен нығыздалатын отқа берік қоспаға оны айдау мақсатында судың көп мөлшерін жай қосу оның физикалық қасиеттерінің 25—50 %-ға нашарлауына әкеледі. Нәтижесінде ол бәрібір айдау үшін жарамсыз болып шығуы мүмкін. Айдалатын қоспадағы бөлшектердің өлшемі максималды тығыздық пен айдау үшін жарамды консистенцияны сақтау арасындағы ымыра болып табылады. Тығыздық максималдыдан сәл төмен болса да физикалық қасиеттері мен сипаттамалары зиян шекпейді.

Монолитті отқа төзімді материалдарды монтаждаудың үш негізгі әдістерінің салыстырмасы 4.3-суретте келтірілген болатын.

4.6-суретте монтаждаудың үш әдісі және олардың негізгі қасиеттері салыстырылады.

4.6-кесте — Монтаждаудың үш әдісін және олардың негізгі қасиеттерін салыстыру

Дайындау/монтаждау әдісі	Қасиеттері
Отқа төзімді қоспа — құрама, дірілмен нығыздалатын, өздігінен құйылатын	Барлық отқа берік қоспалар құрғақ түрде, кейін оларға су қосылады (көбінесе), негізгі шикізаттың қоспасы болып саналады. Төменде негізгі кезеңдерге шолу келтірілген:  Ірі толтырғыш Ұсақ толтырғыш Кеуектік Қалыптама (ультрадисперсиялық) Құрғақ отқа берік қоспалардың құрамында ірі және ұсақ толтырғыштар (саз, муллит, боксит, балқытылған қоңыр глинозем, балқытылған/табулярылы глинозем, SiC, балқытылған кремнезем, MgO және т. б.) және реакцияға қабілетті матрицасы /байланыструшысы бар жүйелер (қыздырылған/реактивті глиноземдер, жұқа кремнеземді шаң, цемент, қоспалар және т. б.) болады. Дірілмен нығыздалған отқа берік қоспадағы бөлшектердің өлшемі максималды тығыздыққа және ең жақсы физикалық қасиеттерге жету үшін минималды кеуектілікке жету үшін реттеледі. Монтаждаудың әдісін таңдау жағдайға байланысты: Өздігінен құйылатын отқа төзімді қоспа — тар кеңістікті толтыру қажет болғанда және өздігінен тегістелу керек болғанда; назар аударыңыз: қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15°C-ден жоғары температурасын сақтау қажет. Тиісті араластырғыш, сорғы және кептіргішке арналған жабдық қажет. Сол жерде монтаждау қажет болғанда және процесті жүргізу үшін қолжетімділік пен мүмкіндік болғанда діріл жарамды. Тиісті араластырғыш, дірілді жабдық және кептіруге арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15 °C-ден жоғары температурасын сақтау қажет. Құрама: бақыланатын жағдайларда жасалған және тиісті түрде қатайған ылғи белгіленген пішін.

Шоткреттеу	Шоткреттеу материалдың өте жақсы сапасын береді. Алайда қызметкерлер құрамы мен жабдыққа қатты тәуелді. Ол монтаждау процесіне өте сезімтал, егер барлығы дұрыс жасалған болса, тамаша нәтиже береді; алайда, барлығы қате жасалған болса, бұл қасиетіне 50%-ға дейінгі мәнде әсер етуі мүмкін! Шоткреттеуге арналған отқа берік жүйелермен жұмыс істеу үшін мамандар қажет болады. Тиісті араластырғыш, сорғы, шоткреттеуге арналған жабдық және кептіруге арналған жабдық қажет. Қатаюмен мәселелер туындамауы үшін материалдардың, судың және жабдықтың 15°C-ден жоғары температурасын сақтау қажет. Сонымен қатар катализаторға дәл бақылау қажет. Шоткреттеу торкреттеуге ұқсас, дегенмен бөлшектердің орташа мөлшерінің басқа үйлесуі болады. Реологиялық қасиеттер (ағынның әрекеті) тұрғысынан қоспалардың екі түрі бар: 1. Тиксотроптылар қысым мен дірілдің әсерінен аққышқа айналады. 2. Дилатанттықтар қысым мен дірілдің әсерінен тұтқырлауға айналады. Тиксотропты қоспалар шоткреттеу үшін жақсы келеді, ал бөлшектердің өлшемдерін осындай қоспаларды шығару үшін арнайы іріктеледі. Катализаторлар шүмекте қажетті орында дереу монтаждау және қатаюы үшін қосылатынына назар аударыңыз. Олардың бірнеше түрлері бар және төменде кейбір мысалдар келтірілген: • Катализаторлар (екі түрлі). – Қатаю катализаторы цементтің қатаюы үшін пайдаланылады: • Натрий силикаты. • Натрий алюминаты. • Сөндірілген әк. • Кальций хлориді. – Флокулянт ұсақ түйірлі қоспаның қатаюы үшін пайдаланылады: • Органикалық полимерлер. Шоткреттеуге арналған қоспадағы бөлшектердің өлшемі ең жақсы физикалық қасиеттерге және онымен бірге монтаждауға қажет тиксотропты қасиеттерге жету үшін максималды тығыздыққа және минималды кеуектікке жететіндей реттеледі. Егер шоткреттеу тиісті түрде орындалған болса, оның артықшылықтары келесідей болады: • Жоғары тығыздық және өте жақсы физикалық қасиеттер. • Қатпарлану жоқ. • Орнататын жерде шаң аз және кері серпіліс шағын. • Монтаждаудың жоғары жылдамдығы — шоткреттеу сорғымен емес, араластырғышпен шектеледі. • Монтаждаудың жақсы сапасына жету үшін біліктілігі төмендеу шүмек шебері қажет болады. Шоткреттеудің кемшіліктері: • Жоғары қаржы/пайдалану шығындары — өте қымбат жүйе (> 100 000 долл.). • Кұбыршек/шүмекті аппараттың салмағы жоғары (қауіпсіздік мәселелері болуы мүмкін). • Монтаждаудың үнемділігі тазарту мен шығыстардан минималды, әдетте үнемділікке жұмыстардың үлкен көлемдерінде жетуге болады.
Торкреттеу	Материалдың сапасы жақсы болса да адамдар мен жабдыққа көбірек тәуелді. Ыстық немесе суық күйінде құрастырылуы мүмкін екендігіне назар аударыңыз, онымен бірге тиісті тұтқыр пайдаланылады. Пневматикалық бүріккіштерге арналған қоспаларда отқа берік қоспалардағыдай ингредиенттері болады. Дегенмен олардың құрамында жабысқақтықта жақсарту үшін саз және (немесе) жылдам қатаюы үшін катализатор болуы мүмкін. Олардың құрамында дефлокулянттар болмайды, сондықтан, құрғақ отқа берік қоспамен салыстырғанда, суға мұқтаждығы жоғары болады. Жалпы алғанда, торкреттеуге арналған жақсы қоспаларды құюға немесе айдауға болмайды. Торкреттеуге арналған жабдықпен жұмыс және монтаждау процесін орындау үшін білікті қызметкерлер құрамы қажет. Сонымен қатар, егер монтаждау сұйық күйде орындалатын болса, торкреттеуге арналған лайықты аппарат пен кептіруге арналған тиісті жабдық қажет болады.

Торкреттеу және шоткреттеу әдісімен монтаждау

Торкреттеу және шоткреттеу

- Жоғары тығыздықты және біркелкі массалы материалды жағу
- Материалдың жоғары жабысулығы және, тиісінше, төмен кері серпіліс
- Қызмет етудің ұзақ мерзімі

Монтаждау процесінің келесі көрсеткіштерін бақылау қажет:

- Ауа қысым/аппараттың баптаулары — құбыршектердің ұзындығы және диаметрі; ауа көлемі/қысымы.
- Суды бақылау — мөлшері, температурасы, тазалығы
- Материал бөлшектерінің өлшемі
- Материал ағынының соққы бұрышы және қабырғадан қашықтық
- Оператордың машықтары және торкреттеу техникасы

Егер жіберудің жылдамдығы (материал көлемі) тым жоғары болса немесе қысым тым жоғары болса, сіз келесілерді аласыз:

- Лүпілдеулер
- Торкреттің біресе құрғақ, біресе ылғал ағыны
- Құбырлардан ағып өту

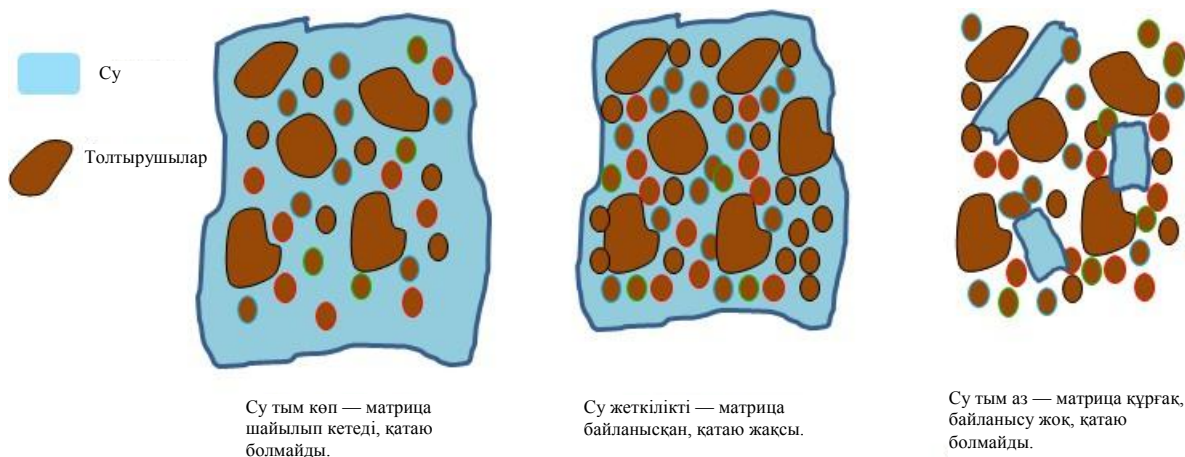
Әрине, осының бәрі нашар соңғы сипаттамаларға апарады

Егер жіберудің жылдамдығы (материал көлемі) тым төмен болса немесе қысым тым төмен болса, сіз келесіні аласыз:

- Шаңдату
- Әлсіз ағын

Және де отқа берік қасиеттер әлсіз болады

Пайдаланатын судың мөлшері де, 4.5-суретте көрсетілгендей, шекті болып табылады:



4.5-сурет. Монолитті отқа төзімді материалдарға арналған судың оңтайлы мөлшері

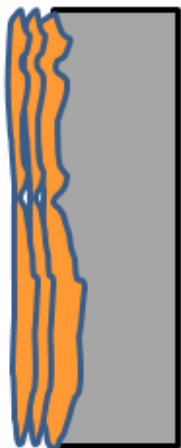
Судың оңтайлы мөлшері келесілер үшін жеткілікті:

- Барлық бөлшектерді ылғалдандыруға
- Соққы кезінде материал нығыздалатындай жеткілікті иілімдікті қамтамасыз етуге
- 4.6-суретте көрсетілгендей, жарықшалар мен қуыстарды толтыруға және беттегі шығыңқы жерлерге жабысуға

Торкерттеуге арналған отқа төзімді материалдардың жабысулығы (адгезиясы)

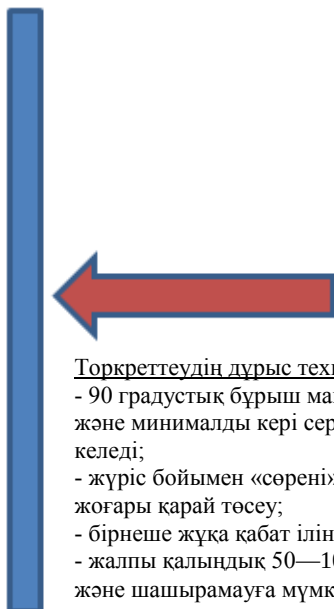
Торкерттеу кезінде бекітуге арналған негізгі параметрлер:

- механикалық беріктік үшін беттің кедір-бұдырлығы;
- жақсы бастапқы қатаю және байланысуға арналған су/материалдың дұрыс ара салмағы;
- сығу күшіне арналған су/материалдың дұрыс ара салмағы;
- жабысуды және жылдам кебуді қамтамасыз ету үшін бірнеше жұқа қабаттар.



4.6-сурет. Торкерттеуге арналған отқа төзімді материалдардың жабысулығы (адгезиясы)

Монтаждаудың басқа негізгі факторы болып, 4.7-суретте, көрсетілгендей, берудің 90 градус бұрышы табылады.



Торкерттеудің дұрыс техникасы

- 90 градустық бұрыш максималды күш пен нығыздыққа және минималды кері серпіліске жету үшін жақсырақ келеді;
- жүріс бойымен «сөрөні» құрып, қабатты төменнен жоғары қарай төсеу;
- бірнеше жұқа қабат ілінісуге мүмкіндік береді;
- жалпы қалыңдық 50—100 мм, бұл материалға кебуге және шашырамауға мүмкіндік береді.

4.7-сурет. Торкерттеу бұрышының әсер етуі

Торкреттеудің екі негізгі әдісі бар екендігіне назар аударыңыз.

Ағынды шашырату (үлкен аудандарға арналған ең жақсы әдіс):

- Қабаттар жұқалау болады.
- Құбырдың жылдам желпуіш іс-қимылымен құрылады.
- Үлкен аудандарды жабу және шығынқы жерлерді тегістеу үшін пайдаланылады.

«Сөрелерді» құру (шұңқырларды толтыруға арналған ең жақсы әдіс):

- - Ауыр бір өтпелі 5—7,6 см жабын.
- - Құбырдың түзу сызығының баяу жылжу жолымен құрылады.
- - Шығынқы жерді құрып, төменнен жоғарыға қарай жүргізіледі.

Торкреттеудің негізгі факторлары

Торкреттеу немесе шоткреттеудің сәттілігі неге байланысты? Назар аудару қажет болатын төрт негізгі сала бар:

1. Материалдың мөлшері.
2. Материалдың түрі.
3. Беттің күйі.
4. Монтаждау.

Саланың әрқайсысы толық талқыланатын болады.

1. Материалдың мөлшері.

Мұнда қосуға қажет материалдың қажетті мөлшерін іздеу негізгі кезең болып табылады. Егер сіз келесіні қосатын болсаңыз, монтаждау процесінде келесі жағдайларда мәселелер туындайды:

- a) Материал тым көп. Бұл материал ішінде будың жиналуына және оның қатпарлануына және (немесе) шытынауына апаруы мүмкін. Екеуі де — жаман.
- b) Материал тым аз. Бұл монтаждау процесін уақыт бойынша ұзарту және қосымша кідіріске келтіру және бітеулердің көп мөлшерін талап етуі мүмкін.

Сөйтіп, біз қосуға арналған материалдың дұрыс мөлшерін қалай анықтай аламыз? Мұндағы негізгі кезең шұңқырдың көлемін анықтау болып табылады.

$$\text{Көлемі} = \text{Ұ} \times \text{Е} \times \text{Б},$$

онда Б - шұңқырдың тереңдігі.

Мысалы, шұңқырдың көлемі 2 м^3 , ал торкреттеуге арналған материалдың тығыздығы 3000 кг/м^3 құрайтын болса, онда тесікті толтыру үшін торкреттеуге немесе бітеуге 6000 кг материал қажет.

$$2 \text{ м}^3 \times 3000 \text{ кг/м}^3 = 6000 \text{ кг}.$$

Қаптамаларға арналған балқытулар саны жоғарлаған сайын жөндеуге қажет көлем, 4.8-суретте көрсетілгендей, жоғарлайтынына назар аударыңыз.



4.8-сурет. Қорытпа саны және жөндеуге арналған керекті көлем

2. Материалдың түрі

Пайдалану үшін материалдың негізгі компонентіне және қатаю жүйесіне байланысты материалдың дұрыс түрін таңдау қажет. Қож пен кірпіштің химиялық құрамына байланысты торкреттеудің пайдаланылатын материалының түрі анықталады:

- MgO
- Глинозем
- Доломит
- MgO-C

3. Беттің күйі.

Торкреттеуге арналған материал жағылатын беттің күйін білу маңызды.

а) Температурасы

Кірпіш бетінің температурасы торкреттеу материалындағы қатаю жүйесіне сәйкес келу қажет. Бұны нүктелі спектрометрдің немесе инфрақызыл камераның көмегімен қолмен тексеруге болады. Торкреттеудің кейбір материалдары жабысудың тиісті қасиеттерін қамтамасыз етуге арналған белгіленген мәндерінен жоғары немесе төмен температураларда пайдалануға арналған.

б) Жабын/Беттің сапасы.

Материал жағылатын беттің күйін анықтау қажет. 4.9-суретте көрсетілгендей, қож бетіне торкреттеу материалы жағылған болса, бітеу келесі балқытқаннан кейін (1650 °C) ерітіліп кетеді.



4.9-сурет. Торкреттелу бетінің күйі

Мұндай жағдайлар оңтайлы болып табылмайды, сондықтан сіз беттерге немесе балқу температурасы жоғары қождарды жағу немесе қожсыз бетті қамтамасыз ету керексіз.

с) Беттің құрылымы

Материал жағылатын беттің құрылымы да маңызды. Материал тегіс бетке қарағанда төселген немесе кедер-бұдырлы бетке жақсы жабысатын болады.

д) Шұңқырдың өлшемі

Материал торкреттеу арқылы жөндегенде материалға арналған кейбір тереңдігі бар шұңқырға жақсы жабысатын болады. Шұңқырсыз жөндеу материалы бекітілмейді және кері серпілетін болады.

4. Монтаждау.

Монтаждаудың сапасын анықтау үшін төрт негізгі мәселені білу маңызды:

а) Жөндеуге арналған материалдың монтаждалуы қалай жүргізіледі? Бітеу, қаптама, төгу, торкреттеу, шорткреттеу және т. б.

б) Монтаждауды кім орындайды? Операторлар, тас қалаушы немесе жеткізуші.

с) Материалды монтаждайтын қызметкерлер құрамының тәжірибесі қандай?

д) Жабдық қаншалықты жақсы пайдаланылады?

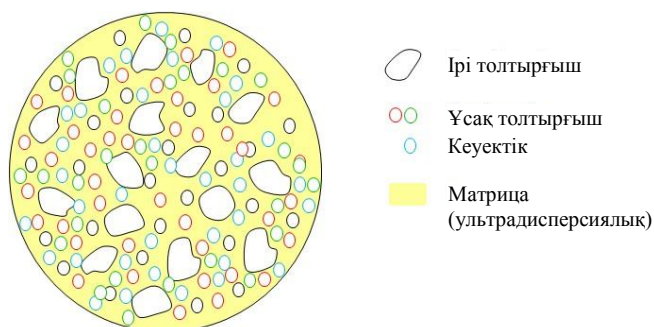
Материалдың жақсы сапасы тәжірибелі, жоғары білікті монтаждаушылар мен тамаша жабдықпен сәттілікке апарар шешім болып табылады. Егер осы үш факторлардың біреуі жоқ болса, қасиеттер нашарлайтын болады.

4.3. Иілімді массаларға, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділерге шолу

Иілімді массалар, тегістейтін отқа төзімді массалар (тегістейтін массалар) мен ерітінділер монолитті отқа берік материалдардың кейбір түрлері үшін монтаждаудың әдістері болып табылады. Иілімді массалар, тегістейтін отқа төзімді массалар монтаждау орнында нығыздалатын соққыны күшті талап ететін материалдарды камтиды. Ал ерітіндімен жұмысты кәсіби тас қалаушылар дәстүрлі әдіспен жүзеге асырады. Иілімді массалар, тегістейтін отқа төзімді массалар көптеген жағдайларда отқа берік қоспаларға ауыстырылды. Алайда оларды пайдаланатын орындар әлі де бар (мысалы, шөміш түбі мен шөміш блогы арасындағы қосылыс).

Барлық тегістейтін отқа төзімді массалар мен иілімді массалар жартылай ылғалды пішіндегі негізгі шикізаттың қоспасы болып саналады (пішінде сақтау үшін иілімді массалардың ылғалы көбірек және әдетте сазы шамалы болады, ал тегістейтін массалардың, оларды монтаждау үшін созылғыш жасау үшін ылғалы жеткілікті болады).

Негізгі сәттерге шолу 4.10-суретте көрсетіліген.



4.10-сурет. Отқа төзімді материалдың әдепкі микроқұрылымы

Иілімді массалар мен тегістейтін отқа төзімді массалардың құрамында ірі және ұсақ толтырғыштар (саз, муллит, боксит, балқытылған қоңыр глинозем, балқытылған/табулярлы глинозем, SiC, балқытылған кремнезем, MgO және т. б.) және реакцияға қабілетті матрицасы /байланыструшысы бар жүйелер (қыздырылған/реактивті глиноземдер, жұқа кремнеземді шаң, цемент, қоспалар және т. б.) болады.

Тегістейтін отқа төзімді массалардың немесе иілімді бөлшектерінің өлшемі пневматикалық тегістеуге арналған құрылғының көмегімен монтаждағанда максималды тығыздық пен минималды кеуектікке жету үшін реттеледі. Тегістейтін жабдықпен жұмыс істегенде, минималды кеуектік пен максималды тығыздықты алу үшін, білікті қызметкерлер құрамы қажет болады.

4.7-кестеде көрсетілгендей, әртүрлі әдістерге қарапайым шолудан бастайық.

4.7-кесте — Иілімді массаларға, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділерге шолу

Дайындау/монтаждау әдісі	Анықтамасы	Суреті
Пластикалық	Кеңістікке орналастыруға болатын және тегістеудің көмегімен нығыздауға болатын «тілімдер» түрінде пішінделген отқа төзімді материал. Олар «еркін пішінді» құрастыру қабілеті қажет болған жерлерде пайдаланылады (мысалы, жылытқыш пештегі бұрыштық қаптама). Тілімдер мен блоктар қабырғаны тез құруға, ал одан кейін оны орнатылатын орынға итеріп қоюға мүмкіндік береді. Жеткіліксіз тығыздалудың қауіп-қатері бар. Өйткені материал блоктар түрінде жеткізілетіндіктен қарсы шаралар қажет.	
Тегістейтін отқа төзімді масса	Тегістеудің көмегімен кеңістікке орналастыруға болатын борпылдақ материал түріндегі пішінделмеген отқа төзімді материал. Әдетте ол тегістегіш құралға арналған жеңіл қолжетімділігі бар едендерге, ол монтаждау кезінде өзін көтеруші болуы үшін, пайдаланылады.	
Ерітінді	Пішінделмеген отқа төзімді қоспа әдетте қауғада алдын ала араластырылады және кірпіштерді түйістіру үшін пайдаланылады (сонымен қатар сол жерде сумен араластыруға арналған ұнтақ түрінде	

	болуы мүмкін). Қоспада шамамен 10—20 % су болады.	

Иілімді массалар, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділердің, 4.8-кестеде көрсетілгендей, қатаю жүйесінің екі негізі түрі бар.

4.8-кесте — Иілімді массалар, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділердің қатаю жүйесі

Қатаюдың түрі	Егжей-тегжейлер	Монтаждау.
Ауада қатаю	Тұтқыр ауа материалы — ол натрий силикаты немесе ауамен байланысқанда материал химиялық реакция нәтижесінде қатайтын қандай да бір химиялық зат. Қатаюдың осы жүйесі отқа төзімді материалдардың тозуға төзімділігін аздап қамтамасыз ететін ең қарапайым материал болып табылады.	Қатаю жүйесінің осы түрі жылдам монтаждау мен жылжу мүмкіндігі қажет болғанда жақсы болады. Онымен бірге конструкцияның тұрақтылығы қажет (мысалы, өртке қарсы қабырға).
Қыздырғандағы қатаю	Қыздырғандағы қатаю әдетте фосфатқа немесе тек қана 500 °С-ден жоғарыда қатайтын қандай да болсын химиялық затқа негізделген. Әдетте бұл тозуға кейбір төзімділікті қамтамасыз ететін пайдаланудағы тұрақты отқа төзімді материал.	Қатаю жүйесінің осы түрі ерітіндіге кейбір отқа төзімділік қажет болғанда жақсы келеді (мысалы, НОК түбі).

Иілімді массаларды, тегістейтін отқа төзімді массалар мен ерітінділерді монтаждау

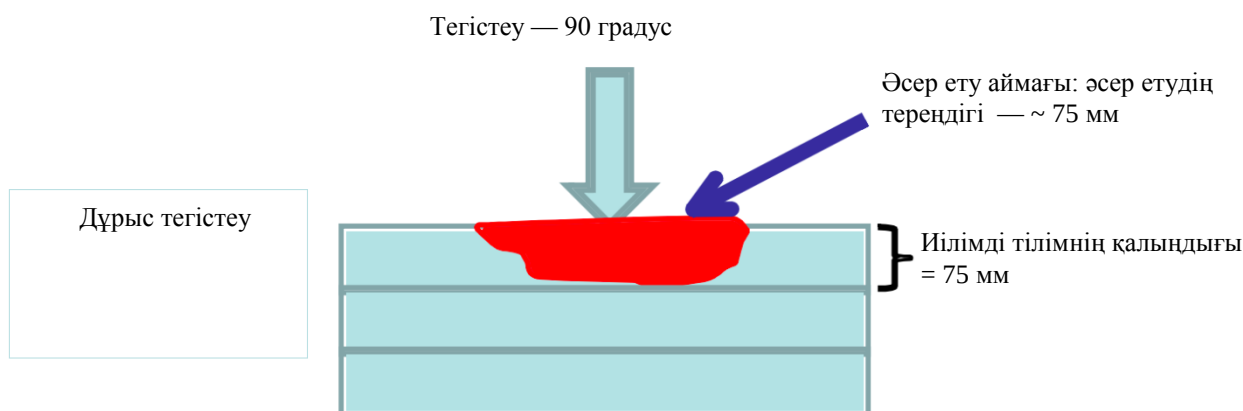
Иілімді массалар мен тегістейтін отқа төзімді массаларды монтаждаудың және оларға әсер етудің мақсаты:

- Жоғары тығыздықты және біркелкі массалы материалды жағу.
- Пайда болуы мүмкін ауа саңылаулар/қалташалардың болмауы.
- Түйіскен жерлердің жоғарыдан төменге дейін бірдей тығыздығын қамтамасыз ету.

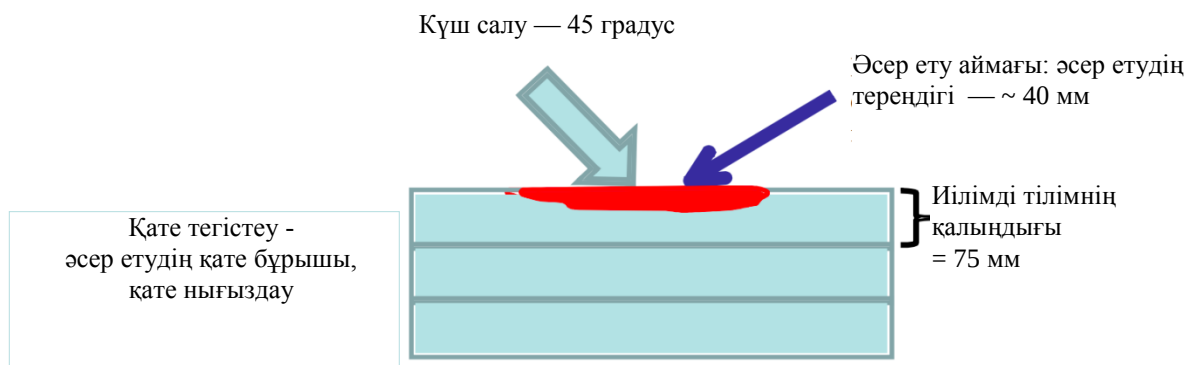
Монтаждаумен байланысты негізгі мәселелер:

- Қабаттарда монтаждатын материалдың қалыңдығы.
- Әсер етудің тұрақты тереңдігін қамтамасыз етуге арналған жабдықтың сапасы.
- Монтаждаудың бұрышы.

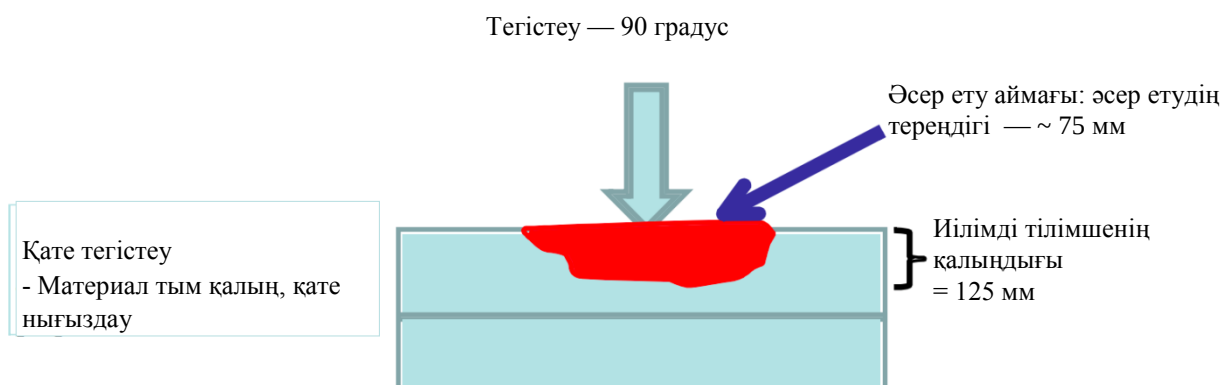
Осы параметрлермен байланысты сапа мәселелері 4.11-4.13-суреттерде сызба түрінде көрсетілген.



4.11-сурет. Монтаждаудың дұрыс бұрышы



4.12-сурет. Әсер етудің жаңылыс/қате бұрышы — қате нығыздау



4.13-сурет. Қате монтаж — материал тым қалың

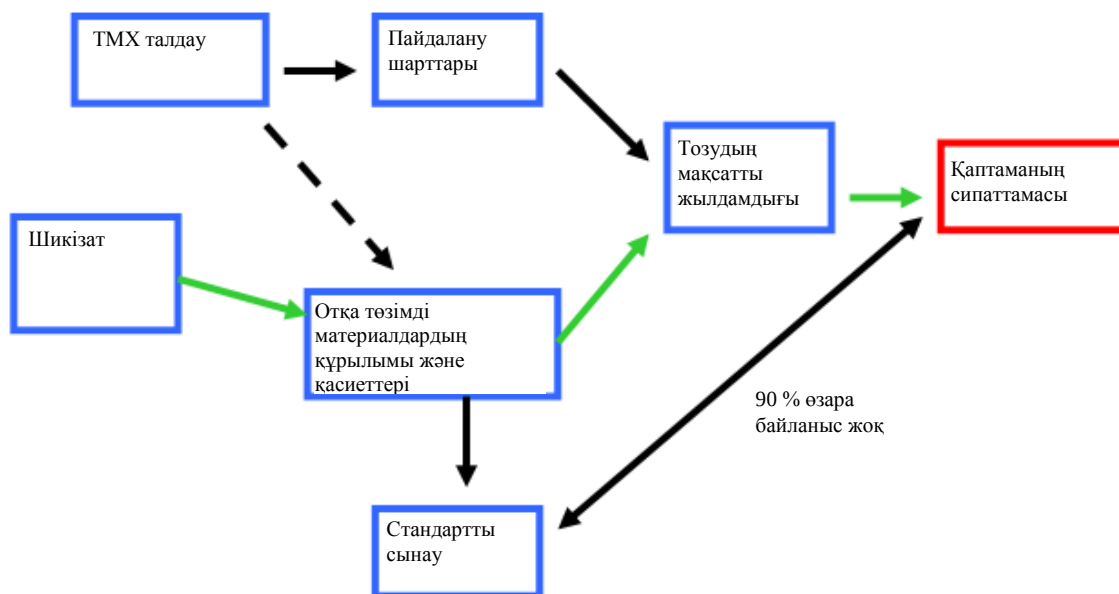
Сонымен қатар иілімді массалар ыстық бетке перпендикулярлы монтаждалуы қажет. Кері жағдайда тілімшелерде ыстық бетке қарай бағытта шытынау үрдісі болуы мүмкін.

Ерітіндіні пайдалану — артықшылықтары және кемшіліктері

- Ерітіндіні пайдалану өте сирек кездеседі, егер пайдаланатын болса, тас қалаушының арнайы білімі талап етіледі.
- Ерітінді консистенциясына қатысты негізгі бір ереже бар екендігіне назар аударыңыз: «Дұрыс консистенция туралы екі тас қалаушы ешқашан келісімге келмейді!»
- Сіз ерітіндіні аққыштау жасау үшін сумен «сұйылта» бастасаңыз, ондағы тапшы сипаттамаларының өздері де жоғалып кететініне назар аударыңыз.

4.4. Отқа төзімді материалдарды бекіту және кептіру тәсілдеріне шолу

Неге бекіту және кебу отқа төзімді материалдардың сипаттамалары үшін аса маңызды? Сізде ең жақсы шикізат, орнату бойынша ең жақсы мамандар мен жабдықтар болса да, отқа төзімді материалдың нашар бекітілуі немесе нашар кебудің себебінен отқа төзімді материалды бүлдіріп алуыңыз мүмкін. Қаптама сипаттамаларымен байланысты барлық мәселелердің шолуы 4.14-суретте келтірілген.



4.14-сурет. Қаптама сипаттамаларымен байланысты мәселелерге шолу

Қысқаша тарих осы мәселені суреттеп береді. Шамамен он жыл бұрын біз үздіксіз құю аймағында өзіміздің болат төгу қауғаларымызға арналған жаңа қақпақшаларды құюмен айналасқан болатынбыз (4.15-сурет).



4.15-сурет. Шөміштің монолит қақпағы

Біздің жеткізушімізде ең жақсы жабдық пен ең мықты кадрлар болды. Осы тамаша қақпақты сол жерде құйған болатын (4.15-суретте көрсетілгенге ұқсас). Нәтижесі тамаша!

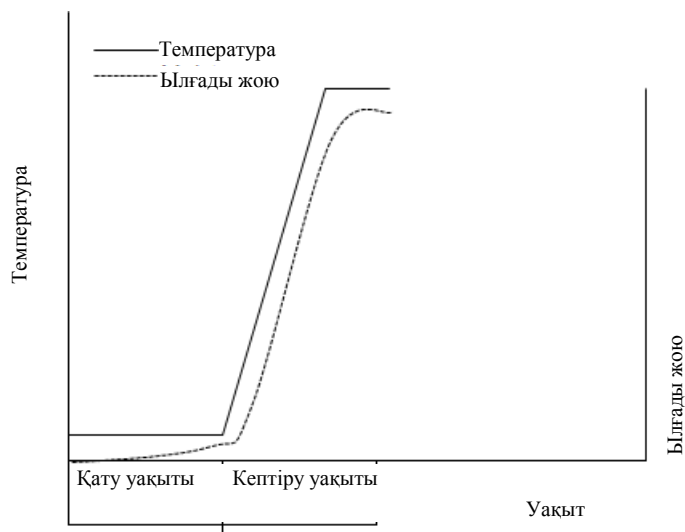
Қақпақ диаметрі 4,8 метр және жалпақ болғандықтан, оны брезент жабуға және қыздыруға арналған негізгі жабдықсыз кептіру өте қиын болушы еді. Сондықтан біз оны таза ауада 24 сағат ішінде қалатындай және одан кейін біздің ескі болат төгу қауғаларының көмегімен кебетіндей қылып жасадық. Пайдаланудан шығарылатын болат құю қауғасын алдық та оны қойып қойдық. Сосын қақпақтың кебуі үшін 24 сағат ішінде салқындауға мүмкіндік бердік. Одан кейін біз оны қақпаққа жайғастырып қойдық. Қалған жылу көтеріліп, материалды кептірді. Бұл өте тиімді тәсіл болды.

Бір күні біздің басшымыз болат төгу қауғасының 24-сағаттық салқындатылуы туралы ұмытып кеткен. Қақпақ ыстық кірпішпен (қызғыл сары түспен жарқырап тұрған) пайдаланудан шығарылғанда оны шөміш үстіне қоя салған. Шамамен алты сағат өткеннен кейін мен жанынан өтіп бара жатқанда ыңқылға ұқсас қатты дыбыс пен шамалы күрсілді естіп қалдым. Кран қақпақты көтерген уақытта отқа төзімді материалдан жауын жауып тұрған! Бу қаптама артына жиналып, оны тұтас жарып жіберген!

Сөйтіп, негізгі сабақ:

- Сіз сол жерде кептіретін ылғал құрамындағы бүкіл отқа төзімді материалдарға арналған тиісті ұсынылған қыздыру қисығын ұстаныңыз.
- Егер мүмкін болса, жеткізуші бүкіл жұмысты орындап, толық қатайған немесе күйдірілген бұйымды жеткізетіндей жасаңыз.

Жеткізуші жетуге тырысатын кебудің кілті – ылғалды жою қисығы қыздыру қисығына сәйкес келуінде болады (4.16-суреттегідей).



4.16-сурет. Теориялық кептіру

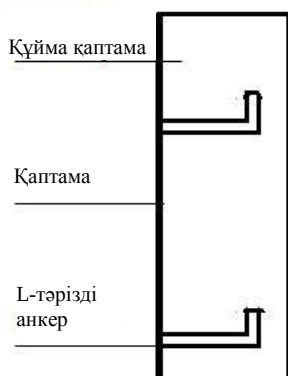
Отқа төзімді материалдарға арналған байланыстырғышты қалыптастыру қажеттігі бар. Дегенмен акыры соңында, пайдаланушы тек қана жеткізушінің ұсыныстарын қолдануға тиіс.

Отқа төзімді материалды бекіту

Көптеген жағдайларда болат құю цехындағы қаптамалар бекітуді талап етпейді (мысалы, болат төгу қауғалары, НОК және т.б.). Дегенмен бұл кейде қажет болып жатады. Сондықтан келесі тарауда бекітпелердің барлық түрлеріне және олардың пайдалануына шолу жасалатын болады.

L-тәрізді анкерлер

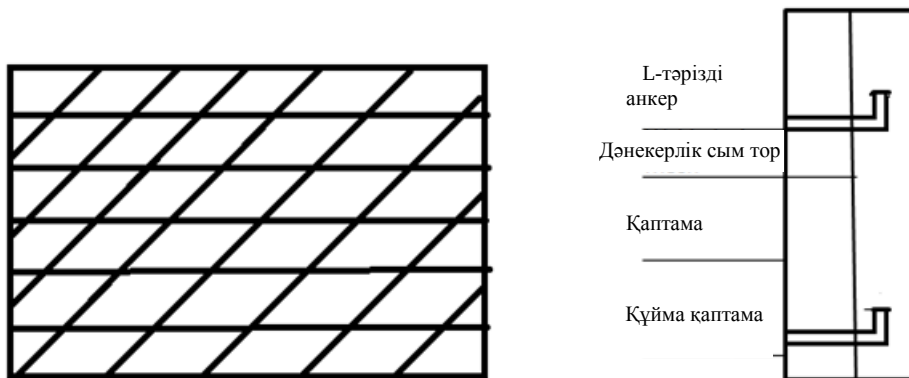
L-тәрізді анкерлер — ол тікелей корпусқа ерітіп жабыстырылған L-тәрізді болат өзектер. Олар көбінесе тіреу талап етілетін тік пеш іргетасында пайдаланылады (4.17-сур.). Жұқа пеш іргетасы үшін кейбір кездерде дәнекерлеу торымен үйлескен L-тәрізді анкерлер пайдаланылады.



4.17-сурет. L-тәрізді анкерді әдеттегі пайдалану

Дәнекерлік сым тор немесе рабиц сымды торы

Дәнекерлік сым тор шаршылы тор түрінде орналасқан және қиылысуларда дәнекерленген тура сызықты болат сымдардан тұрады (4.18-сурет). Дәнекерлік сым тор анкерлерге бекітілген және құйма қаптаманың бүкіл қалыңдығының ортасында орналасқан. Ол біршама жұқа қаптаманы нығайтады және үйкелеу мен торкреттеу бойынша жұмысты жеңілдетеді. Алайда сым тордың жылудан кеңеюі отқа берік материалдың бетімен түйісудегі температура $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ немесе одан астам болса, қаптаманың қабыршақтануына әкеп соқтыруы мүмкін.

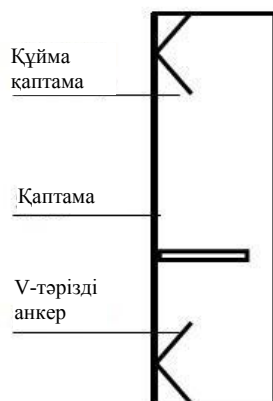


4.18-сурет. Сым тордың әдеттегі бекітілуі

V-тәрізді анкерлер

V-тәрізді анкерлер де болат өзекшелерден дайындалады, бірақ V әріп пішінінде иілген. V төменгі ұшы пештің қаптамасына дәнекерленген (4.19-сур.). V-тәрізді анкерлер көбінесе отқа берік қоспадан жасалған бір қабатты қаптамаларда (мысалы, тік немесе көлденеңдерде) пайдаланылады. Газдардың шығып кетуіне жол бермеу үшін отқа төзімді материалдың қаптамаға тығыз жанасуының пайдалы қасиеті қажет болатынына назар аударыңыз.

Анкерлердің ұштарында қаптамасыз етілетін тірек жеткіліксіз болғандықтан, олар көпқабатты қаптамаларда пайдаланылмайды.

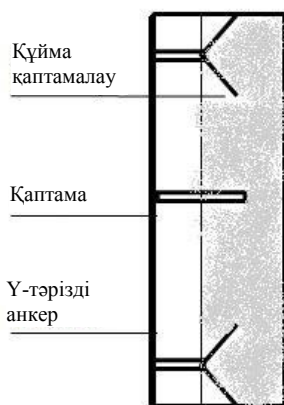


4.19-сурет. V-тәрізді анкері бар үлгінің схемасы

Қаптамада жарықшалар пайда болуына әкеп соқтыруы мүмкін болатын жүктемелерге жол бермеу үшін V-тәрізді анкерлердің ұштарында жабын (балауыз, гудрон немесе пластмасса) болуы қажет екендігіне назар аударыңыз.

Ү-тәрізді анкерлер

Ү-тәрізді анкерлер Ү әріпі пішінді болады және осы анкерлердің табаны қаптамаға дәнекерленеді (4.20-сурет). Ү-тәрізді анкерлер қалың бірқабатты құйма немесе көпқабатты тік қаптамалауда пайдалануы мүмкін. Ү-тәрізді анкерлер ең кең тараған анкерлер түрлерінің бірі болып табылады.



4.20-сурет. Ү-тәрізді анкері бар үлгі схемасы

Тағы да, қаптамада жарықшалардың пайда болуына жол бермеу үшін, оның ұшы пластмассамен немесе балауызбен жабылуы қажет. Өйткені қаптаманың ұшы қызады және кеңейеді.

Гексагоналды тор

Гексагоналды тор — ол жоғары қажету тозығы кезінде қолдануға арналған жақсы құрылымдық тұтастықты қажет ететін және қаптама үшін жақсы келетін қатты өңдеудің ерекше түрі (4.21-сурет). Отқа төзімді материал шұңқырға «балауыз ұяшықтары» түрінде құйылады немесе нығыздалады және отқа төзімді материалдың да, металдың да аркасында беріктікке ие болады. НОК бастиектерінде және үзіліссіз құюға арналған шашыраулардың қорғайтын қоршауларда пайдаланылады.



Jayne Industries компаниясының рұқсатымен

4.21-сурет. Гексагоналды тордың әдеттегі орнатылуы

Тағы да, кебу сияқты анкерлі бекітпе бірнеше негізгі кеңестер мен тәсілдердің көмегімен жеткізушілермен бірлесіп орындалуы қажет:

- Менің негізгі ережем - анкерлердің кез келген жүйесінің мақсатты аралықтары материалдың қалыңдығынан екі есе үлкен болуы (бұдан да толығырақ формулалар бар, алайда бұл күрделі есептеулерді талап етпейтін болжалды есептеулер үшін жарамды).
- Барлық қалған анкерлердің ұштарында балауызды немесе пластмасса ұштықтары болуы қажет. Бұл жерлерде балауыз немесе пластмасса жанып кеткенде жоюға болатын кернеу шоғырланады. Бұл жағдайда қуыстар жарықшалардың тарауын болдырмайды.
- Жанып кеткен қабаттар пайдалы, бірақ жеткізушінің қыздыру бойынша ұсыныстарын қолдануды қажет етеді.
- Барлық көршілес анкерлер, жарықшалар пайда болуы мүмкін «жазықтықтардың» пайда болуына жол бермеу үшін бір-біріне 90 градусқа бұрылған болуы қажет.
- Кептіруге арналған қыздыру қисықтарын өлшеу үшін термोजұптарды қаптамалаудың артқы үштен бірінде тек қана беттің емес, сонымен қатар бүкіл қаптама температурасын өлшеу үшін, көміп тастаңыз.
- Сауыт толық кепкенде анықтаудың ғасырлық әдісі – бұл қаптамаға түкіру; егер қайнап кетсе, онда кептіру аяқталды! (Кейбіреулер бұны сынауы мүмкін екендігіне назар аударыңыз!)
- Кептірудің күрделі үлкен жобаларында осы жұмысты орындау үшін кептіруге мамандырылған кәсіби компанияның қызметтеріне сүйеніңіз. Мұнай-химия өнеркәсібінде жұмыс істейтін компаниялар бұл үшін тамаша келеді.

4.5. Іріктеу — оқшаулағыш тақталарға және орамды оқшауламаға шолу

Оқшаулағыш тақталар және орамды оқшаулама «жұмыс істейтін» отқа төзімді бұйымдар емес. Өйткені олар сұйық болатпен түйіседі; алайда олар, 1.3-тарауда талқыланғандай, жылу мен энергияны басқаруда маңызды рөл атқарады. Материалдар үшін негізгі анықтамалар және мысалдар 4.9-кестеде келтірілген.

4.9-кесте — Оқшаулаудың түрлері

Дайындау/ монтаждау әдісі	Анықтамасы	Суреті
Оқшаулағыш тақта	Қабырғаға немесе бетке құрастыруға болатын «тақталар» пішініндегі қалыптастырылған отқа төзімді материал әдетте оқшаулағыш материал ретінде жылу оқшаулағыш қасиеттерді беру үшін пайдаланылады. Дегенмен өзінің табиғаты бойынша міндетті отқа төзімді болмауы мүмкін.	
Орама оқшаулауы	Қабырғаға немесе бетке құрастыруға болатын төсем пішініндегі қалыптастырылған отқа төзімді материал әдетте оқшаулағыш материал ретінде жылу оқшаулағыш қасиеттерді беру үшін пайдаланылады. Дегенмен өзінің табиғаты бойынша міндетті отқа төзімді болмауы мүмкін.	

4.2-суретте өндіру/монтаждаудың әртүрлі әдістері және олардың негізгі қасиеттері салыстырылады.

4-10-кесте — Оқшаулау тақталарды және орама оқшауламаны өндіру/монтаждаудың әртүрлі әдістерін салыстыру

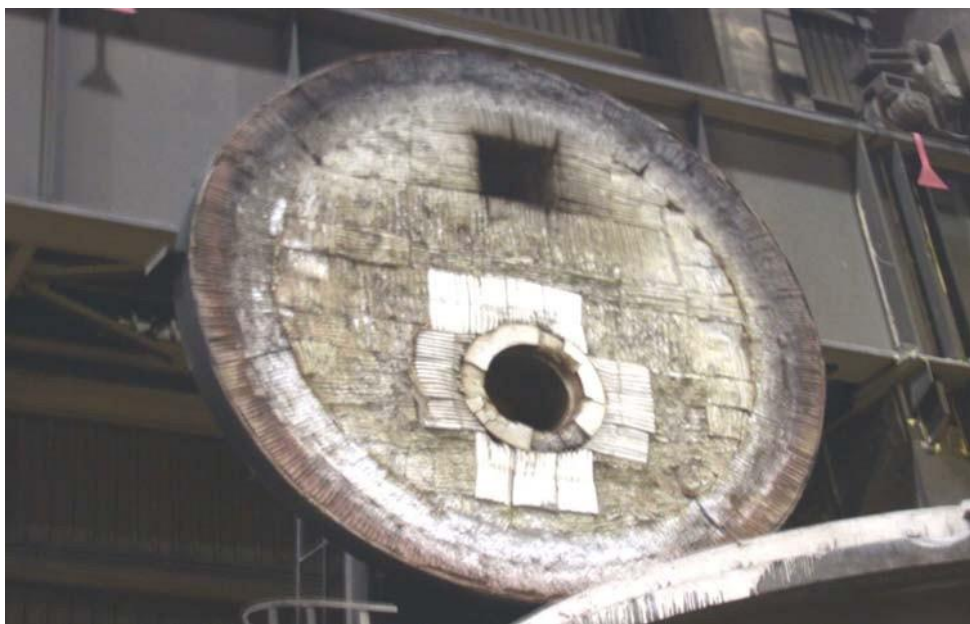
Дайындау/ монтаждау әдісі	Қасиеттері	Монтаждау үшін қажетті машықтар	Монтаждау орнымен байланысты сұрақтар
Оқшаулағыш тақта	Отқа төзімді қасиеттер беруге арналмаған. Тек қана термооқшаулама ретінде қызмет атқарады	Монтаждаудың жеңілдігі, күрделі дағдыларды талап етпейді	Арнайы назар аударуды талап ететін сұрақтар жоқ
Орама оқшаулауы	Отқа төзімді қасиеттер беруге арналмаған. Тек қана термооқшаулама ретінде қызмет атқарады	Монтаждаудың жеңілдігі, күрделі дағдыларды талап етпейді	Арнайы назар аударуды талап ететін сұрақтар жоқ

Термиялық жүйелерге арналған қаптама конструкциялары

Қаптама құрылымы үш негізгі аймақтар арасындағы теңгерім (отқа төзімділердегі барлығы сияқты) болып табылады: жылу ағынымен (қаптаманы қорғау, жылу шығындары), оқшаулау материалының беріктігімен (қаптаманың тұтастығы) және химиялық тозумен (жоғары коррозия).

Сондықтан, отқа төзімді материалдарды жобалау — ол ылғи теңгерімдеу деген сөз.

Отқа төзімді материалдардың модуль түріндегі орама оқшауламасының мысалы 4.22-суретте көрсетілген.



4.22-сурет. Орама оқшауламаны қолданудың мысалы

Болат төгу қауғасындағы отқа төзімді тақтаның мысалы 4.23-суретте көрсетілген.



4.23-сурет. Оқшаулағыш тақтаны қолданудың мысалы

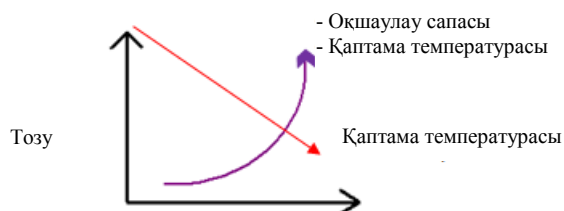
4.11-кестеде әртүрлі окшаулаудың артықшылары және кемшіліктері келтірілген.

4.11-кесте — Әртүрлі окшаулаудың артықшылары және кемшіліктері

Материал	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Тақта	• Орташа беріктігі рулонды окшаулауға қарағанда жақсы. • Сауыттың сыйымдылығын жоғарлату үшін оны жұқа жасауға болады. • Қарапайым монтаждау.	• Беріктігі процестің температурасына байланысты аздап жоғары болуы мүмкін. Бұл материалдың тозуына және окшаулаудың және қаптама тірегінің жоғалуына әкеледі. • Шамалы отқа төзімді құндылығы және түйіспелер, металл өтіп кетуі мүмкін.
Орама окшаулауы	• Сауыттың сыйымдылығын жоғарлату үшін оны жұқа жасауға болады. • Қарапайым монтаждау.	• Материалдың тозуына және окшаулаудың жоғалуына және қаптама тірегінің жоғалуына әкеп соқтыруы мүмкін шағын беріктігі. • Аздаған отқа төзімді құндылығы, металл енуі мүмкін.
Шағын-тақта	• Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін өте жұқа жасауға болады. • Қарапайым монтаждау.	• Материалдың тозуына және окшаулаудың жоғалуына және қаптама тірегінің жоғалуына әкелуі мүмкін шағын беріктігі. • Шамалы отқа төзімді құндылығы мен түйіспелер, металл өтіп кетуі мүмкін.

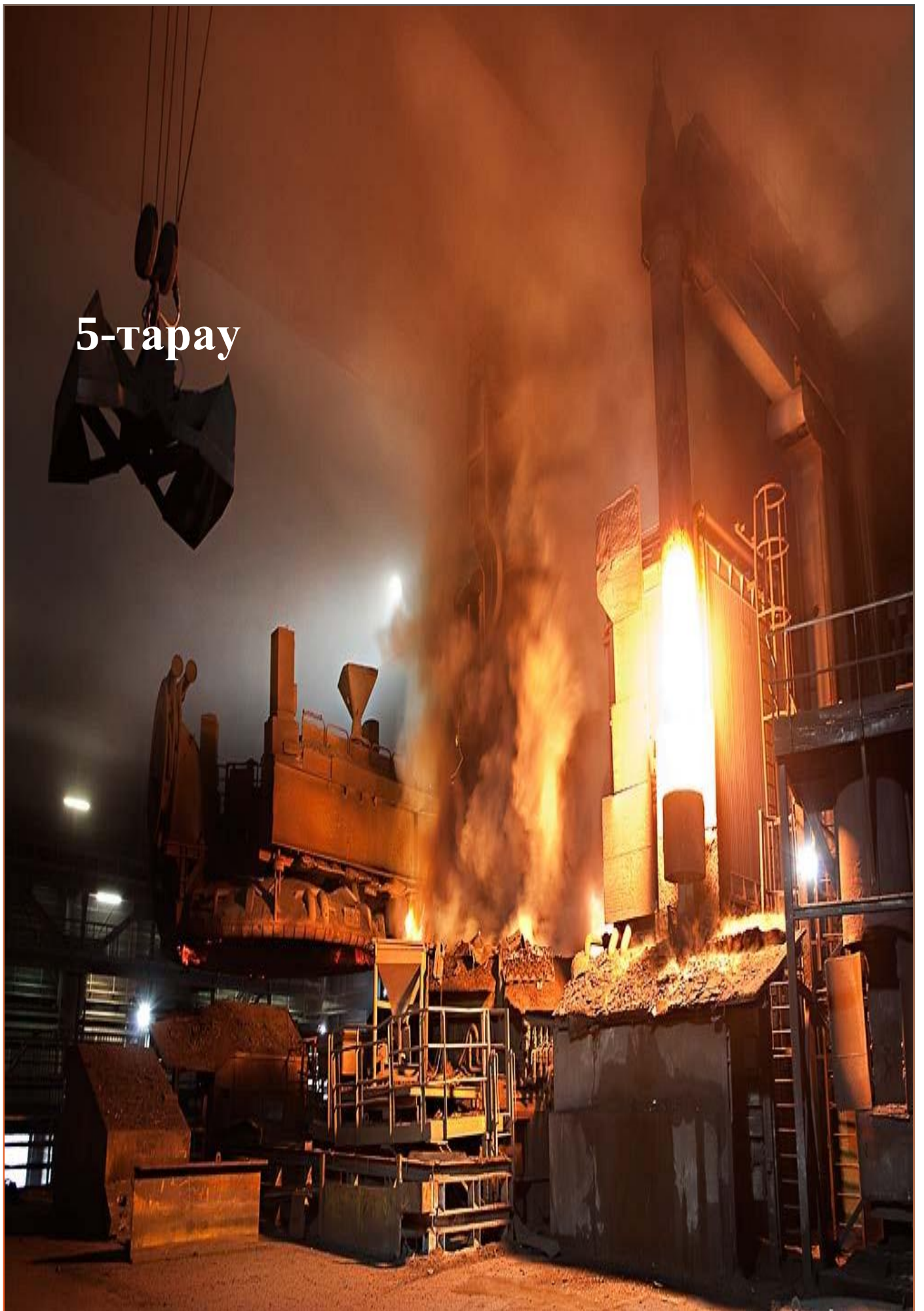
Талқылау қажет болатын соңғы мәселе — ол қаптама температурасы мен химиялық жемірілу (коррозия) арасындағы теңгерім (4-24-сурет).

- - Окшаулау санының ұлғаюына қарай сіз қаптама температурасын жоғарылатасыз, демек, тозу экспоненциалды өсуде.
- - Алайда окшаулау санының ұлғаюына байланысты қаптаманың температурасы төмендейді.



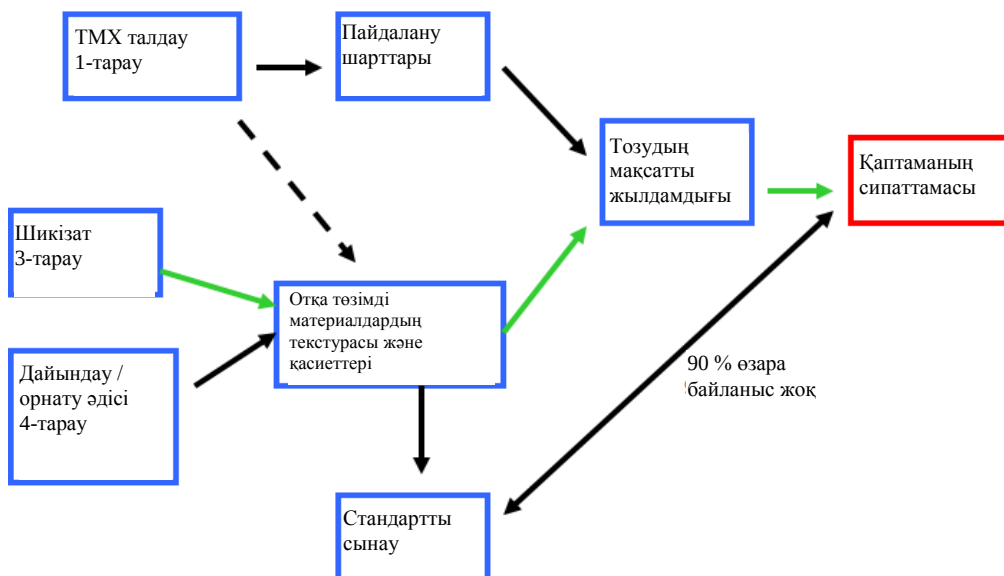
4.24-сурет. Отқа төзімді тозу мен окшаулау арасындағы тәуелділік

5-тарау

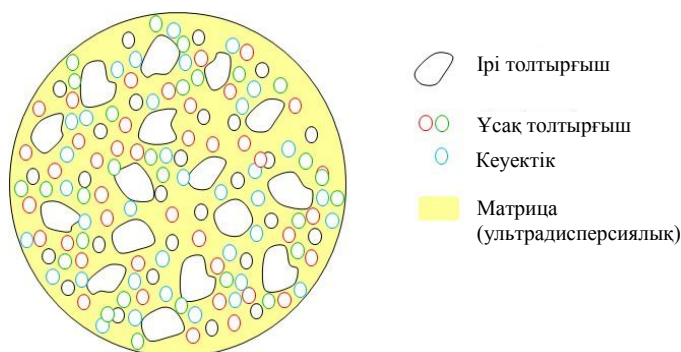


5.0 Отқа төзімді материал текстурасына, сынауларға және техникалық деректер парақтарына шолу

Отқа төзімді материал текстурасын қарау алында бізге 3-тараудағы кейбір ақпаратты жаңарту қажет. Отқа төзімді материалды іріктеу үшін неге соншалықты шикізат керек екен? Біз неге оған соншама назар аударамыз? Кестедегі 5.1-суретте отқа төзімді материалдардың пайдаланушылық сипаттамаларына жалпы шолу көрсетілген, одан қаптаманың ұқсас сипаттамалары шикізатқа негізделгені көрінеді. Орнату және өндіру жағдайды қиындатуы мүмкін, алайда егер сіз сапасыз шикізаттан бастайтын болсаңыз, сипаттамаларды түзете немесе жақсарты алмайды.



Отқа төзімді материалдың текстурасы —өңдеу басталмастан бұрын оның пешке орнатылуы; ол 5.2-суретте келтірілген диаграммада жақсы көрсетілген.



5.2-сурет. Отқа төзімді материалдар текстурасының схемалық көрсетілуі

Отқа төзімді материал өнеркәсіптік процесті қорғау үшін біріктіріліп, шикізат толтырғыштардан дайындалған арнайы әзірленген күйіктас болып саналады.

Отқа төзімді материалдың текстурасы келесілерді көрсетеді:

- Шикізат: Ірі поликристалды толтырғыштар пішініндегі негізгі шикізат (150 микроннан 25 мм дейін). Бұл шикізатты өндеген кезде күйдіргеннен кейін ұнтақталған бокситтер, магнийдің күйдірілген тотығы болуы мүмкін. Бұл шикізаттың негізгі массасы және отқа төзімді материалдың атауы (алюминий тотығы магний тотығына қатысты және т.б.).
- Матрица: Дәл бір сол түрдегі, кейбір кезде тазалау материалдармен (мысалы алюминийдің кальцийленген тотығы) араласқан шикізаттың ұсақтап ұнтақталған ұсақ матрицасы (<150 микрон). Ол кірпіштерді баспақтағаннан кейін немесе отқа төзімді бетонды құйғаннан кейін толтырғыштарды біріктіреді. Сонымен қатар оның құрамында төмен температурада (кірпіштері күйдіру немесе оны сауыттарда пайдалану алдында) беріктікті үстеп беруге арналған байланыстырушы зат болады. Байланыстырушы зат ретінде саз, биоорганикалық компоненттер (фосфаттар, силикаттар және т.б.), көмірсулар (фенолды шайырлар және т.б.) немесе отқа төзімді қоспаға арналған байланыстырушы заттар (гидравликалық цемент, кремнийдің коллоидтық тотығы, алюминийдің гидратталған тотығы) болуы мүмкін.

Кеуектілік: әдетте, кеуектілік 5-тен 20% дейінгі көлемді құрайды. Отқа төзімді материалды пайдалануда маңызды рөл атқаратын ұсақ тесіктері, ақаулары және микрожарықшалары болады. Жегі заттар (әсіресе, кождар) отқа төзімді материалға тесіктер арқылы сіңуі мүмкін. Механикалық қасиеттері мен сипаттамалары да кеуектілікке байланысты болады. Кеуектілік, өнімге оқшаулағыш қасиеттер мен жылуға төзімділік беріп, арнайы түрде өнімге енгізіледі. Мұның қаптаманы қорғау үшін шешуші маңызы бар.

- Отқа төзімді материал гранулометриялық құрам және кеуектілікпен, сонымен қатар салқындатқан және қыздырған кезде механикалық, физикалық және химиялық қасиеттермен ортақ құрам құру үшін бірге байланыстырылған шикізаттық материалдардың қоспасы болып табылады.
- Отқа төзімді материалдың түпкілікті анықтамасы ірі толтырғыштар түрін, ұсақ дәндер мен байланыстырғыш затты, сонымен қатар байланыстыру мен қорытынды қатаю процесін қамтуы қажет: мысалы, «құрамында көп глинозем бар кірпіш» ештеңені білдірмейді. Ақпараттық сипаттама құрамында андалузит пен фосфатты байланыстырғыш заты бар алюминий тотықты ұсақ матрицалы боксит шикізатының негізіндегі күйдірілмеген кірпішті қосуы қажет. Алайда құрамында көп алюминий тотығы бар кірпіш күйдірілген боксит пен балқытылған күрең алюминий тотығы және т.б. негізінде жоғары температурада ($>1300^{\circ}\text{C}$) күйдірілуі мүмкін.

Отқа төзімді материалдар жағдайында жеткізушілер материалдарды қалай жобалайтынын және әзірлейтіндерін түсіну үшін әртүрлі материалдар және/немесе жеткізушілердің микротүсірімдерін салыстыру өте жақсы тәжірибе болып табылады.

Микротүсірімдер сізге көп нәрсені айтуы мүмкін, мысалы:

- Негізгі толтырғыштардың гранулометриялық құрамы - ірі және ұсақ бөлшектер, кең және тар диапазонымен.
- Шикізат түрін ажырату оңай, мысалы, магний тотығының пісірілген немесе балқытылған дәні.
- Егер дәннің өлшемін және кристалл өлшемін салыстыратын болсақ, келесі тәуелділік бар болады: кристалл өлшемі неғұрлым кіші болса, 5.3 және 5.4-суретте көрсетілгендей, тозу соғұрлым жоғары.



5.3-сурет: Дәннің өлшемі - сыртқы екі өлшемнің орташасы. 5.4-сурет: Кристалдың өлшемі - ішкі екі өлшемнің орташасы

- Шикізат дәндері шектерінің шикізат сапасы «үшкір» немесе «жұмырланған», бұл жеңіл балқытылатын қоспалар туралы түсінік береді.
- Графит үлпектердің ұзындығы/ен ара салмағы, тотықтырғыш қасиеттердің жақсы көрсеткіштері.
- Ұсақ тесіктерді өлшем бойынша үлестіру - өнімде ірі немесе ұсақ тесіктерінің (сіңіп кетуге кедергі) бар болуы, жеңіл қожты қамтамасыз ету үшін ұсақ тесіктер біріктірілген бе немесе олар тәуелсіз бе және т.б.

Сонымен қатар микротүсірілімдер тек қана нақты кірпіштен немесе алдын ала құйылған материалдардан алынған нақты суреттер болып табылатынын айтып кеткен жөн. Торкрет, торкрет-бетонды, ерітіндіні, пластмассаны, тегістейтін отқа төзімді массаны және т.б. қарағанда орнату текстураға әсер ететін және белгісіз болатын сыни сәт болып табылады. Зертханалық үлгілер осы болуы қажет екендігі туралы айтуы мүмкін. Алайда нақты нәтижелер айтарлықтай ерекшеленуі ықтимал. Отқа төзімді материалдың қызмет ету мерзімі ұзақ болған, ал қасиеттер шешуші мәнге ие болған жағдайларда, мысалы, мұнай-химия өнеркәсібі үшін, монтаждаушыларда, соңғы өнімнің жақсы нәтижелерін қамтамасыз ету үшін, орнатқан кезде сынау панельдерді әзірлеу және қасиеттерді сынау мүмкіндігі бар болады. Дегенмен, олардың өздері де аса жақсы болмағандықтан орнату да ерекшеленуі мүмкін.

Стандартты тестілеу

ASTM сияқты стандартты сынаулар, ISO стандартты сынаулары тек қана тығыздық, кеуектілік, суық еzbелегенде беріктікті анықтау және т.б. сияқты базалық ақпарат үшін жарамды болады. Бұл көрсеткіштер сізге мінсіз үлгі зертханада, бөлме температурасында немесе бір өлшемді тестілеу режимінде өзін-өзі қалай ұстайтынын көрсетеді және пайдалану процесінде қандай орын алатынын көрсетпейді.

Сөз отқа төзімді қоспа, торкрет-масса және т.б. туралы қозғалған болса, орнатуға қатысты айырмашылықтар зертханалық модельдеуден артып кетеді және тағы да нақты сипаттамалар туралы жалған түсінік береді.

ASTM «стандартты» тестіні және т.б. бекіту үшін 7-10 жыл қажет етуі мүмкін. Себебі соңғы пайдаланушыларға, өндірушілерге, университеттерге және шикізат жеткізушілерін, олар пайдалану процесінде не орын алатыны туралы бұрынғыдай айтпағандарына қармастан, бұны қалай жасау керек екендігі туралы келісу қажет.

Мұнай-химия өнеркәсібінде пайдалану нұсқаларына арналған төмендеу температуралары және жаңадан өндіруге болатын стандартталған жағдайлары бар жақсы болжамдар бар. Бұл негізгі сәт. Жағдайларды барабар тәсілмен модельдейтін және сынауларды жүргізуді қолайлы мерзімге дейін жылдамдататын сынауларды әзірлеуге болады. Олар қымбат және күрделі болғанмен көптеген салалар оны орындады. Болат құю өнеркәсібінде стандартты сынаулар мен қаптама сипаттамалары арасында өзара байланыс мүлде жоқ деуге болады (~90%). Қож, циклдік, уақыт және т.б. сияқты қоршаған ортаны қайталап жасау тым қиынға түседі.

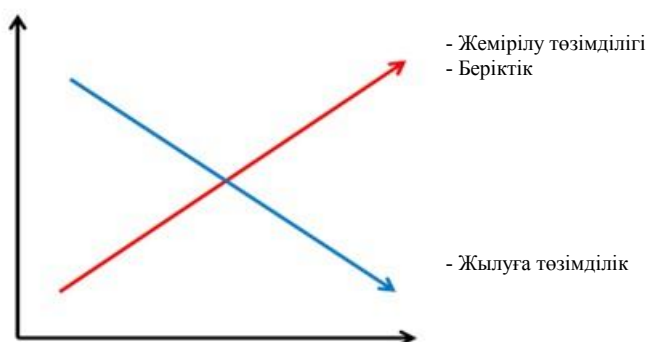
Дегенмен бұл «айрықша» заттарға арналған нұсқаулық. Мысалы, егер сіз тағайындалған бағасы бар ұсынысты іздесеңіз және үш немесе төрт жеткізушіде CCS 300 МПа кірпіштері болса, ал бір жеткізушіде CCS 100 МПа болса, бұл бірдеңе дұрыс еместігін дәлелдейді.

Біз мұнда сынаулардың негізгі әдістерінің кейбіреулерін және олардың отқа төзімді материалды іріктеуге жарамдылығын қараймыз.

- Тығыздық
- Кеуектілік/коксталған кеуектілік
- суық беріктік (CCS)
- Беріктік шектері (MOR) және қыздырудағы беріктік шектері (HMOR)
- Жылумен кеңею
- Жылуға төзімділік
- Жемірілу төзімділігі

Тығыздық

Біз тығыздықты не үшін өлшейміз? Тығыздық оның тозудың әртүрлі негізгі параметрлерімен арақатынастылығынан өлшенеді. 5.5-суретте көрсетілгендей, жоғары тығыздылық ең жақсы жемірілу төзімділігін, сонымен қатар ең жоғары тығыздықты білдіреді. Алайда жарықшалардың тарауына жол бермейтін тесіктері аз болғандықтан жылу төзімділігінің төмендеуіне әкеп соғады.



5.5-сурет: Көлемдік тығыздық, жемірілуі төзімділігі мен жылуға төзімділік арасындағы арасалмақтық.

Тығыздықтың негізгі өлшенуі келесі формула бойынша салмақ пен көлемді өлшеу жолымен жүгізіледі. Тығыздық = салмақ/көлем (г/см³ стандартты бірліктер)
Әдетте ол стандартты өлшемді куб үшін шкаладағы салмақпен өлшенеді. Ұзындық, ен мен биіктіктің сыртқы өлшемдерін өлшеу стандартты және дәл болып табылады. Салмақты өлшеу өте қызық. Себебі сіз бөлшектердің салмағын, сонымен қатар үлгінің кеуектілігін өлшейсіз.

Сіз бөлшектерді қаптау теориясына тереңдей бастадыңыз, өйткені сізде, 5.1-кестеде көрсетілгендей, жеке бөлшектердің салмағы бар.

5.1-кесте: MgO-C кірпіштің компоненттердің жеке тығыздылығы бойынша теориялық тығыздығы.

Материал	Көлем (%)	Жеке тығыздық (г/см ³)	Есептілік тығыздық (г/см ³)
Балкытылған MgO	50	3,5	1,75
Пісірілген MgO	30	3,3	0,99
Қабыршақты графит	17	2,2	0,37
Шайыр	3	1,2	0,04
Соңғы мәлімделген тығыздық			3,15

Бұл мінсіз араласуды және кеуектіліктің нөлдік мәнін болжайтындай көрінгенімен, шын мәнінде олай емес. Бөлшектерді қаптау теориясында, егер барлық бөлшектер бірдей өлшемді болса, сіз 26% кеуектілік ала аласыз. Бұл тығыздық 2,3 г/см³ деңгейінде дегенді білдіреді! Дегенмен, отқа төзімді материалдардың көбінде бір-біріне қапталатын үштен төртке дейін әртүрлі өлшемдегі бөлшектері болады. Мінсіз түрде қапталған әртүрлі төрт бөлшектердің өлшемдері 10-15% кеуектілікке тең. Ал оның тығыздығы 2,8-2,9 г/см³.

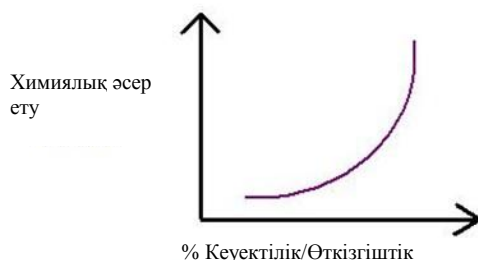
Бұл мінсіз сфераларды, мінсіз қашықтықты, араластыруды жобалайды. Шын мәнінде сіз қырлы дәндерді, үлпектерді, сұйықтықтарды және т.б. аласыз. Бөлшектерді қаптау теориясы — ол отқа төзімді материалдарды әзірлеушісіне осындай материалдардың оңтайлы «текстурасын» алуға көмектесетін негізгі салалардың бірі.

Отқа төзімді материалдарды таңдағанда көресту қажет болатын басқа негізгі сәт сіз жұмыс жағдайында тығыздық алғыңыз келгенде болады. Сондықтан үлгілерді тотықтырғыш орталарда жұмыс температурасына дейін қыздыру ең үлкен репрезентативті нақты тығыздықты береді. Кез келген пісіріп біріктіру және/немесе жылулық кеңею өлшемдерді өзгертуі мүмкін, ал кез келген тотықтыру қатты материалмен салыстырғанда кеуектілікті жоғарлатады.

Кеуектілік/коксталған кеуектілік/ұсақ тесіктерді өлшемдері бойынша үлестіру

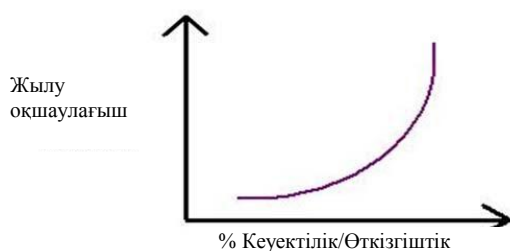
Біз ұсақ тесіктердің өлшеміне және олардың үлестірілуіне көп уақыт жұмсайтын боламыз. Өйткені бұл маңызды параметрлердің ішіндегі ең маңыздысы. Оған отқа төзімді материалдарға арналған әдебиет көздерінің көбінде лайықты назар аударылмаған.

Неге бұл соншалықты маңызды? 5.6 және 5.7-суреттердегі кестелер осы маңыздылықты көрсетеді. Кеуектіліктің пайыздық құрамы ұлғайған сайын тозу геометриялық прогрессияда өседі.



5.6-сурет: Химиялық әсер ету мен кеуектілік арасындағы байланыс

Кеуектіліктің пайыздық құрамы ұлғайған сайын жылу оқшаулағыш геометриялық прогрессияда өседі.

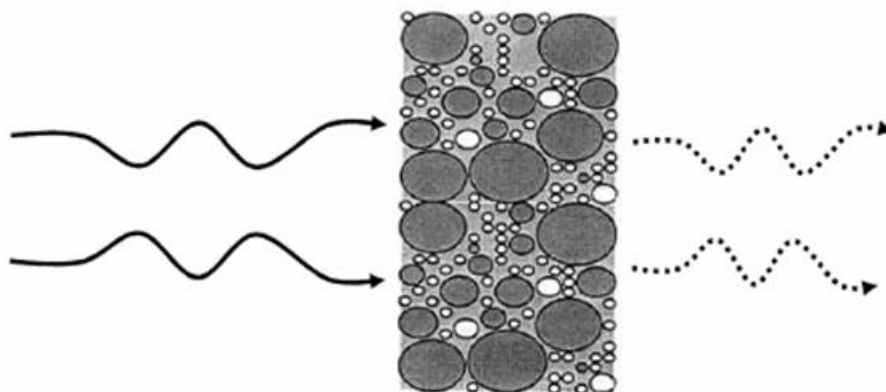


5.7-сурет: Жылылықты оқшаулау мен кеуектілік арасындағы байланыс

Қаптаманың термиялық қасиеттері үшін химиялық қасиеттерге байланысты мақсаттарын анықтау маңызды, өйткені біреуі екіншісіне әсер етеді. Осы жағдайдағы кеуектіліктің екі түрі бар:

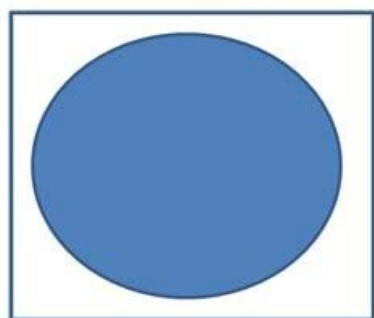
1. Ашық кеуектілік - бетте ашылатын ұсақ тесіктер жемірілуге көбірек ұшырайды.
2. Жабық кеуектілік - бет жаққа жабылған ұсқа тесіктер оқшаулағыш және механикалық қасиеттерімен ерекшеленеді.

Басқа негізгі қасиет - өткізгіштік. Ол ұсақ тесіктердің өзара байланысуында немесе олар арқылы қанша газ немесе сұйықтық ағып өте алатынында болады. Жақсы мысал болып сорғыш және ол арқылы қанша су ағып өтетіні табылады (қар. 5.8-сурет). Бұл өткізгіштіктің анықтамасы.



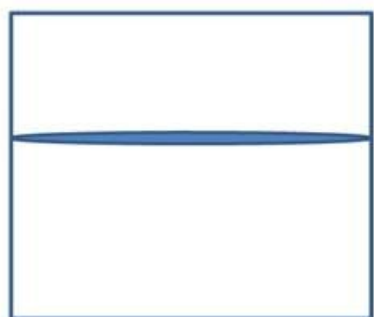
5.8-сурет: Газ өткізгіштіктің схемалық суреті

Жоғары өткізгіштік химиялық жемірілу мен еніп кету үшін ең нашар қож болып табылады. Өйткені қож отқа төзімді материалға терең еніп ең көп зарар келтіруі үмкін. Кеуектілік және өткізгіштіктің өткізгіштігі, сонымен қатар оларды өлшеу тәсілі, 5.9-суреттегі үш мысалдарда көрсетілгендей аса маңызды.



1-ші мысал

- 0% ашық кеуектілік
- 75% жабық кеуектілік
- 0% өткізгіштік



2-ші мысал

- 1% ашық кеуектілік
- 0% жабық кеуектілік
- 100% өткізгіштік



3-ші мысал

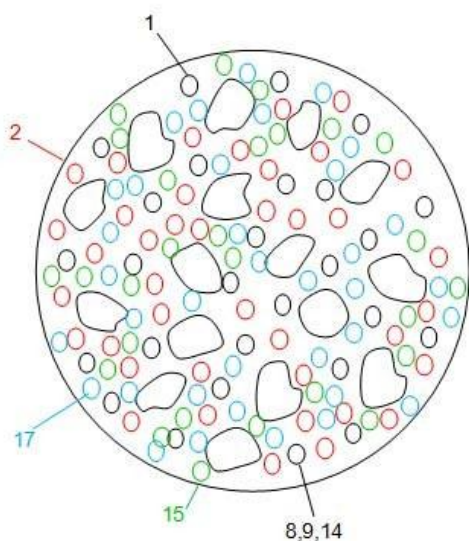
- 5% ашық кеуектілік
- 0% жабық кеуектілік
- 0% өткізгіштік

5.9-сурет. Үлгіде кеуектілік пен өткізгіштіктің өзгеруінің схемалық көрінісі

- Кеуектілік стандартты өлшемдегі құрғақ үлгіні өлшеу, одан кейін оны суға немесе басқа сұйықтыққа батыру және ылғал күйде салмақты өлшеу жолымен өлшенеді.
- Сіңірілген массада айырмашылық болады. Ал оның тығыздығымен сіз үлгідегі кеуектіліктің шамасын есептей аласыз.
- Бұл үлгінің ашық кеуектілігінің шамасы, өйткені кейбір жабық ұсақ тесіктерде сұйықтықтар болмайды! Үп-үлкен ұсақ тесіктері бар №1 мысалды қараңыз, алайда олардың біреуі де жиекке қатысты емес, сондықтан біз онда қандай болса да сұйықтықтың бар болуын атап көрсете алмаймыз!
- Екінші мысалда жоғары өтімділікті және де өте жұқа болғандықтан шамалы кеуектілікті қамтамасыз ететін, бүкіл үлгі бойымен өтетін ұсақ тесік көрсетілген.
- Үшінші мысал, беттің жоғары кеуектілігі болса да, жабық кеуектілік пен өтімділікті көрсетпейді.
- Коксталған кеуектілік үшін сіз үлгіні қайта қалпына келтіру ортасында (көміртек қабаты) мақсатты температураға дейін қыздырып, ал одан кейін бөлме температурасына дейін салқындатып, дәл сол өлшеулерді жүргізетініізге назар аударыңыз.

Осының бәрі стандартты өлшеулер кеуектіліктің не екені және отқа төзімді материалға қалай әсер ететіні жайлы нақты түсінік бермейді. 5.10-суретте көрсетілген микротүсірімге ұқсас микротүсірім әлдеқалай тиімді болар еді!

Шикізат / минералогия

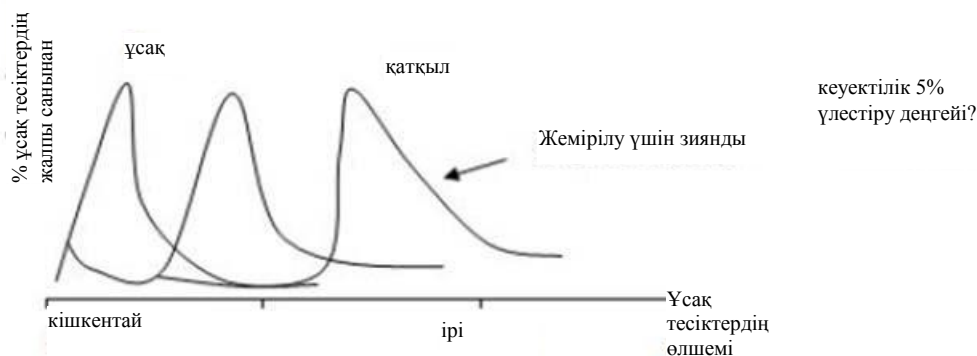


	Түр	Өлшемдерді анықтау	%	Химиялық құрамы
1	WF Al ₂ O ₃	1 мм; 5 мм	20; 40	99% Al ₂ O ₃
2	TAB Al ₂ O ₃	0.3 мм	20	98% Al ₂ O ₃
3	BF Al ₂ O ₃		0	
4	Муллит		0	
5	Боксит		0	
6	Саз(-дар)		0	
7	Балқытылған SiO ₂		0	
8	SiO ₂ , түгін	<0.01 мм	0,7	96% SiO ₂
9	СА-цемент	<0.01 мм	2,6	70% Al ₂ O ₃ , 30%CaO
10	Цирконий		0	
11	SiC		0	
12	Көміртек		0	
13	Байланыстырғыш зат Al, PO ₄		0	
14	Реактивтік алюминий	<0.01 мм	0,7	58% Al ₂ O ₃
15	Магнийдің күйдірілген тотығы	0.3 мм	8,0	97%MgO
16	Магнийдің балқытылған тотығы		0	
17	Балқытылған жұлынды	1 мм	8,0	70% MgO / 30% Al ₂ O ₃

5.10-сурет: Отқа төзімді материал үлгісінің микроқұрылымдық схемалық көрінісі және оның минералогиясы

Басқа негізгі фактор болып ұсақ тесіктердің, 5.11-суретте көрсетілгендей, өлшемдер бойынша үлестірілуі табылады.

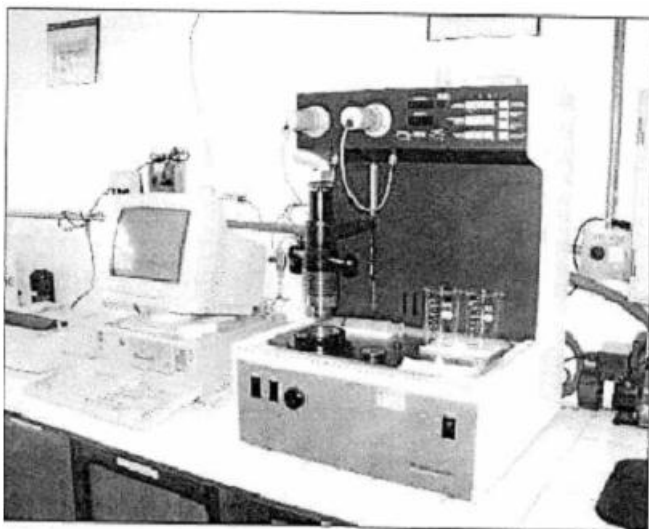
Ұсақ тесіктердің өлшемдер бойынша үлестірілуі



5.11-сурет: Ұсақ тесіктердің отқа төзімді материал үлгісінде үлестірілуі

Байқап тұрғанымыздай, кеуектілігі 5% отқа төзімді материалдың ұсақ тесіктердің өлшемдер бойынша үлестірілуіне байланысты әртүрлі сипаттамалары болуы мүмкін. Әдетте, ұсақтау тесіктер оңды әсер етеді. Өйкені олар сіңіп кетуге қарсылық көрсетіп окшаулағыш сипаттамаларды қамтамасыз етеді. Ұсақ кіші тесіктердің кемшілігі болып кептіру/катаю және газдар мен буларды ығыстырып шығару талпынысы табылады. Онда отқа төзімді қысым жоғарламауы үшін және үлгілерде жарықшалардың пайда болуына жол бермеу үшін сізге өзара байланысқан ұсақ тесіктер қажет (ірі тесіктер оң әсер етуі мүмкін).

- Ұсақ тесіктерді өлшемдері бойынша үлестіру үшін сіз үлгіні сынап порозиметріне орналастырасыз (5.12-сурет) және, жоғары қысымды пайдаланып, сынапты кеуектілікке кіргізесіз және ұсақ тесіктердің өлшемдерін және жалпы ашық кеуектілікті анықтай аласыз (Қазіргі кезде бұл сынаудың ең жақсы әдісі!)

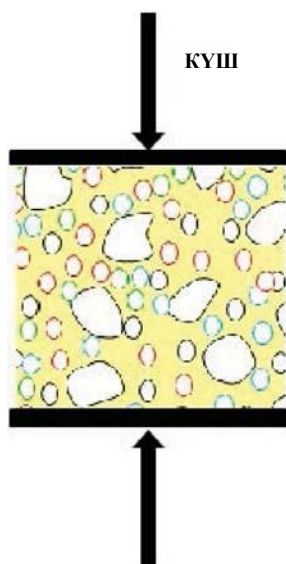


5.12-сурет: Magnesia Refractories S.A. сынап порозиметрінің мысалы.

Суыққа беріктік

Суыққа беріктікті (CCS) не үшін өлшеу қажет? CCS ең алдымен өндіруші зауытта сапа бақылау шарасы ретінде өлшенеді және болат құю өндірісіндегі тозудың негізгі параметрлерімен нақты арақатынастылығы жоқ.

Анықтамасы бойынша CCS бөлме температурасындағы қысу жүктемесінің әсеріндегі бұзылуға қарсылықты өлшейді. 5.13-суретте көрсетілгендей, күш үлгінің екі жағына салынады, ол бұзылғанда көлденең қима ауданына бөлінген күш күштегі/аудандағы CCS-ті береді.



5.13-сурет: Отқа төзімді материал үлгісіндегі CCS өлшемнің схемалық көрінісі

Отқа төзімді материалдардың көбі сығымдауда емес, созылғанда бүлінетіндіктен ең лайықты сынау болып табылмайды. Дегенмен, ол сізге кірпішті/монолитті өндіру процесінің өзгергіштігі туралы базалық ақпарат беруі мүмкін. Өйткені стандартты ауытқу сізге сапа бақылауы туралы түсінік береді (қатаю беріктігі ғана нақты өлшенеді).

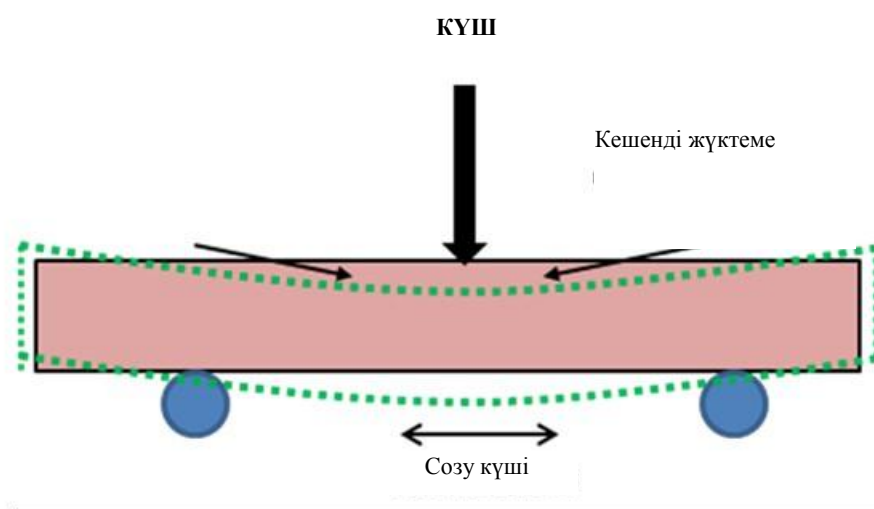
Әдетте сынаулар стандарттарында үлгінің өлшемі өнімдегі шикізаттың максималды диаметрінен кем дегенде алты-он есе артық болуы ұсынылады. Жоғарыдағы суреттен дәннің өлшемі үлкен әрі ұсақ үлгі жағдайында өнімнің емес, тек қана жеке дәннің беріктігі өлшенетінін көруге болады.

Оған қоса, CCS өндірісте сапа мен сапа бақылауын (QAQC) қамтамасыз етудің сынағы болып табылады. Сондықтан болат өндірісіне арналған отқа төзімді бұйымдарды таңдағанда негізгі компонент ретінде пайдаланылмауы қажет.

Беріктік шегі (MOR) және қыздырудағы беріктік шегі (HMOR)

MOR не үшін өлшену қажет? Ең алдымен MOR осы отқа төзімді материалда оған салынатын керу кернеуінен болатын шытынау әлеуетін анықтау тәсілі ретінде өлшенеді. Бөлме температурасында оның болат құю өндірісіндегі тозудың негізгі параметрлерімен нақты корреляциялануы жоқ.

Шын мәнінде MOR бөлме температурасындағы үзілу жүктемесінің әсерінен болған бұзылуларға қарсыласуды өлшейді. 5.14-суретте көрсетілгендей, күш үлгінің жоғарғы бөлігіне салынады, ал ондағы екі қозғалмайтын нүктелер үлгінің төменгі бөлігінде орналасады. Бұзылған жағдайда күш көлденең қиманың ауданына бөлінеді, бұл күштегі MOR/мм² береді.

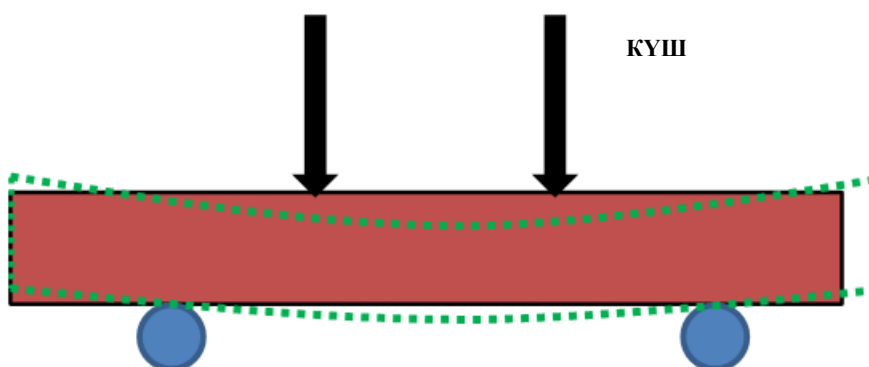


5.14-сурет: Отқа төзімді материал үлгісіндегі MOR сынауының үш нүктелі схемалық көрінісі

Диаграммада үлгінің иілуі оның төменгі бөлігінде созу күшін және оның жоғарғы бөлігінде сығымдау күшін тудыратыны анық көрініп тұр. Сондықтан үлгі төменгі бөлікте, әдеттегідей, ең үлкен кернеуі бар орташа нүктеде, шытынайды. Мәселе орташа нүктеде толық өлшемді ірі дәннің, немесе ұсақ тесіктің, матрица нүктесі болуында. Бұл барлық отқа төзімді өнімнің созылуға нақты беріктігін көрсетпейтін өзгермелі нәтижелерге апарады.

Бұл сынақ бөлме температурасында жүргізіледі. Сондықтан ешқандай нақты пайдаланушылық сипаттамалар көрінбейтіндіктен, пайдалы болып табылмайды.

Сонымен қатар, 5.15-суретте көрсетілгендей, төрт нүктелі иілімге сынау бар екендігін атап көрсету қажет.



5.15-сурет: Отқа төзімді материал үлгісінде MOR төрт нүктелі сынағының схемалық көрінісі

Осы сынақ созу күшін төменгі бетте жеке компонентке түспейтіндей, яғни, сынақ нәтижелері қалпына едәуір келтірілетіндей етіп үлестіреді. Дегенмен, бұл бөлме температурасындағы сынақтарға залал келтіретіндіктен пайдаланушылық сипаттамаларды жобалау үшін пайдаланыла алмайды.

НМОР нақты пайдалану сипаттамаларының репрезентативті сынағы деп аталады. Онда сынақ жұмыс температурасы кезінде жүргізіледі. Сынақтың бірдей осал жерлері болады (үлгінің төменгі бөлігінің орта нүктесінде шоғырланған), алайда, пісіру, минералдардың пайда болуы, кеуектіліктің кеңею/қысылу, жылулық кеңею және т.б. нақты мәселелер оны едәуір тиімді етеді. Үлгі 100% температурада орналасқандықтан отқа төзімді материалдарды пайдалану шынайылыққажатпайды. Сондықтан оның орнына нақты кірпіш немесе отқа төзімді қоспада градиент болады.

НМОР үлгісі сынақ температурасында өндіріледі. Бұл кезде үлгі алдымен қыздырылып кейін суытылу сияқты әдіспен алынбайды. Жеткізушілердің кейбіреулері НМОР нәтижелерін жақсарту үшін қулықты пайдаланады. Үлгі бірден қыздырылып, салқындатылғанда төменгі бөліктің тегіс және қатты бетін жасайтын шыны тәрізді фазалар пайда болуы мүмкін. Сондықтан бұл беріктіктің жалған көрінісін тудыруы мүмкін, ал іс жүзінде отқа төзімділік жоққа шығарылған, өйткені жемірілу осы фазаларды пайдалану барысында жылдам «жеп қояды».

Жылулық кеңею

Отқа төзімді материалдардың жылулық кеңеюін не үшін өлшеу қажет? Егер жылулық кернеу туралы 2.2-тарауды еске алатын болсақ, онда негізгі мәселе отқа төзімді материалдардың тозуында және жылулық кеңею осындағы негізгі параметр болып табылады. «Ішкі жүктеме материалды қыздырғандағы және оны температурада ұстағандағы жылудың ұлғаюы арқасында пайда болады». Физикалық тұрғыдан, кез келген материалды қыздырғанда атомдар қозады, жылжиды және кеңейеді. Сонымен қатар отқа төзімді материалдарда жергілікті кеңеюге және/немесе шөгуге апаратын шикізаттың әртүрлі түрлері арасында реакциялар пайда болады. Осының барлығын күрделі өзгерістер пайдалану процесінде термиялық шытынауға апаратынын анықтау үшін өлшеу қажет.

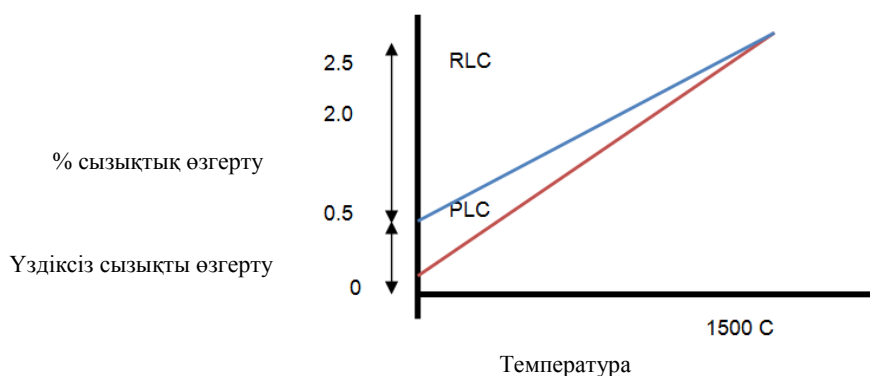
Жылулық кеңею, 5.16-суретте көрсетілгендей, өлшенеді.



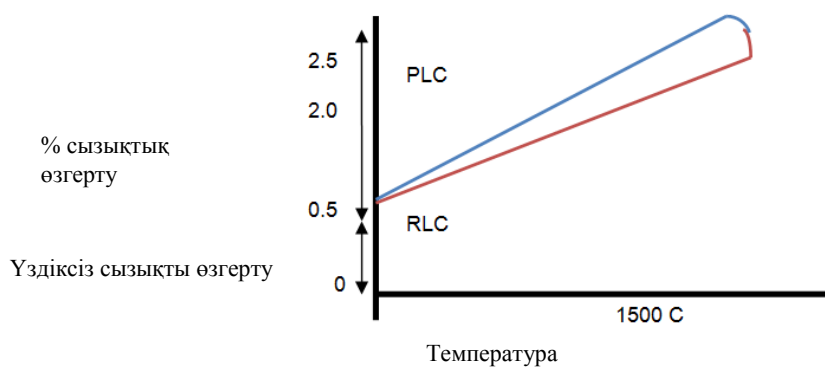
5.16-сурет: Жылулық кеңеюді отқа төзімді материал үлгісінде өлшеу

Үлгінің бастапқы ұзындығы өлшенеді, одан кейін үлгі қыздырылады, ал жылулық кеңеюдің қисық сызығын алу үшін ұзындықтың өзгерістері (қысқарырақ немесе ұзынырақ) үзіліссіз өлшенеді. Әдеттегідей, бұл екі цикл ішінде жасалады және, 5.17-суретте көрсетілгендей, негізгі параметрлер есептеледі.

№1 цикл



№2 цикл



5.17-сурет: Үздіксіз сызықты өзгерту

Жылулық кеңею, 5.17- суретте көрсетілгендей, екі негізгі бөлікке бөлінген:

- Үзіліссіз сызықтық өзгеріс (ҮСӨ) - материал температураға дейін қыздырылады және салқындатылады. Оның ішіндегі химиялық реакция нәтижесінде материалдың бастапқы өлшемдері өзгертіледі (№1 циклды қара).
- Қайтымды сызықтық өзгеріс (ҚСӨ) - материал температураға дейін қыздырылады және салқындатқанда материалдың бастапқы өлшемдері өзгермей, отқа төзімді материалдағы шикізаттың табиғи атомдық кеңеюінен тек қана ұлғаяды (№2 циклда көруге болады).

Жылулық кеңеюдің қисықтары (екі цикл) сізге үздіксіз сызықты өзгеріс пен қайтымды өзгеріс, сонымен қатар айтарлықтай кенет өзгерулерді, салбырауды және т.б. беретін ең жақсы өлшеуіш болып табылады. Жылулық кеңеюдің қиысуын кез келген кенет өзгеріс шытынауға әкеп соқтыруы мүмкін. Бір нүктелі мәндер талдаудың осы түріне жарамайды.

Жылуға төзімділік

Отқа төзімді материалдардың жылуға төзімділігін не үшін және қалай өлшеу қажет? Егер жылулық жүктемелер туралы 2.2-тарауды еске алатын болсақ, онда ол металлургиялық цехтарда отқа төзімді материалдар тозғанда негізгі мәселе болып табылады. Жылуға төзімділікке сынаулар, тек қана нақты физикалық қасиеттерді (мысалы, тығыздықты) сынаумен салыстырғанда, бізді имитациялық сынаулар аясына апарады және одан сайын күрделене түседі.

Болат құю зауыты — ол, әдеттегідей, «сериялық» өндіріс, сондықтан да жылумен циклдеу маңызды рөл атқарады. Болат шөміш 1650°C температурада өңделетін болаттың көмегімен қызады. Одан кейін 4-6 сағат ішінде ыстық беттің температурасы <1000°C-ге дейін салқындатылғанша пайдаланылмайды. Осыдан кейін оған қыздырылған болаттың тағы бір партиясы тиеліп, қайтадан 1650°C дейін қыздырылады.

Құю машинасындағы болат шөміштің немесе тұтас батырмалы стақанның сұқпажапқышы үшін сөз қоршаған орта температурасынан жұмыс температурасына дейін жылдам қызуы туралы айтылады! Бұған қалай жетуге болады? Бұны қалай тексеруге болады?

Жылулық жүктемелер туралы 2.2-тарауды еске түсіру арқылы біз жарықшалардың пайда болуына жол бермейтін құрылымды, не олардың таралуына жол бермейтін құрылымды әзірлей аламыз. Отқа төзімді материалдар ішінде өзінің табиғаты бойынша жобалау және өндіру процесінде жарықшалар болғандықтан, бізге екінші нұсқаға көшу қажет.

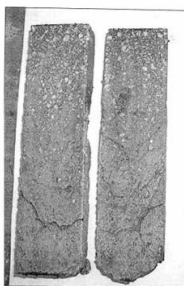
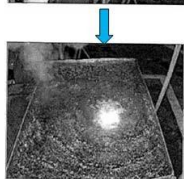
Біз мұны қалай тексере аламыз? Шыныменен жарықшалардың пайда болуына және отқа төзімді материалдардың бұзылуына жол бермейтінімізге және материалды пайдалануға енгізгенше осыны қалай болжалдайтынымызға көз жеткізу үшін болат шөміштің бүйірлік қабырғасын немесе сұқпажапқышын қалай жасай аламыз?

Қазіргі кезде жылуға төзімділікті алдын ала болжауға мүмкіндік беретін стандартталған сынаулар жоқ. Қазіргі кезде сынаулардың үш стандартты әдісі бар:

- Жылуға төзімділікті шағын призмалық үлгілерде сынау – шағын призмалар 1200°C температураға дейін қыздырылады, ал одан кейін суда/ауада бірнеше цикл ішінде бұзылғанша салқындатылады (үлгі бөлшектерге опырылады). Циклдардың саны жылуға төзімділікті анықтайды. Осы сынаудың жақсы жағы пайдалануда жеңіл, ал іріктеменің өлшемдері кішкентай болуында. Алайда оның үлкен кемшіліктері де бар. Жан-жақтан қыздырылу (өндіріс үшін қалыпты емес), үлгінің өлшемі түйіршек өлшемімен салыстырғанда тым шағын болғандықтан, нақты емес нәтижелер береді. Ал сынау температурасы болат өндірген кездегі жұмыс температурасымен салыстырғанда өте төмен.
- Тікбұрышты пішінді үлгілерде жылуға төзімділігін сынау - қазірге кезде жылуға төзімділікке жүргізілетін негізгі сынауда тікбұрышты пішінді үлгілер пайдаланылады (MOR-ға арнаған үлгі өлшеміне ұқсас), олар 1200°C дейін қыздырылады және содан кейін суда, ауада немесе майда, 5.18-суретте көрсетілгендей, қайтадан салқындатылады.



Magnesita Refractories S.A. рұқсатымен.



5.18-сурет: Жылуға төзімділікке сынау процедурасының мысалы: үлгі 1200°C дейін қыздырылады және суда салқындатылады.

- Ыстыққа төзімділікті көрсету үшін циклдер санында MOR жоғалуы өлшенеді. Бұл сынау шағын призмалық үлгілерде ыстыққа төзімділікті сынаудың барлық артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие. Дегенмен ол MOR кернеуінің бір нүктелік жайғасуына да залал келтіреді (MOR-ға арналған алдыңғы тарауда айтылып кетті).
- Қорытынды стандартты сынақ панельді сынау әдісі кезінде үлкен панель кірпіштен немесе отқа төзімді бұйымдар пішінінен жасалынады, ал қабырға пештің бөлігі ретінде пайдаланылады және 1650°С дейін қызады. Одан кейін ол ауа/тұманмен термиялық өңдеудің 20-минуттық циклдарына ұшырайды. Кірпіштердің салмағының кемуі кетіктердің бар болуын болжамдайды. Осы сынақтың негізгі кемшілігі – қажетті операцияларды орындау үшін білікті қызметкерлер құрамының бар болуын талап ететін панельдер құрылымының болуында. Оған қоса, өлшеген кезде тек опырылып түскені және жырықшалары мен салбыраған бөліктері жоқ кірпіштер ғана есепке алынады. Осы сынақтың артықшылығы жылыту оқшаулауға байланысты өзгеруі мүмкін градиентке дейін жүзеге асырылатыны, сондай-ақ үлгілердің барлығы нақты өнеркәсіптік жағдайларды модельдеуге жақын орналасқан раманың ықпалында болуында. Бұдан басқа, сынау температурасы өнеркәсіптегі температураға әлдеқайда жақын және сондықтан да симулятивті болып табылады.

Сынауды жақсарту үшін мен пайдаланудың көптеген нұсқалары үшін (мысалы, пештерде және шөміште пайдалануды, градиентті қыздыру) панельді әдісті болымсыз өзгертуді ұсынар едім - иілген панельді пайдалануды, ал құрылымды бүтіндіктің өзгерістерін белгілеу үшін микрографиялық үлгілердің сынауға дейінгі және сынаудан кейінгі сандық визуализациясын өлшемдерге енгізуді.

Тұтас батырмалы стақандар немесе толық батырмалы RHOV келте құбырлар үшін жылуға төзімділікті микротүсірімдерді сандық визуализациялаумен тік бұрышты пішінді үлгілерде сынау ең ұтымды нұсқа болып табылады.

Сынаулардың көрсетілген екі нұсқасын да әрі қарай әзірлеу қажет.

Жемірілуіге (коррозиялық) төзімділігі

Отқа төзімді материалдардың жемірілуін, еніп кету де, сонымен қатар еру сияқты, неге және қалай өлшеуге болады? Егер жемірілуге арналған 2.5 және 2.6-тарауларды еске алатын болсақ, бұл металлургиялық цехтарда отқа төзімді материалдардың тозу саласындағы мәселелер арасында басымдылығы бойынша екіншісі. Жемірілу сынақтары бізді тек нақты физикалық қасиеттерді (мысалы, тығыздық) сынақтармен салыстырғанда имитациялық сынақтар аймағына апарды және әлдеқайда қиындау болады.

Болат құю зауыты көбінесе «сериялық» өндіріс болып табылады. Ал осындай стандартты зауыт соңғы тұтынушыға, сонымен қатар химиялық құрамға байланысты қождың және/немесе температуралардың алуан түрлері бар болаттың 100-ге дейін әртүрлі маркаларын шығара алады. Болат шөміштің қож аймағы осы жағдайларға тап болуы мүмкін. Сондықтан пайдаланудағы әрекетті болжамдау үшін сынауды қалай баптауға болады? Тұтас батырмалы стақанға екіден төртке дейін әрқайсысы әртүрлі тұтқырлық пен химиялық құраммен пайдаланатын әртүрлі қож түзуші қоспалар тиелуі мүмкін. Мұны қалай тексеруге болады?

Химиялық әсері туралы 2.5 және 2.6-тарауларды еске түсіретін болсақ, бізге отқа төзімді материалдардың еруін және/немесе өтуін жобалау қажет (бұл ретте өту, қосу термиялық цикл, әдеттегідей, ең бүлдіруші болып табылады).

Біз бұны қалай тексере аламыз? Бүйірлік қабырғаны немесе тиеу құйғыш стақанды материалды пайдалануға енгізгенше шынымен коррозиялық бұзылудың алдын алғанымызға және оған болжам жасағанымызға көзіміз жету үшін қалай үлгілей аламыз?

Қазіргі кезде химиялық жемірілуді алдын ала болжауға мүмкіндік беретін стандартталған сынаулар жоқ. Кресцен және Риго қожты сынаудың 5-19-суретте жалпыланған 106 әртүрлі түрлерін өткізуді ұсынды.

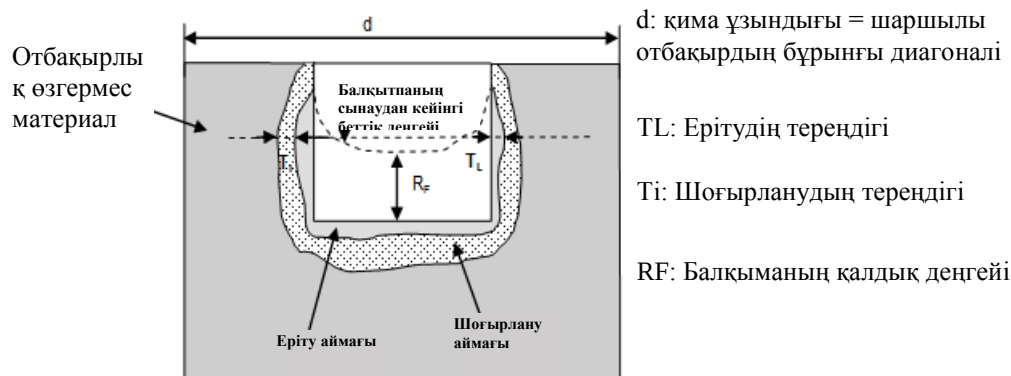
Тәсіл		
THERMODYNAMIC	KINETIC	PRAGMATIC
PBI Test 	Drip test 	Basin test
Crucible test 	Crucible test 	Rotary test (horizontal)
Cone test 	Finger test 	Rotary test (vertical)
Inversion test 	Inversion test 	Spray test
STATIC		DYNAMIC

Р. М. Ригоның
рұқсатымен

5.19-сурет: Әртүрлі тәсілдерге сәйкес қож жемірілінуіне сынау жүргізудің әдістері

Қазіргі кезде осы көптеген нұсқалардың арасында сынаулардың үш стандартты әдісі бар:

1. Отбакырда сынау - отбакырдағы сынаулар қож үлгілерін материал «отбакырларына» қосу және қожты балқытуға арналған пеште үлгілерді қыздыру және, 5.20-суретте көрсетілгендей, жемірілу және/немесе өтудің деңгейін анықтау жолымен орындалады.



5.20-сурет: Отбакырда жемірілуге төзімділігін сынау

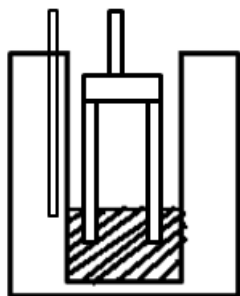
Американдық керамикалық қоғамның рұқсатымен қолданылады

**Сурет - UNITECR 2011 Eyoto Short Course – FIRE презентациясы

Ерітудің және шоғырлану/өтудің тереңдігі жемірілуге төзімділікті анықтайды. Осы сынаудың артықшылықтары - оның оңайлығы және іріктеудің өлшемі, бұл бірнеше сынауларды айтарлықтай жылдам орындауға мүмкіндік береді. Дегенмен, оның кемшілігі бар: изотермиялық әсер (отқа төзімді материалдарды қолдану нұсқаларының көбінде градиент пайдаланылады); қож жылжығанда серпіннің болмауы және/немесе өткіш қабаттардың опырылуы, сонымен қатар жылу цикленуінің болмауы.

2. Сынақ саусағының көмегімен сынау - басқа әдіс болып материалдың ұзын «саусақтарын» қалыптастыру және оларды кейінгіде болат/қож құйылған ваннада жұмыс температурада белгілі бір уақыт ішінде айналдыру, ал одан кейін, 5.21-суретте көрсетілгендей, жемірілу және/немесе өту деңгейін өлшеу.

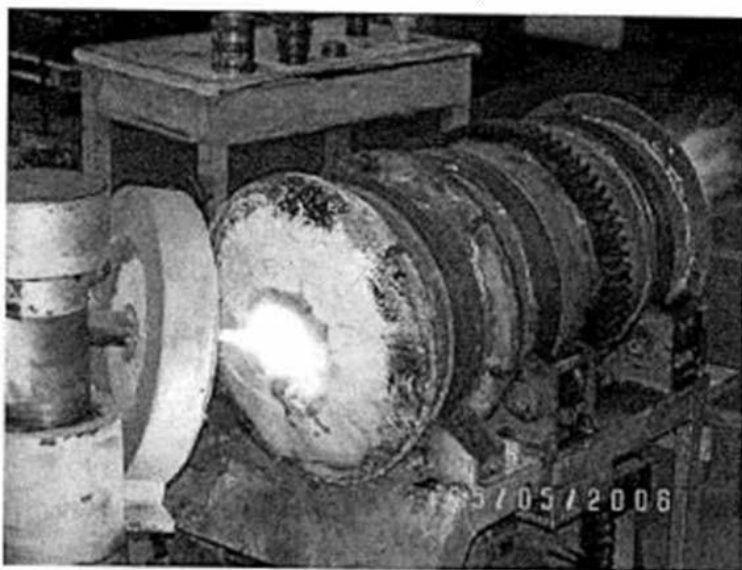
ОПТИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕГІШ



5.21-сурет: Жемірілік төзімділікті ЛИ, В.Е. және ЖАНГ, С сынау саусағының көмегімен сынау. Тотықты және тотыққан отқа төзімді материалдардың тура және тура емес қождың жемірілуі. Балқытылған қож флюстары және тұздары жөнінде VII Халықаралық конференция, Оңтүстік Африка тау-кен ісі және металлургия институты, 2004.

Еру және шоғырлану/сіну тереңдігінде не болғанын көру үшін алып шыққанда және тілген кезде үлгілердің жемірілік төзімділігін анықтайды. Осы сынаудың артықшылықтары оның жылжудағы серпінді табиғатында және белгілі температурада оны өткізу мүмкіндігінде болады. Оған қоса, оны бірнеше үлгілермен өткізу әжептәуір оңай. Алайда оның кері жағы да бар - изотермиялық әсері (көптеген отқа төзімді бұйымдарда градиент бар) және жылумен циклдауының болмауы.

3. Айналмалы пеште қожқа төзімділікке сынау - бұл сынауда жұмыстың температураға дейін қыздырылатын, «кірпіш» үлгісімен қапталатын айналмалы пеші бар, оған, 5.22-суретте, көрсетілгендей, болат/қож тиелді. Одан кейін уақыттың белгілі бір кезеңі ішінде әртүрлі аралықтармен пешке қож қосылады. Сынағаннан кейін жемірілу және/немесе өткізгіштікті қадағалау үшін үлгілер алынып тасталады.



* Magnesita Refractories S.A
ұсынған фотосурет.

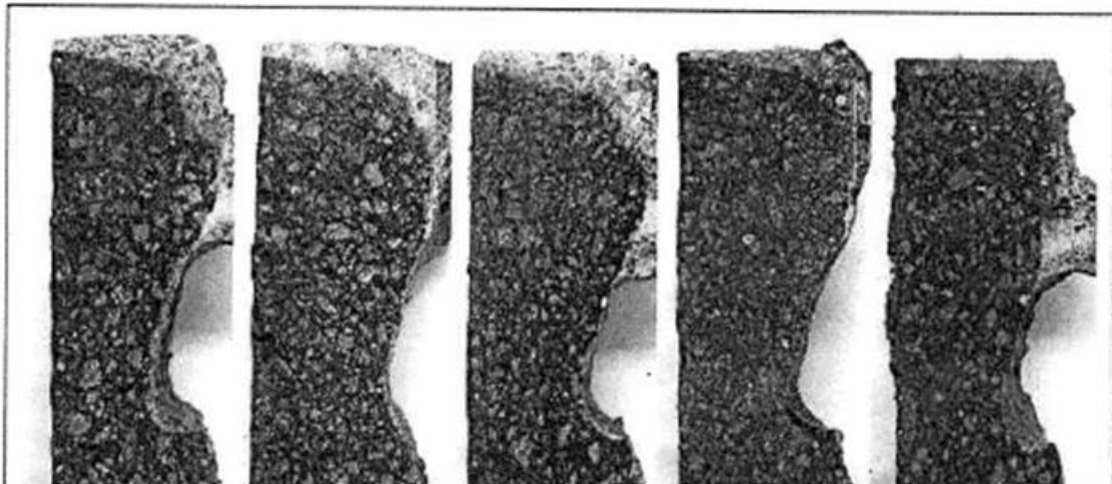
5.22-сурет: Айналмалы пеште жемірілуге төзімділікті сынау

Осы сынақтың онды кезеңі оның серпінділігі, жұмыс температураларда жұмыс істеуі және далалық жағдайларға сәйкес жылулық градиенттерді баптау мүмкіндігі болып табылады. Ал оның кемшілігі -оны баптау және іске қосудың қиындығы (көп уақыт алады) және де ол жылуға төзімділік/циклдеу жағдайларын еліктемейді.

Осы сынаудың ең маңызды бөлігі болып материалдардың репрезентативті үлгілерін пайдалану, сонымен қатар ең жақсы нәтижелер алу үшін сынау орнынан нақты қождарды пайдалану болып табылады.

«Кірпіштерді» алып шыққандағы еру және шоғырлану/өткізу тереңдігі, 5.23-суретте көрсетілгендей, үлгілерді алып шыққанда және оларды тілгенде жемірлік төзімділігін анықтайды.

Келешекте, осы сынауды едәуір еліктестікке айналдыру үшін, автор қожты қосу аралықтарының арасында жылу циклдеуді еліктету үшін айналмалы пешпен айдалатын суық ауасы бар аралықтардың бар болуын ұсынады.



5.23-сурет: Айналмалы пеште қожқа төзімділікті сынау шегінде жемірілу төзімділігіне сынаудан кейінгі үлгі

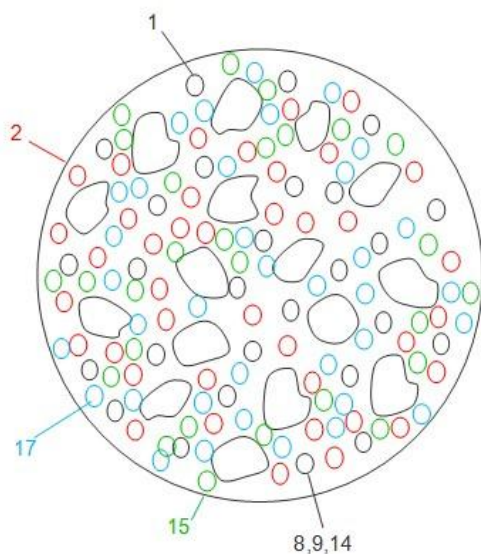
Magnesita Refractories S.A. рұқсатымен.

Техникалық деректер парағы

Отқа төзімді материалдарды тандауға ақпарат алу үшін кейбір негізгі аспектілер осы тараудағы барлық талқылаулар негізінде шын мәнінде сұратылуы керек.

Сұратылуға жататын элементтер ретінде:

1) 5.24-суретте көрсетілгендей, текстура және шикізатты орналастырудың егжей-тегжейі бар өнімнің микротүсірілімі.



Шикізат / минералогия

	Түр	Өлшемдерді анықтау	%	Химиялық құрамы
1	WF Al_2O_3	1 мм; 5 мм	20; 40	99% Al_2O_3
2	ТАВ Al_2O_3	0.3 мм	20	98% Al_2O_3
3	ВФ Al_2O_3		0	
4	Муллит		0	
5	Боксит		0	
6	Саз(-дар)		0	
7	Балқытылған SiO_2		0	
8	SiO_2 Түтін	<0.01 мм	0,7	96% SiO_2
9	СА-цемент	<0.01 мм	2,6	70% Al_2O_3 / 30% CaO
10	Цирконий		0	
11	SIC		0	
12	Көміртек		0	
13	Байластырғыш зат Al_2PO_4		0	
14	Реактивті алюминий	<0.01 мм	0,7	58% Al_2O_3
15	Магнийдің күйдірілген тотығы	0.3 мм	8,0	97% MgO
16	Магнийдің балқытылған тотығы		0	
17	Балқытылған жұлды	1 мм	8,0	70% MgO / 30% Al_2O_3

5.24-сурет: MgO -C текстурасының мысалы

2) Пайдаланылатын шикізаттың сапасын көрсету үшін шикізатты талдау. 5.2-кестеде магнезиялы-көміртекті кірпіштің стандартты сипаттамалары келтірілген.

5.2-кесте: Шөміштің MgO-C кірпішінің стандартты сипаттамалары

Шөміштің MgO-C кірпішінің стандартты сипаттамалары

1/ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ

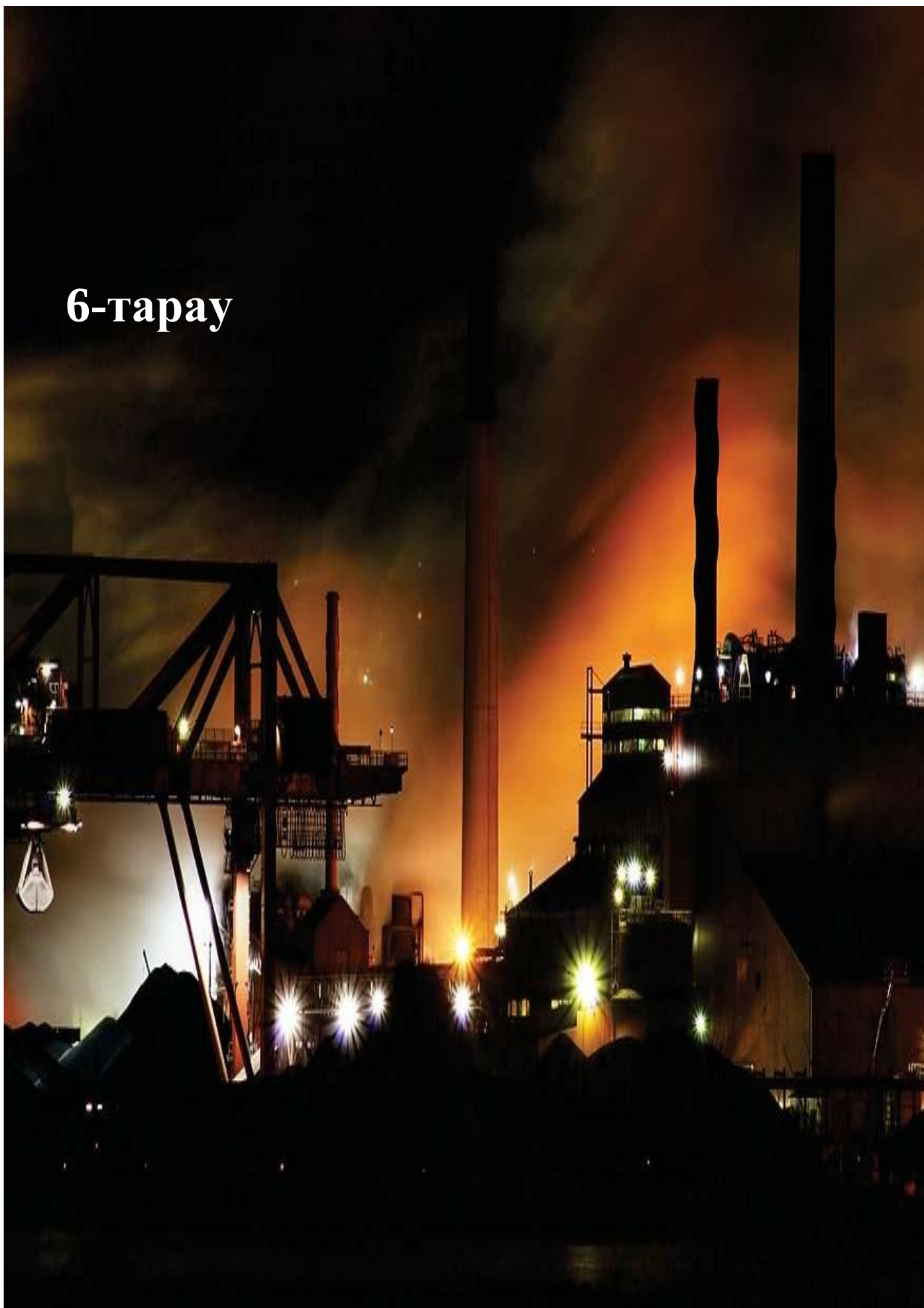
- қожқа төзімділік және тотығуға төзімділік үшін пайдаланылады

1/ a/ магнийдің балкытылған тотығы(%)	
% MgO	
% SiO ₂	
% Al ₂ O ₃	
% Fe ₂ O ₃	
% CaO	
% B ₂ O ₃	
Кристалдың өлшемі (микрондар)	
Магний тотығының көзі (яғни, табиғи Теңіз суы Тұзды су)	
Шыққан елі	
b/ магнийдің біріктірілген тотығы (%)	
% MgO	
% SiO ₂	
% Al ₂ O ₃	
% Fe ₂ O ₃	
% CaO	
% B ₂ O ₃	
Кристалдың өлшемі (микрондар)	
Магний тотығының көзі (яғни, Табиғи. Теңіз суы немесе Тұзды су)	
Шыққан елі	
d Графит (%)	
Түрі (яғни, Табиғи, синтетикалық)	
Шыққан елі	
Үлпек мөлшері	
% Ұшпалы емес көміртек	
% SiO ₂	
% Al ₂ O ₃	
% Fe ₂ O ₃	
% антиоксидант	
% алюминий	
% кремний	
% алюминийлі-магнезиялы қорытпа	
% басқасы (көрсету)	

- 3) Отқа төзімді материалдарды таңдау үшін пайдаланылатын шикізаттың негізгі қасиеттері
- a) Өнеркәсіптік қолданудағы сияқты атмосферада қыздыру/салқындатудың екі циклынан кейінгі тығыздық және кеуектілік.
- b) Ұсақ тесікердің жоғарыда көрсетілген дәл сол екі циклдан кейінгі үлестірілуі.
- c) НМОР пайдаланудың жұмыс температурасында (төрт нүктелі бүгіліс)
- d) Пайдалану саласына байланысты сынаудың панельді әдісі (жұмыс температурада) немесе тік бұрышты пішінді үлгіні салқындатқандағы сынау, екеуі де текстураның өзгерулерін қадағалауға арналған сандық визуалдаумен.
- e) Айналмалы пеште қожқа төзімділікке сынау (жұмыс температурада циклдауға арналған суық ауа ағынын пайдаланумен) немесе тік бұрышты пішінді үлгіні салқындатқандағы сынау, екеуі де текстураның өзгеруін қадағалауға арналған сандық визуалдаумен, пайдалану аясына байланысты болады.
- Осы мәселе бойынша қосымша ескертулер/ұсыныстар:

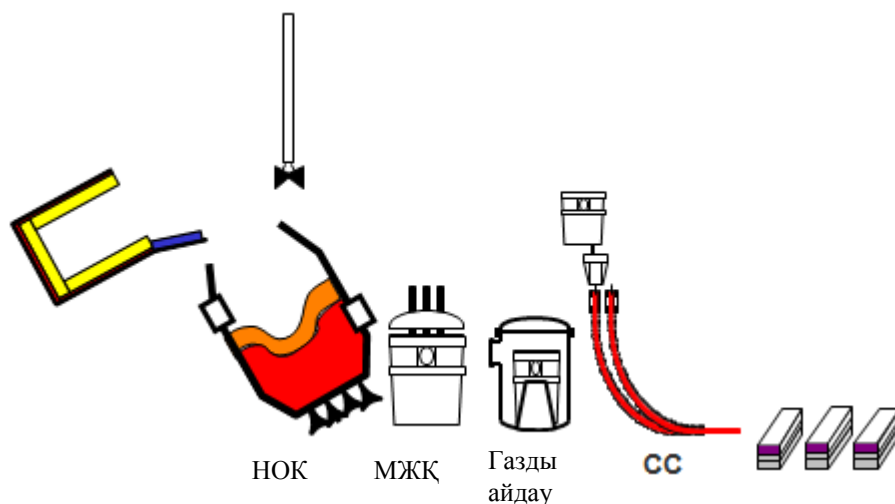
- Бұзылудың салыстырмалы жұмысын анықтау оны алу мүмкін болғанда пайдалы болуы мүмкін еді, дегенмен қазіргі кезде, «құрама сынасы» бар жаңа сынау осы мәнді өлшеуге жақындап қалған болса да, стандартты сынау жоқ.
- Өнімдердің негізгі топтарының әрқайсысы үшін техникалық деректердің жеке парақтары құрылуы қажет (мысалы, магнезиялы-көміртеккі кірпіш, магнезиялы торкрет, глиноземнен жасалған кірпіш, глиноземнен жасалған отқа төзімді балайтасты қоспалар және т.б.).

6-тарау



6.0 Болт төгу қауғасына шолу

Болат құюға арналған шөміш-миксер үлгісіндегі болат тасығыш шөміш пен ОКК пеші арасындағы циркуляциялық ыдыс болып табылады. Миксер үлгісіндегі болат тасығыш шөміш домна пешінде сұйық болатпен толтырылып, десульфуризация станциясында десульфуризацияланады. Жүк түсіру станциясында болат құю үшін болат шөмішке түсіріледі. Кейбір заманауи илемдеу цехтарында болат тасығыштың кезеңін алып тастағанын айтп кету керек. Сондықтан сұйық болат болаттың домна пешінде құю үшін тікелей шөмішке түседі. Сондай-ақ десульфуризация миксер үлгісіндегі болат тасығыштың орнына болатты құюға арналған шөміште жүруі мүмкін екенін айтып кету керек (таратқыш шөмішпен десульфуризация немесе ДРК деп аталатын), бұл оның құрылымындағы өзгерістерге және отқа төзімді материалдың тозуына әкеп соқтырды. Артынан шөміш кранмен көтеріліп ОКК пешіне түсіріледі.

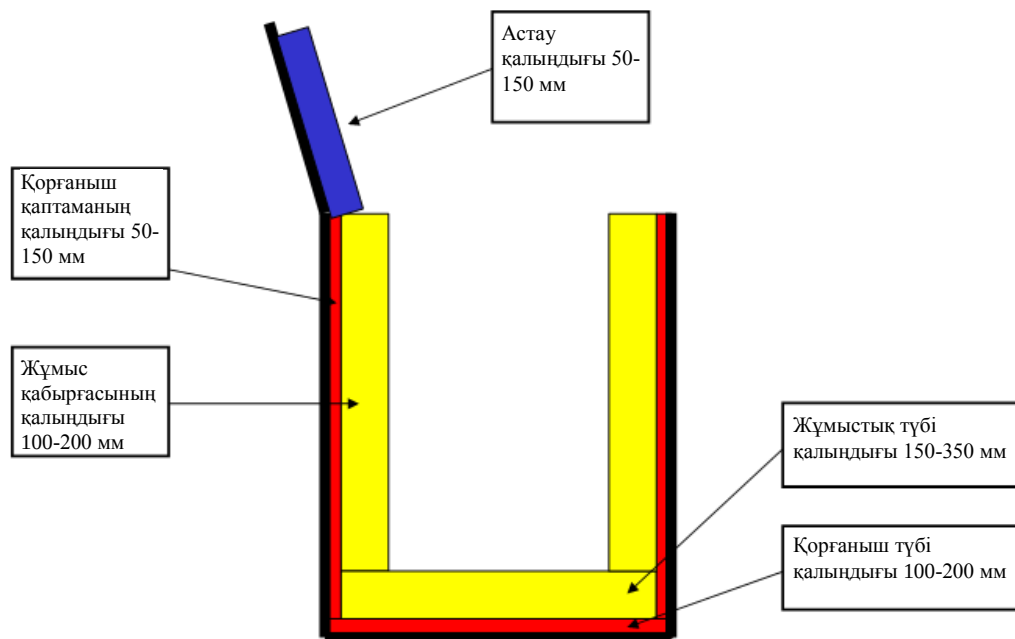


6.1-сурет: Болат құю шөмішіне арналған технологиялық процесс

Отқа төзімді конструкцияның негізгі мақсаттары:

- Сұйық болатты тежеу (бұзып өтпесі үшін)
- КОВМ процесімен берілетін қосымша энергияны азайту үшін болат жылуының барынша аз шығыны
- Қауіпсіздікке және/немесе қоршаған ортаға қауіп тудырмайтын отқа төзімді материалды пайдалану
- Отқа төзімді материалдың құнын барынша азайту/тоннасы үшін

Болат құюға арналған болаттың базалық құрылымы 6.2-суретте көрсетілген. 6.1 және 6.2-суреттерде сұйық болатты және сәйкесінше оның шлағын химиялық талдаудың мысалы келтірілген.



6.2-сурет: Болат құюға арналған шөмішке шолу

6.1-кесте: Сұйық болаттың химиялық құрамындағы талдаудың мысалы

Сұйық болаттың химиялық құрамының үлгі талдау	
Химиялық құрамы	Саны
Кремний	0,40%
Магний тотығы	0,40%
Күкірт	<0,03%
Фосфорлы	0,05%
Көміртек	4,5%
Болат	Тенгерім

6.2-кесте: Ыстық болат шлағының химиялық құрамын үлгі талдаудың мысалы

Сұйық болат шлағының үлгілік химиялық құрамы	
Химиялық құрамы	Саны
Кремнезем	20%
Глинозем	6%
Әк тас	15%
Магний тотығы	4%
MnO	5%
FeO	44%
P2O5	0,10%
Күкірт	1,5%

6.1 Қорғаныш түбі/қабырғасы

6.3-кестеде қорғаныш түбі/болат құюға арналған шөміштің түбі үшін ТМХ талдау ұсынылған.

6.3-кесте: Қорғаныш түбі/болат құюға арналған шөміштің түбі үшін ТМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (Т)	Қорғаныш қаптама температурасы ешқашан өлшенбеген; дегенмен, егер қаптаманың жұмыстық қабаты жоғалса, ол қоршаған ортаның 1400°C дейінгі температурасына ие болады. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Температураның күрт айырмасы кезінде шытынауы	Қорғаныш қаптама үшін термоциклдеу азғантай, өйткені тозу механизмі болып есептелмейді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте алу кезінен басқа, қорғаныш түбіне ешқандай әсер етпейді. Егер қаптаманың жұмыс қабаты жоғалса, онда сұйық болаттың шығатын ағыны әсерінің нәтижесі нақты көрінеді. Бұл әсер қысымның астында жүріп, кірпіштерді тоздыруы мүмкін. Сондай-ақ кез келген ерітінді жіктерге өтіп кете алады. Ағын, қағида бойынша, диаметрі 8-16 дюймге дейін жетіп, 20-25 фут биіктіктен құйылады.
	Қажалу	Қорғаныш қабырғасының немесе түбінің қажалуы жұмыс қаптамасы жоғалған және сұйық болат шөміште айналған жағдайда ғана мүмкін болады. Жалғыз ерекшелік-ДРК операциясы кезінде, егер жұмыс қаптама жоғалған болса, онда күбіні үстіңгі фурмамен араластырудың себебінен болаттың айналысы едәуір жоғары болған.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйір жақ қабырғаның биіктігі әдетте шөміш қабырғаларының астыңғы қабаттарына қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.
Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Кестеде келтірілген қож жаратылысы бойынша қышқыл. Бұл қышқыл үлгідегі кірпіш онымен үйлесімді екенін білдіреді. Сөйтіп глиноземді диас кірпіші артығырақ болады. Сұйық болаттың және қождың үлгі химиялық құрамы 6.1 және 6.2-кестелерде келтірілген.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Болатты тұтқырлығы өте төмен. Сондықтан ол кез келген ашық жіктер немесе қаптамадағы жарықтар арқылы оңай енеді. Қорғаныш қаптамада тығыз орнату өте маңызды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Болат құюға арналған шөміштің қорғаныш қаптамасының базалық құрылымы 6.3-суретте көрсетілген.

Қорғаныш қаптама:

- Тозуға төзімді бөлігі, герметикалығы металл енуді болғызбау үшін негізгі фактор болып табылады
- Көптеген болат құю кәсіпорындары арзан кірпішті-қаптамалаудың арматуралы қабаты ретінде глиноземнің 30-70% пайдаланады. Егер десульфуризация шөміште жүретін болса, қождан тыс аймақтағы бөлігінің құрамында глинозем кірпішінің 70-80% болуы мүмкін

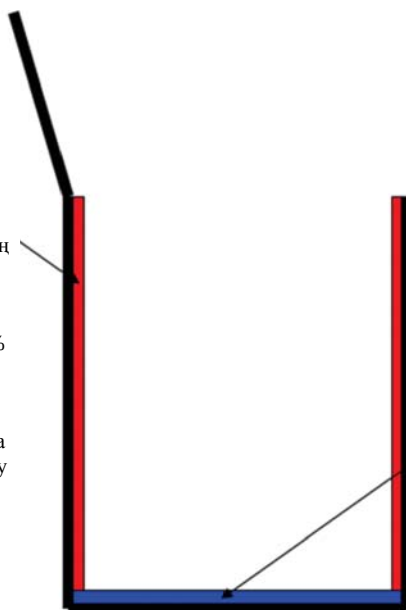
- жіктерді азайту үшін сапасы ұқсас (құйылған немесе торкретті-бетон) отқа төзімді қорғаныш қаптаманы пайдалану мүмкіндігі бар.

Қауіпсіз түп:

- Тозуға төзімді бөлігі, герметикалығы металл енуді болғызбау үшін негізгі фактор болып табылады (кейбір жағдайларда кез келген санылауды болғызбау үшін кірпішке арналған ерітінді пайдаланылады)

- Көптеген болат құю кәсіпорындары арзан кірпішті-қаптаманың арматуралы қабаты ретінде глиноземнің 30-70% пайдаланады. Кейбіреулері сұйық болат ағынының әсер ету аймағында жоғары маркалы кірпішті пайдаланатын болады.

- жіктерді азайту үшін сапасы ұқсас (жиынтық, құйылған немесе торкретті-бетон) отқа төзімді қорғаныш қаптаманы пайдалану мүмкіндігі бар.



6.3-сурет: Болат құюға арналған шөміштің қорғаныш қаптамасы

6.2 Жұмыс түбі/қабырғалары

6.4-кестеде Болат құюға арналған шөміштің қауіпсіз түбі/қабырғалары үшін ТМХ талдау ұсынылған.

6.4-кесте: Болат құюға арналған шөміштің қауіпсіз түбі/қабырғалары үшін ТМХ талдау.

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (Т)	Сұйық болаттың температурасы көптеген цехтарда 1 300 - 1 400°C құрайды және оның өзгеруі болжанбайды. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Температураның күрт айырмасы (температуралар айырмашылығы) кезінде шытынау	Көптеген цехтарда болат құюға арналған шөміштер үшін термоциклдеу өте-мөте тұрақсыз. Шөміш пайдалануға енгізілуі және орташа алғанда күніне 24рет құю кезінде бірнеше апта бойы пайдаланылуы мүмкін немесе қосалқы аспап ретінде айына небәрі бір немесе екі рет кезеңдік операциялар үшін пайдаланылуы мүмкін. Бұл термоциклдеу жоғарыда айқындалған максаттарға қайшы жүруі мүмкін болғандықтан жобалау кезінде оны алдын ала қарастыру қажет.
Механикалық	Сокқы әсері	Тозудың негізгі механизмі жұмыстық түбіне және /немесе сұйық болаттың шығарылатын ағыны жағынан бүйіржақ қабырғасының түбіне әсері болып табылады. Бұл әсер қысымның астында жүріп, кірпіштерді тоздыруы мүмкін. Сондай-ақ кез келген ерітінді жіктерге өтіп кете алады. Ағын, қағида бойынша, диаметрі 8-16 дюймге дейін жетіп, 20-25 фут биіктіктен құйылады.
	Қажалу	Сұйық болат, азғантай болса да, шөміште айналғанда түбі қажалуы ғана мүмкін болады. Жалғыз ғана ерекшелік - ДРК операциясы кезінде, жоғарғы фурмамен немесе түбіне арналған аргон тығындармен күбіні араластырудың себебінен болаттың айналысы едәуір жоғары болғанда.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйір жақ қабырғаның биіктігі әдетте шөміш қабырғаларының астыңғы қабаттарына қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.
Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Кестеде келтірілген қож жаратылысы бойынша қышқыл, бұл қышқыл үлгідегі кірпіш онымен үйлесімді екенін білдіреді. Сөйтіп глиноземді диас кірпіші артығырақ болады. Сұйық болаттың және қож үлгісінің химиялық құрамы 6.1 және 6.2-кестелерде келтірілген.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Болатқа қатысты, оның тұтқырлығы өте төмен, сондықтан кез келген ашық жіктер немесе қаптамадағы жарықтар арқылы оңай енеді. Металл мен қожты отқа төзімді материалға тиімді итеретін әсерін назарға ала отырып, жұмыс түбін тығыз орнату өте маңызды
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет.
Хим./Мех. немесе ТМХ	Ену аймақтарындағы сыну	Қождар мен термоциклдеудің енуінің үйлесу ену аймағында сынуға алып келеді. Шығаратын ағынның осы жерлерге әсер ету күші мұны одан да көбірек жылдамдата алады.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

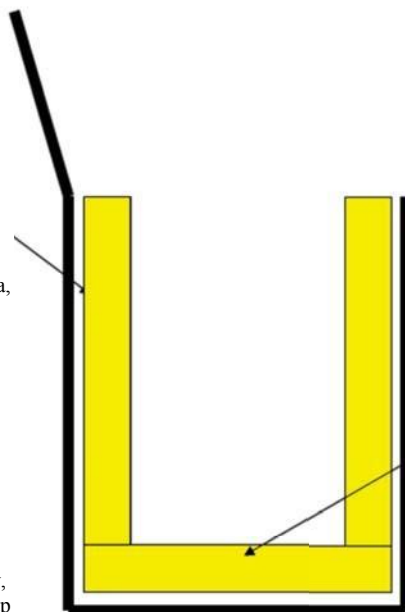
Болат құюға арналған шөміштің жұмыстық қаптамасының базалық құрылымы 6.4-суретте берілген.

Жұмыстық қаптаманың қабырғасы:

-Тозу мәні орташа учаскесі, герметикалығы металл енуінің болғызбауы үшін негізгі фактор болып табылады.

-Көптеген болат құю кәсіпорындары қаптамалау үшін~ 60-80% глинозем кірпіштерін пайдаланатын болады. Егер десульфуризация шөміште жүретін болса, кірпіштің сипаттамасы глиноземді-карбидкремнийлі-көміртекті кірпішке дейін жақсарады. Өйткені кез келген енуді азайтады және термоциклдеу мен әсер етуге жарайды (егер шайырмен желімделген кірпіштер пайдаланылатын болса, газдалғандықпен күрес бойынша шараларды қабылдау маңызды екенін айта кету керек)

-отқа төзімді жұмыстық қаптаманы пайдалану күрделі (құйма немесе торкрет-бетонды), өйткені термоциклдеу, және де қағида бойынша шөміштің нашар кебуі ірі жарықтарға әкеп соқтырады.



Жұмыстық қаптаманың түбі:

-Жылдам тозу учаскесі, герметикалығы металл енуді болғызбаудың негізгі факторы

-Көптеген болат құю кәсіпорындарын қаптамалау үшін~ 60-80% глинозем кірпіштерін пайдаланатын болады. Егер десульфуризация шөміште жүретін болса, кірпіштің сипаттамасы глиноземді-карбидкремнийлі-көміртекті кірпішке дейін жақсарады, өйткені кез келген енуді азайтады және термоциклдеу мен әсер етуге жарайды (егер шайырмен желімделген кірпіштер пайдаланылатын болса, газдалғандықпен күрес бойынша шаралар қабылдау маңызды екенін айтып кету керек)

-отқа төзімді жұмыстық қаптаманы пайдалану күрделі (құйма немесе торкрет-бетонды), өйткені термоциклдеу қағида бойынша шөміштің нашар кебуі ірі жарықтарға әкеп соқтырады.

6.4-сурет: Болат құюға арналған шөміштің жұмыстық қаптамасы

6.3 Астау

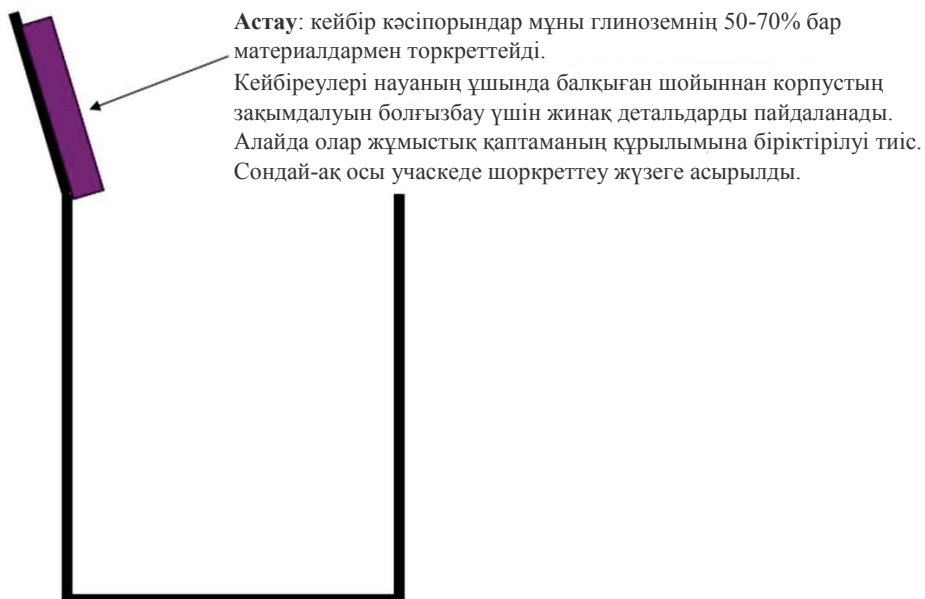
6.5-кестеде Болат құюға арналған шөміштің астауын ТМХ талдауы ұсынылған.

6.5-кесте: Болат құюға арналған шөміштің астауын ТМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (Т)	Сұйық болаттың температурасы көптеген цехтарда 1300 - 1400°C құрайды және оның өзгеруі болжанбайды. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Температураның күрт айырмасы кезінде шытынауы	Болат құюға арналған шөміштер үшін термоциклдеу көптеген цехтарда және әсіресе астауда-балқыма арасындағы ауытқулар өте күшті болуы мүмкін, өйткені жылудың көп мөлшері қолданулар арасындағы сәуле шығарудың себебінен жоғалады. Бұл термоциклдеу жоғарыда айқындалған мақсаттарға қайшы жүруі мүмкін, сондықтан жобалау кезінде оны алдын ала қарастыру қажет.
Механикалық	Соккылық әсер	Астауға әсері негізінен кез келген гарнисажды, әдетте үлкен қуатты құрылғылармен тазалау кезінде жүреді. Бұл әсер қысымның астында жүретіндіктен белгілі бір илемділігі бар материалдарды пайдаланған артығырақ.
	Қажалу	Көптеген шөміштерде әрбір балқыту кезінде шүмегі арқылы құйылатын сұйық болаттың әсерінен астаудың қажалуы.
	Қосымшаланған кернеу	Астау ауданында проблема туғызбайды.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың отқа төзімді материалмен химиялық үйлесімділігіне бағдарланған. Кестеде келтірілген қож жаратылысы бойынша қышқыл. Бұл қышқыл үлгідегі кірпіш онымен үйлесімді екенін білдіреді. Сөйтіп глиноземді динас кірпіші артығырақ болады. Сұйық болаттың және қождың химиялық құрамының үлгісі 6.1 және 6.2-кестелерде келтірілген.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Астауға күшті әсер етпейді.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті астау орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болғызбау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет.
Хим./Мех. немесе ТМХ	Ену аймақтарындағы сыну	Астау үшін үлкен проблема емес.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Болат құюға арналған шөміш астауының базалық құрылымы 6.5-суретте ұсынылған.



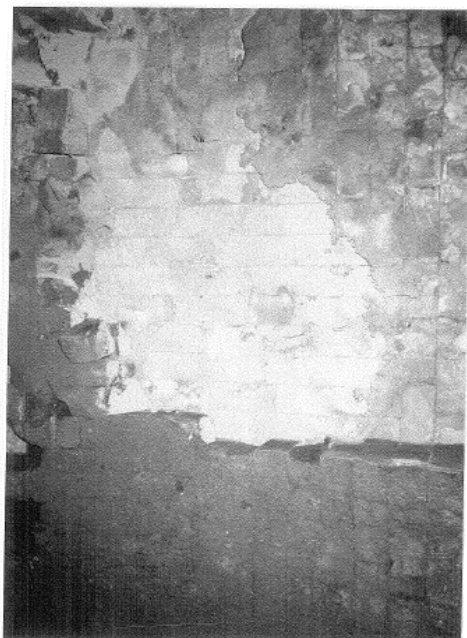
6.5-сурет: Болат құюға арналған шөміштің астауы

Жөндеу материалдары

Әдетте болат құюға арналған шөміштерді "табиғи көріністегі" материалдарды пайдалану арқылы жөндейді. Яғни, глинозем кірпіштің 50% отқа төзімді глиноземді материалдың 50%-мен торкреттеледі. Ыстықтай торкреттеу шөмішті пайдаланудан шығармай қызмет ету мерзімін ұлғайтудың стандартты тәжірибесі болып табылады. Бірақ салқындай торкреттеу орындалуы мүмкін. Түптерінде кірпішті жөндеу/бітеу жүргізілуі мүмкін. Егер жобалау кезінде шөміштің барлық детальдары бір мезгілде тозатын болса, бұл интрузивтік тактикадан құтылуға мүмкіндік береді.

Қорытындылар/Кеңестер мен ұсыныстар/Қорытынды

- Болат құюға арналған шөміштерді болаттың тесіп өтуі мүмкін сұйық болатты балқытудың төмен температурасына байланысты сирек болады; оның өте жылдам қатып қалатын үрдісі бар (өздігінен жазылу)
- Тесіп өтудің негізгі себептері сұйық болаттың жіктерге өтіп кетуі болып табылады.
- Орнатудың тиісті тәжірибесі және/немесе қорғаныш қаптамадағы моноклитті материалдар олардың алдын ала алады (төмендегі 6.6-суретті қара, болаттың түсу мысалы).
- Жарылыстардың мониторингі аймақтық балқыту үшін шешуші мағынаға ие болады. Бұл өнімділікті барынша көбейту және тоннасына шығынды барынша азайту үшін маңызды.
- Цехта пайдаланылатын өнімдермен жұмыс кезінде еңбектің қорғау және қауіпсіздік техникасының мәселелері барлық мәселелерден басым тұрады. Шайырмен жабыстырылған кірпішті қолданудан болатын газдалғандық оны бақыламаса, күрделі проблемаға айналуы мүмкін (10-бөлімді қар.).
- Ірі жинақ детальдарын жоғары термоциклдеу жағдайларында және алдын ала қыздырусыз пайдалануға болмайды. Сынықтың кесектері ірі болады!
- Кірпіш кеңейгендегі сәйкессіздік бөліктің бетінде сынықтардың пайда болуына әкеп соқтыруы мүмкін. Глиноземді және глиноземді-карбидкремнийлі -көміртекті кірпіш қалауды жобалау кезінде осыны бақылаңыз.
- Шөміштің жақсы циклдығы максималды өнімділігі үшін артығырақ болады, әсіресе егер циклдар арасында алдын ала қыздыру болмағанда.



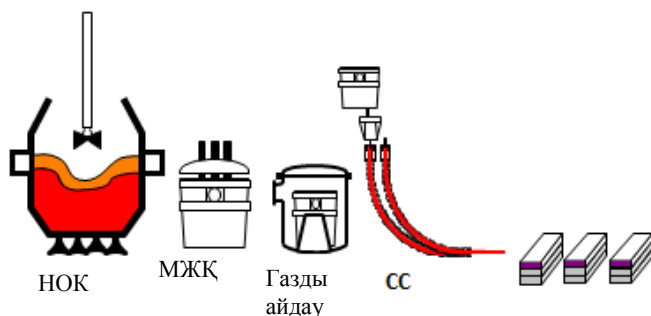
6.6-сурет: Болат құюға арналған шөміштің түбіне болаттың өтуі

7 тарау



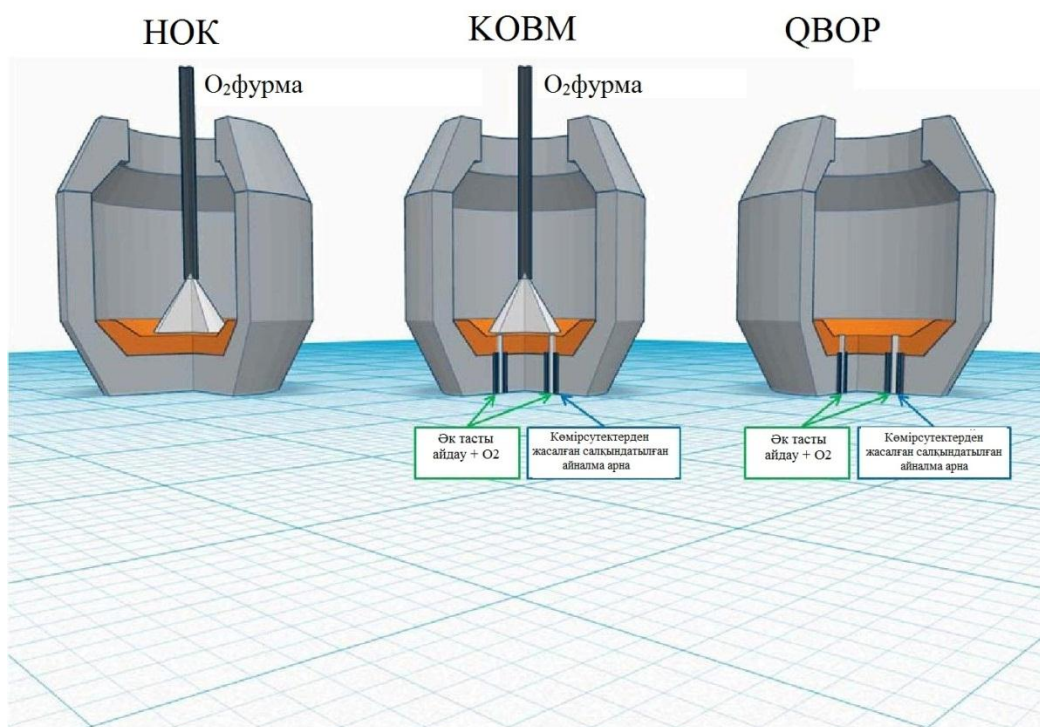
7.0. Негізгі оттектік конвертерлеріне арналған отқа төзімді материалдарға шолу (НОК)

Негізгі оттектік конвертер болат балкытуға арналған екі негізгі ыдыстың бірі болып табылады (ЭДП қатар). Әлемде НОК арқылы өндіріс шамамен 60% алады және «кедей» аймақтарда металл сынықтарына таралған. НОК-бұл жоғары бекітілген шығындар тәсілі, себебі ол үшін коксты қажет ететін домна пештерінен таза сұйық болат қажет. НОК болаттың құтыдан автомобиль шанағына дейін, қоқыс бактары мен рельс сияқты кез келген қажетті маркасын шығара алады. Негізгі технология көміртегінің концентрациясын төмендету және 7.1-суретте көрсетілгендей, металл шығарудың тиісті температурасына жету үшін сынықпен аралас сұйық болат бар ваннаға үрленетін оттегіні пайдаланады.



7.1-сурет. НОК технологиялық процесінің схемасы

Негізгі технологиялық процесс 7.2-суретте көрсетілген. Алайда ол сынықтар мен ыстық металдың арақатынасына байланысты өзгеруі мүмкін. Оттегі сауытқа тек жоғарыдан немесе төменнен ғана берілу мүмкіндігі бар болғандықтан тәсілдер біріктірілуі мүмкін. 7.1-кестеде оттегі-конвертер процесстерінің жіктелуі келтірілген.



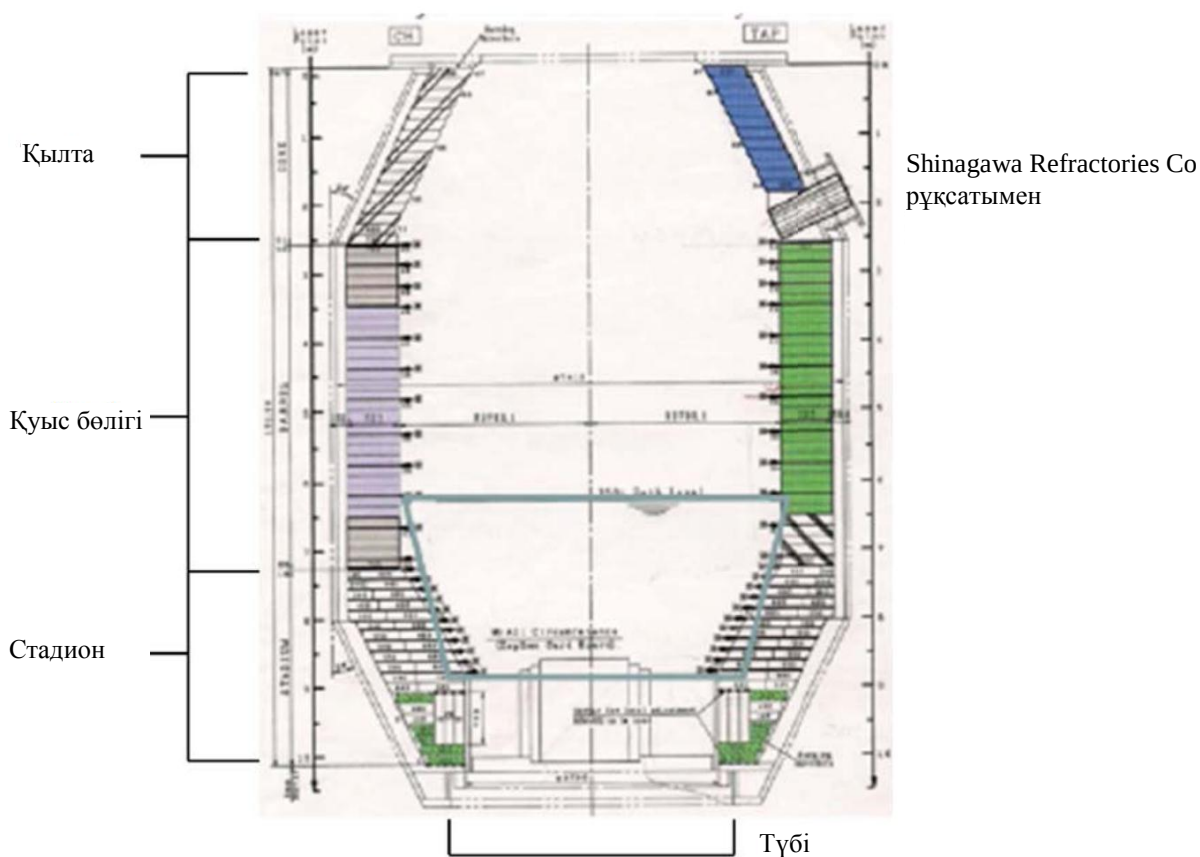
7.2-сурет. НОК түрлі технологиялары

7.1-кесте-Оттегімен үрлеу жүйелерінің түрлері

Түр	Типтік үрленетін заттар	
	Жоғарғы	Төменгі
Тек жоғарыдан үрлеу	Оттегі	қолданылмайды
Төменнен ғана үрлеу	Қолданылмайды	Оттегі, әк тас, аргон, азот, көмірсутектер
Үрлеу тәсілдерінің комбинациясы	Оттегі	Оттегі, әк тас, аргон, азот, көмірсутектер

Отқа төзімді құрылымның негізгі мақсаттары:

- Сұйық болатты герметизациялау (жарықсыз)
- Қауіпсіздікке және/немесе қоршаған ортаға қауіп төндірмейтін отқа төзімді заттарды пайдалану
- Отқа төзімділікті пеш науқаны талап ететін ұзақтығына сәйкес келуін жобалау (балқыту немесе апта саны)
- Отқа төзімді материалдың құнын барынша азайту/тоннасы үшін
- Процесске әсер етуді азайту (қож пен болаттың тиісті химиялық құрамы). НОК базалық құрылымының көлденең қимасы 7.3-суретте көрсетілген.



7.3-сурет. НОК қаптамасы: негізгі бөліктердің жалпы көрінісі

Оттегі-конвертер процесі барысында оттегіні енгізу және пайда болған қожты кәдеге жарату есебінен көміртегі мен басқа да элементтерді жою арқылы сұйық болат тазартылады. НОК болат пен қождың қождың типтік химиялық құрамы сәйкесінше 7.2 және 7.3-кестелерде көрсетілген.

7.2-кесте-Шығарылған НОК болатының химиялық құрамы

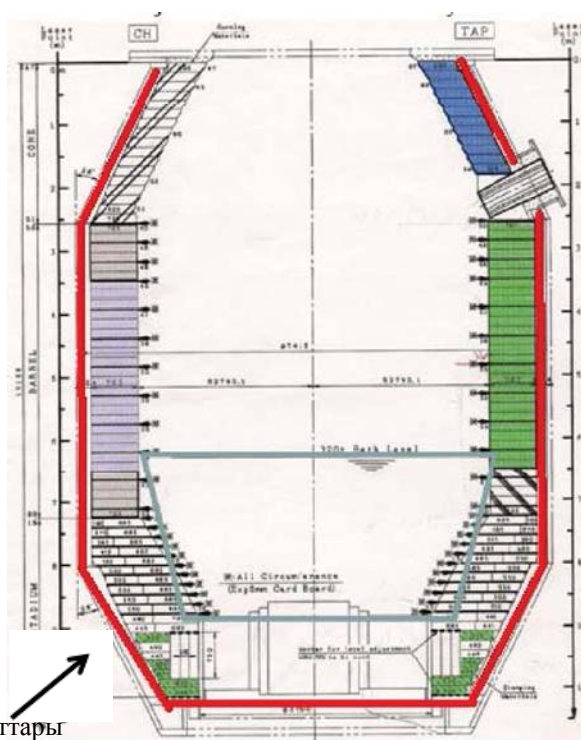
Химиялық құрамы	Саны
Кремний	0,010 %
Марганец	0,200 %
Күкірт	0,014 %
Cu+Ni+Cr	0,20 %
Көміртек	0,05%
Болат	Теңгерім

7.3-кесте-Қождың химиялық құрамы

Химиялық құрамы	Саны
Кремнезем	14%
Глинозем	6%
Өк тас	38%
Титан қостотығы	1%
Магнезия	9%
MnO	7%
FeO	25%
P2O5	0,08%
Күкірт	1,5%
Көміртек	3%

7.1. НОК қабырғасы/қорғаныш түбі

Типтік НОК қабырғасы және қорғаныш түбі 7.4-суретте көрсетілген. Қорғау түбінің құрылымы қаптаманың құрылымына қатты байланысты екенін атап өткен жөн. Бұл жағдайда қаптама өте тар және жоғары болғандықтан, қабырғалардың бойында тегіс кірпіш құрылымына әкеп соғады. Қысқа және кең пеш үшін күрделі сатылы құрылымы қажет болуы мүмкін.



7.4-сурет. НОК қорғаныш қаптамасы

Бұл учаскеге ЖМХ талдауының 7.4-кестесінде көрсетілгендей тез тозу тән емес.

7.4-кесте-НОК қорғау түбіне арналған ЖМХ тозуын талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қорғау қаптамасының температурасы әдетте өлшенбейді, дегенмен 1600°C қаптаманың жұмыс қабатын жоғалтқанда ол қоршаған орта температура арасындағы диапозонда температураға ие болады. Шын мәнінде, НОК сирек қорғау қаптамасы жалаңаштағанға дейін пайдаланғанда 500°C шамасында болады. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Термо сокқы (ΔТ)	Қорғау қаптамасы үшін термоциклдеу ең аз және тозу тетігі болып есептелмейді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте қорғаныш түбіне және қабырғаларға, шығару кезеңінен басқа ешқандай әсер етпейді.
	Қажалу	Қорғаныш қабырғасының немесе түбінің қажалуы жұмыс қаптамасы жоғалған және пеште сұйық болаттың айналымы жағдайында ғана мүмкін. Бірақ бұл аз ғана фактор.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйір қабырғасы өте жоғары, бірақ температурасы төмен. Сондықтан қабырға төменгі қатарлары кернеу үшін жеткіліксіз. Егер сіз монолитті қорғаныш қаптамасын пайдалансаңыз, онда материал диаметрінің жалпы кеңеюін анықтау және кеңейтуге кейбір шақтама енгізу қажет. Әйтпесе материалда кернеу және жарылу болады.

Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан, магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ. Болат пен қождың типтік химиялық құрамы 7.0- бөлімінде келтірілген.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. НОК қабырғасында немесе қорғаныш түбінде проблема туындамайды. Қорғаныш қаптаманы тығыз орнату өте маңызды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңеюдің кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет. НОК қорғаныш түбі үшін бұл мәселе емес.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

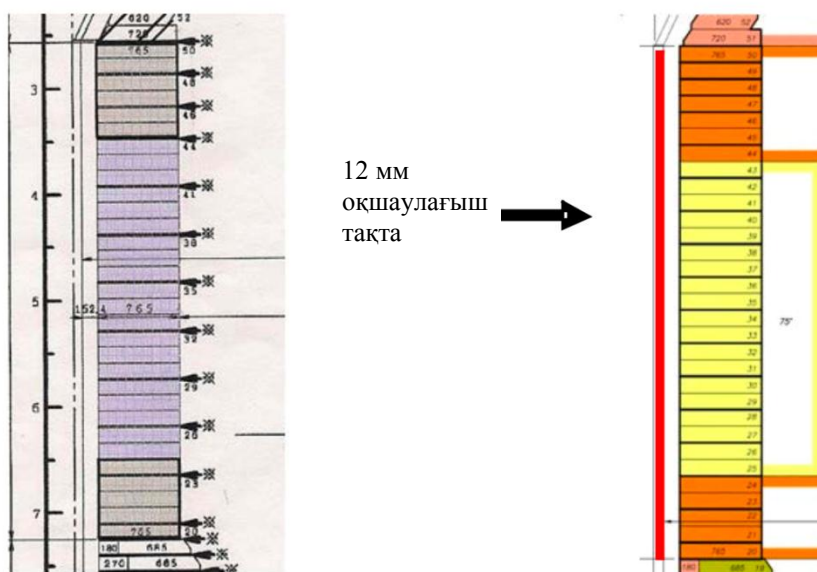
НОК қорғаныш қаптамасының базалық құрылымы 7.4-суретте көрсетілген. Қорғаныш қабырғалары мен түбіне қатысты кейбір маңызды сауалдар:

- Тозу деңгейі төмен аймақта герметикалығы металдың енуін болдырмау үшін негізгі фактор болып табылады.
- Болат құю кәсіпорындарының көпшілігі 95% күйдірілген магнезия бар арзан кірпішті арматуралық қабат ретінде қаптамамен пайдаланатын болады. Бұл көптеген жылдар бойы қызмет ете алатын тұрақты шешім.
- Монолитті қорғаныш қаптамасын (шоткреттеу) қолдануға болады. Алайда оны құрастыру және кептіру өте қиын. Бұл ең жақсы әдіс болса да, қауіпсіздікті сақтау және материалдың кеңеюі мен бекітілуін қадағалау керек.
- Өтудің негізгі нүктелерінде әдетте кірпіштерге арналған бекіткіш шығынқы болат ернемектер бар екеніне назар аударыңыз. Кірпіштің қорғаныш қаптамасын монтаждау үшін тәжірибелі тас қалаушылар қажет.
- Ұзақ пайдалану мерзімі үшін таза магнезиялы кірпіш гидратацияға төзімді болуы тиіс. Жеткізуші мұны сұрау бойынша орындайды (әдетте құрамында астық жабатын аз мөлшерде боры бар суланған фосфор қышқылымен).

Соңғы уақытта оқшаулағыш қабатқа қатысты пікірталастар көп туындады. Өйткені көптеген НОК магнезиялы көміртекті қаптаманы орнатқаннан кейін қаптамада жылудың шамадан тыс сәулеленуі, «шөгуі» немесе сауыт қаптамасының деформациясы болды. Артықшылықтары мен кемшіліктері төменде көрсетілген және әрбір кәсіпорын ең жоғары температураны жасайтын сауытта металл балку температурасын және пайдалану шарттарын негізге ала отырып шешім қабылдауы тиіс. 7.5-суретте қабырғаларға арналған оқшауламасы бар және жоқ кірпіштер схемалы түрде көрсетілген.

Оқшауы жоқ

Оқшаауы бар



7.5-сурет. Оқшауламасы бар және жоқ НОК кірпіш қабырғасының схемалық бейнесі

Артықшылықтары:

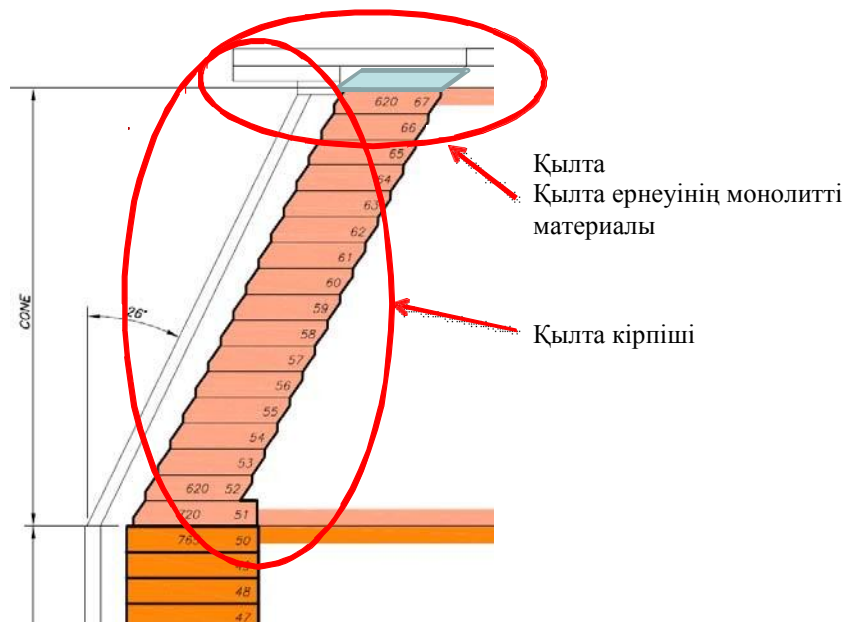
- Қаптаманың төменгі температурасы ($\sim 30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) және қаптаманың азғантай қисаюы.
- Ең жақсы термотөзімділік.

Кемшіліктері:

- Жылу химиялық реакцияларды / тозуды күшейту арқылы көбірек сақталады.
- Уақыт өте келе платасы құлдырайды және әрбір 2-3 жыл сайын ауыстырылуы тиіс.

7.2. НОК қылтасына шолу

Жалпы НОК-қа арналған қылта 7.6-суретте көрсетілген. Қылтаның құрылымы қаптаманың құрылымына байланысты екенін атап өту керек. Бұл жағдайда қаптама өте тар және жоғары болғандықтан қабырғалардың бойында кірпіштің тегіс құрылымына әкеледі. Қысқа және кең пеш үшін күрделі сатылы конструкция қажет болуы мүмкін.

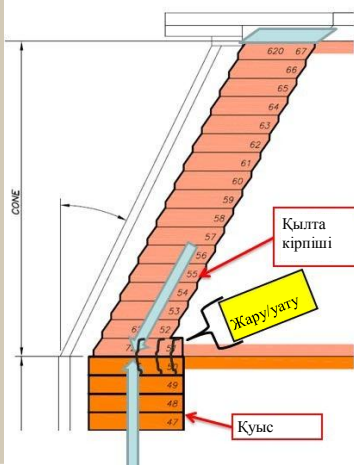


7.6-сурет. НОК қылтасының құрылымы

Бұл учаскеге ЖМХ талдауының 7.5-кестесінде көрсетілгендей жылдам тозу тән емес.

7.5-кесте-НОК қылтасына арналған ЖМХ талдауы

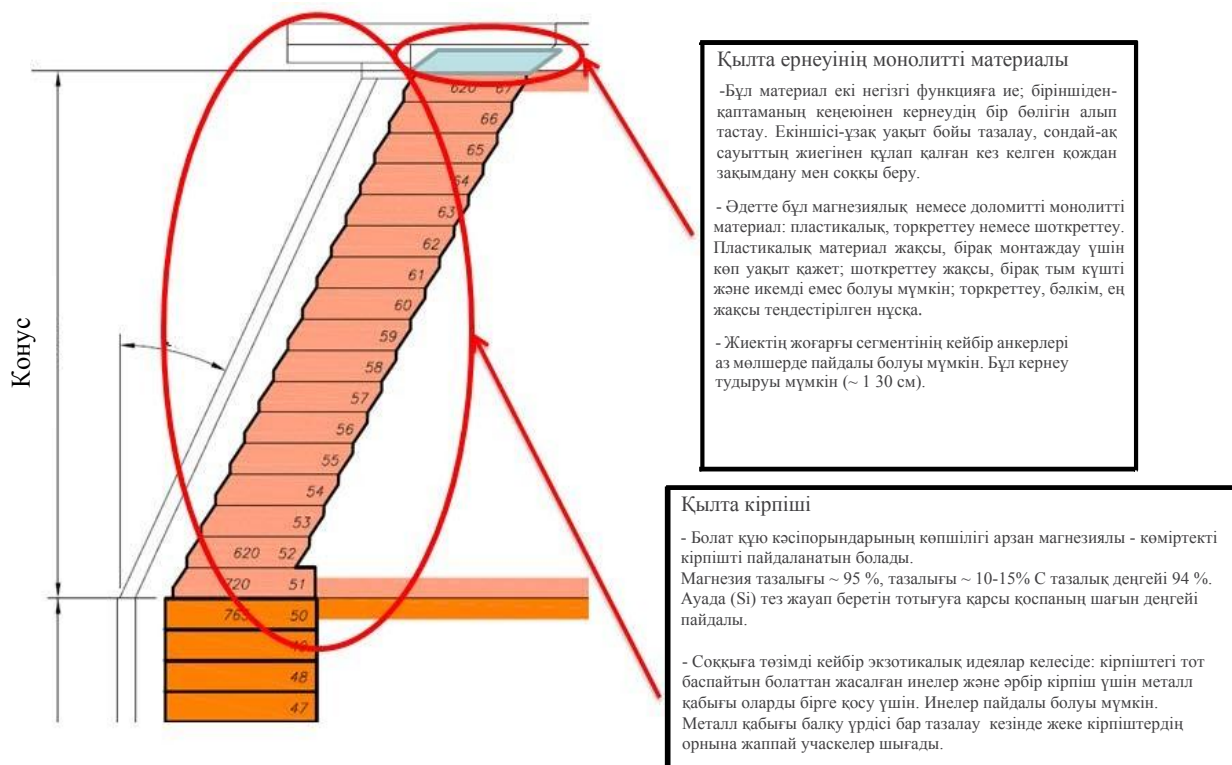
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (Т)	Қылтаның температурасы өлшенбейді. Дегенмен, ол қож жабдығына байланысты қоршаған ортаның температурасынан 1600°C дейін өзгереді. НОК erneуі мен қылтаның негізгі мәселелердің бірі - қылтаның кірпішіне бекітілген қылтаның жабатын қождың процесі барысында жинақтау болып табылады. Осыған байланысты шынайылық кірпіштің температурасы әдетте 1000 °C-қа жетеді. Бұл температура отқа төзімді көзқарастан жоғары емес және материалдардың көптеген нұсқалары үшін рұқсат етіледі. Алайда кірпіш процесінің жоғары температурасына ұшырағандықтан, орташа сапалы кірпішті пайдалану қажет. Ең аз гарнисаждың жағдайында жоғары сапалы кірпішті пайдалану қажет.
	Ыстық соққы (ΔТ)	Қылтаның термодиклденуі көп жағдайда оның кірпішіне бекітілген қылтаны жабуы мүмкін процесс барысында қож жинақталуына байланысты науқанның ішінде өзгереді. Бұдан басқа, қазіргі заманғы НОК-та су салқындатқышы бар қылта болады. Ол қаптаманың бүтіндігін сақтайды және жылудың бұрылуын қамтамасыз етеді. Оның есебінен erneудің аймағында қорғаныш гарнисажы қалыптасады. Ыстық соққы erneу гарнисажы бар НОК үшін маңызды фактор емес.

Механикалық	Сокқылы әсер	НОК ернеуі мен қылтаның негізгі мәселелердің бірі - қылтаның кірпішіне бекітілген қылтаны жабатын қождың процесс барысында жинақталуы болып табылады. Мұндай жинақтау сынықтарды пешке тиеу кезінде маңызды проблема болуы мүмкін және фурма және (немесе) ернеуді тазалау арқылы бақылануы тиіс. Ернеуді тазалау әдетте оттекті фурманы, пештің қылтасына ауыр салмақты алу немесе қосу үшін машиналарды бірлесіп қолдану арқылы орындалады (төмендегі-суретті қараңыз). Осы себептен сокқы әсері ернеудің отқа берік материалдарын таңдауда негізгі фактор болуы мүмкін.  Тазарту Машинасы, фурма және т. б. Гарнисаж Қылта кірпіші
	Қажалу	Қылта технологиялық газдар әсер еткен кезде ғана қажалады. Ол әдетте қожбен жабылғандықтан бұл әсер қылтаның қатты тозуына әкелмейді.
	Қосымшаланған кернеу	Қуыс бөлігі мен қылта арасындағы түйісу кернеудің негізгі нүктесі болып табылады. Себебі біз магнезиялы материалдарды пайдаланғандықтан НОК кірпіште ~ 2% кеңейту бар. Кеңейтуге шақтама жеке кірпіш жабындары және (немесе) қаптама бойымен кеңейтуді өтемдеу үшін картон арқылы кірпіш қаптамасы қарастырылуы тиіс. Мен осы фактордың кеңейтудің дұрыс емес шақтамасынан алғашқы 10 балкыманың шегінде НОК қаптамасы әсерін өзім көрдім.  Қылта кірпіші Жару/ыгу Қуыс

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан, магнезиялы немесе доломитті кірпіш (әдетте—магнезиялы -көміртекті кірпіш) қолайлы.
	Ену	Ену металдармен және/немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеукті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. НОК қылтасында проблемалар болмайды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қоса берілген жоғарыдағы кернеуді қара.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қылта үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

НОК қылтасының базалық құрылымы 7.7-суретте көрсетілген.



7.7-сурет. НОК қылтасының құрылымы

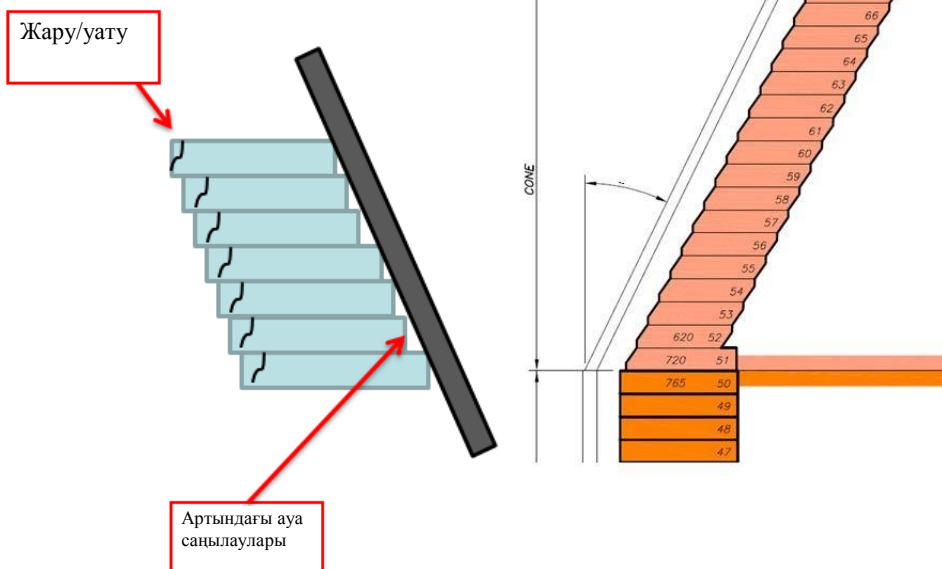
Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

- Қылтаның кірпіштері 7.8-суретте көрсетілгендей конус пішінді болуы тиіс.

Назар аударыңыз:

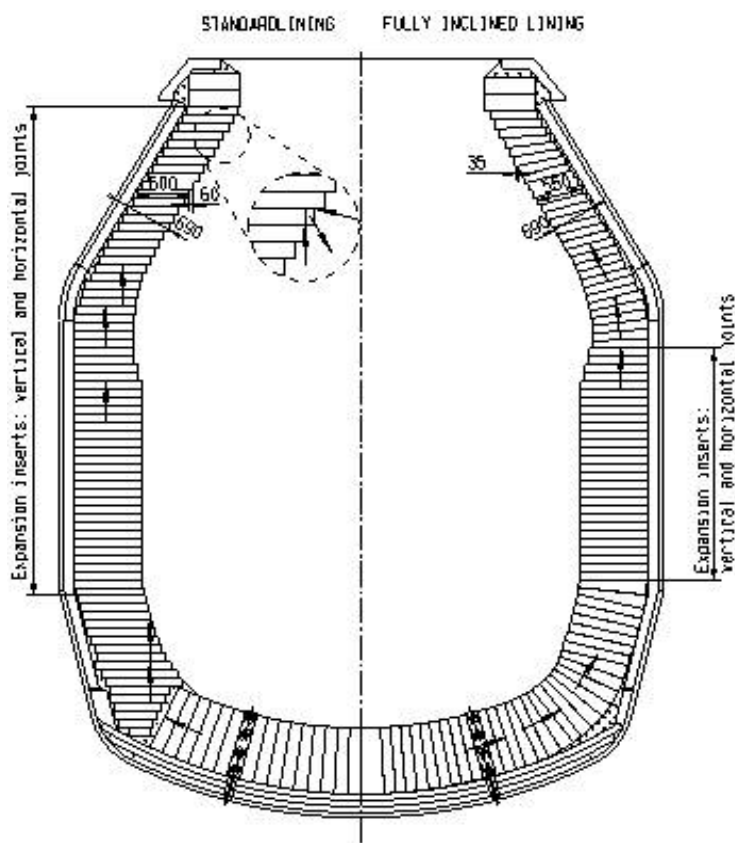
- Егер қылтаның кірпіштері тікбұрышты пішінде болса, олар корпусқа тығыз жабысады. Ал алдыңғы бұрыштары ыстық кернеу мен тіректің болмауынан жарылады.

- Алдыңғы және артқы конустық кірпіш бұл проблеманы жеңілдетеді



7.8-сурет. НОК қылтасының жарылуы

- Кейбір жеткізушілер кернеу проблемасын шешу ретінде қылтаға арналған көлбеу кірпіш немесе дөңгелектелген кірпішті ұсынады (7.9 сур. қар.) Мәселе - кірпішті осылайша орналастырудың қиындығында, себебі кірпіштер ыдыстарға және тас қалаушыларға құлайтындықтан қауіпсіздік қаупі бар.

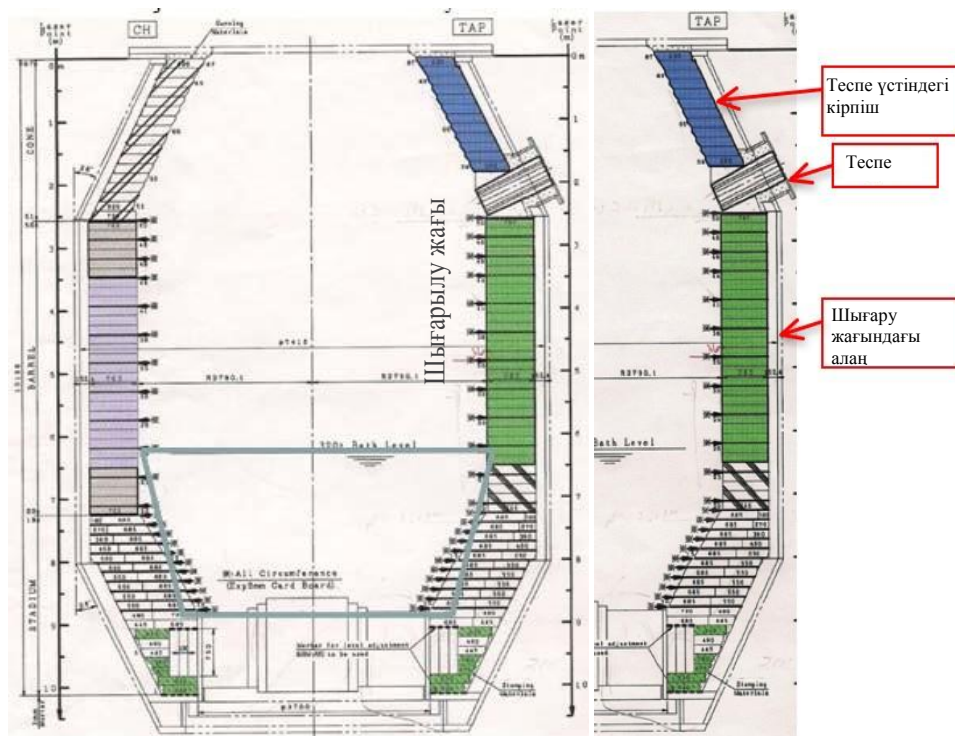


Shinagawa Refractories Co
рұқсатымен. рұқсатымен.

7.9-сурет. НОК көлбеу кірпіші

7.3. Шығару жағынандағы НОК алаңдарына шолу

Шығару жағынан алаң үшін отқа берік материал 7.10-суретте жалпыланған НОК үшін көрсетілген (бірінші-сурет орналасуын көрсетеді, екінші—ірі жоспар). Қуыс бөліктің құрылымы, оның ішінде шығару жағынан, тік және ол үшін кірпіш қалау оңай болатынын айта кету керек.



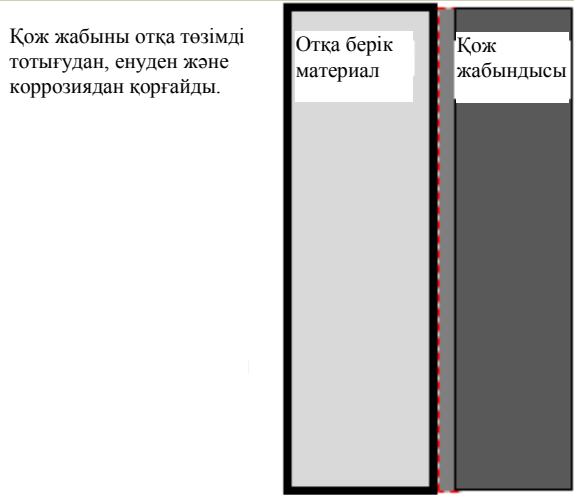
7.10-сурет. Теспесі бар НОК ваннасы

Пештің бұл учаскесіне әдетте ЖМХ талдауының 7.6-кестесінде көрсетілгендей жылдам тозу тән.

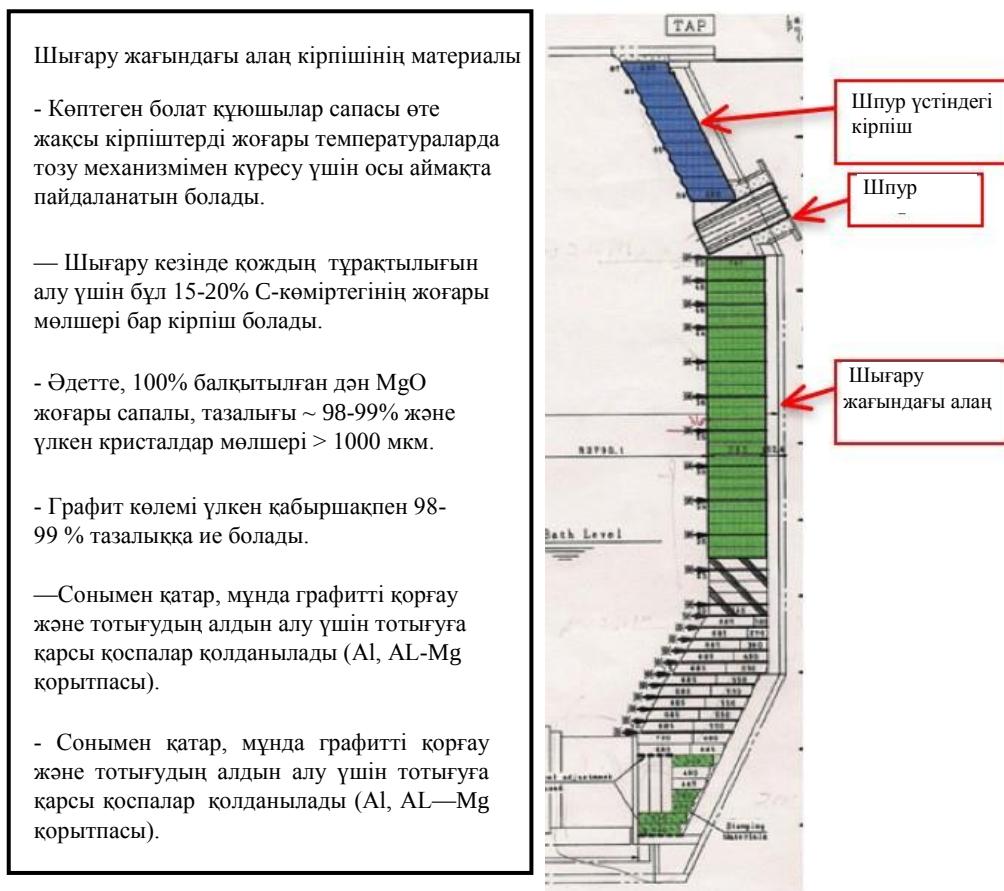
7.6-кесте-Теспесі бар ванналарға арналған ЖМХ тозуының талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (T)	Шығару жағынан алаңның температурасы әдетте болат шығару температурасына тең және 1575-1675 °C аралығында ауытқиды. Бұл шекті температура ванна шығару процесі кезінде алаңда орналасқандықтан (3-10 минут) пештің кез келген бөлігінде ұзақ уақыт бойы сақталады. Бұл температура отқа төзімді функция тұрғысынан жоғары болып табылады. Сондықтан шикізаттың неғұрлым жоғары тазалығы бар отқа берік материалдарды талап етеді.
	Термо соққы (ΔT)	Шығару жағынан алаң үшін термоциклдеу процестің сипатына байланысты өте жоғары емес және негізгі факторлардың бірі бір күндегі балқымалардың саны болып табылады. Шығару процесі үшін процесс кезінде алаң әдетте жоғары температураға ие. Әдетте бұл шығару жағындағы алаң аймағы үшін орташа тозу факторы.

Механикалық	Соққылы әсер	Соққы әсері шығару жағындағы алаң үшін тозудың күшті механизмі болып табылмайды. Өйткені ол үйінділеу және гарнисажды алу процестеріне ұшырамайды.
	Қажалу	Шығару процесі кезінде ваннаның қозғалысы біраз уатылуы мүмкін. Шын мәніде бұл шығару жағындағы алаң үшін тозудың болмашы механизмі.
	Қосымшаланған кернеу	Қуыс бөлігінде НОК кірпіш кернеуді қоса алғанда 2% -ға кеңейтіледі. Өйткені біз магнезиялы материалдарды пайдаланамыз. Кеңейтуге шақтама жеке кірпіш жабындары және (немесе) қаптама бойымен кеңейтуді өтемдеу үшін картон арқылы кірпіш қаптамасы қарастырылуы тиіс.  Кейбір компаниялар кірпіштерді, кейбіреулері картон, кейбіреулері арнайы жабындарды пайдаланса, ал кейбіреулері олардың комбинациясын пайдаланады. AMD үшін біз картонды әрбір тік жікте пайдаланамыз және кірпіштерді жеңіл шайырмен жабамыз. Бұл сіздің кірпішіңізге байланысты болғандықтан жеткізушімен келісілуі керек.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру Ену	Ерітумен пайда болған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Әдетте MgO жеткілікті қаныққан кезде болат балқытатын қожда тозу байқалмайды. 7.0- тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие және базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Осылайша, магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ (әдетте-магнезиялы-көміртекті кірпіш). Назар аударыңыз, бұл көптеген НОК қож жабынының қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалады. Өйткені жабындының өзі жемір емесболғандықтан кірпішті қорғау функциясын жақсы орындайды.  Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеукеті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Егер қож кірпіште қандай да бір уақытта қыздыру арасына қалдырылса, шығару жағынан алаң үшін проблема болуы мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қоса берілген жоғарыдағы кернеуді қара.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қуыс бөлікте қоса берілген кернеудің арқасында қождың еруі/енуінің және НОК термоциклденуінің отқа төзімділіктің жылулықпен шындалу ықтималдығы бар. Бірақ бұл шығару жағындағы алаңда болмайды.

7.11-суретте ұсынылған НОК шығарылу жағындағы алаңның базалық құрылымы.



7.11-сурет. Теспелі ванна құрылымы

Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

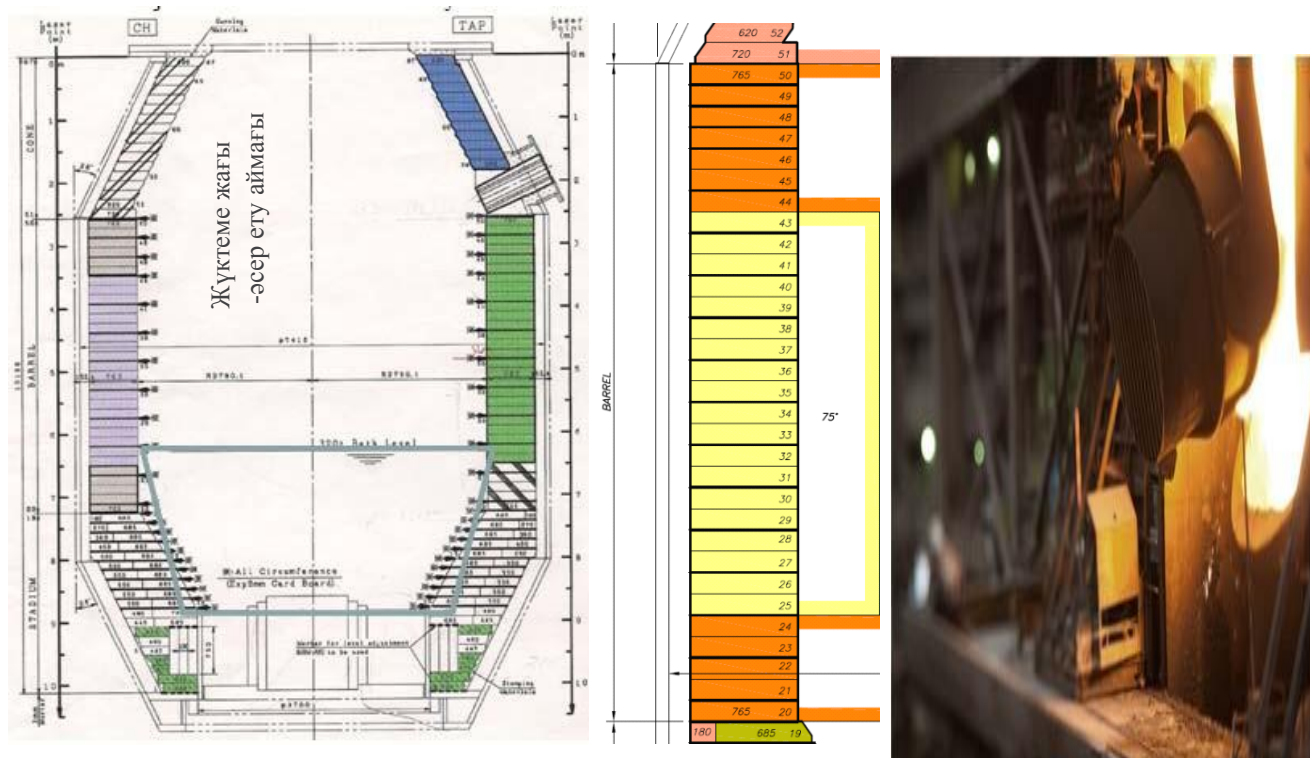
Алаңның тозуына байланысты бұл аймақ жедел жөндеуді қажет етеді. Олардың артықшылықтары мен кемшіліктері әр түрлі әдістер 7.7-кестеде көрсетілген.

7.7-кесте-НОК шығару жағындағы алаңдарға жедел жөндеу әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктері

Әдіс	Егжей-тегжейлер	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Отқа төзімді торкреттеу	Шығару жағындағы алаңға торкреттеу арқылы 1-2 тонна отқа төзімдіні жағып, осы аймақта қатып қалуына мүмкіндік беріңіз. Төмендегі суретті қараңыз. 	Бұл отқа төзімділікті қамтамасыз етеді және қажет болған жағдайда ағын шағын учаскелерге бағытталуы мүмкін.	Бұл әдіс сіз пайдаланатын отқа төзімді материалдың түріне байланысты қымбат болуы мүмкін. Жақсы, сенімді жөндеу ~ 30-45 минут алады.
Отқа төзімді массаны бітеу	Шығарылу жағындағы алаңға өздігінен ағатын қасиеттері бар отқа төзімді материалдың 1-2 тонна массасын салыңыз және оған осы аймақта катаюына мұрсат беріңіз. Төмендегі суретті қараңыз. 	Менің тәжірибеме жүгінсек, бұл жақсы жөндеуге арналған материал шығатын алаңдар тарапынан шығарылған. Бірақ ол торкреттеу сияқты басқаруға келмейді..	Бұл әдіс сіз пайдаланатын отқа төзімді материалдың түріне байланысты қымбат болуы мүмкін (тек MgO немесе MgO—C қоспасы). Жақсы, сенімді жөндеу ~ 60-120 минут алады. MgO-C қоспасының түтіні денсаулыққа және қауіпсіздікке қауіп төндіруі мүмкін.

7.4. Шығару жағындағы НОК алаңдарына шолу

Жүктеме жағындағы алаң үшін отқа берік материал 7.12-суретте жалпыланған НОК үшін көрсетілген (бірінші-сурет орналасуын көрсетеді, екінші — ірі жоспар). Қуыс бөліктің құрылымы жүктеу жағындағы алаңды қоса алғанда тік болып табылады және ол үшін кірпішті салу оңай.



7.12-сурет. Жүктеме жағындағы НОК алаңы

Пештің бұл учаскесіне ЖМХ талдауының 7.8-кестесінде көрсетілгендей тозудың ең жоғары деңгейі тән.

7.8-кесте-Жүктеу жағындағы НОК алаңына арналған ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (Т)	Жүктеу жағындағы алаңның температурасы әдетте шығарылу температурасы болып табылады және 1575-1675°C аралығында ауытқиды. Бұл температура отқа төзімді және таза шикізат бар отқа төзімді материалды пайдалануды талап етеді.
	Термо соккы (ΔТ)	Процестің сипатына байланысты жүктеме жағындағы алаң үшін термоциклдеу өте жоғары және бір күндік балкыламалардың саны негізгі факторлардың бірі болып табылады. Жүктеу процесінің сипаты пештің бос, бірақ әлі де ыстық болуында. Содан кейін НОК-қа сынық қосылады. Ол содан кейін жүктемені орталықтандыру және сұйық металдың тиелуін болдырмау үшін бір жактан екінші жакқа қарай «сыргиды». Сынық ыстық пешпен салыстырғанда салқын болғандықтан тиеу жағындағы алаңның кірпішінде жылу соккысын тудырады. Сынықтарды тиегеннен кейін ыстық металды 1300°C температурада қосады. Бұл аймақта тағы бір жылу жүктемесін тудырады. Алайда, пешке сынықтардың көп мөлшерін тиеу температураны төмендетеді; жедел жөндеу үшін НОК жұмыс қарқынының төмендеуі және т. б. бір тәулікке есептелген балкымалар санының төмендеуіне және циклдаудың күшеюіне алып келуі мүмкін. Әдетте бұл тиеу жағындағы алаң аймағы үшін қатты тозу факторы.

Механикалық	Соққылық әсер	НОК тиеу жағындағы алаң үшін негізгі проблема - сынықтар мен ыстық металды салу болып табылады. НОК тиеу жағындағы алаңға сынықтың әсері айтарлықтай болғандықтан НОК-тың көпшілігі бүкіл әлемде тозудың күшті аймағы болып қала береді. Пеш қаптамасындағы сынық күшінің әсері келесіге байланысты: 1. Биіктік: материалдың құлау биіктігі неғұрлым көп болса, әсер соғұрлым күшті. 2. Көлемі: сынық көп болған сайын, әсері күшті болады. Бұл кәсіпорынға қатты байланысты. Жапондық өндірушілер жергілікті сынықтардың төмен қол жетімділігіне байланысты сынықтардың ең аз санын (5 %) қолданады. Бұл жүктеу платформасының тозу жылдамдығының төмендеуіне әкеледі. Басқаларының сынық және (немесе) сауыт құрылымы бойынша орташа қол жетімділік нормасының артуынан сынықтың неғұрлым жоғары үлесі (25%). Бұл сынықтың пайызын арттыруға мүмкіндік береді. 3. Пеш бұрышы. Соққы бұрышы 90° жақын болған сайын, әсер ету күші мен тереңдігі соғұрлым жоғары. Төмендегі суретті қараңыз. 4. Өлшемі/пішіні: 20 тонна ұсақ және жеңіл ұсақталған материал немесе ұсақ кесінділер және құйғыш құрылғысының 20 тонна гарнисажының арасында әсер ету күшінде айырмашылық бар. 1980 жылдары Жапонияда жүргізілген зерттеулер тозу жылдамдығы тек жүктеу жағынан ғана емес, сондай-ақ тарылу аймағында («стадионда») және оттегімен үрлеудің нақты процесі кезінде түбінде үлкен көлемді материалды пайдалану кезінде екі немесе үш еселенуі мүмкін екенін көрсетті.

		Сұйық металл қысымы Сұйық металдың НОК тиеу жағындағы алаңға (немесе шөміш түбі) әсері айтарлықтай және бұл бүкіл әлемдегі көпшілік НОК тозуының ең жоғары аймағы болып қала береді. Ыстық металдың пештің қаптамасына әсер етуі үш фактордың өзара байланысы арқылы жүреді: 1. Биіктігі 2. Әсер ету бұрышы 3. Әсер етуші ағынның диаметрі 1. Биіктігі - Биіктіктің өсуімен соққы күші де артады (пропорционалды). 1970 жылы Р. К. Падфилд осы бағытта негізгі және үздік жұмыс жүргізді және «НОК отқа төзімділігінің ыстық беріктігі мен сипаттамаларының өзара байланысы» деп аталады. Ол ұшақ қанатына түскен жамбыр тамшыларының тудыратын механика күшін ыстық металды НОК пешіне құю және НОК шөмішінен болатты құю арқылы салыстырды. Бұның бәрі ағыс қысымының биіктік пен бұрышқа тәуелділігін көрсету үшін жасалды. Төмендегі суретті қараңыз. Бұл жұмыста үлкен биіктіктер мен тік бұрыштар үлкен күшке, демек, үлкен тозуға әкеп соқтыратыны көрініп тұр. 2. Әсер ету бұрышы - Соққы әсер ету бұрышының ұлғаюына қарай соққы күші де артады (209 бетте схемалық суретті және жоғарыдағы кестені қараңыз). 3. Әсер етуші ағынның диаметрі - Ағыс диаметрінің ұлғаюына қарай соққы күші азаяды (кері пропорционалды). - Егер көлем тұрақты болса, онда шоғырланған күш энергиясы ағыстың кеңдігіне қарағанда зиянды. - Теспенің диаметрі пеш шығарудың қажетті жылдамдығымен және қождың шығарылу пайызымен берілгендіктен бұны жобалау кезінде ескеру қиынға түседі.
	Қажалу	«соққылық әсер етуді» қараңыз

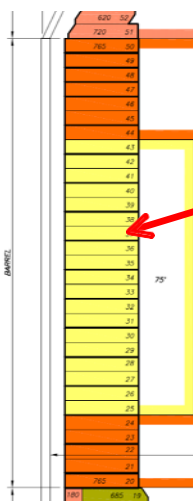
Химиялық (және термохимиялық)	Қосымшаланған кернеу	Әдетте НОК кірпіш қуыс бөлігінде кернеуді қоса алғанда 2% кеңейтіледі. Өйткені біз магнезиялы материалдарды пайдаланамыз. Кеңейтуге шақтама жеке кірпіш жабындары және (немесе) қаптама бойымен кеңейтуді өтемдеу үшін картон арқылы кірпіш қаптамасы қарастырылуы тиіс.  Кейбір компаниялар кірпіштерді, кейбіреулері картонды, кейбіреулері арнайы жабындарды, ал кейбіреулері олардың комбинациясын пайдаланады. AMD үшін біз картонды әрбір тік тігісте пайдаланамыз және кірпіштерді жеңіл шайырмен жабамыз. Бұл кеңейтудің барлық қажетті шақтамаларын қамтамасыз етеді. Бұның барлығы сіздің кірпішіңізге және жеткізушімен қалай келіскеніңізге байланысты.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типтік кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан, магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ. (әдетте-магнезиялы-көміртекті кірпіш). Бұл көптеген НОК қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалатынына назар аударыңыз. Жабынның өзі жемір болмаса да, ол кірпішті өте жақсы қорғайды. Қожты жабынды отқа төзімді тотығудан, енуден және коррозиядан қорғайды. Отқа берік материал Қож жабынды

	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Егер қож кірпіште қыздыру арасындағы кез келген уақытқа қалдырылса, тиеу жағынан алаң үшін проблема болуы мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қоса берілген жоғарыдағы кернеуді қара.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қуыс бөлікте қоса берілген кернеудің, қождың еруі/енуінің және НОК термоциклденудің үйлесімділігінің арқасында төменде көрсетілгендей, отқа төзімді материалдардың жылумен шыңдалу ықтималдығы бар. 

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

7.13-суретте ұсынылған НОК жүктеу жағындағы алаңның базалық құрылымы.

жүктеу жағынан
алаңы



Тиеу жағындағы алаң кірпішінің материалы

- Көптеген болат құюшылар сапасы өте жақсы кірпіштерді жоғары температураларда тозу механизмімен күресу үшін осы аймақта пайдаланатын болады.
- Маған осы кірпішті «ас үй раковинасының» кірпіші деп атаған ұнайды. Себебі сіз оған ас үй раковинасын да қосасыз!
- Бұл магнезияның беріктігін және қождың жақсы төзімділігі үшін көміртекке қарағанда көміртектің жеткілікті мөлшерімен 10- 15% С-төмен көміртегі бар кірпіш болады.
- Әдетте, 100% балқытылған дөңде MgO жоғары сапалы, тазалығы ~ 98-99% және үлкен кристалдар мөлшері > 1000 мкм.
- Графит те 98-99% үлкен мөлшерде қабыршақтарымен өте таза болады. Айта кету керек, сіз қымбат тұратын, бірақ жылу соққысына тамаша төзімділік беретін «жұқа қабыршақтарды» пайдалана аласыз.
- Сонымен қатар, мұнда графитті қорғау және кез келген тотығудың алдын алу үшін тотығуға қарсы қоспалардың экзотикалық қоспасы қолданылады (Al, Al-Mg қорытпасы және борид). Кірпіш серпімді және тым нәзік болмауы үшін аз мөлшерде қосу керек.

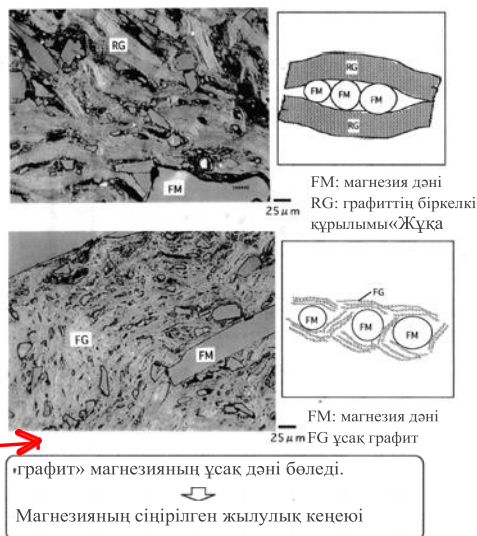


Фото Shinagawa Refractories Co сыпайы ұсынылды.

7.13-сурет. НОК жүктеу жағындағы алаңның құрылымы

Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

Тозудың жоғары болуына байланысты бұл аймақ жиі жедел жөндеуді талап етеді. Әр түрлі әдістер 7.9-кестеде олардың артықшылықтарымен және кемшіліктерімен көрсетілген.

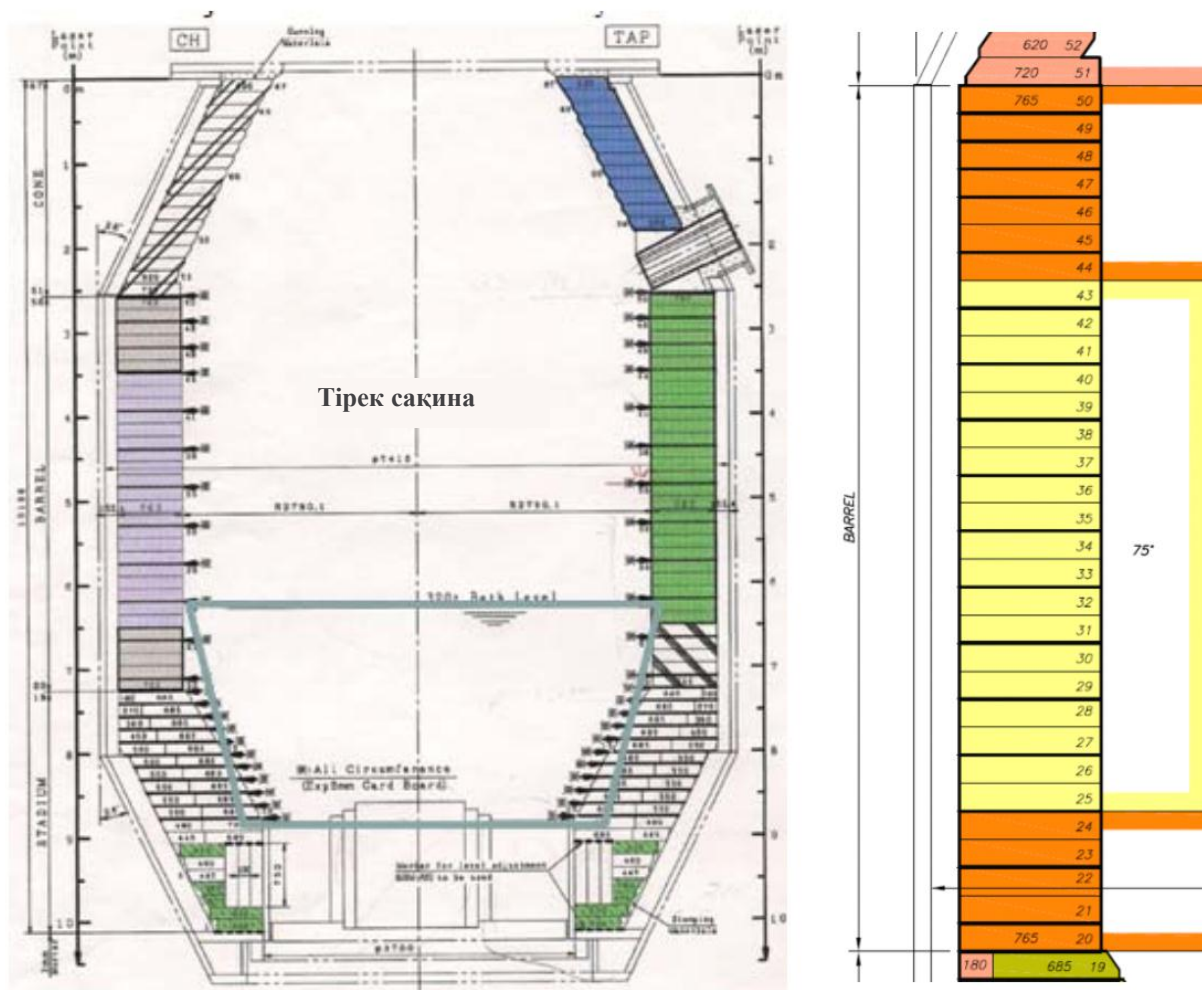
7.9-кесте-НОК тиеу жағындағы алаң үшін жедел жөндеу әдістері

Әдіс	Егжей-тегжейлер	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Қожбен бітеу	Қож жабындысын жасау үшін балқыту арасында тиеу жағындағы алаңға қожты төсеу.	Бұл жылдам жасалады және кейбір пайда әкелуі мүмкін.	Төмен сапада немесе жемір қожда сіз жүктеу жағындағы алаңды одан да күшті зақымдай аласыз.
Ұсақталған кірпішпен бітеу	Тиеу жағындағы алаңның аймағында қож массасын ұстаңыз және осы аймақта оны салқындату және бекіту үшін 1-2 тонна ұсақталған MgO—C кірпішін салыңыз.	Бұл жақсы жабынды және сыныққа қатысты кейбір соққыға төзімділікті қамтамасыз етуі мүмкін.	Төмен тығыздығы бар кірпіш қож үстіне кірмей-ақ ойдағыдай әсер алуы мүмкін. Кірпішті қайта өңдеуге және ұсатуға және оны өлшеуге арналған кейбір шығындар талап етіледі. Егер кірпіш қождан тойтарылса және осыған қоса қажетінше ұсатылмаса, теспені бітеу проблемасы туындауы мүмкін.

Отқа төзімді материалды жағу	Тиеу жағындағы алаңға 1-2 тонна отқа төзімді торкреттеу арқылы жағып, оған осы аймақта қатаюына мұрсат беріңіз. 	Бұл сокқыға төзімділікті қамтамасыз етеді. Алайда, торкреттеу материалдарының құрамында су көп болғандықтан беріктігі осы аймақ үшін жоғары емес. Қажет болған жағдайда бітеуді шағын учаскелерге қосуға болады.	Бұл әдіс сіз пайдаланатын отқа төзімді материалдың түріне байланысты қымбат болуы мүмкін. Бітеуге жақсы, сенімді жөндеу жасау үшін ~ 30-45 минут қажет. MgO-C қоспасының түтіні денсаулыққа қауіпті қауіпсіздікке қауіп төндіруі мүмкін.
Отқа төзімді массаны бітеу	Жүктеу жағындағы алаңға өздігінен ағатын қасиеттері бар отқа төзімді материалдың 1-2 тонна массасын салыңыз және оған осы аймақта қатаюына мұрсат беріңіз.	Бұл әдіс жақсы сокқыға төзімділікті және тиеу жағындағы алаңшаларға арналған жөндеу материалын қамтамасыз етеді. Отқа төзімді материал отқа төзімді материалдың үстінен жөндеу жасауға жақсы нұсқа болғанмен, құрамында темір бар бітеулердің беріктігі жоқ.	Бұл әдіс сіз пайдаланатын отқа төзімді материалдың түріне байланысты қымбат болуы мүмкін (тек MgO немесе MgO—C қоспасы). Жақсы, сенімді жөндеу ~ 60-120 минутты алады. MgO-C қоспасының түтіні денсаулыққа және қауіпсіздікке қауіп төндіруі мүмкін.

7.5. НОК тірек сақинасына шолу

Тірек сақиналарға арналған отқа берік материал 7.14-суретте жалпыланған НОК үшін көрсетілген (бірінші-сурет орналасуын көрсетеді, екіншісі — жалпы түрі). Әдетте қуыс бөлігінің құрылымы тірек сақиналарды қоса алғанда тік болады және ол үшін кірпіш салу оңай.



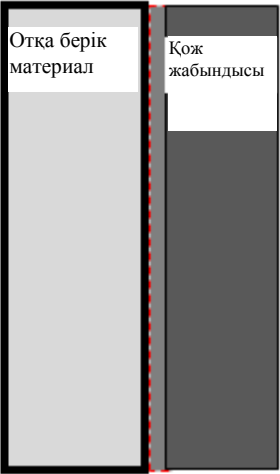
7.14-сурет. НОК тірек сақинаның отқа төзімді материалы

Әдетте пештің бұл учаскесіне ЖМХ талдауының 7.10-кестесінде көрсетілгендей жылдам тозу тән.

7.10-кесте-НОК тірек сақиналары үшін ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Тірек сақиналардың температурасы балкытудың температурасы болып табылады және 1575-1675 °C аралығында ауытқиды. Бұл температура пештің оттегі фурмасын басқаруға байланысты жоғары болуы мүмкін. Егер ол қолданылу мерзімі аяқталғаннан кейін пайдаланылса және соңында оттегі алауы пайда болса, жергілікті температураны арттыруы мүмкін. Бұл температура отқа берік болып табылады және аса таза шикізатпен жоғары температуралы отқа төзімді материалды пайдалануды талап етеді.
	Термо соққы (ΔТ)	Тірек сақиналар үшін термоциклдеу процестің сипатына байланысты тым жоғары емес және негізгі факторлардың бірі бір күндегі балкыту саны болып табылады. Әдетте бұл тірек сақина аймағы үшін орташа тозу факторы.

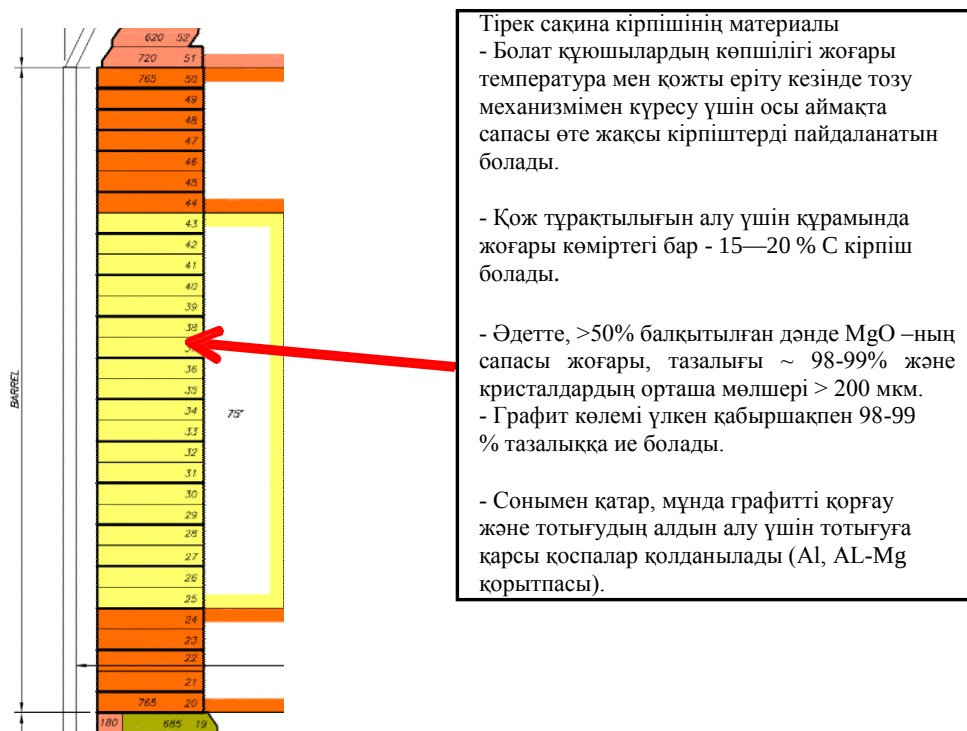
Механикалық	Сокқылы әсер	Сокқы әсері тірек сақиналары үшін тозудың күшті тетігі болып табылмайды. Өйткені олар гарнисажды үю және алу процестеріне ұшырамайды.
	Қажалу	Үрлеу процесі кезінде ваннаның қозғалысы аздап уатылады. Бірақ шын мәнінде бұл тірек сақина үшін болмашы тозу механизмі.
	Қосымшаланған кернеу	Біз магнезиялы материалды падаланғандықтан қуыс бөлігінде кернеуді қоса алған кезде НОК кірпіш 2%-ға кеңейтіледі. Кеңейтуге шақтама жеке кірпіш жабындары және (немесе) қаптама бойымен кеңейтуді өтемдеу үшін картон арқылы кірпіш қаптама қарастырылуы тиіс (төмендегі-суретті қараңыз).  Кейбір компаниялар кірпіштерді, кейбіреулері картонды, арнайы жабындарды пайдаланса, кейбіреулері олардың комбинациясын пайдаланады.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен пайда болған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан тірек сақиналардың магнезиялы немесе доломитті кірпіші (әдетте — магнезиялы-көміртекті кірпіш) басым. Бұл көптеген НОК қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалады. Жабынның өзі жемір болмаса да, ол кірпішті өте жақсы қорғайды. Қож жабыны отқа төзімді тотығудан, енуден және коррозиядан қорғайды. 
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен кождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/кождармен туындайды. Құю процесі ұзаққа созылған жағдайда, тірек сақинасы үшін, мәселе болуы мүмкін, қож желісі басым болуы мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қоса берілген жоғарыдағы кернеуді қараңыз.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қуыс бөлікте қоса берілген кернеудің, қождың еруі/енуінің және НОК термоциклденуінің арқасында төмендегі суретте көрсетілгендей отқа төзімді материалдың жылумен шындалу ықтималдығы бар. 

Ағымдағы материал/құрылымы /орнату әдісі

НОК тірек сақинасының базалық құрылымы 7.15-суретте ұсынылған.

Тірек сақиналар



7.15-сурет. НОК тірек сақинасының құрылымы

Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

Тозудың жоғары болуына байланысты бұл аймақ жиі жедел жөндеуді талап етеді. 7.11-кестеде ұсынылғандай Қожты торкреттеу және үрлеу әдісі қолданылады.

7.11-кесте-НОК тірек сақиналарына арналған қаптаманы жедел жөндеу әдістері (қожты үрлеу ұсынылған жок)

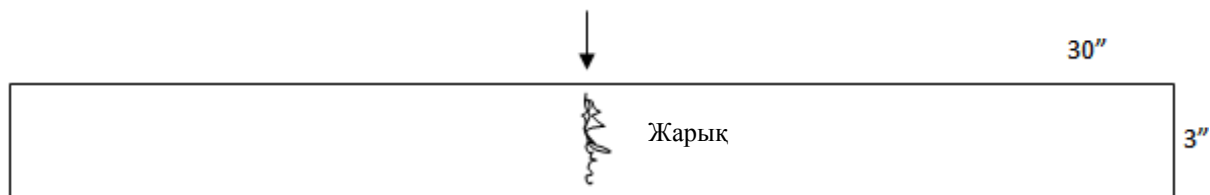
Әдіс	Егжей-тегжейлер	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Отқа төзімді торкреттеу	Тірек сақинаға 1-2 тонна отқа төзімді материалды торкреттеу арқылы жағып, оған осы аймақта қатаюға мұрсат беріңіз.	Бұл жақсы отқа төзімділікті қамтамасыз етеді және қажет болған жағдайда ағын шағын учаскелерге бағытталуы мүмкін.	Бұл әдіс қажетті отқа төзімді материалдың түріне байланысты қымбат болуы мүмкін. Әдетте, жақсы әрі сенімді жөндеу ~ 30-45 минутты алады.

НОК–қа қалау техникасы: Құлыпты кірпішке қарсы сына

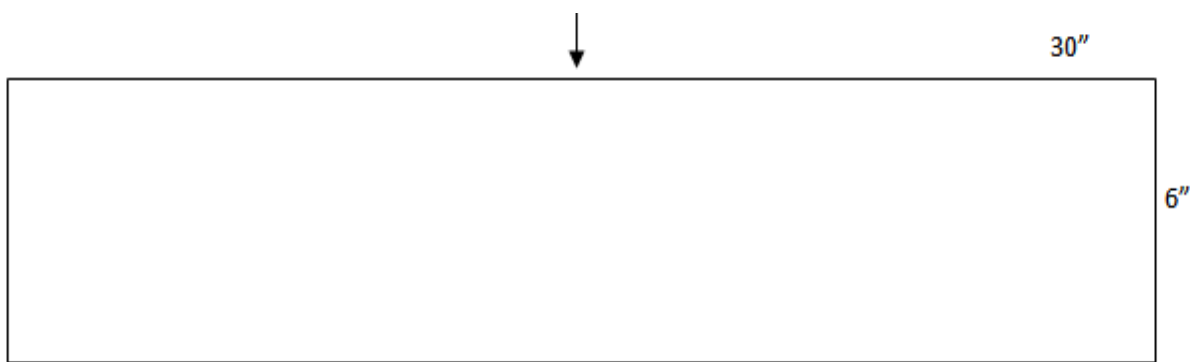
Құлыпты кірпіштің және сынаның пішіндерін салыстыру үшін қосымша зерттеу жүргізілді. Сына келесі себептер бойынша пешті қаптамалау үшін қолайлы:

Сына тік бағытта күшті, өйткені бұл жағдайда, ол осы бағытта қалыңырақ болады (7.16-суретті қараңыз).

a) Құлыпты кірпіш



b) Сына

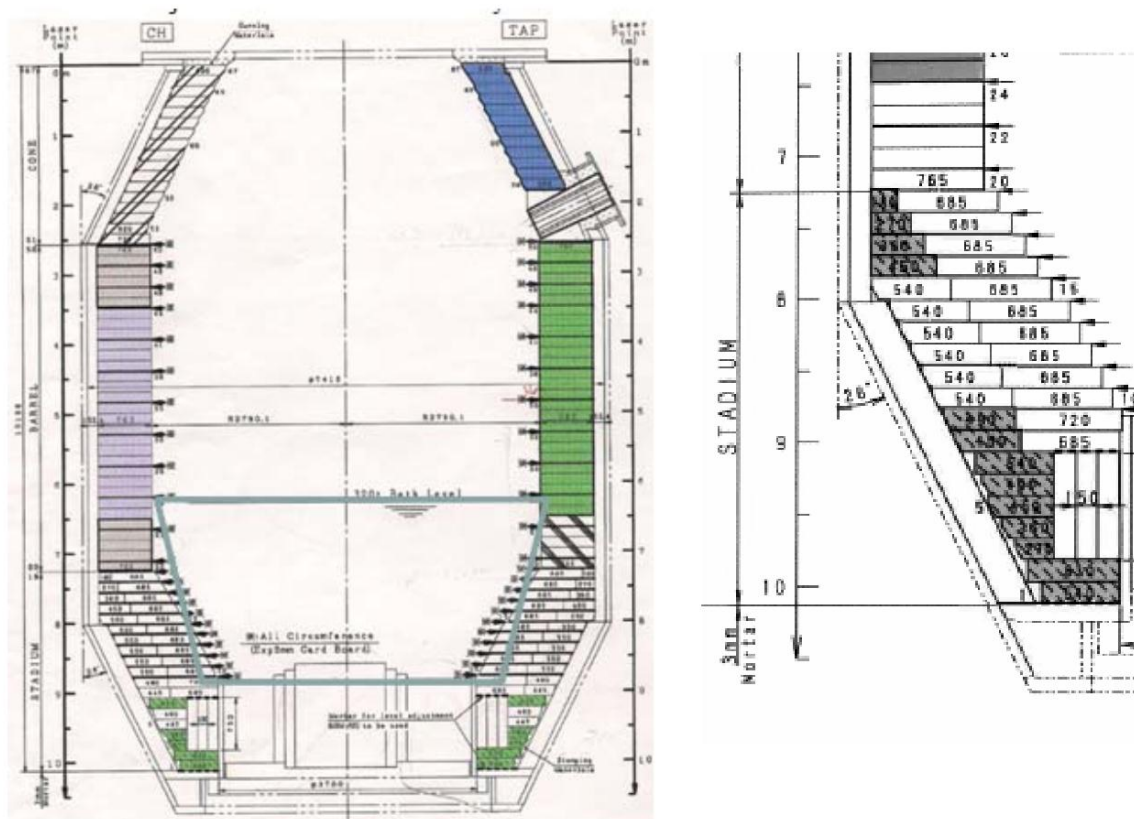


7.16-сурет. Кірпіштің қалыңдығы және жарылу

Қатарлар саны жартыға тең болғандықтан, сақинаны салу үшін тек қана жартылай тіліктердің саны қажет. Құлып пішінін пайдалана отырып, сақинаның құрылымымен салыстырғанда, уақыт үнемделеді.

7.6. НОК тірек стадионына шолу

Тарылу аймағы үшін отқа берік материал («стадион») 7.17-суретте жалпыланған НОК үшін көрсетілген (бірінші-сурет орналасуын көрсетеді, екіншісі — жалпы көрінісі). Стадионның құрылымы қаптаманың құрылымына қатты байланысты екенін айта кету керек. Бұл жағдайда қаптама өте тар және жоғары болады. Бұл қабырғалардың бойымен тегіс кірпіш құрылымына әкеледі. Қысқа және кең пеш үшін күрделі сатылы құрылымы қажет болуы мүмкін.

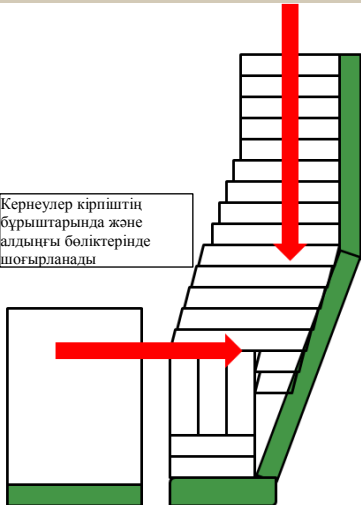


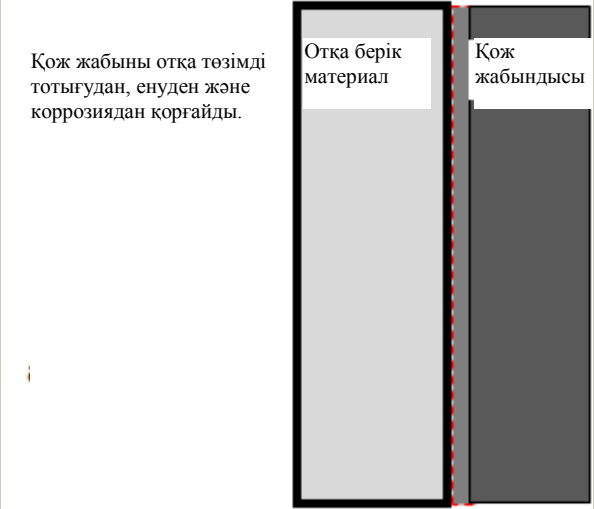
7.17-сурет. НОК стадионының құрылымы

Бұл учаскеге ЖМХ талдауының 7.12-кестесінде көрсетілгендей жылдам тозу тән.

7.12-кесте-НОК стадионына арналған ЖМХ талдауы

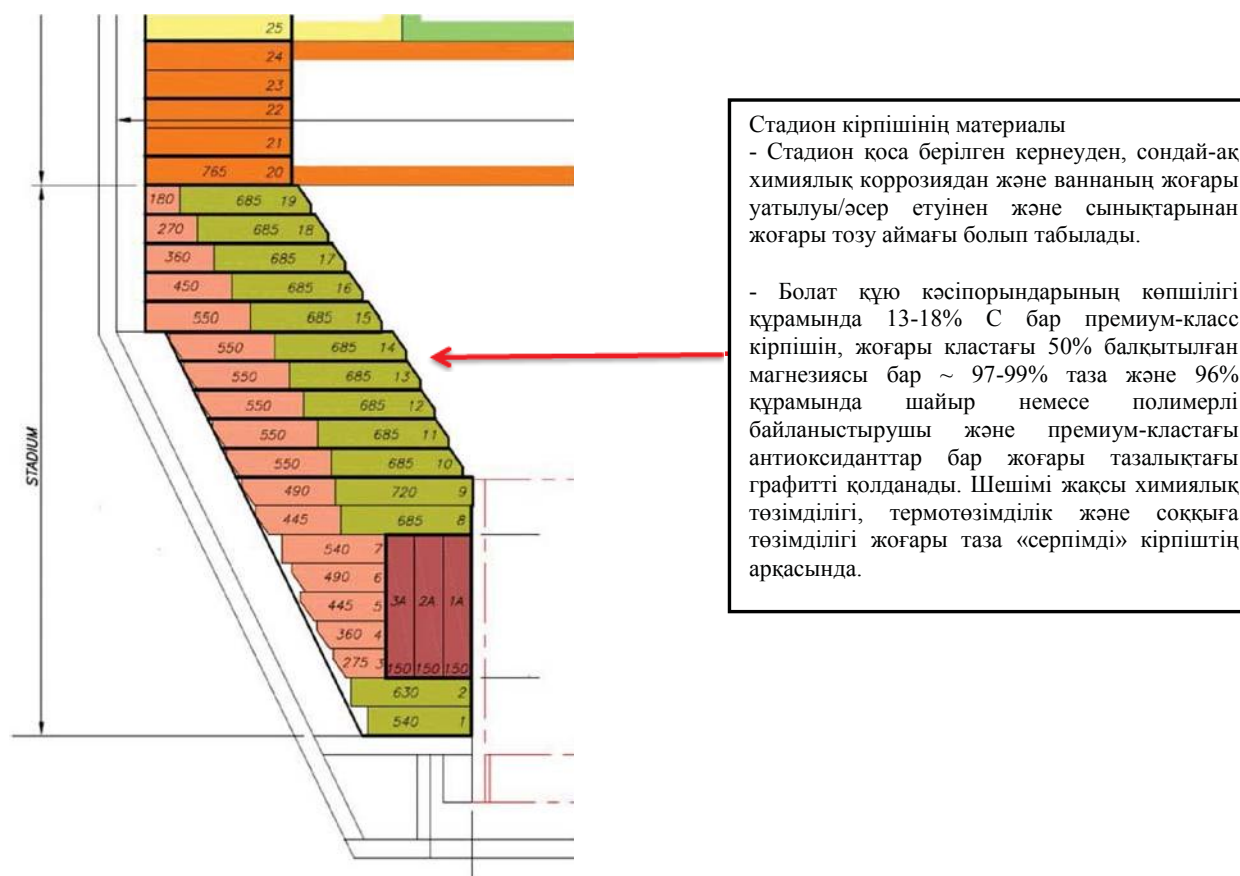
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Стадионның температурасы әдетте шығарылған температура болып табылады және 1575-1675 °C аралығында ауытқиды. Бұл температура отқа төзімді материал үшін жоғары болып табылады және таза шикізатпен жоғары температуралы отқа төзімді материалды пайдалануды талап етеді.
	Термо соккы (ΔT)	Стадионның термоциклдеуі өте жоғары болуы мүмкін. Негізгі фактор- балқытудың күнделікті саны. Жоғары өндіру және тәулігіне балкымалар саны пештің төменгі бөлігінде жылуды ұстап, тұрақтылықты қамтамасыз етеді. Алайда, пешке сынықтардың көп мөлшерін тиеу температураны төмендетеді; жедел жөндеу үшін НОК жұмыс қарқынының төмендеуі және т. б. сондай-ақ, тәулік есебінен балкымалар санының төмендеуіне және циклдаудың күшеюіне алып келуі мүмкін. Әдетте бұл стадион аймағы үшін орташа тозу факторы.

Механикалық	Соққылы әсер	Стадион/НОК төменгі конустарының негізгі мәселелерінің бірі- ваннаның өзін араластыру және айналу әсері, пешпен метал сынығының соқтығысуы. Бұл шарттар әртүрлі кәсіпорындарда өте әртүрлі. Өйткені олар 5-тен 30% - ға дейін сынықтарды жүктеуі мүмкін. Тіпті сынықтың бірдей санымен өлшемі (неғұрлым көп болса, соғұрлым нашар), пішіні (ұсақ кесу және ұсақталған материал бұрыштық шпалдар, құйғыш құрылғысының гарнисажы немесе сынықтың пакеттеріне қарағанда жақсы) маңызды. Осы себепті соққыға төзімділік стадионның отқа берік материалдарын таңдауда негізгі фактор болуы мүмкін.
	Қажалу	«соққылы әсер ету» қараңыз
	Қосымшаланған кернеу	Қуыс бөлігі мен төменгі конус/стадион арасындағы түйісу кернеудің негізгі нүктесі болып табылады. Өйткені НОК кірпішінің (төмендегі суретті қараңыз) ~ 2% кеңейтімі бар болғандықтан біз магнезиялы материалдарды пайдаланамыз. Кеңейтуге рұқсат жеке кірпіш жабындары және (немесе) қаптама бойымен кеңейтуді өтеу үшін картон арқылы кірпіш қаптамасы қарастырылуы тиіс. Мен бұл фактордың НОК қаптамасына әсерін өз көзіммен көрдім.  Кернеулер кірпіштің бұрыштарында және алдыңғы бөліктерінде шоғырланады

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан магнезиялы немесе доломитті кірпіш (әдетте—магнезиялы-көміртекті кірпіш) қолайлы. Көптеген НОК қож жабынының қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалатынына назар аударыңыз. Өйткені жабындының өзі жемір болмағандықтан, ол кірпішті қорғау функциясын тамаша атқарады. 
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Бұл стадион аймағы үшін проблема, өйткені кірпіште жұқа немесе қалың қождың қабатын құрайтын қож пайда болады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қоса берілген жоғарыдағы кернеуді қараңыз.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұрыштағы қоса берілген кернеудің, қож еруі/қож ену және НОК термоциклденуінің арқасында отқа төзімділіктің жылулылық жарылу ықтималдығы бар.

Ағымдағы материал/Құрылымы/Орнату әдісі

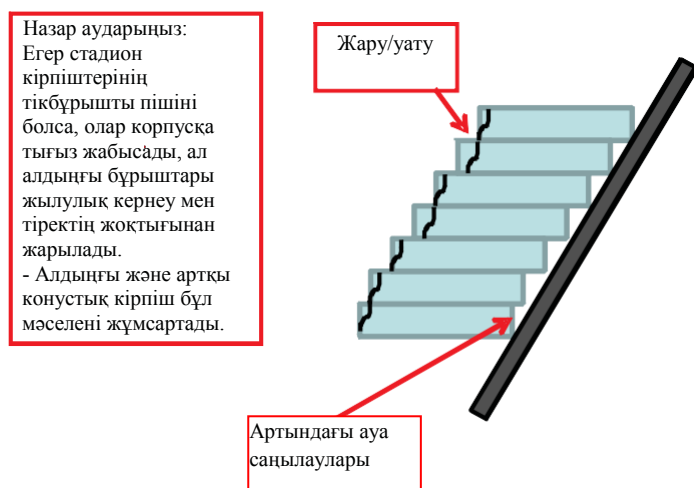
НОК стадионының базалық құрылымы 7.18-суретте ұсынылған.



7.18-сурет. НОК стадионының құрылымы

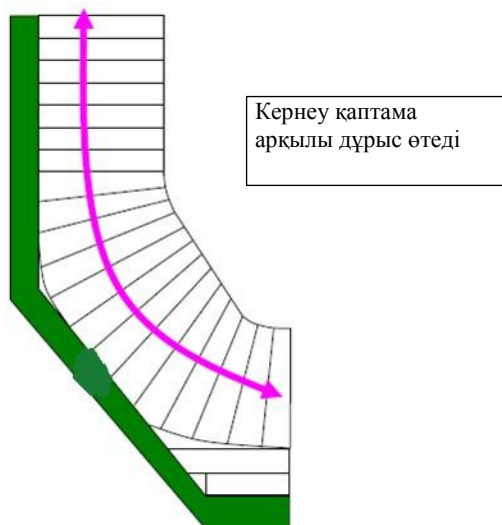
Тәжірибелік кеңестер мен ұсыныстар

- Түптің конус кірпіштерінде 7.19-суретте көрсетілгендей суық бет жағынан қиғаштық болуы тиіс.



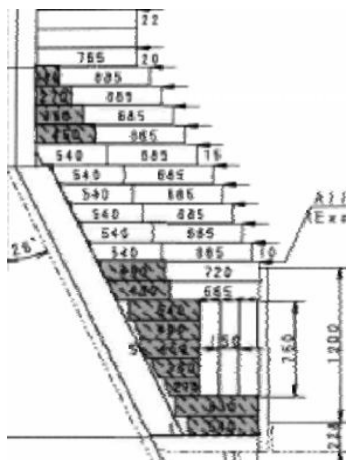
7.19-сурет. НОК стадионының конусы

- Кейбір жеткізушілер стадион үшін кернеу проблемасын шешу ретінде дөңгелектелген кірпішті немесе көлбеу кірпішті ұсынады (7.20-суретті қараңыз).



7.20-сурет. НОК стадионының көлбеуі

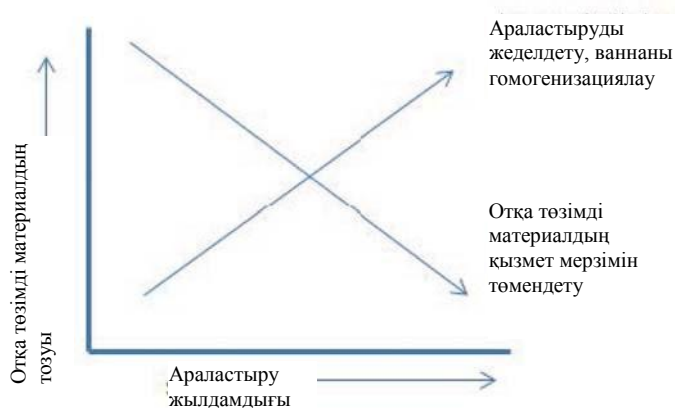
- Бұл, әрине, конструкцияға кернеуге шыдауға көмектеседі. Бірақ қалауды орындау тұрғысынан, бұл нұсқа монтаж жасауға қиын. Әсіресе мұндай шешім жапон зауыттарында қолданылады. Тоқтаусыз жұмыс істеудің ең көп уақытын және кірпішті қайта қалаудың ең аз уақытын талап ететін НОК үшін, егер стадион пештің қызмет ету мерзімін ұлғайту үшін нөмірі бірінші проблема болмаса, кірпіш жұмыстарына қосымша уақыт жұмсауға ақтайтын дәлел табу қиын болады.
- 7.21-суретте көрсетілгендей, алмалы-салмалы түбі бар НОК стадион аймағында тік кірпіштердің үш қатары болуы мүмкін. Бұл конструкция бастапқыда түбін ауыстыру кезінде пеш ішінде жөндеу үшін құрылды. Тас қалаушылар стадион қорғанышын күшейту үшін тік кірпіштен жасалған кейбір ішкі сақиналарды жөндеу үшін өте жылы пешке кірді. Көлденең кірпіштің бес қабатын салғаннан гөрі, үлкен тік кірпіштен бір-екі қатарды пайдалану әлдеқайда жылдам болды. Конструкцияның бұл нұсқасы әлі де қалады. Денсаулық сақтау және қауіпсіздік жөніндегі көптеген компаниялар енді қызметкерлерді түптерін ауыстыру кезінде стадион жөндеу үшін ыстық пеште жұмыс істеуге жібермейді.



7.7. НОК түбі

НОК-тың жұмыс түбі пештің өзі үшін шешуші мәнге ие. Төменгі тозуға қосымша НОК түбі аймағында араластыру үшін қажетті басқа да металлургиялық қасиеттері бар (7.22-суретті қараңыз).

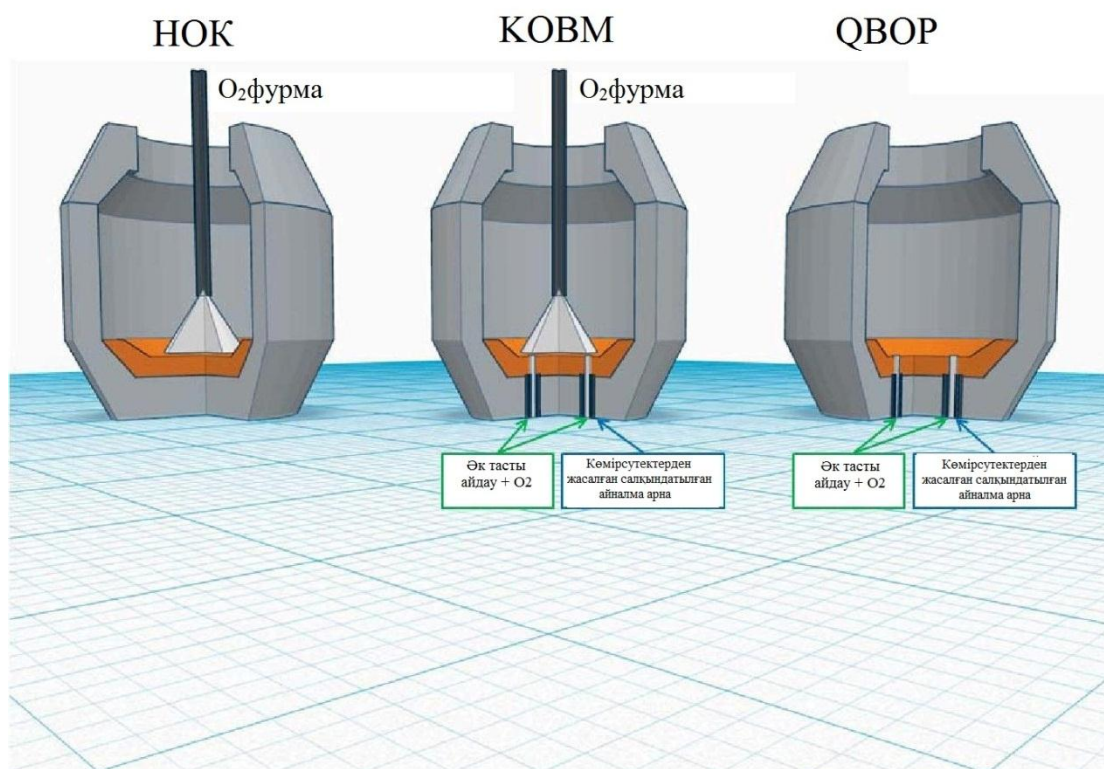
Осылайша, араластыру табысты құрал болып табылады және оның отқа төзімді қасиеттерін талқылаудың мәні бар.



7.22-сурет. Аргонды араластырудың әсерлері

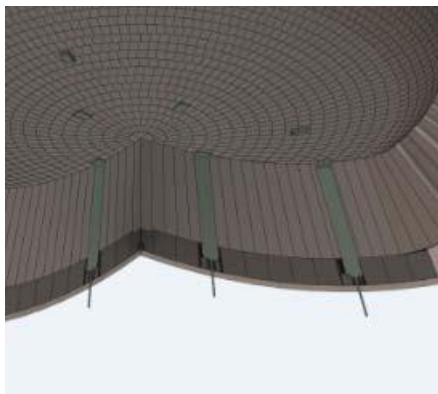
НОК түбін араластырудың көптеген түрлері бар екеніне назар аударыңыз. 7.23-суретте аргон (отқа төзімді тығындар арқылы) және оттегі (оттегі фурмалары арқылы) көрсетілген.

Біз аргон мен оттекті араластырудың осы нұсқаларын тек жалпы сипаттарда талқылаймыз.



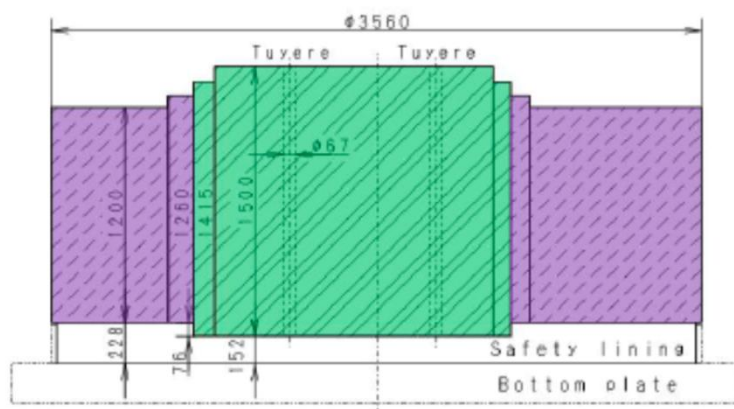
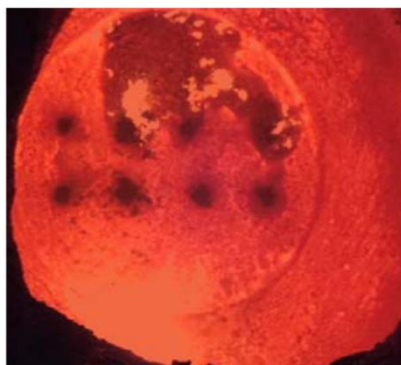
7.23-сурет. ОКК процестеріне шолу

7.24-суретте НОК аргонын араластыру жүйесін қолдану көрсетілген.

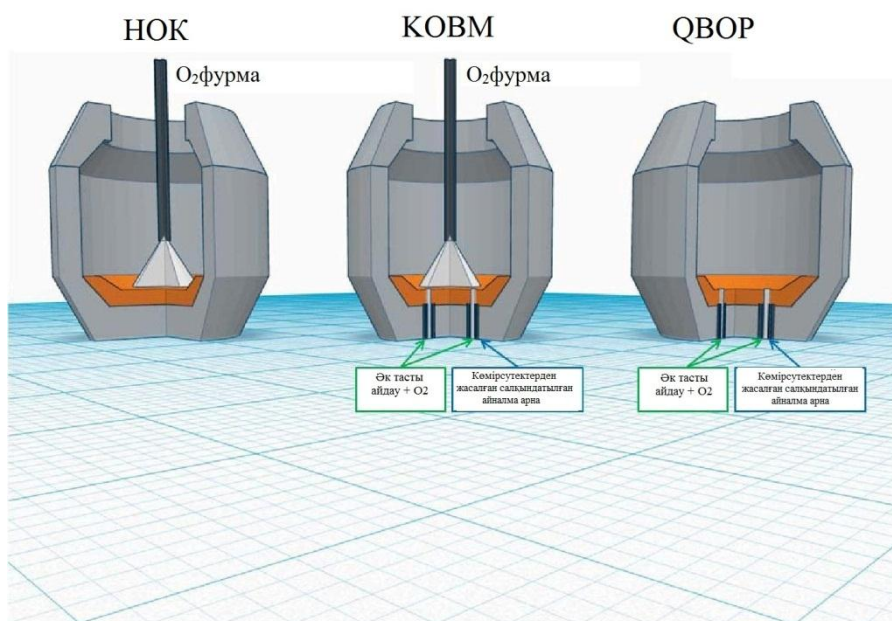


7.24-сурет. НОК аргонын араластыру жүйесі

Оттекті фурмалар жүйесі 7.25 және 7.26-суреттерде көрсетілген.



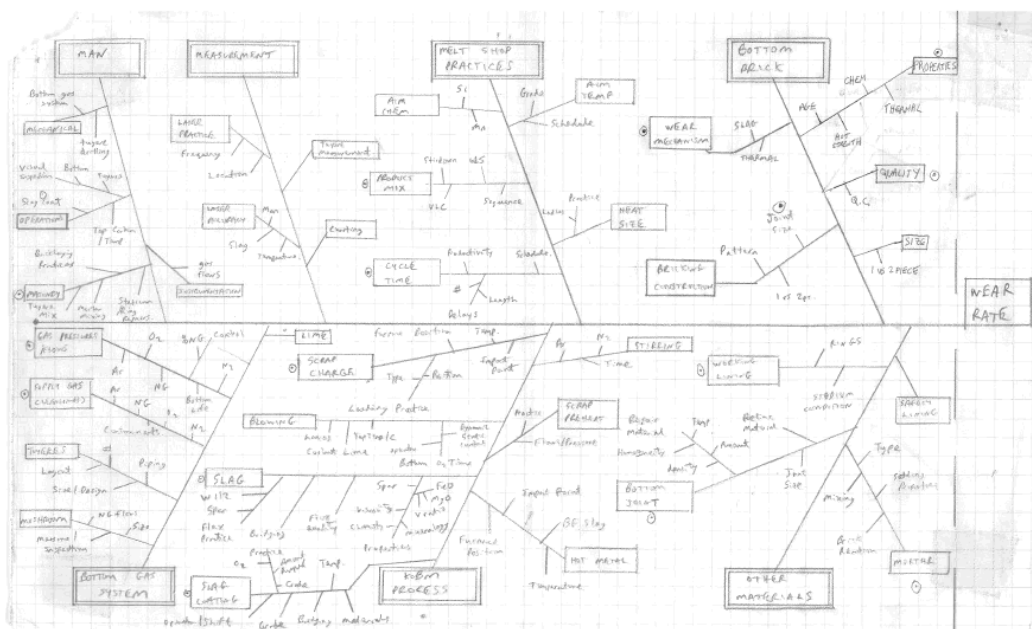
7.25-сурет. КОВМ нұсқасындағы НОК түбі
Shinagawa Refractories Co рұқсатымен.



7.26-сурет. НОК аралас үрлеуіне шолу

Металлургиялық оң қасиеттер (соңғы шығару кезеңінде CO құрамының төмендігі, сондай-ақ тотығудың төмендігі және қорытпаның аз жоғалуы) нақты пайдалану кезінде төменгі араластыру арқылы қол жеткізілуі мүмкін екендігі дәлелденді.

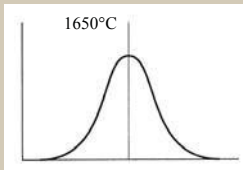
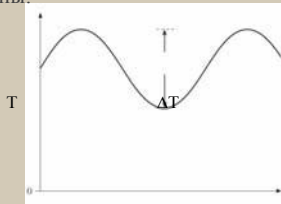
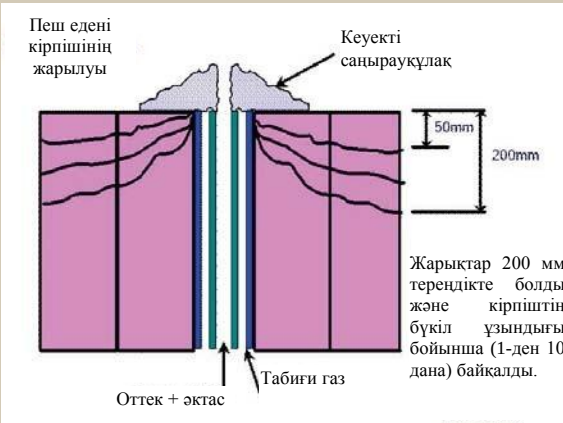
Біз ЖМХ талдауын талқыламас бұрын, 7.27-суретте ArcelorMittal Dofasco компаниясында анықталған түбі тозуының барлық ықтимал себептері бар шырша-диаграмма арқылы негізгі себептерге талдау келтірілген. Бұл талдау пеш түбінің қызмет ету мерзімін 500-ден 1600 балқымаға дейін арттыру үшін шешім іздеудегі басты қадам болды.



7.27-сурет. ArcelorMittal Dofasco компаниясынан табылған түптің тозуының барлық ықтимал себептерін Исикава диаграммасы арқылы іздеу

7.13-кестеде түптік тозудың ЖМХ механизміне талдау және қолдануға арналған материалдардың түрлері көрсетілген.

7.13-кесте-НОК түбіне арналған ЖМХ талдауы

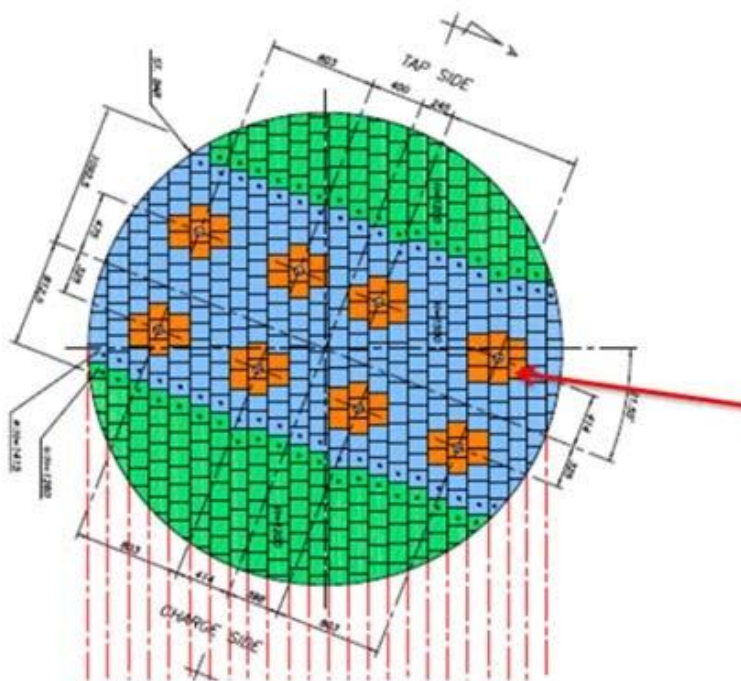
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температура (T)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы және ол ең жақсы шығарылу температурасының үлгі гистограммасында төменде ұсынылған:  Шығарылу температурасы: Бұл отқа төзімді позициядан өте жоғары температура. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
Жылу соққы (ΔT)		Жұмыс қаптамасының түбі үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін болса да, ол бір маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: күніне балқыту саны. Демек, температура қаншалықты және жиі өзгереді?  № балкулар Төменгі араластырылмаған НОК үшін жылу соққысы өте төмен. Дегенмен аргонды араластыру кезінде ол артады, ал оттегімен араластыру кезінде ең нашар сценарий алынады (төмендегі-суретті қараңыз).  Жылу соққысына төзімділікті жоғарылатудың төрт жолы бар және олар ең нашар жағдайға қатысты талқыланатын болады. Оттегіні араластыру жүйесі: № 1) Жоғары жылуөткізгіштігі/жоғары температура өткізгіштігі Көміртектің жоғары деңгейі диффузивтіліктің жоғарылауына алып келеді және бұл жарылудың алдын алуға ықпал етеді (басқа факторлар тұрақты болып қалады). № 2) Қаптама/көлденең қимасы жұқарақ болған сайын жарылуға жақсырақ Пеш түбінің кірпіші үшін мысал ретінде біз кірпіштің көлденең қимасын 150 мм-ден 100 мм-ге өзгертіп, жылу соққысына төзімділікті жақсартта алдық. (Ыстық-суық бетіне қарамастан, айырмашылық жоқ-аз мөлшердегі кірпіш кірпіште көлденең жылу кеңейтуді және аз жаруды қамтамасыз етті.) № 3) Төзімділігі төмен материалдар жылу соққысына үлкен төзімділікті көрсетеді. Көміртегі деңгейінің артуы және тотығуға қарсы қоспа мөлшерінің азаюы есебінен материалдың беріктігінің төмендеуі материалдың жарылуын төмендетуге әкеп соқтырады. № 4) Жоғары бұзу жұмысы—жарықшаққа төтеп беру қабілетін арттырады.

		Жою жұмыстарын арттырудың бес негізгі жолы бар: 1. Жоғары кеуектілік (материалдың кеуектілігі жоғары болған сайын, жарылған жарықтың тесікке түсуі ықтималдығы артады. Кеуек кернеуді сіңіреді және жарықтың таралуы тоқтатылады.) Дегенмен, жоғары кеуектілік жоғары коррозияға төзімділікке әкелуі мүмкін, бірақ баланс туралы біз кейінірек сөйлесеміз! 2. Микроақаулардың көп мөлшері (материалдағы микроақаулар көп болған сайын, мысалы, жоғары таза MgO дәнінің айналасында балқу фазасы, соғұрлым пайда болған кезде жарықтың осы ақауға ауысып, соңғысы кернеуді сіңіреді, нәтижесінде жарықтың таралуын тоқтатады). 3. Балқытылған дәндерді емес, қақтала жабысқан шикізат дәндерін қолданыңыз. Дәннің қорытылуы ықтимал жарықты аз сіңіреді. Өйткені ол дән шегінің бойымен өтеді және таралуын жалғастырады (тіпті матрицадан дәнді соза отырып). Күйдірілген материалдар жарықты сіңіруі ықтимал, өйткені олар материалдың өзіндегі микроақаулар болып табылады. Шағын жарықтар дәннің шегінің бойымен түзілуі, содан кейін басқа ұсақ дәндерге өтіп, тоқтауы мүмкін. 4. Беріктендіргіш материалдарды қосу. Мысал ретінде MgO-C кірпішіндегі шайыр ұнтақтарын пайдалану болып табылады, ол кернеуді сіңіргішке айналдырады жоғары температурада шағын сұйық фазаны жасайды. (B203 аз мөлшері де осындай әсерді қамтамасыз етуі мүмкін екеніне назар аударыңыз). 5. Тот баспайтын болаттан жасалған инелер шын мәнінде жарықтың таралуына жол бермейді, оны болат инелермен бірге ұстап қалады. Олар иненің балқу нүктесіне дейін ғана тиімді, бұл жағдайда олар ұсақ тесіктерге айналады. № 5) төмен жылулық кеңеюі бар шикізатты пайдалану Көміртегі деңгейінің артуы және тотығуға қарсы қоспа мөлшерінің азаюы есебінен материалдың температуралық кеңеюінің төмендеуі материалдың жарылуын төмендетуге әкеледі. № 6) Жылулық кеңею әдісін және/немесе кірпіш түйіспелерін қосыңыз Отқа берік материалдарға қатысты аға буын қоятын бір ескі қитұрқы сұрақ бар: «Ерітінді кірпіштерді біріктіру үшін немесе оларды бір-бірінен бөлу үшін бе?» Бұл қитұрқы сұраққа жауап: «Біріншісі де, екіншісі де!» Жіктер қаптамадан енуді болдырмау үшін оларды тығыз ұстайды, сондай-ақ жылу кернеуін төмендету үшін бөледі. Естеріңізге сала кетейік, жеткіліксіз жылулық кеңею әдісі кірпіштің жарылуына әкеледі. Өйткені олар шектеулі кеңістікте кеңейеді. (Олар кернеуді сіңіре алмайды). Алайда, тым көп мөлшерде берілетін әдіс кірпіштің түйіспе арасындағы айырмашылыққа әкеліп соғады, бұл болат ену қаупін арттырады және/немесе кірпіштің сырғуына әкеп соқтырады

Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте, түбіне соққы саны үлкен және сынықтарды жүктеу бұрышына байланысты. НОК түбінің негізгі мәселелерінің бірі-ваннаның өзін араластыру және айналу әсері немесе пешпен сынықтардың соқтығысуы. Бұл шарттар әртүрлі кәсіпорындарда өте әртүрлі болғандықтан олар 5-тен 30% - ға дейін сынықтарды жүктеуі мүмкін. Тіпті сынықтың бірдей санымен өлшемі (неғұрлым көп болса, соғұрлым нашар), пішіні (ұсақ кесу және ұсақталған материал бұрыштық шпалдар, құйғыш құрылғысының гарнисажы немесе сынықтың пакеттеріне қарағанда жақсы) маңызды. Осы себепті соққыға төзімділігі стадион отқа берік материалдарды таңдауда негізгі фактор болуы мүмкін.
	Қажалу	Уату шамасы араластыру тиімділігіне тікелей байланысты. Сондықтан уату НОК түбі үшін маңызды факторлардың бірі болып табылады.
	Қосылған кернеу	Тығынның биіктігі, әдетте, пештің табанына қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие, бұл базалық үлгі кірпіш онымен үйлесімді болады. Осылайша, магнезиялы немесе доломитті кірпіш (әдетте—магнезиялы-көміртекті кірпіш) қолайлы. Назар аударыңыз, бұл көптеген НОК қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалады. Жабын өзі әлі жемір болмағанша, ол кірпішті тамаша қорғайды. НОК түбіндегі қож жабынының болмауы тозу жылдамдығын екі еселеуі мүмкін екенін атап өткен жөн!
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/кождардан туындайды. Бұл іс жүзінде НОК түбі үшін проблема емес.
Термомеханикалық	Жылу кеңею кернеуі	Естеріңізге сала кетейік, жеткіліксіз жылулық кеңею әдісі кірпіштің жарылуына әкеледі. Өйткені олар шектеулі кеңістікте кеңейеді. (Олар кернеуді сіңіре алмайды). Алайда, тым көп мөлшерде берілетін әдіс кірпіштің түйіспе арасындағы айырмашылыққа әкеліп соғады, бұл болаттың ену қаупін арттырады және/немесе кірпіштің сырғуына әкеледі.
Химиялық Механикалық (және Термо Механикалық)	Ену аймақтарын дағы сыну	Жылу соққысының, қож еріту мен кернеудің комбинациясы түптің жоғары тозуының негізгі факторы болып табылады, бұл мәселе конструкторлық шешімдер мен материалдардың көмегімен жойылуы тиіс.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Оттегінің араласуымен түптің базалық құрылымы 7.28-суретте көрсетілген (барлық қалған түптер тозудың аз механизмдері және тозудың азғантай проблемалары болады).



- Кірпіш, атап өткендей, қатты жылу соққысы, жоғары коррозия және қажалу/ваннаның әсері және сынықтарды домалатудың негізінде ең жоғары тозуға ие.
- Болат құю компанияларының көпшілігі 99% тазалығы бар 15-25% C болуы мүмкін ең жақсы кірпішті пайдаланады және бұл жылу соққысына барынша төзімділігі үшін жұқа графит болуы мүмкін.
- 100 % MgO үлкен кристал болады
- көлемі > 1000 мкм және тазалығы 98-99 %.
- Тотығуға қарсы қоспалар ең аз мөлшерде ғана қажет. Өйткені тым көп мөлшерде жарылуды күшейтеді.

7.28-сурет. КОВМ пеш еденінің кірпіші

Араластыру құрылғыларын жөндеу әдістері

Пештің жұмысы кезінде араластыру тығынын тазалау мүмкін емес. Оттегі болған жағдайда фурманы ауыстыру кезінде түбі арқылы жарылу қаупі жоғары және сондықтан сирек орындалады.

Аргонды жүйелерге келетін болсақ, кейбір металлургиялық зауыттар оларды ЭДП араластыру тығынына ұқсас артынан табысты алмастырды. Жедел жөндеу әдісі кезінде:

- Пештен барлық сұйықтықты толығымен ағызып алыңыз.
- Жөндеу кезінде тығынға қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін түбіндегі топсалы ілмекті конструкцияны пайдаланыңыз.
- Содан кейін топсалы ілмектері бар түпті ашу үшін платформа, орман және құрылғы арқылы пешке кіруді қамтамасыз ету қажет.
- Сонда сіз тығынды шығара/итере аласыз.
- Осыдан кейін блокты пештің өзінің өлшеміне толығымен қыздыру үшін бастапқы бетке дейін тазалау қажет.
- Сонан соң тығынды ерітіндімен бекіту, орнына қайта орнату және бәрін қайтадан қосу қажет.

Бұл осы алгоритмнен мүмкін болса да тиімсіз және жұмыс тәртібінде сирек жүзеге асырылатыны көрініп тұр.

НОК түбінің түйіспесі

Алмалы түбі бар пештер үшін түп пен стадион түйіскен жерін толтыратын монолитті материал қажет болады (7.29-суретті қараңыз). Жалғау материалы түптің тозуының барлық факторларына қарсы тұруы тиіс. Бұл жерде әлсіздік НОК бұзылуына, сондай-ақ стадион мен түбінің қатты тозуына алып келетіндіктен негізгі аймақ болады. Егер материал жеткіліксіз болса, ол қаптаманың осал жеріне айналады. Оны жөндеу өте қиын болғандықтан өндірістегі кідіріске әкеп соқтырады.

Түп түйіспесі:



7.29 сурет. НОК түбінің түйіспесі

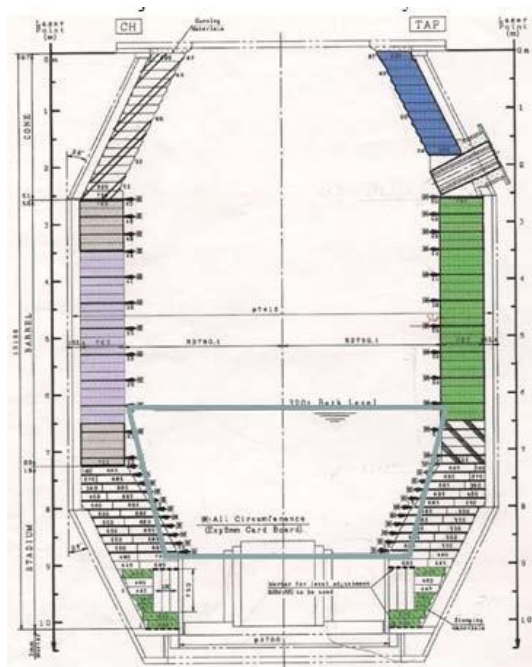
- Әдетте ені 50-150 мм және биіктігі 1,0—1,6 м. Әуе қалталарсыз түйіспені толтыру өте маңызды. Осы саңылауды толтыруға арналған нұсқалар:
- Түбі салынған кезде, пеште тас қалаушылары болғандағы салқын жағдайда өте ұзын пневмонығыздағыштар және MgO тапталған материалдармен қосып толтырылуы керек (тек суық күйде жасалуы мүмкін, қауіпсіздік үшін сәйкес қауіп-қатермен шектелген кеңістік пайда болады).
- Түйіспені пештің ішінен суық күйінде (қауіпсіздік қатері) немесе сыртынан ұзын шлангты пайдаланып толтыруға болады. Материал шлангқа түсіп, түйіскен жерін толтыру үшін ол өте жақсы сұйықтық болуы керек. Бұл үшін су сияқты ағып жатқан жақсы материалдар бар екенін ескеріңіз. Бірақ содан кейін 3-4 сағат бойы ұстап тұратынына назар аударыңыз. Олар араластырғышпен араласатын және содан кейін тез құйылатын екі компонентті MgO қоспалары мен шайырлар болып табылады. Бұны түпті жүктеу кезінде ыстық күйде араластырып, сыныққа арналған қорапты материалмен толтыра отырып, содан кейін оны үйіп құя отырып жасауға болады. Бұл ретте, фурманың қысымда болуына және фурманың өзіне түсуіне жол бермеу үшін олар арқылы оттегі өтетініне кепілдік беру үшін сақтықты сақтау қажет.
- Кейбір жеткізушілерде төменнен түйіспеге айдауға/бүркуге болатын қоспа бар екеніне назар аударыңыз және тағы да ол пайдалану тұрғысынан материалдың сапасын жоғалтпайтын тамаша аққыштық сипатқа ие болуы тиіс.

7.8. НОК отқа берік теспелері

НОК теспесі (шпур) - бұл пеш қабырғасындағы отқа төзімді элементтердің жүйесі және балқыту металлургия тұрғысынан аяқталған кезде қажетті температура мен химиялық құрамға жеткенде НОК болатты шығару үшін пайдаланылады.

Ол екі негізгі функцияларды орындайды: пештен сұйық болаттың бақыланып құйылуы және артық қождың шөмішке түспеуін қамтамасыз ету.

Теспесі бар НОК-тың базалық құрылымы 7.30-суретте көрсетілген.

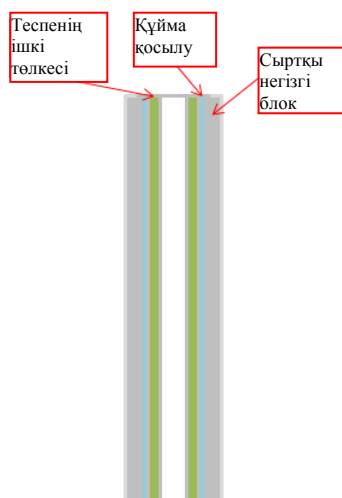


Теспе

7.30-сурет. НОК теспесінің орналасуы

Мұнда бір принципті конструкторлық бөлшекті қысқаша атап өту керек. Теспенің өлшемі пештегі балқыту салмағымен және шығару үшін минутына тоннадағы ағын жылдамдығымен анықталады. Егер тесік тым аз болса, онда шығару ұзақ және бітелуге бейім болады, бірақ қождың тозуы аз болады. Егер тесік тым үлкен болса, онда шығару тез болады, бірақ қождың тым үлкен тозуымен сипатталуы мүмкін.

Теспе жүйесінің әр түрлі компоненттерінің толық схемасы 7.31-суретте көрсетілген.



7.31-сурет. НОК теспесінің құрылғысы

Теспені (теспе) 7.14-кестеде көрсетілгендей екі аймаққа бөлуге болады.

Алаң	Сипаттамасы
Теспенің сыртқы блогы	Теспе жүйесін қоршайтын және оны шығару жағынан қоршаған алаңның тозуынан қорғайтын блок. Бір және бірнеше құрамдас бөліктерден жасалуы мүмкін. Айта кету керек, бірыңғай блок ең тиімді болып табылады, өйткені құрамдас блоктар сіз түйіскен жерлерден 50-75 мм шегінде болған кезде уатылуға және жарылып құлауға бейім. Жалғыз өнімділігі жоғары болғандықтан блоктар қымбат және кранның көмегімен ғана басқарылады.
Толтырғыш/отқа төзімді қоспа	Муфталар мен блок арасындағы материал теспені жедел өзгертуге және пайдалану кезінде муфтаның жылулық кеңеюін сіңіруге мүмкіндік береді. Бұл қосылыста сұйық металға еніп, теспені сындыруға мүмкіндік беретін саңылау болмауы өте маңызды.
Теспенің ішкі төлкесі	Металға жүйе арқылы ағуға мүмкіндік беретін теспе жүйесінің атқарушы компоненті. Бір және бірнеше құрамдас бөліктерден жасалуы мүмкін. Айта кету керек, бірыңғай блок ең тиімді болып табылады, өйткені құрамдас блоктар сіз түйіскен жерлерден 50-75 мм шегінде болған кезде уатылуға және жарылып құлауға бейім. Бірлі-жарым блоктар қымбат және кранның көмегімен ғана басқарылады, бірақ олардың өнімділігі жоғары; дегенмен, оларда жаңа теспені бірінші балқыту кезінде үлкен жылу кернеуінен сынықтар пайда болуы мүмкін (төмендегі-суретті қараңыз). Бөлінген үлгідегі төлкенің тозу механизмі *Shinagawa Refractories Co Ltd рұқсатымен.

7.14-кесте-Теспенің бөлек аймақтары

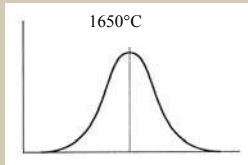
ЖМХ талдауы 7.15 және 7.16-кестелерінде көрсетілгендей екі бөлімге бөлінген.

7.15-кесте-Сыртқы блок/толтырғыш үшін ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Сыртқы блоктың температурасы-бұл ыстық беттегі болатын температурасы және сыртқы қаптаманың суық бетіндегі қоршаған ортаның температурасы. Отқа төзімді позициядан ыстық беттің температурасы өте жоғары болғандықтан ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Сыртқы блок теспесі үшін термоциклдеу әдетте өте жоғары емес. Себебі ол қаптаманың ішінде орналасқан материалдың үлкен блогы болып табылады және ішкі төлкелер өзгертін жағдайларды қоспағанда, әдетте үлкен термоциклденуге ұшырамайды. Қысылтаяң жағдайлар төлкелерді ауыстыру кезінде пайда болады. О кезде жаңа төлкелер орнатылады, ал қоршаған ортаның температурасы кезінде торкреттеу материалы саңылауға бүріледі және блоктың өзін есенгіретеді. Бұл тозудың негізгі механизмі болуы мүмкін.

Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте теспе блогы бойынша соққы саны ең аз, төлкені ауыстыру жағдайларын қоспағанда, алу құрылғысының әсер етуі мүмкін. Алу, пневматикалық ұрғыш балға, бұрғылау немесе үшкір құрал болсын, бақылау астында болуы тиіс. Өйткені блоктың ешқандай материалы оны көтере алмайды. Бұдан басқа, пневматикалық қож шектегіші бар кәсіпорындар үшін, егер ол тиісті түрде орталықтандырылмаған болса, ол блоктың өзіне әсер етуі мүмкін.
	Қажалу	Турбуленттілігі бар пеш ішіндегі ыстық бетті қоспағанда, блок үшін қажалу дәрежесі болмашы. Әдетте бұл тозудың негізгі механизмі емес.
	Қосымшаланған кернеу	Теспенің ұзындығы әдетте теспенің өзіне салынған кернеудің пайда болуы үшін жеткілікті емес. Алайда, егер теспені қоршайтын жапсырма материал тым тығыз орнатылған немесе шағын отырғызылған/қорапшалары бар болса, онда төлкеге жүктеме пайда болуы және жарылуы мүмкін. Блокқа, алайда, аз кернеу қолданылады.
Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Тек қождың аз мөлшері блоктың ыстық бетіне байланысты және бұл тозудың негізгі механизмі емес.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Ол суланбайтын көміртегі бар НОК теспе блоктары үшін мәселе тудырмайды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Теспені қоршаған толтырғыш материал да кеңеюді жұтқыш ретінде жұмыс істеуі тиіс. Бірақ егер ол тым тығыз орнатылған болса немесе аз қысу/тарылу болса, онда төлке кернеуі қоса берілуі мүмкін және жарылуы мүмкін. Блокқа, алайда, аз кернеу қолданылады.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл сыртқы блоктағы негізгі фактор емес және әдетте конструкциялау кезінде қарастырылмайды.

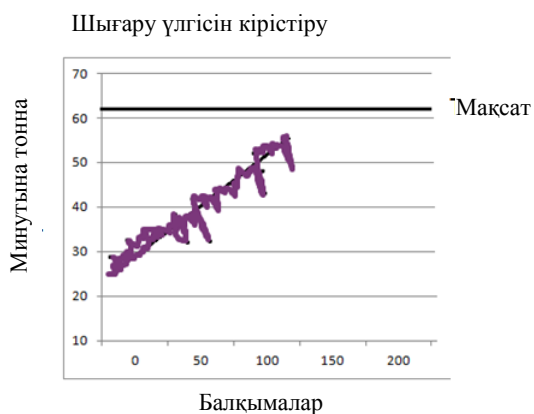
7.16-сурет. Ішкі төлке үшін ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Төлкенің температурасы-болаттың өз температурасы және ол төмен-суретте көрсетілгендей, шығару температурасының типтік гистограммасында көрнекі түрде көрсетілген:  Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Бұл күніне балқымалардың санына байланысты болғандықтан, теспе төлкесіне арналған термоциклдеу қысылтаяң болып табылатын мерзімді операция. Басқа да экстремалды жағдайларда сыртқы салқын беті қалып, қоршаған ортаның сыртқы температурасының әсеріне ұшырайды. Бұл тығынның шетінде үлкен кернеу тудырады. Сондықтан термосоққы теспе төлкелері үшін өте маңызды фактор болып табылады.

Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте, қождың пневматикалық шектегіші бар кәсіпорындарды қоспағанда, теспенің төлкесіне әсер ету дәрежесі ең аз, өйткені ол әрбір қыздыру кезінде сыртқы суық бетке әсер етеді. Сонымен қатар, «шүмек» тазалау кезінде беті зақымдануы мүмкін.
	Қажалу	Қажалу дәрежесі шын мәнінде теспе арқылы болат пен қожға байланысты. ЕГД талдауы (есептік гидродинамика) тікелей тарылған теспенің конустық теспеге қарағанда неғұрлым жоғары турбуленттілік пен қажалуы бар екенің көрсетеді. Сондықтан конустық теспелер болат өнеркәсібінде норма болып табылады.
	Қосымшаланған кернеу	Теспенің ұзындығы әдетте теспенің өзіне берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткілісіз. Алайда, егер теспеде қоршаған табиғи материал тым тығыз орнатылса немесе шағын отырғызу/шалыстану болса, онда кернеу пайда болуы және жарылуы мүмкін.
		Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 7.0 тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие. Бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Осылайша, магнезиялы немесе доломитті кірпіш (әдетте—магнезиялы-көміртекті кірпіш) қолайлы. Назар аударыңыз, көптеген теспелер НОК қабаты кірпішті ерітуден қорғау үшін жасалады.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Ол суланбайтын көміртегі бар НОК теспелері үшін мәселе тудырмайды.
Термомеханикалық	Жылу кеңею кернеуі	Толтырғыш материал, қоршаған теспе кеңею сіңіргіш ретінде жұмыс істеуі тиіс. Бірақ егер ол тым тығыз орнатылса немесе аз қысу/тарылу болса, онда кернеу қоса берілуі және жарылуы мүмкін.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қож коррозиясының, қажалудың және термоциклдеудің үйлесімі осы құбылысқа неғұрлым бейім төлкенің суық бетінің жиналуын тудырады. Бұл жобалау кезінде ескерілуі қажет төлке әсер ететін негізгі тозу тетігі.

НОК теспесін жөндеу

НОК теспелері әрбір 75-125 балқыманың төлкелерін ауыстыру арқылы жөнделеді. Ең озық кәсіпорындар теспені қажетті шығару жылдамдығына байланысты өзгертеді (7.32-сурет).



7.32-сурет. НОК шығару жылдамдығы

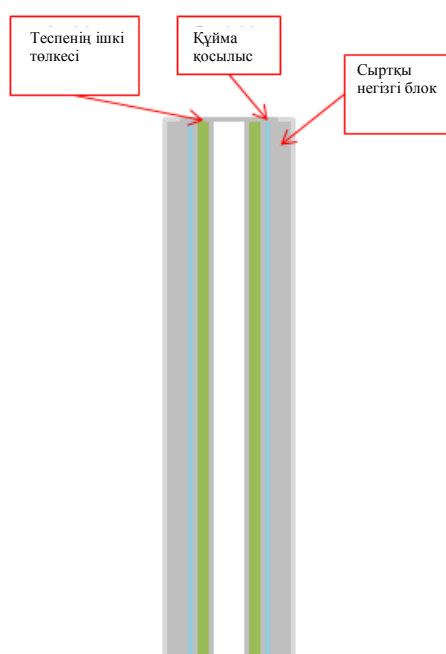
Теспе төлкесінің торабын ауыстырудың үш кезеңі 7.33-суретте көрсетілген.

- Ескі теспені алу (бұрғы, өткір ұшы құралы немесе пневматикалық ұрыптүсіргіш балға).
- Орнына жаңа теспе мен сына орнату.
- Торкреттеу әдісімен төлке мен блок арасындағы түйіспені толтыру.



7.33-сурет. НОК төлкесін ауыстыру кезеңдері

Ағымдағы материал / конструкция / монтаждау әдісі 7.34-суретте көрсетілген.



Құйма қосылу

- Әдетте, құрамында MgO жоғары немесе 95% таза көміртегі жоқ торкреттеу үшін материал қолданылады.
- Теспенің сыртқы блогы
- Болат құюшылардың көпшілігі осы аймақта жоғары сапалы $MgO-C$ қолданады.
- Бұл ұзақ мерзімді тұрақтылық үшін 7-15% құрамы бар материал болады. Өйткені ол әдетте кемінде 50% науқан қызмет етеді.
- Әдетте, тек біріктірілген дәннен және 95% таза MgO қолданылады.
- Үлкен қабыршағы бар графит 94 % тазалыққа ие болады.
- Сонымен қатар, мұнда графитті қорғау және тотығудың алдын алу үшін тотығуға қарсы қоспалардың негізгі қоспасы (Al , $Al-Mg$ қорытпасы) қолданылады.

7.34-сурет. Теспенің (шпур) құрылымы

8-тарау

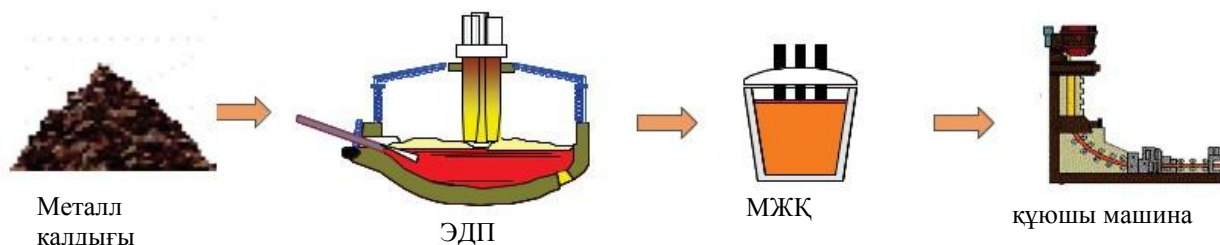


8.0 Электр доғалы болат балқыту пеші (ЭДП)

Электр доғалы болат өндіру пеші (ЭДП) екі негізгі болат балқытатын агрегаттардың бірі болып табылады (баламалы нұсқа ретінде НОК бар). Қазіргі таңда ЭДП-ның әлемдік өндірісі 40% деңгейінде. Дегенмен оның өндірісі күннен-күнге артуда. Мысалы «металл қалдықтарына» Солтүстік Америкада ЭДП-ның өндірісі 50%-дан жоғары. ЭДП металл сынықтарының, шойынның және басқа да материалдардың әр түрлі түрлерінен болат өндіру үшін жасалған өте икемді технологиялық әдіс болып табылады. Негізгі технологиясы процеске электр ұшында орналасқан электродтар арқылы (үшеуі айнымалы тоқтағы, біреуі тұрақты тоқтағы электр пешіне арналған) $>3000^{\circ}\text{C}$ температурасында енгізілетін электр жүйесі болып табылады.

Металл сынықтары ваннадағы жылу сәулесінің ұлғаюы әсерінен балқиды. Сондай-ақ оған балқыту қабілеті қосылады. Уақыт өте келе процеске оттегі және/немесе табиғи газды үрлеу арқылы химиялық энергия қосылу арқылы өзінің ықпалын тигізеді.

Технологиялық процестің негізгі схемасы 8.1-суретте көрсетілген. Алайда сұйық металды пайдалануға болғандықтан кең шектерде түрленуі мүмкін. Жоғарыдан немесе үздіксіз беру, түптік/бүйірден шығару және т. б. - цех конфигурациясына байланысты.



8.1-сурет: ТЭД технологиялық процесінің негізгі схемасы

Көптеген бұйымдар ЭДП процесінің көмегімен жасалады. Алайда болат пен кождың химиялық құрамы үшін үлгі мысалдар 8.1 және сәйкесінше 8.2-кестелерде келтірілген.

8.1-кесте: ЭДП-ның болаттан шығарылған химиялық құрамының типтік үлгісі

8.2-кесте: ЭДП-ның қождан шығарылған химиялық құрамының типтік үлгісі

Химиялық құрамы	Саны
Кремний	0,002%
Марганец	0,114%
Күкірт	0,027%
Cu+Ni+Cr	0,25%
Көміртек	0,03%
Шойын	Теңгерім

Химиялық құрамы	Саны
Кремнезем	14%
Глинозем	6%
Әк тас	38%
Титан қостотығы	1%
Магнезия	9%
MnO	7%
FeO	25%
P2O5	0,08%
Күкірт	1,5%
Көміртек	3%

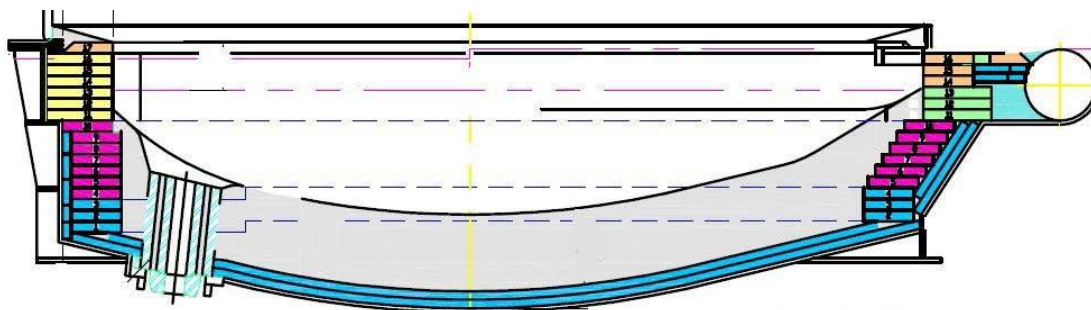
Отқа төзімді конструкцияның негізгі мақсаттары:

- Сұйық болатты герметизациялау (жарықсыз)
- Қауіпсіздікке және/немесе қоршаған ортаға қауіп төндірмейтін отқа төзімді заттарды пайдалану
- Отқа төзімділікті пеш науқанының талап етілетін ұзақтығына сәйкес келетіндей жобалау (балқыту немесе апта саны)
- Отқа төзімді материалдың құнын азайту (тоннасына).

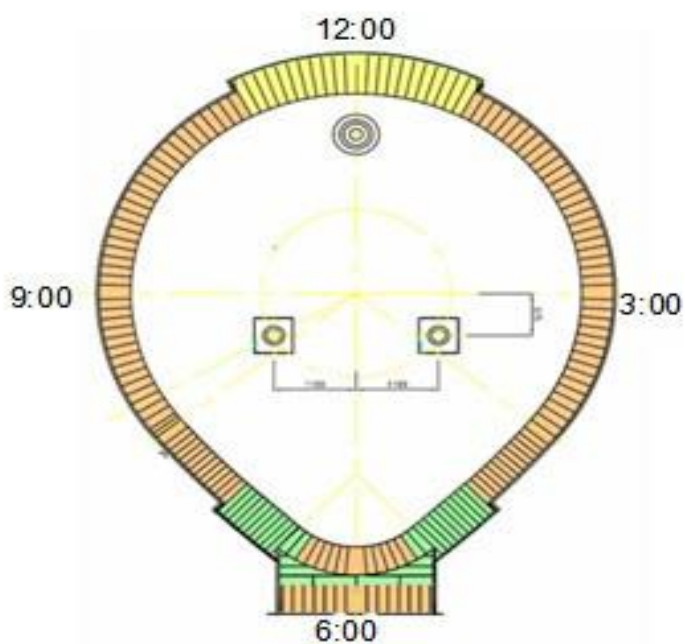
8.2 –суреттен бастап 8.4-суреттерде ЭДП әр түрлі позицияларда көрсетілген.



8.2-сурет: «Әрекеттегі» ЭДП



8.3-сурет: Көлденең қимадағы ЭДП-ның базалық құрылымы
RHI AG компаниясымен ұсынылды.

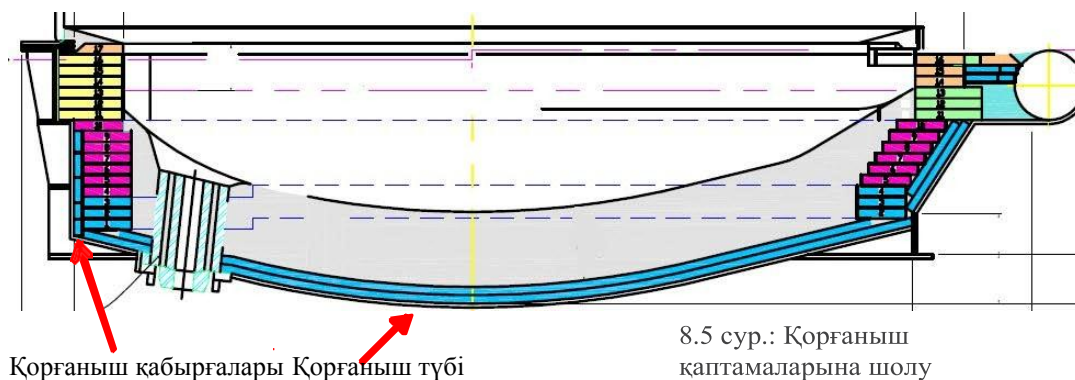


8.4 сур.: ЭДП базалық құрылымының үстіңгі жақтағы түрі

Енді ЭДП пешінің әрбір секциясын толық талқылаймыз.

8.1 Қорғаныш түбі/қабырғасы

Қорғаныш түбі мен типтік пештің қабырғалары 8.5-суретте көрсетілген. Қорғау түбінің құрылымы қаптаманың құрылымына қатты байланысты екенін атап өткен жөн. Суретте қаптама жалпақ кірпіш құрылымына өтіп, кең әрі жалпақ көрінеді. Жоғары және тар пеш үшін 8.6-суретте көрсетілгендей күрделі сатылы конструкция қажет болуы мүмкін.



8.6 сур.: Қорғау қаптамаларының түрлері

8.3-кестеде ұсынылған ЖМХ талдауын көріп тұрғандай, тозуға қатысты бұл тез тозбайтын аумақ.

8.3-кесте: Қорғаныш қабырғасына/түбіне арналған ЖМХ (жылу механикалық және химиялық) талдауы шойын құюға арналған шөміш

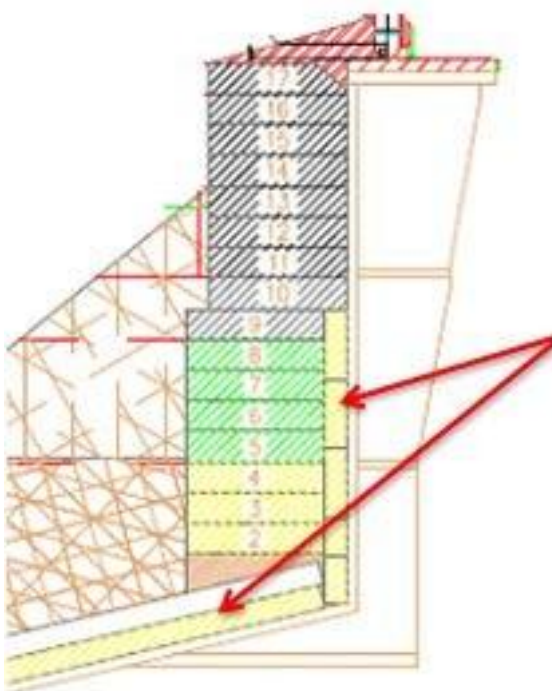
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қорғаныш қаптама температурасы ешқашан өлшенбеген; дегенмен, егер қаптаманың жұмыс қабаты бұзылған болса, ол қоршаған орта температурасынан 1400°C дейін температураға ие болады. Шын мәнінде табан, соншалықты тозған жоқ, сондықтан температура әдетте 500°C ауданында болады. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Термо соққы (ΔT)	Қорғаныш қаптама тозу механизмі болып есептелмейтіндіктен термоциклдеу азғантай жүреді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте қорғаныш түбіне, алу кезінен басқа жағдайда, ешқандай әсер етпейді.
	Қажалу	Қорғау қабырғасының немесе түбінің үйкелуі жұмыс футеверкасы бұзылған және шөміште сұйық шойынның айналымы аз болса ғана мүмкін.
	Қосымшаланған кернеу	Әдетте бүйір жақ қабырғаның биіктігі шөміш қабырғаларының астыңғы қабаттарына коса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 8.2-кестеде келтірілген қож базалық сипатқа ие болғандықтан базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан магнезиялы немесе доломитті кірпіш қолайлы.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Қорғау түбі үшін ЭДП проблема болып саналмайды. Қорғаныш футеверканы тығыз орнату өте маңызды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет. Қорғау түбі үшін ЭДП проблема емес.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

ЭДП қорғау қаптамаларының базалық құрылымы 8.7-суретте көрсетілген.

Қорғау қабырғалары мен түбі:



- Тозуға төзімді және ауа кірмейтін аумақ металл енуді болдырмау үшін маңызды фактор болып табылады.
- Болат құю кәсіпорындарының көпшілігі 95% күйдірілген магнезиясы бар арзан кірпішті қаптаманың арматуралық қабаты ретінде пайдаланатын болады. Бұл көп жылдар бойы қызмет ете алатын өте тұрақты материал.
- Монолитті Қорғаныш қаптаманы (құрғақ діріл немесе пластикалық) пайдалануға болады. Алайда уақыт өте келе ол сынып, оны ауыстыруға тура келеді.
- Ұзақ пайдалану мерзімі үшін таза магнезиялы кірпіш гидратацияға төзімді болуы тиіс. Өнім беруші мұны сұрату бойынша жасайды (әдетте дәнді жабатын аздаған борды суланған немесе фосфор қышқылын пайдалана отырып).

Бір және екі қабатта қорғаныш қаптаманың жоқтығы туралы даулар көп болды. Цехтардың көпшілігі табандарын тым төмен түсірмейтіндіктен қорғаныш қаптаманың қажеттілігін атап өтеді. 8.4-кестеде жақтайтын және қарсы қойылатын дәлелдер келтірілген.

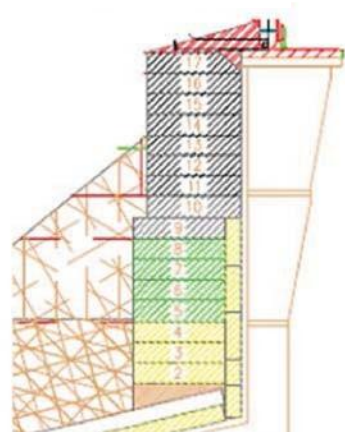
8.4-кесте: Қорғаныш қаптама құрылымының нұсқалары

I НҮСҚА	II НҮСҚА
Оқшаулаудың 2 қабаты	Оқшаулаудың 0 қабаты
Түсініктеме: - Болат бетінің жоғары температурасы-> үлкен өткізгіштігі	Түсініктеме - Пісірілген қабат қол жеткізілген температураға байланысты қалың болуы тиіс - Болат бетінің төмен температурасы, пеште көп жылуды сақтау - Пісірілген қабат қалың болуы керек болған соң, олар екі нұсқада бірдей болады деп болжанды
Қорытынды: Қорғаныш қаптама қабаттарының аз санының және үлкен-тікелей пеш табанының болуы тұрақты жұмысты қамтамасыз етуі тиіс; қорғаныш қаптаманың жалғыз қабаты оператордың жарылу қаупінен қорықпауға мүмкіндік беретін тамаша нұсқа болуы мүмкін.	

Қорғаныш қабырғаларға қолданылатын күрделі дауларға 8.8-суретте көрсетілгендей, қаптама сыртынан оқшаулауды қосу керек пе әлде жоқ па деген сұрақ туындатады. Кестеде артықшылықтары мен кемшіліктері ұсынылған. Қаптаманың тесілу қаупі мен температурасын теңестіру үшін түпкілікті шешім қабылдау қажет.

Оқшаулаусыз

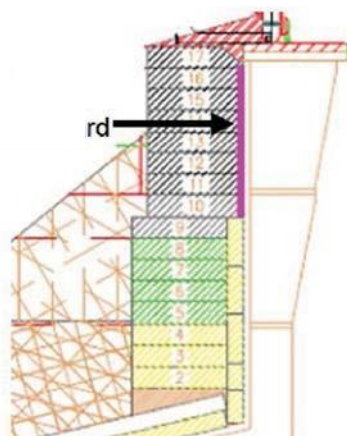
Оқшаулаумен



Қаптаманың нақты температурасы

430-470°C

12 мм
Оқшаулағыш плита



Қаптаманың есептік температурасы

295-340°C

- * Төмен температура қаптамасы мен қораптардың артықшылықтары: жылу соққысынан жақсы қорғайды
- * Сақталған жылудың көп мөлшерінің кемшіліктері: химиялық реакцияларды/тозуды жеделдету
- * Орындалған сынақтар жоғары температура мен серпілістерді көрсетеді

8.8-сурет: Қорғаныш қабырғаларын оқшаулау нұсқалары

8.2 Жұмыс түбі-Оттық/ Май құю

Жұмыс немесе ЭДП түбі электр пешінің өзі үшін шешуші мәнге ие.

Отқа төзімді материалдар жөніндегі бір данышпан француз инженері бірде маған: «ЭДП түбінің профилі араластыруға арналған тостағанға ұқсас. Егер тостаған тым терең не тым ұсақ болса, дұрыс үйлескен сұйық қамыр ала алмайсыз!»- деп еді. Басқаша айтқанда, ЭДП тиісті түрде жұмыс істеуі үшін түп пішіні бастапқы пішініне мүмкіндігінше жақын болуы тиіс. Бұл біздің «шөмішіміздің» пішінін сақтау үшін тозуды азайту және тиісті техникалық қызмет көрсету (май құю) әдістерін орнату қажет дегенді білдіреді.

Көптеген жылдар бойы моноклитті құрғақ әрі діріл материал осындай қолдануға және түп кірпішімен салыстырғанда төсеу және ұзақ қызмет мерзімі үшін қолайлы екенін көрсетті. Бұны НОК мысалында көруге болады.

Моноклитті материал функциясы - қабықты қалыптастыру болып табылады, ол:

- Қож әсеріне сезімтал емес
- Металл сынықтары әсеріне қырсылық көрсету үшін жеткілікті күші бар
- Кесектердің жарылуы мен «түсуіне» әкеліп соғатындай аса күшті не нәзік емес
- Болат балқытатын қожбен бірге жылдам әрі берік қабықтың түзілуі үшін тиісті минералогиялық құрам. Шын мәнінде бұл аумақ қолданыстағы минералогияның тамаша үлгісі. Оның базалық химиялық құрамы келесі қалыпта көрсетілген:

MgO – 75%

CaO – 20%

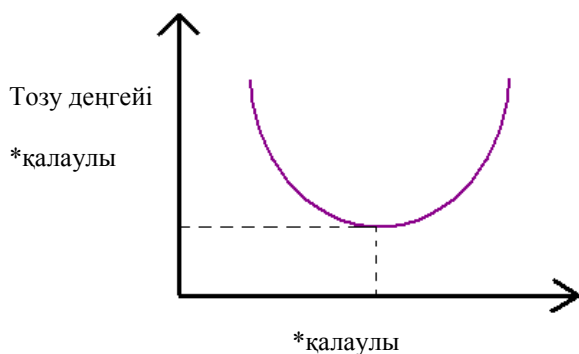
FeO – 3%

Басқасы – 2%

Бұл базалық химиялық құрам көптеген өнім берушілер үшін қолжетімді. Алайда оның артында тұрған минералогия ағымдағы орта қабықты құрайтын нүктені және қандай дәрежеге дейін екенін айқындайды.

Қабаттың қалыңдығы сұйықтықтың пайда болу температурасына байланысты.

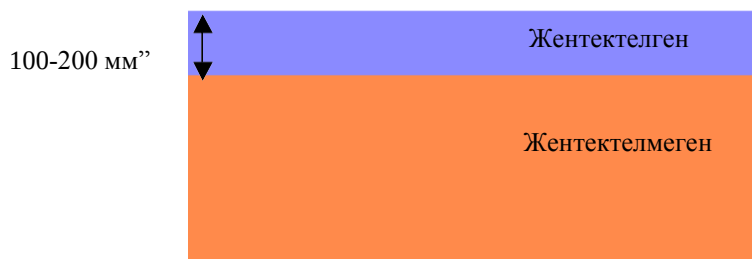
Пеш түбінің тозу дәрежесі мен агломерат қабатының қалыңдығы арасындағы ымыралы таңдау кезінде алынған қисық сызық 8.9-суретте көрсетілген.



8.9-сурет: Агломерат қабатының қалыңдығы

Пештің қаптамасын ауыстырғаннан кейін бірінші балқыту өте қиын болады, өйткені бұл ретте бастапқы қабат орнатылады және ол үшін арнайы жұмыс әдістері белгіленеді:

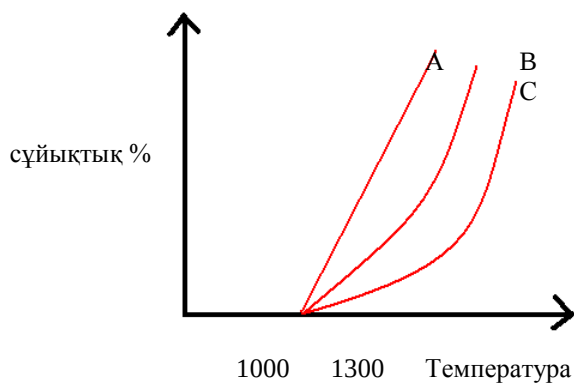
- Пешке жеңіл «борпылдақ» сынықты салыңыз және сұйық болаттың қалыптасуын күтіңіз.
- Жалпақ ваннада қабық пайда болғанға дейін 2-3 сағат күтіңіз.
- Қабық 8.10-суретте көрсетілгендей, материал жентектеле бастағанда пайда болады.



8.10-сурет: ЭДП пеш түбі агломератының қабаты

Ол қалай қалыптасатынын және одан кейін сақталатынын нақты түсіну үшін осы қосылыстар арасындағы өзара іс-қимылды түсінуге үш фазалық диаграммаларды қарастыру қажет.

Жентектеу және қабықтың пайда болуы үшін материал сұйықтықтың кейбір мөлшерін қалыптастыруы тиіс және бұл тығыздықтың ұлғаюын туындататын тесіктердің жабылуына әкеледі (2,7 г/см³-тен 3,2 г/см³-ге дейін беріктіктің тиісті ұлғаюымен). Мұны анықтағанда сұйықтық пайызын орнату керек. 8.11-суретке сәйкес сұйықтықтың пайда болуы кезінде қай қисық сызық материалға сәйкес келеді (А, В немесе С)?



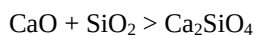
8.11-сурет: Пеш түбінде сұйықтықтың пайда болуы

Маңызды проблемалардың бірі – табиғи емес және синтетикалық жолмен түзілетін материалдардың сұйықтық дұрыс түзілуінің қисық сызығының болмауы. Себебі оларда өте ерекше балқу температурасында еритін минералдар жоқ. Оның орнына олар көбіне жағдайларға байланысты және баяу болатын химиялық реакцияларға түсуге тура келеді.

Осы автордың жеке тәжірибесіне сүйенсек, табиғи материалдар бар, олар ЭДП ірі түп материалы үшін дұрыс минералогиялық құрамның «тәңір сыйлаған» артықшылығы бар.

Олар жентектеудің қажетті қасиеттерін қамтамасыз ететін пайдалануда өзінің тиімділігін дәлелдеді.

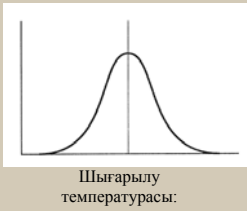
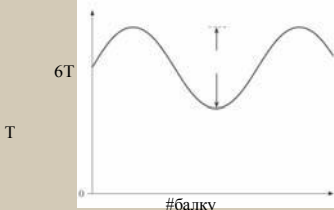
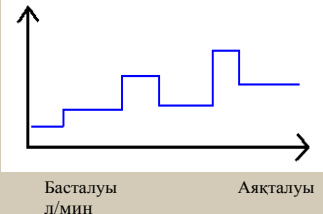
Бұл материалдарда қоскальцийлі феррит пішініндегі СаО және FeO бар. Ол жентектеу жүргізуге мүмкіндік бергенмен кейін магний ферритінің және қоскальцийлі силикаттың жоғары балқитын қосылыстары бар MgO біріктіріледі:



Осы материалдардың негізгі бәсекелестерінің бірі құрамында MgO және СаО бар доломит болып табылады; Дегенмен, бұл материалда тиісті жентектеу әсеріне жету үшін СаО тым жоғары болуы мүмкін. Кейбір жағдайларда, жергілікті нарықтағы доломиттің құны өте төмен болғандықтан ойдағы пайдалану мерзімі жоғары болмауы мүмкін. Сондықтан СЖҚ (сатып алудың жиынтық құны) оны пайдалану жағына қарай аударады.

8.5-кестеде ЖМХ талдауында тозатын учаскелер ұсынылған.

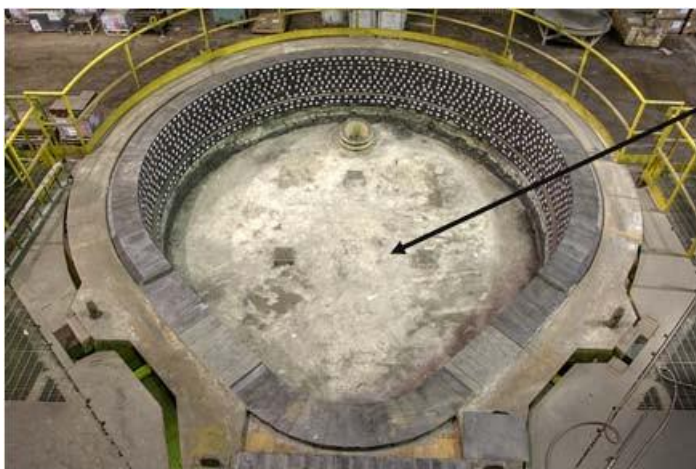
8.5-кесте: ЭДП пеш түбі үшін ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қаптаманың жұмыс температурасы - бұл болаттың температурасы және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында ұсынылған:  Бұл температура отқа төзімді позициядан өте жоғары. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Жұмыс қаптама үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балкыту/күн саны - Ағызу/апта саны Сәйкесінше, температура қаншалықты жиі әрі қанша рет өзгереді?  - Қаптамада аздаған жылу соққысынан бір операция ішінде күніне 30 балкыту және азғантай ағу болады. Дегенмен, қос қаптамада күніне 11-12 балкыту және күнделікті ағызу орын алса да, ол күштірек болады. Тағы бір маңызды фактор - «батпақтың» мөлшері (немесе әрбір балкытудан кейін қалатын сұйық болаттың мөлшері). Ол неғұрлым көп болса, соғұрлым 6T тұрақты деңгейде ұстап тұрады. Осылайша, термосоққы ЭДП пеш түбі үшін маңызды фактор болмаса да операцияға байланысты осылай болуы мүмкін.
Механикалық	Соққы әсері	Әдетте пеш түбінің орташа әсер ету дәрежесі, негізгі факторлар қосылатын сынықтардың түрлері мен саны, сондай-ақ әрбір балкыту кезінде «жастық» ретінде сақталатын «батпақтың» саны болып табылады. Егер пеш түбі тиісті жентектеуді қамтамасыз етсе, бұл соққы әсер маңызды фактор емес екенін кепілдеу үшін жеткілікті болуы тиіс.
	Қажалу	Қажалу шамасы операцияға тікелей байланысты. Кейбір операциялар кезінде қажалу болмайды. Басқаларында араластыру үшін терезе фурмалары немесе аргонға арналған түптік тығындар тобы немесе тіпті оттегі фурмалары іске қосылған. Олардың барлығы қажалуды және түптің тозуын күшейтеді. Төменде ұсынылған аргонның түп тығындарына арналған араластыру профилі жақсы мысал болып табылады.   Осылайша, қажалу ЭДП пеш түбі үшін маңызды фактор болмаса да операцияға байланысты осылай болуы мүмкін.

	Қосымшаланған кернеу	Пеш түбінің биіктігі, әдетте, түптің өзіне берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Кестеде келтірілген ЭДП қож базалық сипатқа ие болғандықтан базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Түбінің өзі кеуекті болғандықтан, ЭБП пештерінде түп қызғанша және бетін нығыздайтын жентектеу болмайынша, әдетте проблемалар пайда болады. Материалдың жентектелуі, сондай-ақ химиялық сипаттамалар дұрыс материалды таңдау үшін анықталуы қажет негізгі параметрлер болып табылады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет. ЭДП қорғау түбі үшін бұл проблема емес.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

ЭДП пеш түбінің қорғаныш қаптамасының базалық құрылымы 8.12-суретте көрсетілген.



ЭДП-ның түбі:

- Дұрыс орнату әдістерін талап ететін жылдам тозатын аумақ.
- Болат құю кәсіпорындарының көпшілігі тиісті химиялық реакциялар үшін MgO және CaO қосылған базалық материалдан жасалған монолитті түп материалын пайдаланатын болады.
- Кірпіш қаптаманы қолдануға болады. Бірақ пештің пішінінің күрделілігіне және ең аз өнімділік айырмашылығына байланысты бұл өте сирек кездеседі.
- Материалдарда таза магнезия мен әктас бар екенін атап өткен жөн. Сондықтан төсеуден кейін гидратацияға төзімділікті қамтамасыз ету маңызды.

8.12-сурет: ЭДП түбінің құрылымы

Жөндеуге арналған ЭДП түбіне арналған май құю материалдары 8.6-кестеде сипатталған.

8.6-кесте: Жөндеуге арналған ЭДП пеш түбіне арналған май құю материалдары

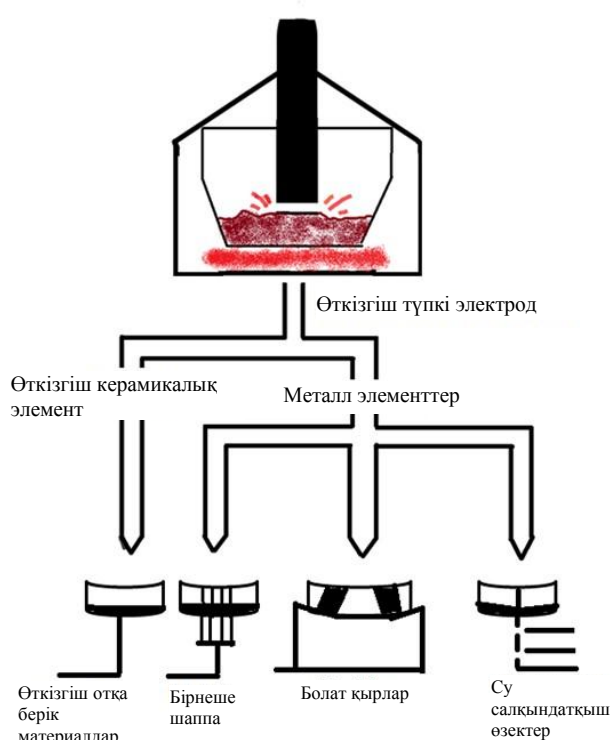
Маңызды факторлар	Маңызды деректер
Материалды қабылдау үшін қолайлы бет	Жөндеу материалдары үстіңгі қабатқа тиісті түрде ілініп, алғашқы балқыту кезінде қожқа шайылмайтындай етіп, беті барынша таза болуы тиіс. Сіз қаптамау керек болған кезде, шығару температурасын арттыру және соңғы балқыту кезінде пешті толығымен босатып, сұйық «батпақты» түсіре отырып, 2-3 балқытуға алдын ала дайындалу қажет. Бұл өлшемдерге жауап беретін, гарнисажсыз таза бетті, қождың кесектерін және адгезияға кедергі келтіретін басқаларды қамтамасыз етуі тиіс. Егер пеш түбінің орталығы тым ұзын болса, ешқандай дайындық сұйықтықты орталықтан шығармайды және бұл жөндеуге жатпайды. Науканның соңына жақын жерде көп мөлшерде емес, аз мөлшерде жөндеу жүргізу өте маңызды (бұл пайдасыз болады).
Тиісті конструкция материалдары	Май құю материалдары түбіндегі материалдарға ұқсас. Бірақ дәннің ұсақ өлшемімен және келесі балқытуға дейін жылдам жентектеу және бетін жақсы ұстап қалу үшін балқытудың сәл төмен температурасына байланысты артықшылыққа ие. Олар қаптама балкымалар арасында жасалғандықтан уақыт жеткіліксіз болып жатады (30-45 минут)
Дұрыс төсеу	Орнатудың ең оңай жолы-пештің үстінде материалмен қапты ұстап, күтіңіз, түбі балқығанда, содан кейін оны төмен түсіріңіз. Бұл үлкен алаңды қамту үшін қолайлы, бірақ сапаға теріс әсер етеді, өйткені материал бір жерде тығыз орналасқан және басқаға түспейді-араластыру үшін ең жақсы шара емес. Бұл қолдануға қолайлы құю машиналары әзірленді (8.13-суретте көрсетілгендей). Тарату жүйесін орнату үшін ең қолайлы, себебі материалдың қажетті саның біркелкі қосуға болады. Бұл ретте әдіс те материалдар қалдықтарының аз мөлшері байқалады.



8.13-сурет: ЭДП құю машинасы

Тұрақты тоқтағы пеш түбімен салыстырғанда ауыспалы тоқтағы пеш түбі

Осы уақытқа дейін талдау ауыспалы және тұрақты тоқ түріне байланысты болған емес. Тұрақты тоқта жұмыс істейтін пештің түбімен туындайтын қосымша қиындық - электр қуатының түбі арқылы жүргізілуі тиіс және бұл 8.14-суретте көрсетілген төрт тәсілдің бірімен жасалады.



8.14-сурет: Тұрақты тоқтағы ЭДП түбінің құрылымы

8.8-кесте: Түптер құрылымының түрлері және негізгі қасиеттері

Пеш түбі құрылымының түрлері	Негізгі қасиеттері
Өткізгіш түпкі отқа берік материал	Балкитын тоқтың сынықтарын жасау үшін ол арқылы өтетін электр қуаты бар өткізбейтін отқа төзімді кірпішпен қаптау пайдаланылады. Бұл үшін көміртекті кірпіштер мен тегістейтін отқа төзімді масса қолданылады.
Су салқындатқыш өзектер	Тоқ бойынша рұқсат етілген жүктеме үшін кірпішпен қапталған диаметрі ~ 250 мм болат дайындамалар қолданылады. Түптің қалған бөлігі ауыспалы тоқ пешінде қолданылатындарға ұқсас қарапайым материал болып табылады.
Болат қырлар	Қалыңдығы ~ 2 мм, ені 100 мм және олардың арасындағы қашықтығы 75-100 мм болат қабырға тоқ бойынша рұқсат етілген жүктемені анықтау үшін пайдаланылады және көміртекті бар астыңғы моноклитті материалмен қоршалған. Түптің қалған бөлігі ауыспалы тоқ пешінде қолданылатындарға ұқсас қарапайым материал болып табылады.
бірнеше алғыр	Диаметрі ~30 мм (~150 дана) болат шаппалар тоқ бойынша рұқсат етілген жүктемені анықтау үшін пайдаланылады және көміртекті астыңғы моноклитті материалмен қоршалған. Түптің қалған бөлігі ауыспалы тоқ пешінде қолданылатындарға ұқсас қарапайым материал болып табылады.

Кестеде көрсетілгендей, пештердің осы түрлері үшін арнайы отқа төзімді және жөндеу материалдары қажет.

ЭДП түбі бойынша кеңестер мен ұсыныстар

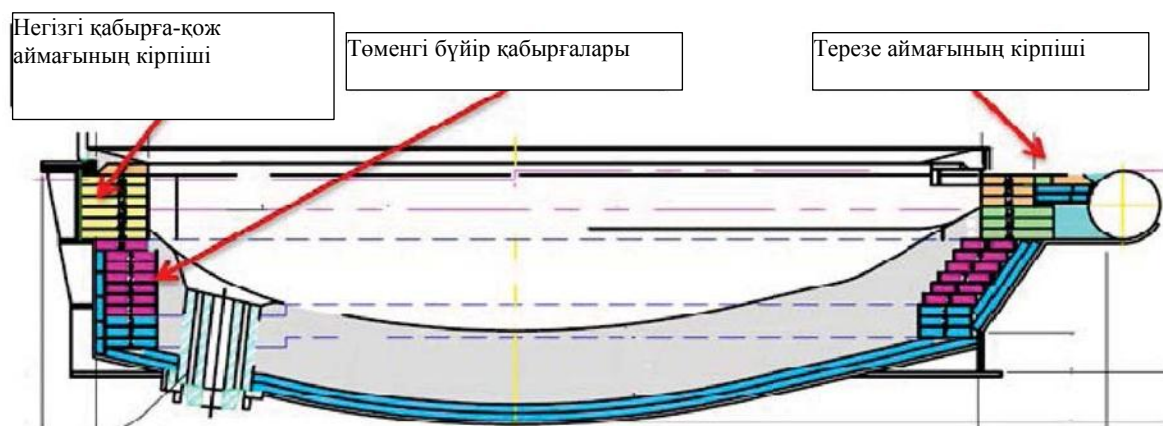
- Түп материалын орнатуды барынша баспалап, тығыздылығын күшейту үшін жұқа қабаттарда вибрациялық машиналардың көмегімен орындаған жақсы. Вибрациялық тістеуіктер жоғары жиілікті диапазонда ең жақсы болып табылады. Ал орнатылатын қабатқа 100 мм ең жоғары тереңдікке орнату - ең жақсы әдіс.
- Науқандар арасында пештің түбін бөлшектеу кезінде, сізге қауіпсіз кірпішті жұмсаудың қажеті жоқ; оның орнына жаңа материалды ескі материалға жақсы байланыстыруды қамтамасыз ететін «жаңа» материалды жұмсаңыз. Ескі материалдың беті осы тұтқыр әсерді алу үшін кедір-бұдыр және тазартылған қырғыш болуы тиіс.
- Пеш түбіндегі материалды орнату кезінде пешті орнатар алдында, оны ішке салар алдында, соңғы күнге дейін күтіңіз. Кез келген ауадағы су, шатырдан таматын тамшылар және тағы басқалар материалға түсуі мүмкін. Бірінші балқыту кезінде бұл ылғал буға айналады, және түптің үлкен бөліктері қирауы мүмкін. Бұл өте маңызды, өйткені біз судың ЭДП төбесінің, панельдерінің және тағы басқалардың ауысуына байланысты пешке түсіп, содан кейін бірінші балқыту кезінде бетіне шығып кететінін бірнеше рет байқадық!!! Егер су бар деген күдік болса, тоқтау керек, ішке кіріп, жаңа материалға дейін барлық учаскені табу керек, содан кейін қайта орнату керек.
- Сіздің «араластыруға арналған тостағанға» қаншалықты жақсы қызмет ететінін, пештің түбіне арналған өлшеу аспаптарымен айқындалады (8.15-сурет қар.). Стандарт бастапқы профиль болып табылатын тізбектерді қолдану арқылы төменде көрсетілген (бұл тас қалаушының профиль жасауы үшін де қолданылады). Бұл өзгерістерді науқан соңында (8.15-суретте көрсетілгендей), сондай-ақ науқан кезінде жұмыс тәртібінде де қолдануға болады. Кейде уақытша шектеулерге байланысты ұстап тұру операциясы кезінде жұмыс тәртібінде болмайды; алайда бұл жақсы өнімділік үшін маңызды. НОК кеңінен қолданылатын лазерлік контурлық өңдеу көптеген зауыттарда ЭДП-ке әсер етпеді.



8.15-сурет: ЭДП түбіне арналған өлшеу құралы

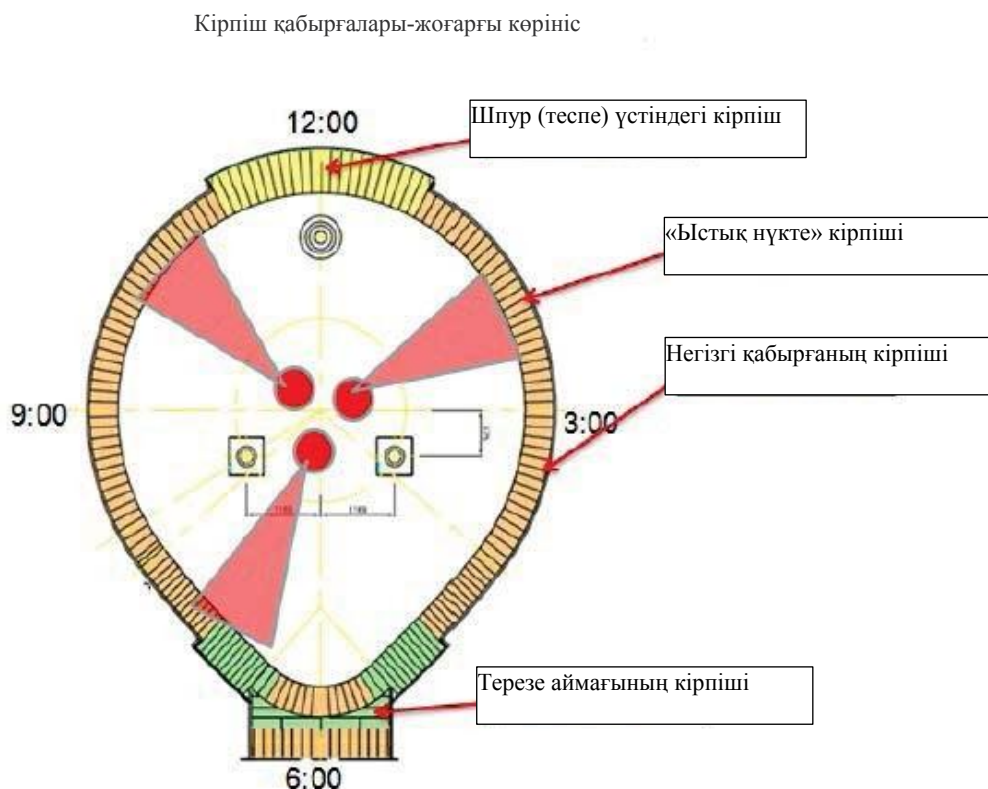
8.3 Жұмыс қабырғалары

ЭДП-ның жұмыс қабырғалары электр пешінің өзі үшін шешуші мәнге ие және оның қызмет ету мерзімін айқындайды. ЭДП базалық құрылымы көлденең қимада 8.16-суретте көрсетілген.



8.16-сурет: ЭДП базалық құрылымының көлденең қимасы

ЭДП базалық құрылымының жоғарғы жағынан көрсетілген түрі 8.17-суретте берілген.



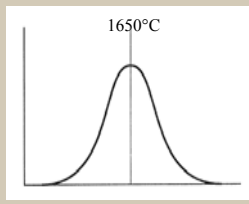
8.17-сурет: ЭДП базалық құрылымының үстіңгі түрі

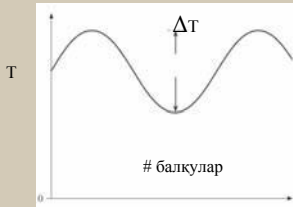
8.9-кестеде көрсетілгендей, негізгі жұмыс параметрлері және/немесе пеш негізгі конструкцияларға байланысты аймақтарға бөлінген. 8.10-кестеде ЭДП қабырғаларына арналған ЖМХ талдауы берілген.

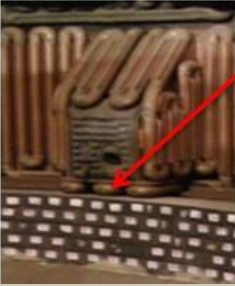
8.9-кесте: Негізгі конструкцияларға және/немесе негізгі жұмыс параметрлеріне байланысты ЭДП аймақтары

Алаң	Сипаттамасы
Теспе үстіндегі кірпіш	Шығару процесі кезінде онда тұрған қожқа байланысты қатты тозуға бейім теспе аймағының үстіндегі кірпіш.
Терезе аймағының кірпіші	Қаптаманың құрылымына байланысты ерекше төсеуді талап ететін терезе үюші аймақтың кірпіші
Негізгі қабырға-қож аймағының кірпіші	Бұл кірпіш биіктігі 700 мм-ге жуық жолағы бар пештің құрылымының көп бөлігін құрайды. Ол балқыту процесінің көп бөлігі қожбен түйіседі және «қож аймағының» кірпіші деп аталады.
«Ыстық нүкте» кірпіші	«Ыстық нүкте» кірпіштері-бұл электр доғасының тұтану желісіндегі кірпіштер. Олар доғалар тиісті түрде тереңдетілмеген болса өте жоғары температураға ұшырайды. Әдетте бұл қож аймағының кірпіштері бар осы қосымша тозу тетігі. 8.17-суреттегі сызба мына секциялардың енін көрсетеді.
төменгі бүйір қабырғалары	Төменгі бүйір қабырғалары ваннадағы электролит деңгейінде қож астындағы кірпіштен тұрады. Бірақ олар ағызу кезінде және пеш түбінің дөңес құламаларының бұзылуынан басқа қождың тікелей әсеріне ұшырамайды.

8.10-кесте: ЭДП-ның қабырғаларына арналған ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы және оның ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында төменде ұсынылған:  Шығарылу температурасы: Бұл температура отқа төзімді позициядан өте жоғары. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет. «Ыстық нүктенің» қорғалмаған аймақтарында доғаның температурасы > 3000°C және кірпішті тез бұзады. Электр доғасын жасыратын көбікті қождың табысты әдістемелері ЭДП отқа берік материалдарын табысты қолдану үшін шешуші мәнге ие.

	Термо соққы (6Т)	Жұмыс қаптама үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балқыту/күн саны - Пешті алдын ала қыздыру дәрежесі Демек, температура қаншалықты жиі әрі қанша рет өзгереді?  - Қаптамадағы бір операция үшін күніне 30 балқыту болуы мүмкін. Бұл шамалы термосоққы. Дегенмен, екілік қаптамада күніне 11-12 балқыту болуы мүмкін. Бұл жағдайда термо соққының пайда болуы айтарлықтай болады. Тағы бір маңызды фактор-пешті алдын ала қыздыру. Стандартты мерзімді операция үшін циклдық табиғи газды алдын ала қыздыратын қос қаптамадан жоғары болады, бірақ екі жағдайда да шахта пеші немесе Sopac үздіксіз беру сияқты үздіксіз процеске қарағанда аз. Төменгі бүйір қабырғаларына арналған термо соққылар аз, өйткені олар пеш табаны материалмен қорғалған. Сондықтан термо соққы, әдетте, процестің кезеңдік сипатына байланысты ваннадағы электролит деңгейінен ЭДП кірпіші үшін маңызды фактор болып табылады.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте бүйірлік қабырғаның кірпішіне әсер ету деңгейі аз және тозуға қатты әсер етпейді. Жалғыз терезе кірпішінің аймағы ерекшелік болып табылады. Осы аймақта кірпішті зақымдауы мүмкін тазалау тракторлардың, экскаваторлардың, Gradall машиналарының және басқа да механизмдердің көмегімен жүргізіледі. Бұл жердегі басты кеңес - терезе аймағының созу әдісімен тазартылатынына көз жеткізу болып табылады. Себебі бұл аймақта кірпіштің пештен итеріп шығарылуына әкеп соқтырады!
	Қажалу	Бүйір қабырғалары кірпіштің қажалу дәрежесі аз және тозуға қатты әсер етпейді. Ерекше болып табылатын жалғыз аймақ - бұл терезе кірпішінің аймағы. Ол арқылы қос өтеді. Тазалау тракторлардың, экскаваторлардың, Gradall және т. б. машиналарының көмегімен жүргізіледі және олар осы аймақта кірпішті зақымдауы мүмкін.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйір қабырғасының биіктігі әдетте пеш түбінің қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 8.0-бөлімде келтірілген ЭДП шлагы базалық сипатқа ие. Ал бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Сондықтан, магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ. Айта кету керек, табиғи газды, оттегі мен көміртекті үрлеу ЭДП-те қалыпты болады. Сондықтан жоғары жылдамдықты оттегімен әсер ету арқылы кірпіштің жоғарғы қабатына әсер етуі мүмкін. Ол магнезиялы - көмір кірпішінің кез келген түрін тез жояды. ЭДП үрлеу:  Егер үрлеу бұрышы газ кірпішке жетсе немесе оған жақын болса - тез тозатын механизм. Егер оттегі жоғары жылдамдықта кірпіш бетіне кері ауытқаса, проблема туындайды.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен байланысты туындайды. Бұл, әрине, ЭДП пештерінде проблема тудырады себебі кірпішке тотығудан кейін жоғары температуралы сұйық қождар енуі мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	ЭДП өте кең және көптеген кірпіштерден құралғандықтан кірпіштен қаланған жіктердің өздерінде кеңеюіне жеткілікті шақтамасы бар. Демек, Жылулық кеңеюнің кернеу мәселесі туындамайды. Проблема туындайтын жер - бұл тым тығыз бола отырып кейбір материалдардың жарылуына ұшыратуы мүмкін терезе аймағының айналасындағы аймақ.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қождар мен термоциклдеудің енуінің үйлесуі ену аймағында сынуға әкеп соқтырады. Сынықтардың немесе үрленетін ағындардың осы учаскелерге әсер ету күші оны одан әрі тездетуі мүмкін.

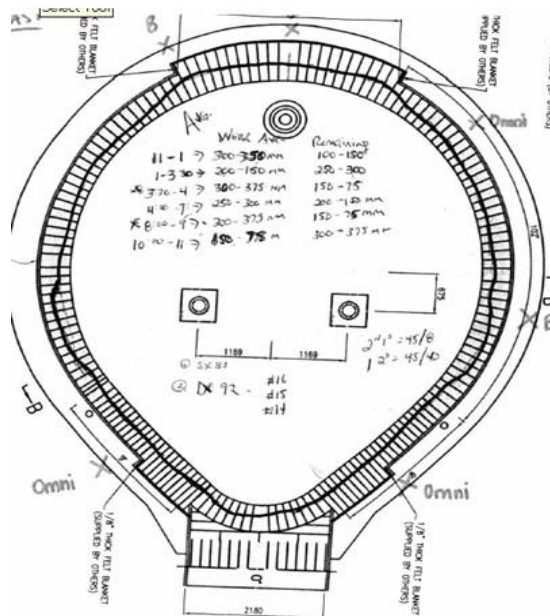
Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Жалпыланған конструкцияны талқылау алдында барлық пештер науқанының соңында, тозу дәрежесі және пайдалану жағдайларында кез келген өзгерістер тез анықталатынына және есепке алынатынына кепілдік беру үшін барлық аймақтарда үзілу профилі болуы тиіс екенін түсіну керек. Типтік алшақтық профилі төменде көрсетілген.

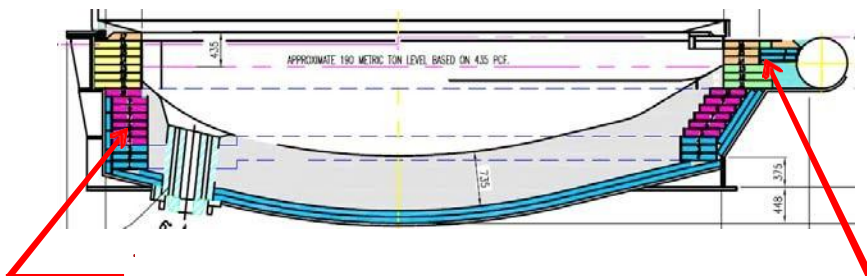
ЭДП жұмыс қабырғасының қаптама тозуының базалық профилі 8.18-суретте көрсетілген.

8.18-сурет: ЭДП кірпіш үлгісінің үзілуі туралы есеп

RHI AG компаниясы ұсынған.



ЭДП пештерінің үлгі конструкциялары 8.19 және 8.20-суреттерде көрсетілген.



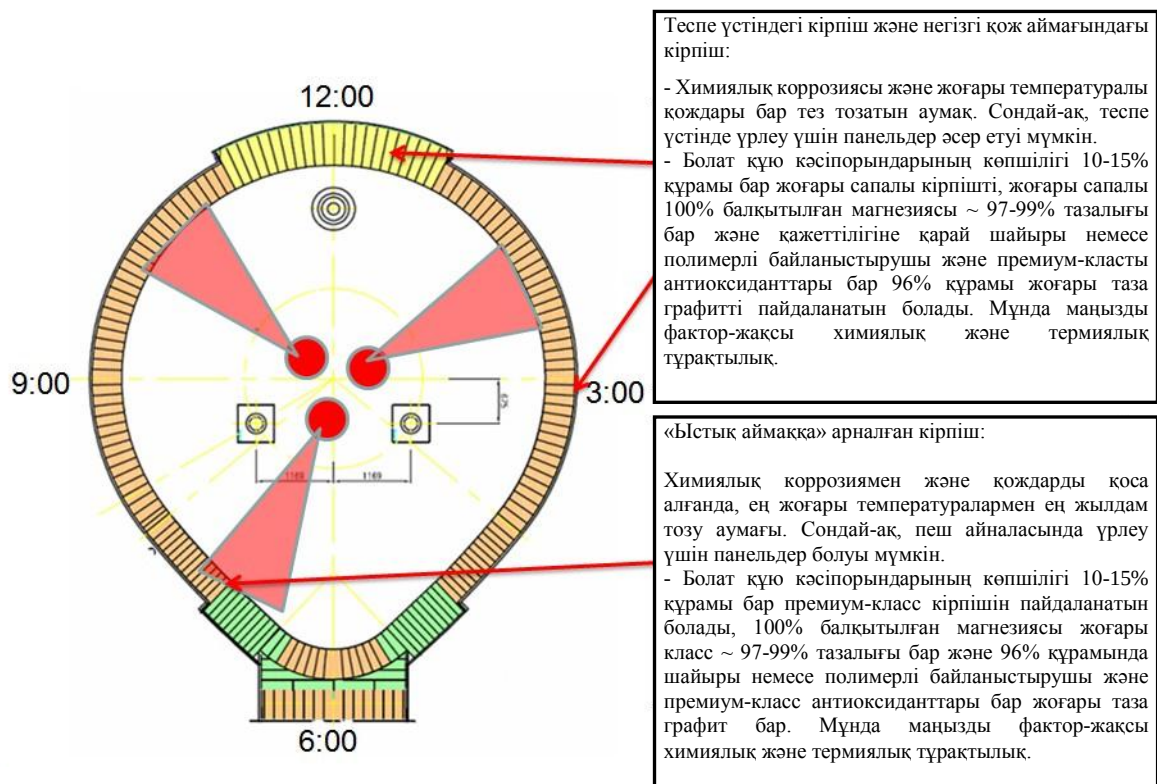
Төменгі бүйір қабырғалары:

- Тозуға төзімді бөлігі, герметикалығы металл енуіді болғызбау үшін негізгі фактор болып табылады
- Болат құю кәсіпорындарының көпшілігі құрамында 95% MgO, 5% жоғары сапалы магнезиясы және құрамында 94% шайыр немесе полимерлі байланыстырғыш бар графит бар төмен және орташа сапалы кірпішті пайдаланатын болады. Мұндағы маңызды фактор тұрақтылық болып табылады. Өйткені оларды бірнеше компания үшін пайдалануға болады.
- Ұзақ қызмет ету мерзімі үшін таза магнезиалы кірпішті пайдалану кезінде оның гидратацияға тұрақтылығын қамтамасыз ету қажет. Өнім беруші мұны тапсырыс бойынша жасайды (әдетте ылғалданған немесе құрамында дөңді жабатын аз мөлшерде бор бар фосфор қышқылы).

Терезе аймағының кірпіші:

- Тозуға төзімді аумақ үйкеліс пен әсерге байланысты нығайту қажет.
- Болат құю кәсіпорындарының көпшілігі сапасы төмен немесе орташа кірпішті пайдаланатын болады құрамында ~ 95% MgO, 5% сапасы төмен магнезиясы бар және 94% құрамында шайыр немесе полимерлі байланыстырғыш пайдаланылатын графит бар. Мұндағы маңызды фактор тұрақтылық болып табылады. Өйткені оларды бірнеше компания үшін пайдалануға болады.
- Ұзақ қызмет ету мерзімі үшін таза магнезиалы кірпішті пайдалану кезінде оның гидратацияға тұрақтылығын қамтамасыз ету қажет. Өнім беруші мұны тапсырыс бойынша жасайды (әдетте ылғалданған немесе құрамында дөңді жабатын аз мөлшерде бор бар фосфор қышқылы).
- Монолитті материалдарды, егер олар тым көп болмаса, кеңейтуге/толтыруға рұқсат бере отырып, материалдар ретінде пайдалануға болады, әйтпесе бұл ұқыпсыздық пен тұрақсыздық әкеледі.
- Ескі пайдаланылған электрод әдетте сыртқы жиекте жақсы қож ағынының кедергісі бар арзан материал ретінде қолданылады.

8.19-сурет: ЭДП пешінің құрылымы



8.20-сурет: ЭДП пештерінің құрылымы

Қабырғаларды жөндеуге арналған торкрет

Қабырғаларды жөндеу үшін барлығынан торкретті пайдалану жақсы болады. Ең жақсы жөндеуді жүзеге асыру үшін 8.11-кестеде көрсетілгендей үш негізгі факторды ескеру қажет.

8.11-кесте: ЭДП қабырғаларын торкреттелген жөндеуге арналған маңызды факторлар

Маңызды факторлар	Маңызды деректер
Материалды қабылдау үшін қолайлы бет	Жөндеу материалдары үстіңгі қабатқа тиісті түрде ілініп, алғашқы балқыту кезінде қожқа шайылмайтындай, беті барынша таза болуы тиіс. Торкреттеу кезінде гарнисажсыз, қождың кесектерінсіз және адгезияға кедергі келтіретін өзге де критерийлерге жауап беретін таза бетті қамтамасыз ету қажет. Пеш қабырғаларын кішкентай тесіктерден үлкен тесіктерге, шұңқырларға және т.б. жөндеуге болады. Торкреттің қалың қабаттары торкреттің артқы жағындағы будан құлап кетуі мүмкін болғандықтан, материалды көп мөлшерде емес, жиі және аз жөндеген дұрыс. Жөндеу үшін құлап қалған кірпіштері бар үлкен жөнделетін учаскелер үшін, сондай-ақ шоткреттеуді пайдалануға болады. Алайда, бұл ұзақ кептіруді талап етеді және оны кәсіби мамандар жүргізуі тиіс.
Тиісті конструкция материалдары	Торкрет әдетте 90-95% магнезия негізіндегі фосфаттарды немесе силикаттарды ұстап тұратын жүйелері бар материалдар болып табылады. Бұл материалдар бөлшектер өлшемдеріндегі, шикізат және байланыстырушы заттар жүйелеріндегі айырмашылықтар негізінде бөлінеді және пайдалану процесінде дұрыс материалдарды анықтау үшін сынақтар жүргізу қажет. Торкреттердің көпшілігі жағу сапасы мен өңдеу шарттарына байланысты тек 4-12 балқытуға шыдайды. Торкретті сынау жақсартуларды мониторингілеу және анықтау үшін өте күрделі екенін атап өткен жөн. Өйткені өңдеу шарттары, жағудың өзгергіштігі (әртүрлі операторлар) және уақытты таңдау/жұмыс талаптарына байланысты пайдалану - барлығы кг/тоннада нақты пайдалануда рөл атқарады. Мұнда отқа берік материалдар жөніндегі инженердің осы салада машықтары болуы және судың мөлшеріне байланысты материалдың секіру жылдамдығы мен икемділігін сезіну үшін торкреттеуді бірнеше рет өз бетінше жүргізе алуы маңызды. Торкретті сынау бойынша неғұрлым ұзақ кампаниялар, материалдар арасындағы айырмашылықты қамтамасыз етудің ең жақсы тәсілі болып табылады.

Дұрыс төсеу

Қалаудың ең оңай жолы- (8.21-сурет қар.) шлангтармен және кол құбырларымен жалғанған торкреттеу машинасын пайдалану. Бұл әдістің құны төмен болса да қолдануда мүлдем тиімді емес. Өйткені әр түрлі орындарды жөндеу үшін пештің айналасында адамдардың болуын талап ететіндіктен бұрыштары тік болуы тиіс.



8.21-сурет: ЭДП торкреттеуге арналған машина

ЭДП үшін торкреттеуге арналған қолайлы машиналар едендік, топсалы иініректі болуы, ортасына немесе қабырғаға монтаждалуы мүмкін (8.22-суретті қар.). Бұл өте ерекше жерлерде көп материалды орналастыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар жөндеу уақыты шектеулі жоғары өнімді цехтар үшін ең аз ШТСТ әкелетін ең жақсы нұсқа.



8.22-сурет: ЭДП торкреттеу

Тұрақты тоқтағы пеш түбімен салыстырғанда ауыспалы тоқтағы пеш түбі

Кірпіштің тозуы үшін ауыспалы және тұрақты тоқпен пештер арасындағы айырмашылық маңызды емес. Пештерде тұрақты тоқпен «ыстық нүктемен» проблема болмайды және кірпіш қалау жүйесін құру үшін олар қиын емес. Әдетте, тозу дәрежесі және торкреттеуді қолдану тұрақты тоқтағы пештер үшін аз болуы тиіс.

ЭДП кірпішін жөндеу

ЭДП-ның кірпіш қабырғаларын жөндеуге және қызметкерлер үшін пешке қауіпсіз кіру мәселесін шешуге болады. Қол жеткізу әдетте ашық төбесі бар қож есігі арқылы жүзеге асырылады және егер мүмкін болса, ішкі кеңістік шектеулі болмауы үшін жоғарғы қаптамасы алынады. Ең жақсы жөндеуді жүзеге асыру үшін 8.12-кестеде көрсетілгендей үш негізгі факторды ескеру қажет.

8.12-кесте: ЭДП-ның кірпіш қабырғаларын жөндеу үшін маңызды факторлар

Маңызды факторлар	Маңызды деректер
Қабылдау үшін қолайлы бет Материал	Кірпішті дұрыс орнату үшін оның беті барынша таза болуы керек. Барлық ескі, тозған кірпіштерді ұзындығы жағынан ғана емес, конструкцияның тұтастығы тұрғысынан да жою керек. Егер кірпіштер тотығып немесе ылғалданса (балға соғылғанда жұмсақ), сондай-ақ оларды тегіс және таза бетті алғаннан кейін алып тастау керек, кірпіштер герметикалықты қамтамасыз ету үшін соңғыларды орнатуға және егеуге болады. Пеш қабырғаларын кішкентай тесіктерден үлкен тесіктерге, шұңқырларға және т.б. жөндеуге болады. Өндірісті жаңарту кезінде қабырғаның бүтіндігін қамтамасыз ету үшін қажет бөліктен сәл үлкен бөлікті жөндеу жақсы болады.
Тиісті конструкция материалдары	Кірпіштерді бастапқыдағы немесе одан да сапалы кірпіштерге ауыстыру қажет. Қысқа мерзімді жөндеудің нұсқасы қайта өлшеудің белгілі бір күніне үлгеру үшін болады. Онда мүмкін болатын тәуекелдерді толық сезіне отырып, сапасы төмен кірпіштерді пайдалануға болады.
Дұрыс төсеу	Жөндеуді жүзеге асыру кезінде кірпішті металдың ықтимал ағуына жол бермейтін арнайы оқытылған тас қалаушылар орындауы тиіс.

8.4 ЭДП үшін аргонды араластыру жүйелері

Жұмыс түбі немесе ЭДП асты электр пешінің жұмысы үшін шешуші мәнге ие. Жұмыс жағдайындағы пеш түбіне қосымша аргонды ЭДП түбімен араластыруға байланысты қосымша металлургиялық артықшылықтар бар (8.23-сурет ретінде ұсынылған).

ЭДП-ны аргонды араластыру артықшылықтары:

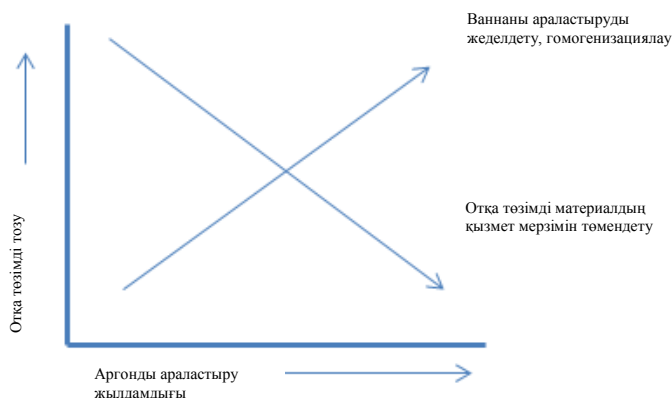
- Көміртекті қатты қайнату емес
- Температураның ең жақсы біркелкілігі
- Үздік химиялық біртектілік
- Сынықтарды жылдам балқыту
- Пештің тоқ астында жұмыс істеу уақыты аз
- Балқытуға қажетті энергияның аз мөлшері
- Электродтардың ең жақсы шығыны

ЭДП аргонды араластыру тәуекелдері:

- Түптің жарылу қаупі жоғары
- Шамадан тыс қатты араластыру кезінде оттегінің созылу қаупі

8.23-сурет: Аргонмен араластырудың артықшылықтары

Аргонмен араластырылуының кемшілігі - жоғарғы түптік тозу және науқан ұзақтығының аздығында. Әрбір илемдеу цехы пештің өткізу қабілеті (нт/с) мен пештің отқа берік материалдарының ұзындығы арасындағы өз тепе-теңдік нүктесін табуы тиіс (8.24-сурет).

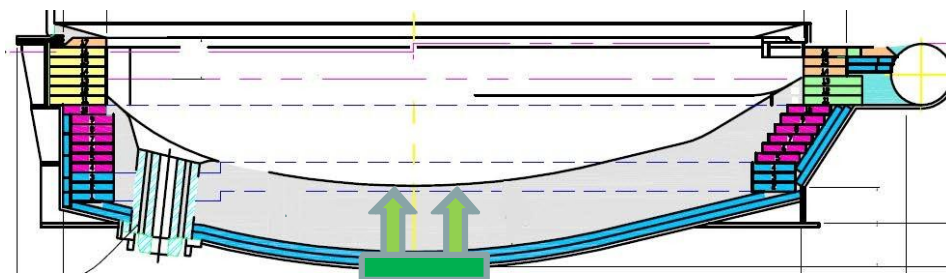


8.24-сурет: ЭДП аргон шығысының параметрлері

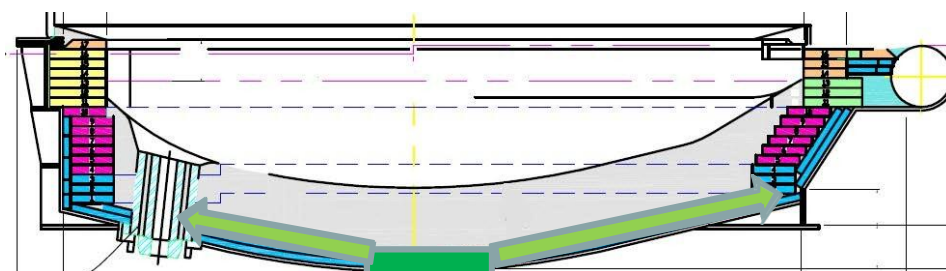
Осылайша, аргонды араластыру сәтті құрал болып табылады және оның отқа төзімді аспектісі талқылауға жатады.

Аргонның түбін араластырудың екі түрі бар - тікелей емес (пеш түбі арқылы көпіршіктермен) және тік (отқа төзімді тығындарды пайдалана отырып).

8.25-сурет схемасында тікелей емес жүйенің қалай жұмыс істеу керектігі және практикалық пайдалану кезінде қалай жұмыс істейтіні бейнеленген.



Бұл қалай жұмыс істеу керек? (пеш түбі арқылы орталық бойынша көпіршіктер жоғары көтеріледі)

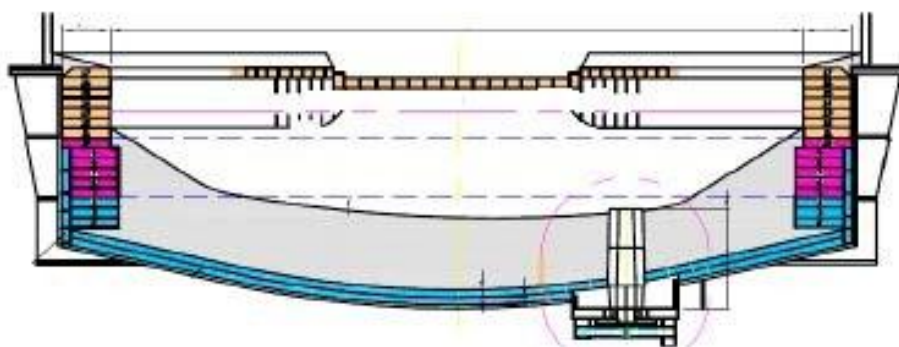


Бұл қалай жұмыс істейді? (пеш табанының агломераттары және көпіршіктер барлық пеш табаны бойынша таралады).

8.25-сурет: Аргонды ЭДП-да түптік араластыру-пеш түбін барботаждау

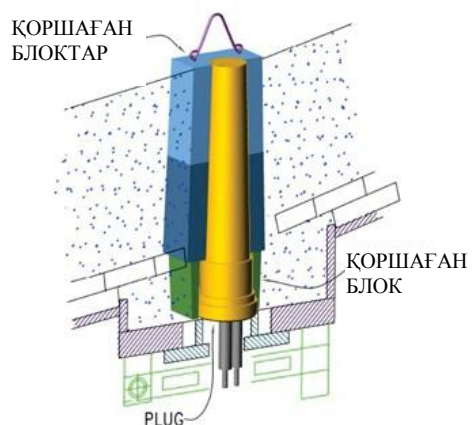
Бұл жүйенің негізгі артықшылығы - ұзақ қызмет ету мерзімі. Өйткені ол кеуекті түп арқылы жұмсақ барботаждауды пайдаланады. Дегенмен олардың металлургиялық пайдасы болмайды. Тағы бір маңызды артықшылығы - тікелей тығындар пайдаланылмайтындықтан, серпіліс тәуекелін төмендету болып табылады.

8.26-суретіндегі келесі сұлбада тік жүйе және тығындар жақсы ағысты қамтамасыз ете отырып, ваннамен тікелей байланыста болады.



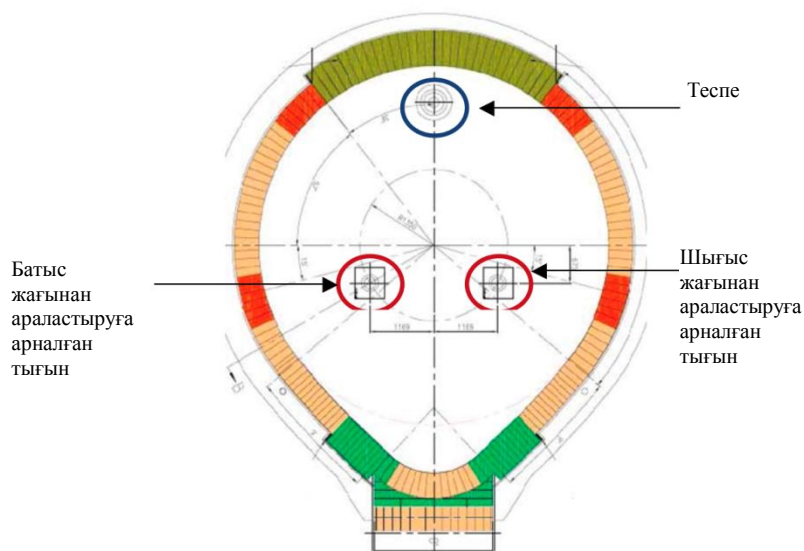
8.26-сурет: ЭДП үшін аргонды араластырудың тікелей жүйесі

8.27 және 8.28-суреттерде ЭДП-ның түбіне орнатылған тығындардың орналасуы мен салыстырмалы жағдайы көрсетілген.



RHI AG компаниясы ұсынған

8.27-сурет: ЭДП үшін аргонды тікелей араластыруға арналған тығындар



8.28-сурет: ЭДП-ның түбінде орнатылған тығындардың орналасуы және салыстырмалы жағдайы

Сонымен, 8.29 және 8.30-суреттерде тығындармен жасалатын араластырудың нақты әсерін көрсететін ағынның әртүрлі жылдамдығымен пайдалану процесінде нақты ЭДП көрсетілген.



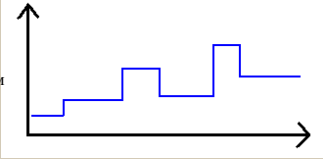
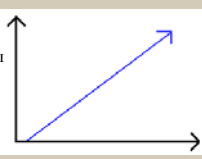
8.29-сурет: 10 л/мин ағын жылдамдығымен ваннаны аргонмен араластыру

8.30-сурет: 30 л/мин ағын жылдамдығымен ваннаны аргонмен араластыру

8.13-кестеде ЭДП аргонмен араластыру жүйесі үшін ЖМХ талдауы берілген.

8.13-кесте: ЭДП-да аргонмен араластыру жүйесіне арналған ЖМХ талдауы (байланыс түрі)

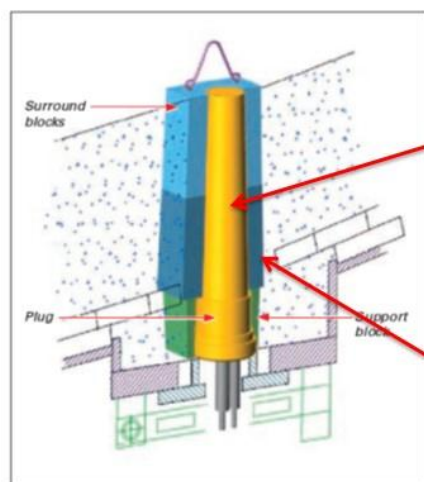
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында ұсынылған: Шығарылу температурасы: Бұл отқа төзімді позицияда өте жоғары температура. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (бТ)	Термоциклдеу жұмыс қаптамасы үшін жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балкыту/күн саны - Ағызу/апта саны Демек, температура қаншалықты жиі өзгереді және қаншалықты? - Қаптамадағы бір операция үшін күніне 30 балкыту және азғантай термо соққысы бар құйма ал екілік қаптамада күніне 11-12 балкыту және күн сайынғы ағызу болуы мүмкін. Бұл жағдайда термо соққылар кезінде жарылу әсері күшті болады. Тағы бір маңызды фактор - «батпак» мөлшері (немесе әрбір балкытудың соңында пеште қалатын сұйық болаттың мөлшері). Бұл мән жоғары болса, пештің температурасы соғұрлым көп және бТ төмендейді. Термо соққы араластыруға арналған тығындар үшін пешке және ыстық әрі сұйық болатпен байланысқа түсетін суық аргоннан (салыстырмалы) күшті. Бұл аргонды араластыруға арналған тығындар ұшына үлкен кернеу жасайды. Сондықтан термо соққы аргонды ЭДП контактілі араластыру жүйелерінде өте маңызды фактор болып табылады.

Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте араластыруға арналған тығынға әсер ету дәрежесі орташа, негізгі факторлар қосылатын сынықтардың түрлері мен саны, сондай-ақ әрбір балқыту кезінде «жастық» ретінде сақталатын «батпақтың» саны болып табылады. Әдетте бұл тозудың маңызды факторы емес.
	Қажалу	Қажалу дәрежесі шын мәнінде тығындардың жұмысына және араластыру профиліне байланысты. Оның жақсы мысалы - төменде ұсынылған түбіндегі аргон тығынын араластыру профилі болып табылады:  ТТУ Ағым Басталуы Аяқталуы  Тозу Жылдамдығы (ТТУ және Пеш түбі) Ағым жылдамдығы л/мин Сондықтан үйкеліс ЭДП қосылған аргонды тығынына арналған анықтаушы факторлардың бірі болып табылады.
	Қосымшаланған кернеу	Тығынның биіктігі, әдетте, пештің табанына қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.
Химиялық (және термохимия лық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 8.0-бөлімде келтірілген қож ЭДП базалық сипатқа ие. Ал бұл базалық типтегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Сондықтан магнезиялы немесе доломитті тығын қолайлы.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Егер ағым тым төмен болмаса немесе әжептәуір уақыт аралығында жабылмаса, ол СБП тығындарымен проблема тудырмайды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңеюдің кернеуі	ЭДП тікелей байланыс тығындары үшін проблема емес.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық және химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	ЭДП тікелей байланыс тығындары үшін проблема емес.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

ЭДП үшін түзу түйіспесі бар аргонға арналған тығынның базалық құрылымы 8.31-суретте көрсетілген.

8.31-сурет:
ЭДП-да
аргон үшін
тығынның
құрылымы



Тікелей байланыстағы тығындар:

- Термо соккы, қажалу және химиялық әсері бар тез тозатын учаске-тозудың негізгі механизмдері.
- Тығынның өзі магнезиалы-көмірді нығыздалған пішінге тиелген, диаметрі 3 мм тот баспайтын болаттан жасалған 20 түтіктен жасалған.
- Материал: 15% С жоғары температуралар мен химиялық әсерге байланысты магнезия мен жоғары таза графитті пайдалану.

Тірек:

- Тез тозатын және химиялық әсері бар учаске-тозудың негізгі механизмдері.
- Тірек магнезиалы-көмірді сығымдалған пішінді қалыптан жасалған.
- Материал: тозу дәрежесі төмен ~ 15% С магнезия және орташа таза графитті пайдалану.

Тығынның қызметі ету мерзімін арттыру үшін жеті (7) негізгі стратегия болуы мүмкін:

1. Ең қарапайым - ұзын тығын жасау, бірақ оның ұзындығы пештің табан қалыңдығына сәйкес келуі керек. Егер ошақтың қалыңдығы ұлғайған болса, болат сыйымдылығы азаяды.
2. Тығынның материалын термо сокқылар мен қажалуға төзімді жасай отырып, жоғары тазалыққа дейін жаңартыңыз. Мұндағы негізгі фактор - қызмет ету мерзімі мен құнының теңгерімі.
3. Қоршаған блокты жаңартыңыз. Қоршаған блок тығынды өте жақсы қорғайды және блоктың мерзімінен бұрын тозуы ыстық бетінен емес, бүйір бойынша тығындардың тозуына алып келеді.
4. Ағын жылдамдығы мен фурмалар санын азайтыңыз немесе фурмалар арасындағы қашықтықты ұлғайтыңыз; мұның бәрі тығынға кернеуді және тозу деңгейін төмендетеді.
5. Сондай-ақ, бір-бірінен алыс орналасқан тесік санымен үлкен диаметрлі тығынды пайдалану оң әсер етеді.
6. Егер блоктың тозуы тозуды жылдамдататын болса, үлкен көлемді және үлкен қорғауы бар блок пайдалы болуы мүмкін.
7. Дұрыс баланс/тесік түрін анықтаңыз (саңылаулар, дөңгелек және кеуекті). Өртүрлі конструкциялар әртүрлі тозу сипаттамаларын бере алады. Мінсіз шешім жоқ!

Аргонмен араластыру арқылы жөндеу әдістері

Пеш ыстық болғанша қосынды тығынды жөндеу мүмкін емес (әлі де қабырғаны торкреттеу сияқты жұмыс істейді). Алайда, жедел жөндеуді ыстық күйінде немесе автономды тәртіпте суық күйде орындауға болады. Жедел жөндеу әдісі кезінде:

- Пештен барлық сұйықтықты толығымен құйыңыз.
- Жөндеу кезінде тығынға қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін түбіндегі топсалы ілмекті конструкцияны пайдаланыңыз.
- Содан кейін топсалы ілмекті ашу үшін платформаның, ормандардың және кез келген басқа құрылғының көмегімен пештің табанына кіруді қамтамасыз ету қажет.
- Сонда сіз тығынды тартып шығара/итере аласыз.
- Осыдан кейін блокты пештің табаны өлшеміне толығымен қыздыру үшін бастапқы бетке дейін тазалау қажет.
- Содан кейін тығынды ерітіндімен бекіту, орнына қайта орнату және бәрін қайтадан қосу қажет.

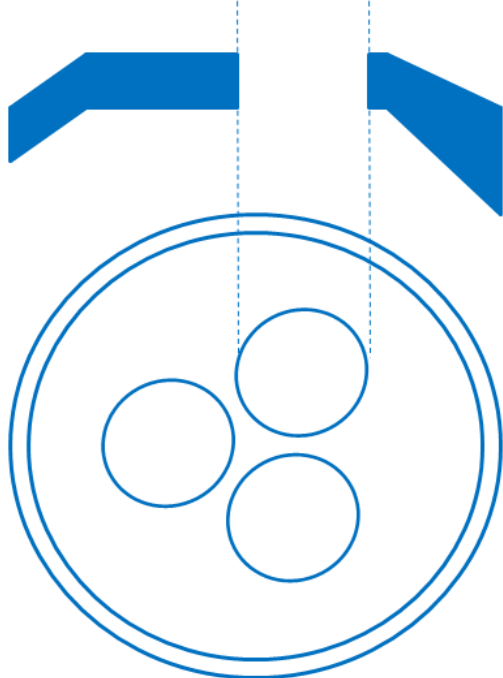
Бұл алгоритмде бұлай істеу мүмкін болғанмен тиімсіз екені көрініп тұр. Демек, жұмыс тәртібінде сирек жүзеге асырылады. Автономды жөндеу әдісі кезінде сіз келесілерді жасауға тиіссіз:

- Пештен барлық сұйықтықты толығымен ағызып, содан кейін корпусты автономды жөндеу орталығына жіберіңіз.
- Жөндеу кезінде саңылауы бар жөндеу стендіне жөндеу жүргізу үшін, тығынға қол жеткізуді қамтамасыз ету үшін түбіндегі топсалы ілмекті конструкцияны пайдаланыңыз.
- Содан кейін топсалы ілмекті ашу үшін платформаның, ағаштардың және кез келген басқа құрылғының көмегімен пештің табанына кіруді қамтамасыз ету қажет.
- Сонда сізде тығыны мен блокты шығару/итеру керек.
- Содан кейін бастапқы материалға дейін пеш табаны материалын алып тастаңыз.
- Сонан соң тығыны бар блок пешке түсіріледі. Егер ол жаңартылған күйде болса, бәрі қайтадан қосатындай етіп орнатылады.

8.5 ЭДП-ның отқа төзімді жинақ дельтасы

ЭДП-ның дельтасы - негізгі электродтар мен төбенің арасындағы отқа төзімді бөлшек. Ол екі негізгі функцияларды орындайды: электр тоғының төбеге секіруін және доғаның үзілуін болдырмайды және электродтарға технологиялық газдардың шығуына кедергі жасай отырып, үлкен ойықсыз өтуге мүмкіндік береді.

ЭДП дельтасының базалық құрылымы 8.32-суретте көрсетілген.

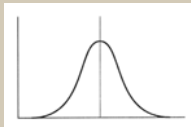


8.32-сурет: ЭДП дельтасының базалық құрылымы

Конструкциядағы бір принциптік кезеңге қатысты шағын ескерту: электродтарға арналған тесіктердің өлшемдері. Егер тесіктер тым аз болса, электродтар тым қатты болғаннан түзетуді қиындатады. Егер тесіктер тым үлкен болса, онда жалынмен, балқытумен, газдармен және т.б. технологиялық газ тым көп шығады. Бұл цехтағы жағдайдың нашарлауына және отқа төзімділіктің қатты тозуына әкеледі. Сонымен қатар тесіктің диаметрі көп болған сайын тесіктер арасындағы «сым шабақтар» ауданы аз болған сайын оның апаттылық ықтималдығы соғұрлым жоғары болады. Электрод диаметрінен 10-15% артық тесік диаметрін қарастыру жақсы болар еді.

8.14-кестеде ЭДП-ның дельтасы үшін ЖМХ талдауы көрсетілген.

8.14-кесте: ЭДП-ның дельтасы үшін ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Электродтар доғасының ($> 3000^{\circ}\text{C}$), технологиялық газдар мен ваннадан жылу сәулесінен дельта температурасы өте жоғары болуы мүмкін. Дельтаның жұмыс температурасы болат шығару температурасынан 50°C жоғары. Және төменде көрсетілгендей типтік гистограмма түрінде ұсынылған:  Дельта температурасы Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Термо сокқы (ΔТ)	Дельтаға арналған термоциклдеу төтенше жағдайларда технологиялық жылумен және сумен салқындатылған шығыршықтармен/төбемен бүйірінен және пештің үстіне қоршаған ауамен жүреді. Кейбір ЭДП дельтаға салқындатқыш судың шашырауы немесе электродтардың бүріккіштерінен жанама немесе тікелей арнайы бүріккіштерден шашырауы бар екенін атап өткен жөн. Бұл химиялық әсерді азайтуға көмектескенмен термо сокқысын күшейтеді. Демек, циклдеу қоршаған ортаның температурасы мен санаулы минуттардағы жоғары температура арасында болуы мүмкін. Бұл оны отқа төзімді дельтаның қызмет ету мерзіміне әсер ететін шешуші фактор етеді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте дельтаға әсер ету мөлшері аз және тозуға қатты әсер етпейді, себебі ол ортасында тұрады және оған жанаспайды.
	Қажалу	Орташа дельтаның қажалуы, дельтадағы осы жылу арқылы өтетін ыстық технологиялық газдар позициясынан. Ол тозудың маңызды тетіктеріне жатпайды.
	Қосымшаланған кернеу	Егер дельта көлемі мен материал оған кеңеюге мүмкіндік бермесе, дельтаға кернеу берілуі мүмкін. Салқындатқыш сақиналарға салынған кезде үш негізгі нұскасы бар: 1. Отқа төзімді қоспаны жерде шиыршық құйып және толық жанасуды қамтамасыз ету. 2. Ол салқындатқыш шығыршықтың түйіспелеріне жанасу үшін құрама элементті шиыршыққа орналастыру. 3. Салқындатқыш шығыршықтар мен дельта арасындағы кеңейткіш қағазды/көрпені орналастырыңыз. Жарықтар саны осы нұсқалардың қайсысын пайдалану керек индикаторына айналады.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың дельта материалымен химиялық үйлесімділігіне бағытталған. ЭДП қож дельтаға шығарылады, ал ыстық газдар химиялық реакциялардың ағуын қамтамасыз етеді. 8.2-бөлімде келтірілген ЭДП қож базалық сипатқа ие. Ал бұл базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады дегенді білдіреді. Алайда базалық материалдар термосокқылардан мүлдем қорғалмайды сондықтан пайдаланылмайды. 8.0-бөлімін қар. Сондай-ақ тағы бір аймаққа назар аудару керек. Табиғи газды, оттегіні және көміртекті үрлеу ЭДП нормаға айналады. Ал бақыланбайтын терезе фурмасы немесе инжектор арқылы оттегінің артықтығы ыстық жанып жатқан оттекті осы аймаққа итеріп, бірнеше балқыма үшін дельтаны жоя алады.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Бұл, әрине, жоғары температура мен қождың үйлесімділігіне байланысты жылдам тозуға әкелетін ЭДП дельтасында проблема болып табылады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер дельта өлшемі мен материалы оған кеңеюіне мүмкіндік бермесе, дельтаға кернеу қоса берілуі мүмкін (қосымша кернеудің жоғары бөлігін қараңыз).
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қождар мен термоциклдеудің енуінің үйлесуі ену аймағында сынуға алып келеді. Бұл жобалау кезінде айналып өту қажет дельта тозуының маңызды факторы.

Тұрақты тоқтағы пеш түбімен салыстырғанда ауыспалы тоқтағы пеш түбі

Айта кету керек, дельта тозуы үшін ауыспалы және тұрақты тоқпен пештер арасындағы айырмашылық маңызды емес, пеште тұрақты тоқпен тек бір ғана тесік бар, сондықтан «сым шабақ» секциясының құлауына байланысты проблемалар туындамайды.

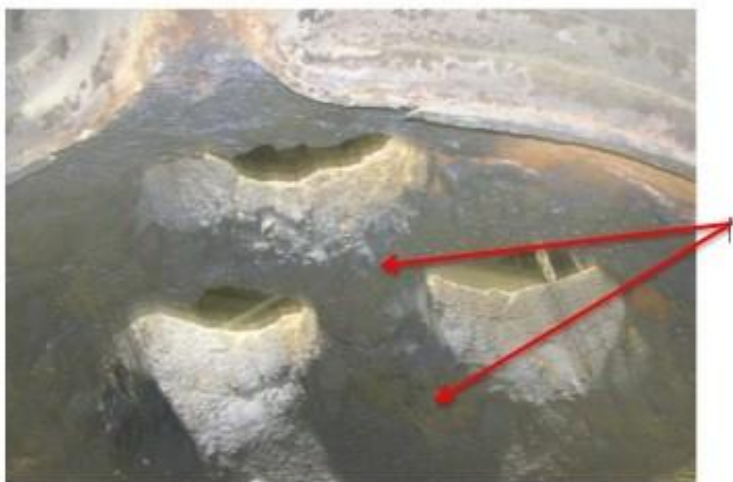
ЭДП дельтасын жөндеу

ЭДП қатысты ЭДП дельтасын жөндеу мүмкін емес. Егер сізде торкреттеу машинасы бар болса, оны көріңіз және торкреттеуге болады, бірақ тік торкреттеу кезінде бұл негізінен дельта қызмет ету мерзімін ұзартудың жоқ болуына әкеледі.

ЭДП дельтасында тозудың екі негізгі механизмі бар - термосоққы және жоғары температуралы химиялық әсер. 8.33 және 8.34-суреттерде бөлшектер үшін отқа төзімді материалдың негізгі тозуы көрсетілген.

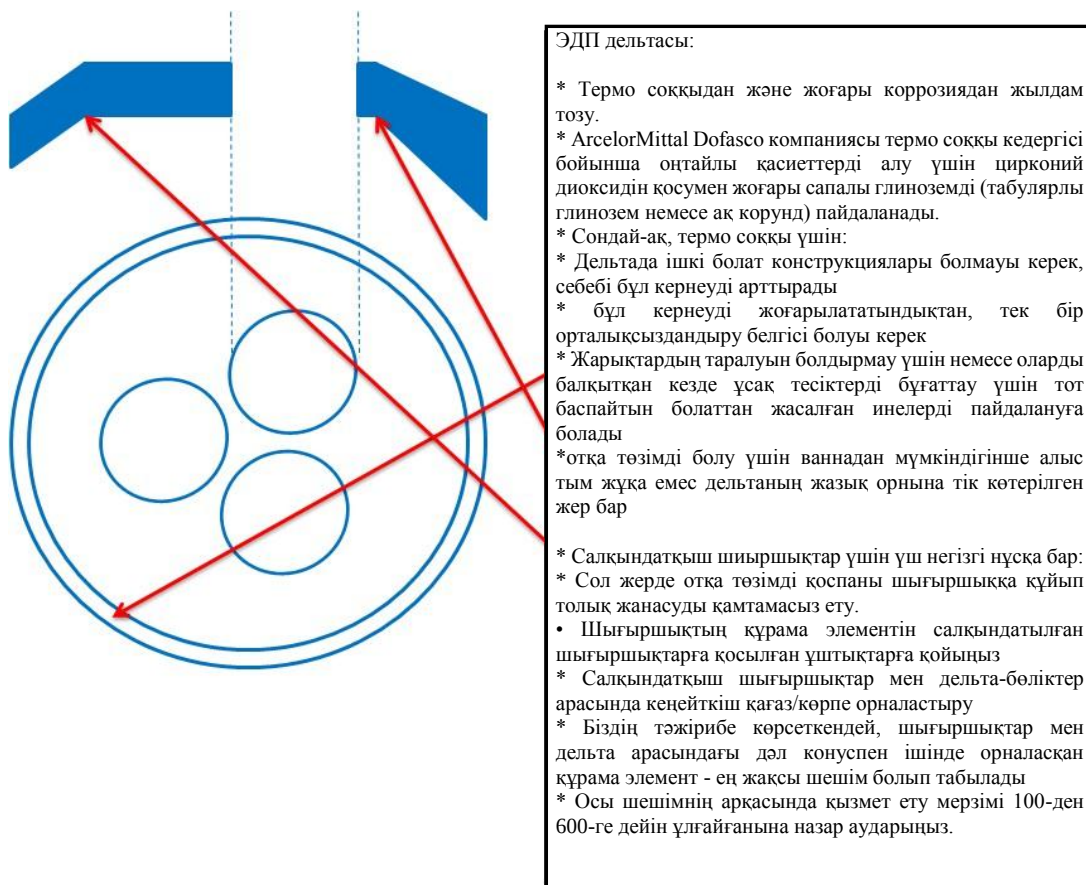


Термо соққылар кезінде жарылу мысалы (әсіресе «сым шабақтар» аймағында).



Жоғары температуралы коррозияның мысалы (әсіресе «сым шабақтар» аймағында).

8.33-сурет: ЭДП күмбезінің отқа төзімді дельтасының тозуы



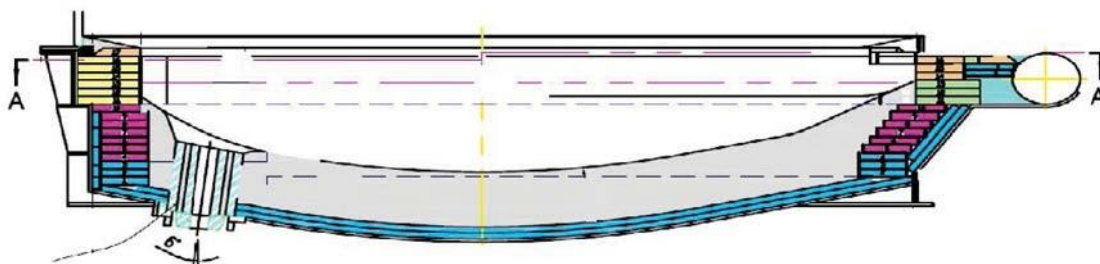
8.34-сурет: ЭДП күмбезінің отқа төзімді дельтасының құрылымы және тозуы

8.6 ЭДП отқа төзімді теспелері

ЭДП теспелер- бұл пештің түбінде орналасқан отқа төзімді элементтердің жүйесі және балқыту температурасы мен химиялық құрамы кезінде металлургиялық түрде аяқталғанда ЭДП болатты шығару үшін пайдаланылады.

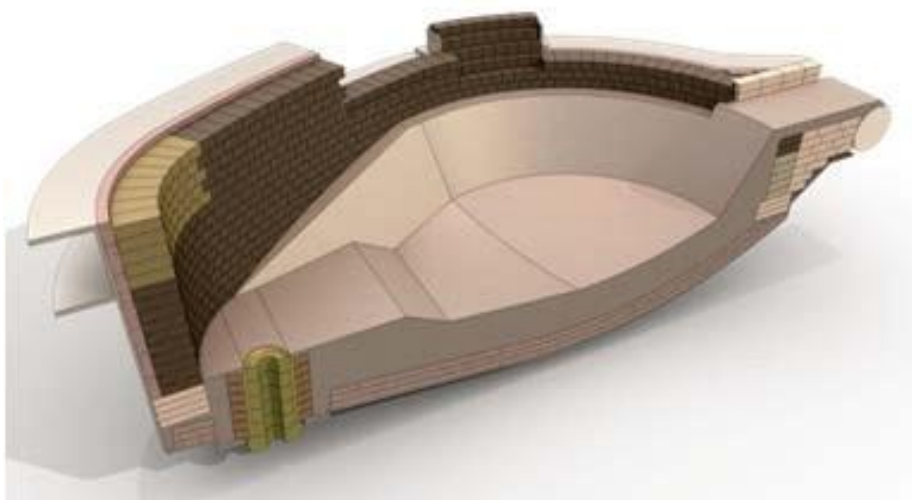
Ол екі негізгі функцияны орындайды: пештен сұйық болаттың құйылуын бақылау және артық қождың шөмішке түспеуін қамтамасыз ету.

Теспесі бар ЭДП-ның базалық құрылымы (ДТШ стилі-дөңгеленген түптік шығарылым) 8.35-суретте көрсетілген.



8.35-сурет: ЭДП-ның жайғасуы

8.36-суретте шығару жүйесінің басқа екі түрі ұсынылған - ЭТШ (эркерлік түптік шығарылым) және астау/науалы конвейері. ЭТШ қазіргі болат құю өндірісінде ең көп таралған.



8.36-сурет: ЭДП-ны шығару жүйесі

Magnesita Refractories SA компаниясы ұсынған диаграмма

Конструкциядағы бір принципті сәтке қатысты қысқаша ескерту: Теспенің өлшемі пеште балқыту салмағымен және шығару үшін минутына тоннадағы ағын жылдамдығымен анықталады. Егер тесік тым аз болса, онда шығару ұзақ және бітеуге бейім болады, бірақ кождың тозуы аз болады. Егер тесік тым үлкен болса, онда шығару тез болады, бірақ кождың тым үлкен тозуымен сипатталуы мүмкін.

Теспе жүйесінің әр түрлі компоненттерінің жақсы әрі толық сызбасы 8.37-суретте көрсетілген.



8.37-сурет: ЭДП-ның теспелеріне шолу

Теспе 8.15-кестеде көрсетілгендей аймақтарға бөлінген:

8.15-кесте: ЭДП-ның теспелік аймақтары

Алаң	Сипаттамасы
Қауіпсіздік блогы	Теспе жүйесін қоршаған және оны ошақтың тозуынан қорғайтын блок. Бір немесе бірнеше құрамдас бөліктерден жасалуы мүмкін. Айта кету керек, жеке блок ең тиімді болып табылады, өйткені құрамдас блоктар сіз тігістен 50-75 мм шегінде болғанда тесуге және қалқуға бейім. Жалғыз блоктар қымбат және кранның көмегімен ғана басқарылады, бірақ олардың өнімділігі жоғары.
Қоспа материалы	Муфталар мен блок арасындағы материал теспені жедел өзгертуге және пайдалану кезінде муфтаның Жылулық кеңеюін сіңіруге мүмкіндік береді. Бұл тігісте теспенің бұзылуына әкелуі мүмкін сұйық металдың енуін болдырмау үшін ойық болмауы өте маңызды.
Муфта	Металға жүйе арқылы ағуға мүмкіндік беретін теспе жүйесінің атқарушы компоненті. Бір немесе бірнеше құрамдас бөліктерден жасалуы мүмкін. Айта кету керек, жеке блок ең тиімді болып табылады, өйткені құрамдас блоктар сіз жіктен 50-75 мм шегінде болғанда тесуге және қалқуға бейім. Жеке блоктар қымбат және тек кранның көмегімен ғана басқарылады. Бірақ олардың өнімділігі жоғары; дегенмен, оларда жаңа теспені бірінші балқыту кезінде үлкен жылу кернеуінен сынықтар пайда болуы мүмкін.
Шеткі кірпіш	Соңғы кірпіш өнімділікті қамтамасыз етудің маңызды факторы болып табылады, өйткені ол теспе муфтасының жалғасы болып табылады, бірақ теспені жабуға мүмкіндік беретін құю жүйесімен байланысады. Осы себепті ол ЖМХ талдауында талқыланатын қосымша кернеуге ие. Бұл жалғыз блок, ол әдетте теспеге бекітіледі, бірақ сынақ муфтаның/соңғы кірпіштің тұтас комбинациясын пайдалана отырып жүргізіледі.

Осыған байланысты ЖМХ талдауы екі (2) бөлімге бөлінеді:

- Блок/қоспа материалы (8.38-суретке қараңыз)
- Муфта/шеткі кірпіш (8.16-кестені қараңыз)

ЖМХ-қауіпсіздік блогы талдауының қысқаша қорытындысы



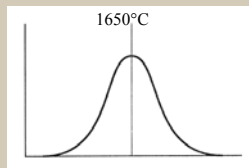
Т	Жоғары Т	Тек беті
	Температуралар айырмашылығы	1660-дан қоршаған ортаның температурасына дейін (тек бетінде ғана)
Е	Соққы әсері	Қолданылайды
	Қажалу	Теспені алып шығу
С	Еру	Қолданылмайды
	Ену	Қолданылмайды

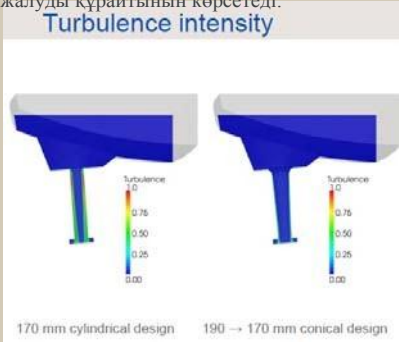
8.38-сурет: ЖМХ талдауының қысқаша қорытындысы - қауіпсіздік блогы

8.38-суретте блоктың тозуы азғантай ғана 700-ден астам балқыманың толық кампаниясы үшін пайдаланылған блок көрсетілген. Ол беттің кедір-бұдырлығын ғана көрсетеді. Бұл тозу механизмі үшін ұсынылған азғантай ЖМХ талдауын растайды.

Қосым материалы үшін болаттың енуіне әкелуі мүмкін ойықтаудағы қуысты болдырмау маңызды. Бастапқы орнату кезінде құрғақ діріл материалын немесе пеш түбінің материалын пайдалануға болады. Ең бастысы-материалдың түрі емес, орнату сапасы. Тамаша нұсқасы - жақсы нығыздауға жету үшін қосым материалының азғантай мөлшерін қосу. Материал муфтының кеңейтілуін қамтамасыз ету және оған қосымша кернеуді қоспау үшін кейбір қысымға ие болуы тиіс.

8.16-кесте: ЭДП теспе муфтасы/соңғы кірпішіне арналған ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Муфтының және соңғы кірпіштің температурасы - бұл болаттың температурасы және ол төменде көрсетілгендей, болат шығарудың типтік гистограммасында берілген:  Отқа төзімді позициядан өте жоғары температура болғандықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Муфтаға арналған теспе термоциклдеу экстремалдық жағдайларда жүреді, өйткені ол балқыту/тәулік санына байланысты мерзімді процесс болып табылады. Сонымен қатар муфтаға әр балқыту кезінде оны бірден салқындататын жаңа суық құм себіледі. Қоршаған орта температурасының әсеріне ұшырайтын шеткі кірпіш үшін термоциклдеу шарттары одан да экстремалды. Бұл соңғы кірпіштің шеттерінде үлкен кернеу тудырады. Сондықтан термосоққы теспе муфталары мен соңғы кірпіштің тозуы үшін өте маңызды фактор болып табылады.

Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте, муфтаға теспенің әсер ету дәрежесі аз, бірақ соңғы кірпіш материалдың бетін тез сызатын құю жүйесінің әрбір жабуында әсер етеді. Бұл шеткі кірпіш материалының тозу факторы болуы мүмкін. Кірпіштің суық жұмыс қырында, сондай-ақ болат жинау/қож операторлар қолмен құруы мүмкін. Бұл соңғы кірпіштің бітелуін жою үшін қағады, және кейде соңғы кірпіштің түптік отқа төзімділігін жояды.
	Қажалу	Қажалу дәрежесі шын мәнінде теспе арқылы болат пен қожқа байланысты. ЕГД талдауы (есептік гидродинамика) тікелей конустық теспе төмен - суретте көрсетілгендей, конустық теспеге қарағанда неғұрлым жоғары турбуленттілікті және көбірек қажалуды құрайтынын көрсетеді.  RHI AG компаниясы ұсынған Турбуленттіліктің қарқындылығы Сондықтан конус теспелер - бұл болат құю өнеркәсібіндегі әдеттегі тәжірибе.
	Қосымшаланған кернеу	Теспе биіктігі әдетте теспенің өзіне берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткілікті емес. Алайда, егер теспе қоршаған табиғи материалда тым тығыз орнатылса немесе шағын отырғызу/қорапшасы болса, онда кернеу пайда болуы және жарылу болуы мүмкін.
	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 8.0-бөлімде келтірілген ЭДП қож базалық сипатқа ие. Сондықтан базалық типті кірпіш онымен үйлесімді болады. Осылайша магнезиялы немесе доломитті теспе қолайлы.
Химиялық (және термохимиялық)	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Ол сулаушы ЭДП көміртекті теспелерімен проблема тудырмайды.
	Жылулық кеңеюдің кернеуі	Теспе биіктігі әдетте теспенің өзіне берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткілікті емес. Алайда, егер теспені қоршаған табиғи материал тым тығыз орнатылса немесе шағын отырғызу/қорапшасы болса, онда кернеу пайда болуы және жарылу болуы мүмкін.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қож коррозиясының, қажалудың және термоциклдеудің үйлесімі осы құбылысқа неғұрлым бейім шеткі кірпіштің жарылуын тудырады. Бұл жобалау кезінде айналып өту керек кірпіштің тозуының маңызды факторы.

Тұрақты және ауыспалы тоқтағы пеш түбі құрылымының айырмашылығы

Теспенің тозуы үшін ауыспалы және тұрақты тоғы бар пештер арасындағы айырмашылық маңызды емес.

ЭДП теспелерін жөндеу

Пеш ыстық болғанша теспе муфтасын жөндеу мүмкін емес (әлі де қабырғаны торкреттеу сияқты жұмыс істейді). Алайда, муфтаны ыстық күйінде немесе суық күйде автономды тәртіпте жедел жөндеуге/ауыстыруға болады.

Жедел және автономды жөндеу әдісі кезінде де келесілер қажет:

- Пештен барлық сұйықтықты толығымен құйыңыз.
- Құю жүйесін ашу және шеткі кірпішді алып тастау.
- Топсалы ілмекті ашу үшін платформаның, ағаштардың және кез келген басқа құрылғының көмегімен пештің астына кіруді қамтамасыз ету қажет.
- Содан кейін сізге теспені шығару/итеру/шығарып алу керек. Муфтаны алу кезінде блоктың өзін зақымдамау үшін өте сақ болу керек.
- Осыдан соң блокты пештің табаны өлшеміне толығымен қыздыру үшін бастапқы бетке дейін тазалау қажет.
- Сонан соң теспені жерге түсіру немесе көтеру керек. Осыдан кейін бәрі қайтадан қосылып, шеткі кірпіш дұрыс күйге қойылады.
- Жаңа муфталар мен ескі кірпіштің арасына қоспа материалды қосу қажет. Сондай-ақ, келесі балкытудың алдында ұстап тұру үшін біраз уақыт қажет.

Процедураның сипаттамасынан оның күрделі, бірақ жедел орындалатынын байқауға болады. Сондықтан сақтық шараларын ұстану керек. Автономды стендте процедураны жүргізу әлдеқайда оңай.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

ЭДП теспелерінің отқа төзімді материалы 3.40-суретте көрсетілген.



Қауіпсіздік блогы

Үлгі мазмұны: Магнезиялы көміртек-15% С, 98% балкытылған Mg O жоғары тазалық, 97% таза графит және антиоксиданттар

Қоспа материалы

1. Пештің табанының бастапқы суық-көбік материалдарын пайдаланыңыз
2. 95% ыстық Mg O-ның тазалығы тұрақтамауды қамтамасыз етуге тән. Сондықтан онда бос орын жоқ

Муфта

Үлгі мазмұны: 20% С магнезиялы көміртегі, 98% балкытылған жоғары тазалықта балкытылған 97% Mg O, таза графит және антиоксиданттар

Шеткі кірпіш

Al₂O₃ және SiC-C – термосокқыға қарсы тұруда жақсы қасиеттерге ие. Ал магний жарылуға бейім болғандықтан төзімді емес

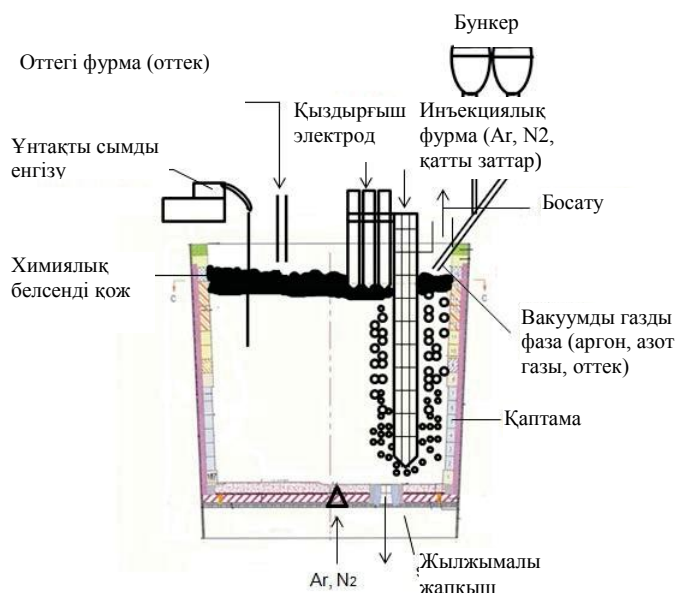
8.40-сурет: ЭДП теспесінің отқа төзімді материалының құрылымы

9-тарау



9.0 Болат төгу қауғасына арналған отқа төзімді материалдарға шолу

Болат төгу қауғасы - НОК және болат құю цехындағы дайындамаларды үздіксіз құю машинасы арасындағы негізгі көлік ыдысы. Шөміш металлургиясының дамуымен болат төгу қауғасы көліктік ыдыстан нақты технологиялық ыдысқа айналды. Шөміш металлургиясына көптеген қолжетімді тіркестері бар жақсы шолу 9.1-суретте көрсетілген.



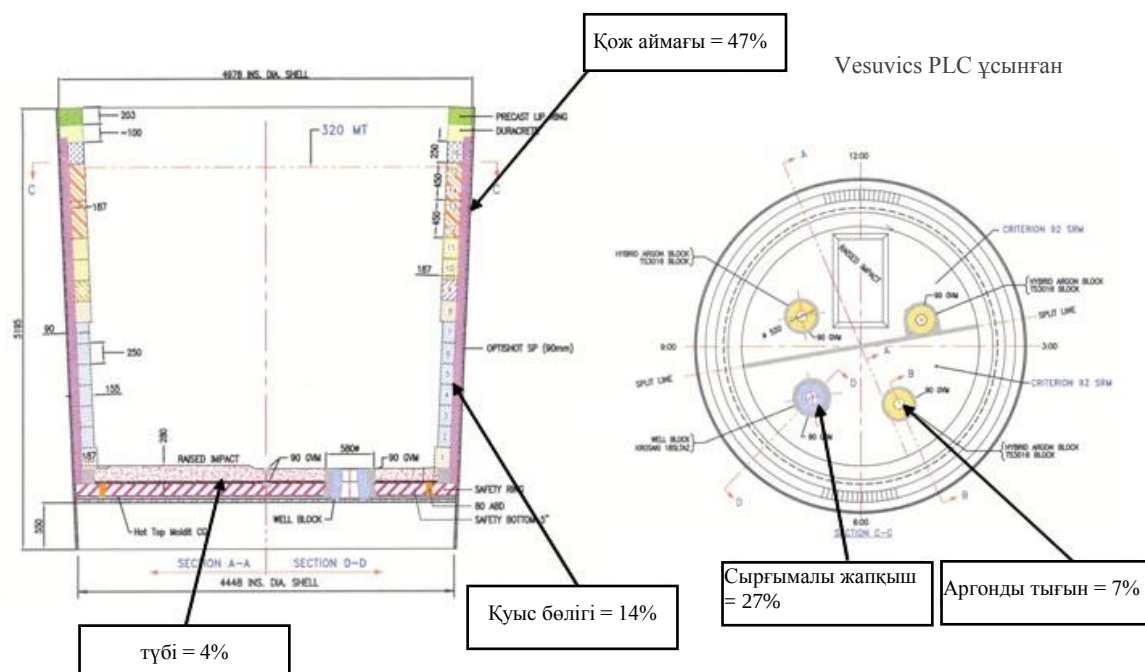
9.1-сурет: Шөміш жасау металлургиясына шолу

Болат төгу қауғасы барлық болат құю цехтарындағы отқа төзімді материалдарға арналған ең қымбат сауыт пен металлургиялық зауыттағы негізгі жұмыс аспабы болып табылады. Ол болат құю өнеркәсібінің күрделі процестеріне тап болады, цех ішінде жылжиды және көтеріледі, бұл оған басқа сауыттар - домна пештері, кокстауға арналған қондырғылар, негізгі оттектік конвертерлері және құю машиналары сыналмайтын ұлғайтылған жүктеме тудырады.

Болат төгу қауғалары - ең әмбебап болат құйғыш сауыт: әр цехта жабдық пен металды өңдеуге арналған процестердің бірегей үйлесуі бар. Сол себепті:

- Шөміштердің қызмет ету мерзімі 25-тен 150-ке дейін және одан артық балқыту құруы мүмкін. Одан кейін шөміштер ішінара жөнделсе, қызмет етудің жалпы мерзімі бірнеше жүз балқытуға жетуі мүмкін.
- Отқа төзімді материалдардан жасалған қаптама конструкцисы да әртүрлі цехтарда, жергілікті жағдайларға бейімделуді жақсарту үшін және жергілікті шектеулер нәтижесінде, айтарлықтай ерекшеленеді.

Болат төгу қауғаларында, өздерінің күрделілігінен, болат құю цехтарындағы барлық отқа төзімді сауыттардан үзілудің ең жоғары жиілігі бар, бұл НОК қондырғылары үшін орташа статистикамен 9.2-суретте көрсетілген.

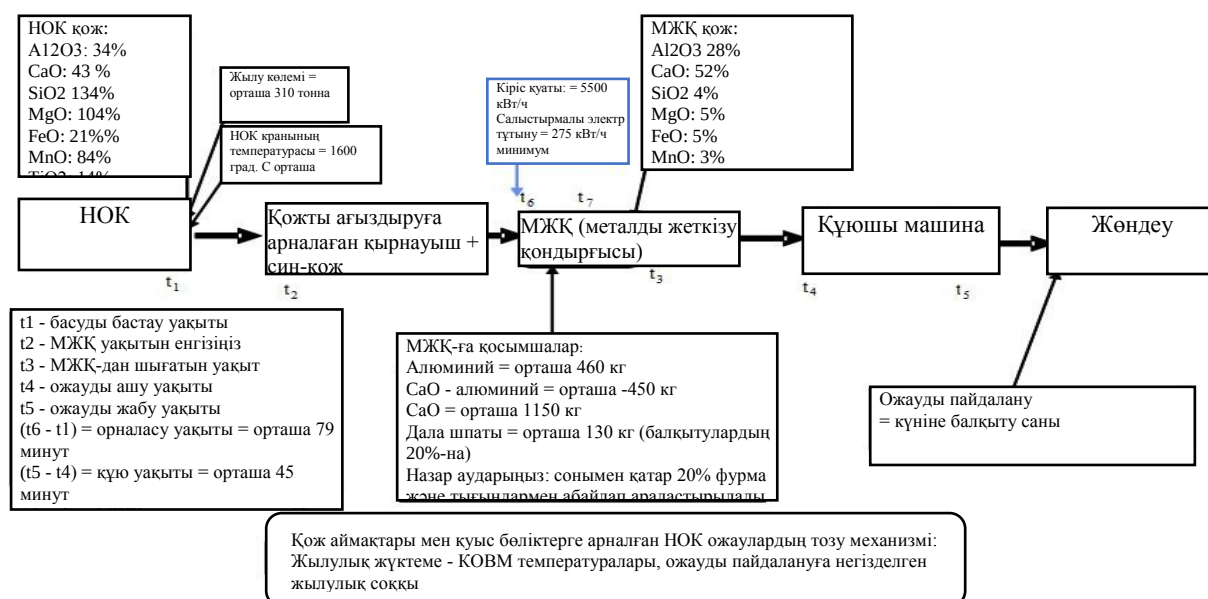


9.2-сурет: Болат төгу қауғалары тесілуінің орташа жиілігі

Болат төгу қауғаларына арналған отқа төзімді материалдарды жобалаудың негізгі мақсаттары келесілер екенін еске саламыз:

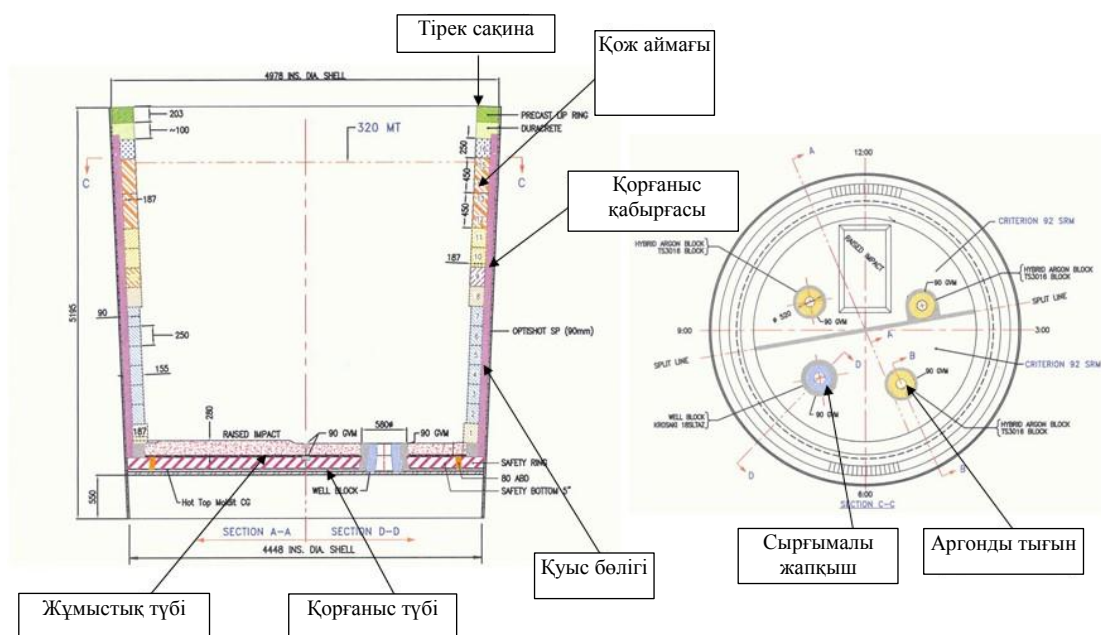
- Сұйық болатты саңылаусыздандыру (тесілулерсіз - максималды қауіп-қатер!)
- Қауіпсіздікке және/немесе қоршаған ортаға қауіп жасамайтын отқа төзімді материалды пайдалану
- Отқа төзімді материалдарды жобалау, олар пеш науқанының талап етілетін ұзақтығына сәйкес келеді (балқыту немесе апта саны)
- Отқа төзімді материалдың құнын барынша азайту/тоннасы үшін
- Процеске әсер етуді мейлінше қысқарту (қож пен болаттың дұрыс химиялық құрамы)

Болат төгу қауғаларының технологиялық бағдарлары өте күрделі, сондықтан цехтер арасындағы салыстырулар толық шешімін таппаған. Нәтижелерді салыстыру үшін сізге ең алдымен технологиялық бағдарларды салыстыру қажет. Осындай түрдегі салыстырудың жақсы мысалы 9.3-суретте көрсетілген.



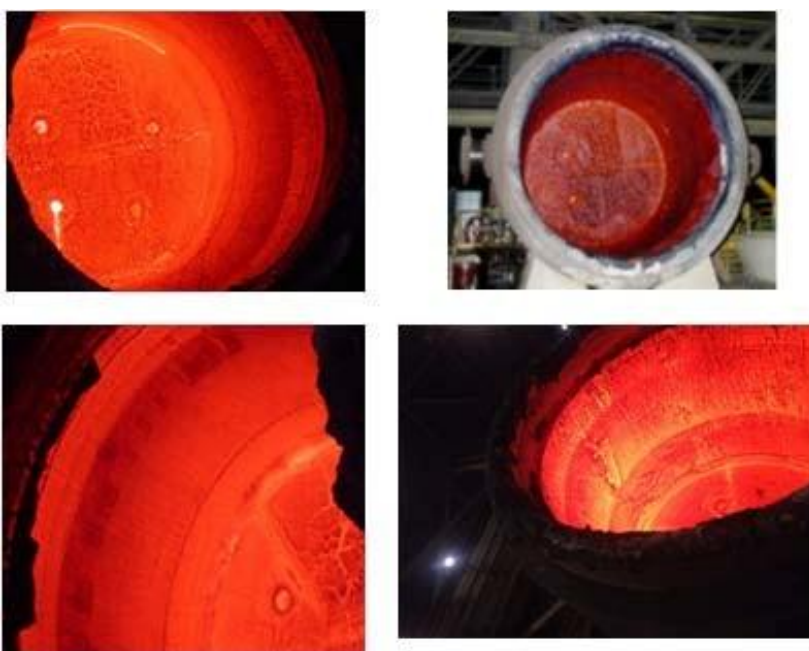
9.3-сурет: Болатқа арналған әдеттегі технологиялық бағдар

Болат төгу қауғасының базалық құрылымы қимада 9.4-суретте көрсетілген.



9.4-сурет: Болат төгу қауғасына шолу

Болат төгу қауғаларының тозу схемаларының күрделілігін мысал ретінде 9.5-суреттегі фотодан көре аласыздар.

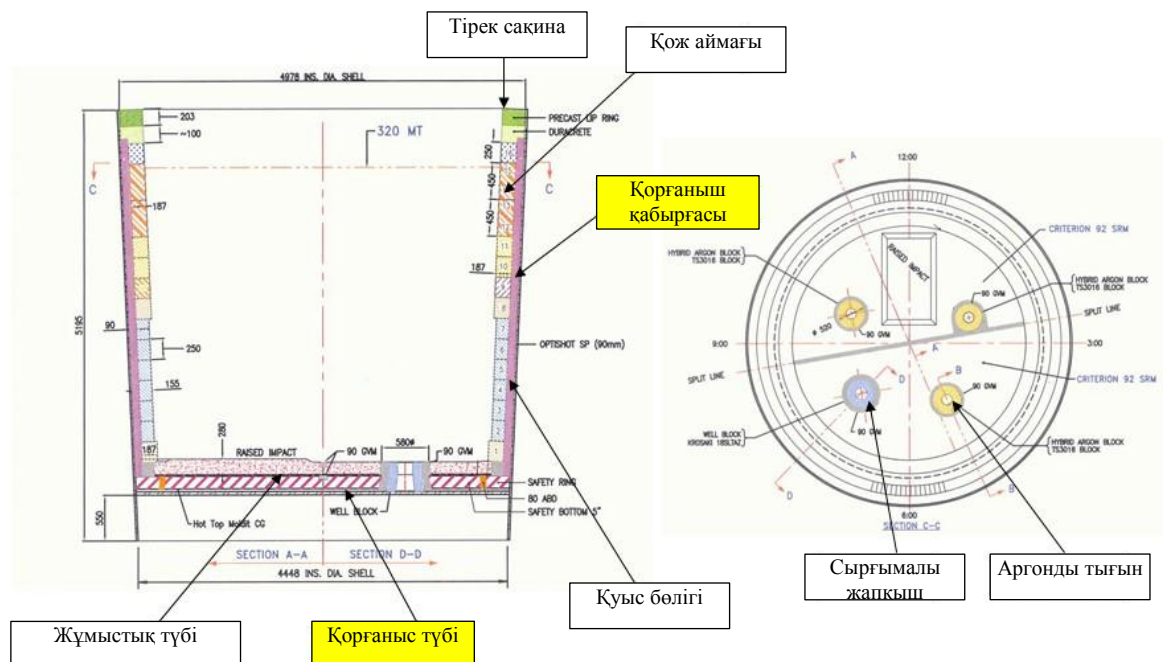


9.5-сурет: Болат төгу қауғасының тозуының әдеттегідей модельдері

Енді болат төгу қауғасының әр секциясын толық қарап шығамыз.

9.1 Болат төгу қауғасының қорғаныш түбі / қабырғасы

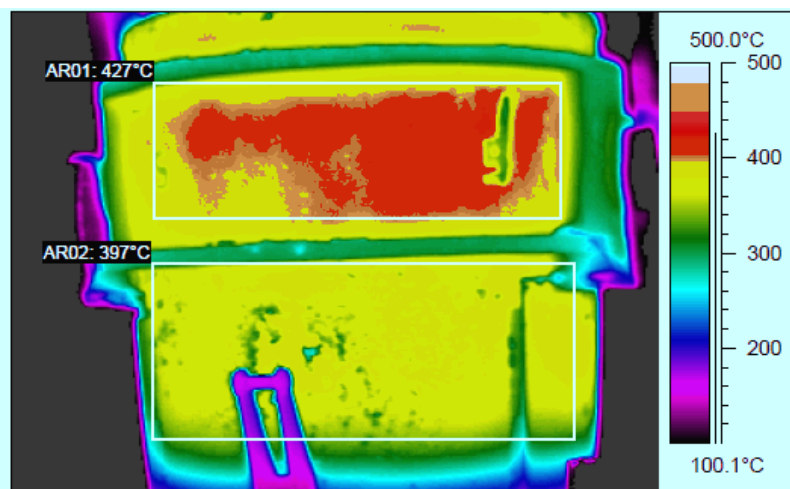
Қалыпты болат төгу қауғасына арналған Қорғаныш түбі мен қабырғасы 9.6-суретте көрсетілген



9.6-сурет: Болат төгу қауғасының қорғаныш қаптамасына шолу

Болат төгу қауғасының қорғаныш қаптамасын пайдаланудың үш негізгі мақсаты бар:

1. Болаттың тесілуін болдырмау
2. Процеске арналған жылуды ұстап қалу
3. Пеш қаптамаларын қисаюдан/шытынаудан/және т. б. қорғау. 9.7-суретте болат төгу қауғасының әдеттегі жылудық бейіні көрсетілген.



9.7-сурет: Болат төгу қауғасының жылудық бейіні

Жылулық жүйелерге арналған қаптама құрылымдары

Қорғаныш қаптаманың құрылымы үш негізгі сала арасындағы теңгерім болып саналады (барлық отқа төзімді материалдарда сияқты): жылу ағынымен (қаптаманы қорғау, жылу шығындары), оқшаулау материалының беріктігімен (қаптаманың тұтастығы) және химиялық тозумен (жоғары коррозия).

9.1-кестеде болат төгу қауғасында пайдалануға болатын оқшауламалардың әртүрлі түрлерінің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген:

9.1-кесте: Болат төгу қауғасының оқшауламасы

Материал	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Кірпіш	- Жоғары төзімді тұрақты қаптама; - Орнатудың өзгергіштігі жойылғандықтан қасиеттері жақсы анықталған - Егер ол осылайша әзірленген болса, процесті іске қосу үшін отқа төзімді мүмкіндіктер	- Сауыт сыйымдылығын қамти алатын такталар мен Қорғаныш панельдерден қалың; - Кірпіш түйіспелері сұйық сауыттарға металдың ену көзі болуы мүмкін; - Орнату үшін білікті мамандар қажет.
Монолитті	- Жоғары беріктігі тұрақты қаптама; Қондырғы өзгергіштігінен нашарлау қасиеттері - Дұрыс орнатылған жағдайда, металл ену үшін түйіспелері жоқ	- Сауыт сыйымдылығын қамти алатын такталар мен Қорғаныш панельдерден қалың; - Орнату үшін білікті мамандар қажет.
Плита	- Орташа беріктігі орама оқшаулауға қарағанда жақсы. - Сауыттың сыйымдылығын жоғарлату үшін оны жұқа жасауға болады. - Қарапайым монтаждау.	- Беріктігі процестің температурасына байланысты жеткіліксіз жоғары болуы мүмкін, бұл материалдың тозуына және оқшаулаудың және қаптама тірегінің жоғалуына әкеледі. - Шамалы отқа төзімді құндылық және түйіспелер, металл өтіп кетуі мүмкін.
Орама оқшаулауы	- Сауыттың сыйымдылығын жоғарлату үшін оны жұқа жасауға болады. - Қарапайым монтаждау.	- Материалдың тозуына және оқшаулаудың жоғалуына және қаптама тіреуіне әкелуі мүмкін шағын беріктігі. - Аздаған отқа төзімді құндылық, металл енуі мүмкін.
Шағын-тақта	- Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін өте жұқа жасауға болады. - Қарапайым монтаждау.	- Материалдың тозуына және оқшаулаудың жоғалуына және қаптама тіреуіне әкелуі мүмкін шағын беріктігі. - Шамалы отқа төзімді құндылығы және түйіспелер, металл өтіп кетуі мүмкін.

Талқылауды қажет ететін соңғы мәселе - қаптаманың температурасы мен химиялық коррозия арасындағы теңгерімі

- Оқшаулау санының ұлғаюына қарай сіз қаптама температурасын жоғарылатасыз, демек, тозу экспоненциалды өсуде.
- Алайда оқшаулау санының ұлғаюына байланысты қаптаманың температурасы төмендейді.

Сондықтан, айтып кетілгендей, отқа төзімді материалдарды жобалау — бұл ұдайы теңгеру болып табылады.

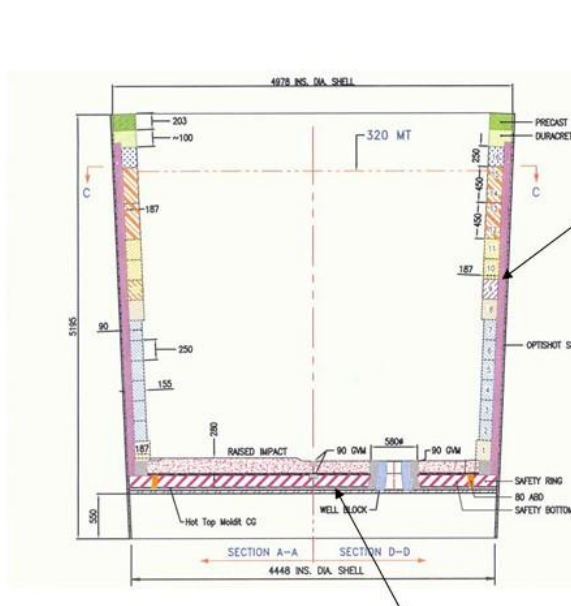
Тозу тұрғысынан болат төгу қауғасының қорғайтын түбі/қабырғасы 9.2-кестеде келтірілген ЖМХ талдаудан көрінетіндей, тез тозатын жер емес.

9.2-кесте: Болат төгу қауғасының қорғаныш түбі / қабырғасына арналған ЖМХ талдау (механикалық және химиялық)

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қорғаныш қаптама температурасы ешқашан өлшенбеген; дегенмен, егер қаптастырма жұмыс қабаты бұзылған болса, ол қоршаған орта температурасынан 1400°C дейін температураға ие болады. Шын мәнінде сіз болат төгу қауғасының жұмыс қаптамасын Қорғаныш қаптама ретінде сирек пайдаланасыз, өйткені ол әдетте 500 - 900°C диапазонында орналасады. Отқа төзімді материал тұрғысынан бұл температура жоғары емес және материалдар үшін көптеген қолайлы жағдайлар жасайды.
	Жылу соққы (ΔТ)	Қорғаныш қаптама үшін термоциклдеу азғантай, өйткені тозу механизмі болып есептелмейді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте қорғаныш түбіне және қабырғаларға, шығару кезеңінен басқа ешқандай әсер етпейді.
	Қажалу	Қорғаныш қабырғаның немесе түптің қажалуы жұмыс қаптаманы жоғалтқан жағдайда және пеште сұйық шойын азғантай болса да айналған жағдайда орын алуы мүмкін.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйірлік қабырға жеткілікті биік, бірақ температурасы төмен, сондықтан кірпішті пайдаланғанда төменгі бөлікке салынған күш жеткіліксіз болып табылады. Егер де сізде монолитті қорғаныш қабырға болса, шөміштің айналасында кеңейудің үлкен деңгейі пайда болады, бұл үшін қаптамаға компенсаторларды кіріктіру қажет. Дәл осы түпке де қатысты. Егер сіз монолитті қорғайтын түпті пайдалануды көздеген болсаңыз, қабықша мен түптің арасындағы жік материалдың осы үлкен массасын кеңейту үшін кейбір сығылғыштыққа ие болуы қажет.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 9.3-кестеде келтірілген қождың базалық сипаттамасы болады, бұл базалық түрдегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Осылайша, магнезиялы немесе доломитті кірпіш жақсырақ.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Болат төгу қауғасының қорғаныш түбі немесе қабырғасында мұнымен, әдетте, проблемалар туындамайды. Егер сіз кірпіштерді пайдаланған болсаңыз, қорғаныш қаптаманы тығыздап орнату аса маңызды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Егер монолитті қабырға немесе түбі орнатылған болса, отқа төзімді материалдың бұзылуын немесе деформациясын болдырмау үшін кеңеюге жеткілікті шақтама қарастыру қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/Құрылымы/Орнату әдісі

Болат төгу қауғасының қорғаныш қаптамасының базалық құрылымы 9.8-суретте келтірілген.



Қорғаныш қабырға:

- Қазіргі кезде озық әдіс болып сол жерде пішін немесе шоткреттеу көмегімен монтаждалатын монолитті қорғаныш қабырғалар табылады. Қалыңдыққа байланысты қаптамадан шығатын жылудың қорғауға арналған оқшаулағыш тақта талап етілуі мүмкін. Материал ретінде құрамында жұмыс қаптамасы жоғалған жағдайда кейбір отқа төзімділікті қамтамасыз ететін отқа төзімді материалы бар көп мөлшерде алюминий тотығы қосылған шпинель табылады. Тот баспайтын болаттан жасалған инелер де материалға ұзаққа жарамдылық беру үшін пайдаланытынына назар аударыңыз. Орнатуы балқыту және(немесе) шоткреттеу технологиясында тәжірибесі бар сарапшылар командасы жүргізуі қажет.
- Егер кірпіш пайдаланатын болса, әддете бұл екі қабатты қаптама; бір қабаты - қорғаныш кірпіштен (магнезия, магнезиялық шпинель немесе саздақты шпинель, бағасына байланысты) екінші қабаты оқшаулама болады (тақтай немесе кірпіш). Кірпіштерді дұрыс қалау, кірпіштің барлық төрт жағына сұйық цементті ерітіндіні жағумен, кесібі тас қалаушылардың көп уақытын алады.
- Кейбіреулері қорғаныш аралық / компенсатор ретінде дірілдейтін құрғақ материал қабатын пайдаланатынына (көбінесе доломитті қаптамаларда) назар аударыңыз. Қаптаманы қайта төсеген әр кезде бүтіндікті қамтамасыз ету үшін оны ауыстырып отыру қажет, сондықтан процедура қымбат тұрады.

Қауіпсіз түр:

- Қазіргі кезде қаптамада қалыңдығы 25 мм дірілдейтін құрғақ материалдан жасалған тегістегіш қабатты (бүтіндікті жоғалтуға жол бермейтін беріктікпен), ал одан кейін минималды кіркесуді қамтамасыз ету үшін айқас қосылған дәнекерлеу қосылыстармен біріктірілген бір немесе екі бөліктен тұратын (ең оңтайлы жағдай - бір бөлік, бірақ бұл шөміштің өлшеміне байланысты үнемі орындалуы мүмкін емес) құрама орташа глиноземді қорғаныш түпті (50-60% саздақ) пайдалану ұсынылады.
- Келесі оңтайлы әдіс - қорғаныш түпті сол жерде құю, қамтылған ылғал болмауы үшін жұмыс түпті орнату алдында оны кептіру (50-60% глинозем).
- Басқа әдіс - қаптамада қалыңдығы 25 мм құрғақ дірілдікті материалдан жасалған тегістегіш қабатты, одн кейін сұйық цементті ерітіндімен біріктірілген кірпіш қабатын пайдалану. Бұл өте көп еңбекті қажет етеді және тас қалаушылардың арқасы үшін ауыр!

9.8-сурет: Болат төгу қауғасының қорғаныш қаптамасының құрылымы

9.9-суретте қорғаныш қаптаманың шөмішке орнатылған оқшаулағыш тақтасы көрсетілген, ал 9.10-суретте - монолитті шоткреттеу көмегімен орнатылған қорғаныш қаптама.

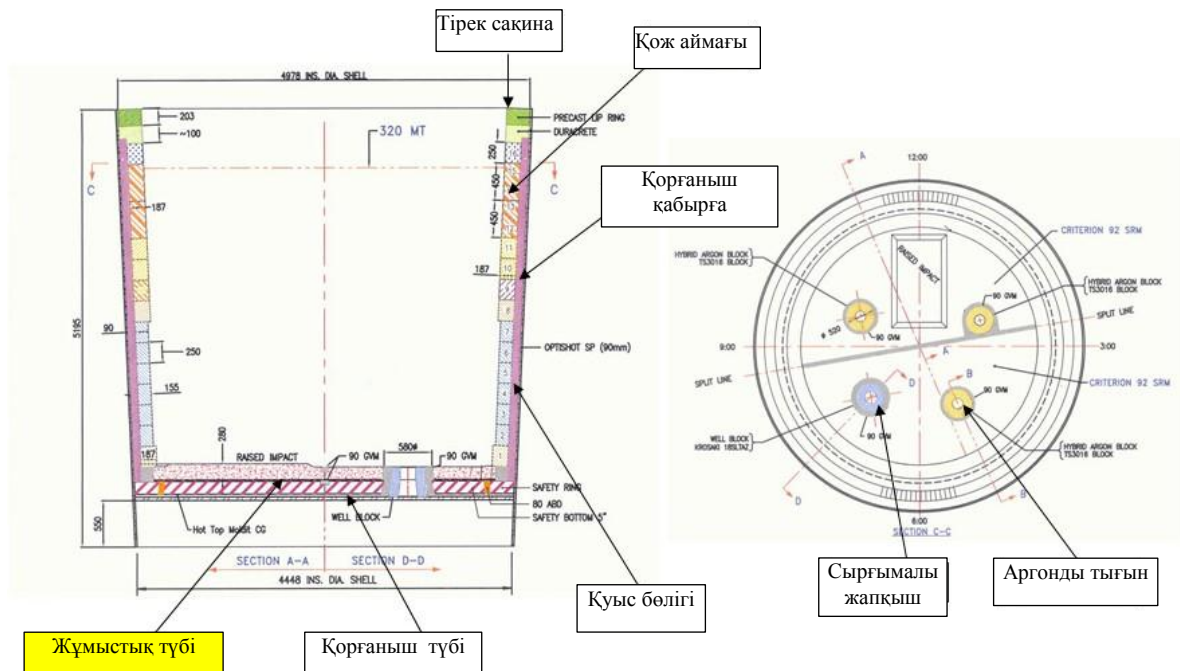


9.9-сурет: Қорғаныш қаптаманың шөміште орнатылған оқшаулағыш тақтасы

9.10-сурет: Қорғаныш қаптаманың шөміште орнатылған оқшаулағыш тақтасы

9.2 Болат төгу қауғасының жұмыс түбі

Қалыпты болат төгу қауғасына арналған қорғаныш түбі мен қабырғасы 9.11-суретте көрсетілген



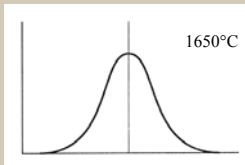
9.11-сурет: Болат төгу қауғасының жұмыс түбіне шолу

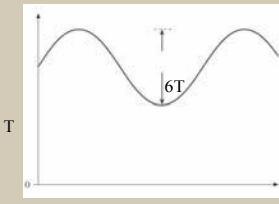
Болат төгу қауғасының түбі төрт негізгі функцияны атқарады:

- Болаттың тесілуін болдырмау
- Процеске арналған жылуды ұстап қалу
- Пеш қаптамаларын қисаюдан / шытынаудан / және т. б. қорғау.
- Тіпті жақында ғана жаңа мақсатқа - болат құю цехы өнімінің шығарылымын жоғарлату және қождың таратқыш құрылғыға шығарылуын төмендетуге жету қажеттігі экзотикалық пішіндегі түптің пайда болуына әкелді (төменде сипатталатын болады).

Болат төгу қауғасының түбінде 9.3-кестеде және 9.12-суретте ЖМХ талдауында көрсетілген тозудың өте қызықты механизмі бар.

9.3-кесте: Болат төгу қауғасының түбіне арналған ЖМХ талдау.

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Қаптаманың жұмыс температурасы - бұл болаттың температурасы, және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында төменде ұсынылған:  Шығарылу температурасы: Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Термо соққы (ΔT)	Жұмыс қаптамаға арналған термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол бір маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балқыту / күн саны Демек, температура қаншалықты жиі өзгереді және қаншалықты?  № қорытпалар Көптеген болат құю цехтарында шөміштерде орташа алғанда күніне төрт балқыту өтеді, бірақ ең жақсы цехтарда күніне алтыдан жеті балқытуға дейін болуы мүмкін. Бұл диапазон, төменде тозудың сипатталған механизмінен көрінетіндей, маңызды фактор болып табылады. Сондықтан жылулық соққы болат төгу қауғасының тозуының маңызды факторы болып табылады және ауырлық деңгейі пайдалануға байланысты болуы мүмкін.
Механикалық	Соққылық әсер	Әдетте соққы кезінде тозуға апаратын металл шығарылымының әсер ету күші: биіктігі / босату бұрышы мен түсетін ағынның соққысын жұмсартатын, сұйықтық шалшығын жасау уақытының комбинациясы. Сонымен қатар операторлар соққы жастығына басатын уақыт үлесі маңызды, өйткені ол әрдайым бір жерде ғана центрлене бермейді. Тықылдатудың әсер етуі, төмендегі тозу механизм схемасында көрсетілгендей, негізгі фактор болып табылады.
	Қажалу	Қажалу мәні пайдалануға тікелей байланысты болады; онымен бірге ванна қозғалыстары - сындарлы фактор. Аргонды немесе RHOV тығындары бар цехтарда операциялар барысында ваннаның қарқынды қозғалуы және түптің қажалуы, яғни, демек - түптің тозуы орын алады. Жақсы мысалы-төменде ұсынылған түбіндегі аргон тығын араластыру профилі болып табылады:  
	Қосымшаланған кернеу	Түп аласа, сондықтан тік бағытта түскен кернеу жетіліксіз; дегенмен, егер сіз монолитті түпті пайдалануды жоспарласаңыз, қорғаныш қабырға (немесе тығын түбінің жұмыс қабырғасы) мен түп арасындағы жік материалдың осы үлкен массасының кеңеюін есепке алу үшін кейбір сығымдылыққа ие болатын тегістейтін отқа төзімді массамен толтырылуы қажет.

Химиялық (және термохимиялық)		Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 9.3-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие, бұл базалық түрдегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Базалық кірпішті пайдалануға болады, бірақ түптерің материалдары, қорғаныш қабатты құрастырумен қожбен реакцияға түсетіндей етіп жобалануы мүмкін. Сондықтан металлургиялық кәсіпорындар үшін жоғары глиноземді және глиноземді шпинельден жасалған негіздер өте сипат алады.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеукті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Бұл өте күрделі проблема, өйткені қож түпте ұзақ уақыт ішінде болады, ал одан кейін келесі балқытуда соққылы күштің әсерімен түптің тереңдігіне жылжиды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Түбі төмен, сондықтан тік бағытта түскен кернеу мейлінше төмен; дегенмен, егер сіз монолитті түпті пайдалануды жоспарласаңыз, қорғаныш қабырға (немесе тығын түбінің жұмыс қабырғасы) мен түп арасындағы жік материалының осы үлкен массасының кеңеюін есепке алу үшін кейбір сығымдылыққа ие болатын тегістейтін отқа төзімді массамен толтырылуы қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл, 9.12-суреттегі сипаттамаға сәйкес, тозудың негізгі механизмі.



Жұмыс түбі тозуының механизмі

- Қатты тықылдатудан соққы жастығында пайда болған жарықшалар
- Балқыманы шағын биіктікте шығару себебінен болған болымсыз шытынау
- Циклдардың қайталауынан ену аймағының ірі бөлігінің опырылуы

9.12-сурет: Қауға түбінің тозу мысалдары

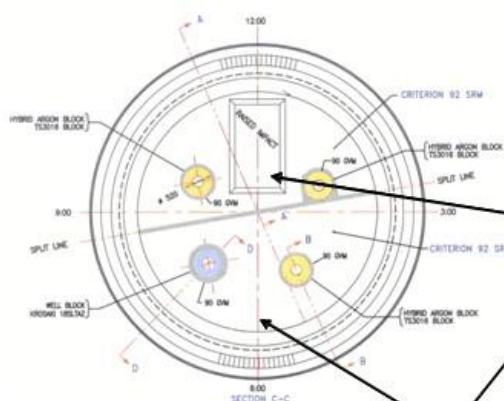
9.4-кестеде болат төгу қауғасының жұмыс түбінің тозу механизмі көрсетілген.

9.4-кесте: Тозу механизмінің сипаттамасы - жұмыс түбі

Кезең	Кезең сипаттамасы	Осы кезеңге әсер ететін негізгі жұмыс параметрлері	Бұл кезеңге әсер ететін материалдың негізгі параметрлері
Жаңа түп / бет	Жаңа түп цехқа жеткізілді және орнатуға дайын, немесе жаңа бет процесс барысында әсерге тап болды.	Дұрыс кептіру және алдын ала қыздыру болжанады.	
Тік жарықшалардың пайда болуы	Төменгі қабат іске қосылады және 1-15 балкытудан кейін (түбінің материалына қарай), соққыға төзімді тығыздалған аймақта тік сызаттар пайда болады. Жарықтар «футбол торына» ұқсайды, ұяшықтардың саны мен өлшемі де материалға байланысты.	Балкыманың шығарылу күші негізгі болып табылады (әсердегі суретті 9.3-кестесінен қараңыз). Бақыма шығырылуының биіктігі, көлбеу бұрышы және сұйықтықты жинау уақыты негізгі параметрлер болып табылады.	• Төмен материалдардың кеңею коэффициенті • Төмен тұрақты сызықтық өзгерісі бар материалдар • Беріктік пен серпімділік модулінің төмен коэффициенттері бар материалдар • Жұмыс істеп тұрған температурада жылжымалылықтан деформацияланатын, жоғары бұзылымдылығы бар материалдар
Қождың шоғырлануы	Қож шөміштің түбінде орналасады және жарықтарға және бетіне ене бастайды. Ену тереңдігі пайдаланылатын оттозімді минералогиясына және материалдағы кеуектердің материал мөлшері бойынша таралуына негізделеді.	Қождың аққыштығы және химиялық құрамы. Балкытпа тотығы ең төменгі мөлшері бар жоғары тұтқыр қож шөміш түбіне енбейді.	Магnezия шпинельден гөрі енетін қожты жылдамырақ байланыстыратындықтан, түбінің айрықшаламасын анықтау маңызды болып табылады. Бұл шпинель алдымен магnezияны қожбен әрекет етуден бұрын алып тастауы керек, бос магnezия бірден әрекет ете алады. Dofasco түбі бетін саңылаусыздандыратын қож реакциясы, микроскоптың көмегімен анықталды және төменде көрсетілген: $\text{FeO} + \text{MnO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} = (\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Mg})\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{күрделі шпинель (1)}$ Шпинельдің осы күрделі түзілімі кеңейткіш болып табылады және беттік жақтағы ұсақ тесіктерді қождың өтуінен жабады. Бос магnezия проблемасы, егер ол дұрыс мөлшерде және пропорцияда қосылмаса және дұрыс қоспалармен қамтамасыз етілмесе, ол материалдағы микрожарықтарға әкеледі. Қож енуіне төзімділікті жетілдірудің негізгі жолдары материалдағы дұрыс құрылымды және қалыңдығын үлестіруді дамыту болып табылады. Назар аударыңыз, бұл параметрлер жұмыс температурасына сәйкес келеді.
Көлденең жарықшалардың пайда болуы	Кеңею коэффициенттерінің, материалдың беріктігі мен серпімділік модулінің сәйкес келмеуіне байланысты, сондай-ақ жұмыс кезінде түбіндегі температураның өзгеруі енуден қорғалған ену аймақтары мен түбінің аймақтары арасында жарықтар пайда болады.	Түбін термоциклдеу	Басқару мүмкін емес, қож енуді азайту бұл қабаттың қалыңдығын барынша азайтады.
Түптің опырылып түсуі / шытынауы	Тік сызықтар мен көлденең сызаттар, түбінің үлкен аудандары, қалыңдығы 25-100 мм, диаметрі 250 мм-ге дейін, түбінен шөгіп қабат пайда болуын бастайды.		

Ағымдағы материал/Құрылымы/Орнату әдісі

Болат төгу қауғасының түбінің базалық құрылымы 9.14-суретте келтірілген.



Жұмыс түбінің соққылы қаптамасы:

- Қазіргі кезде ең жақсы тәжірибе болып монолитті бұйымдарды глинозем мен магенизилды шпинельдің үйлесімінен құрастыру табылады. Бұл салада тозудың ең жоғары деңгейі бар және сондықтан ол осыны есепке алумен жобалануы қажет. Соққылық қаптама жеке тұруы мүкін немесе, осында көрсетілгендей, түптің бөлшегіретінде біріктірілуі мүмкін. Құрылғы өте қарапайым, жастық кранның көмегімен орнына көтеріледі және оның астындағы пневматикалық ерітіндінің 12-миллиметрлік қабатымен орнатылады.

- Пайдаланылатын кірпіш әдетте биіктігі 250 мм шамасындағы АМС, МС кластағы немесе доломитті сапалы тігінен қойылған ірі кірпіш болып табылады. Кірпіштердің барлық төрт жағына сұйық цемент ерітіндісін жағып, кірпіштерді дұрыс қалау кәсіби тас қалаушылардың көп уақытын алады (бұл тиімсіз).



Жұмыс түптің соққылы емес аймақтары:

- Қазіргі кезде ең жақсы тәжірибе монолитті бұйымдарды глинозем мен магенизилды шпинельдің үйлесімінен құрастыру болып табылады. Бұл аймақ аса қатты тозбайды, сондықтан төмен сапалы шикізатты пайдалануға болады. Құрылғы өте қарапайым, жастық кранның көмегімен орнына көтеріледі және оның астындағы пневматикалық ерітіндінің 12-миллиметрлік қабатымен орнатылады.

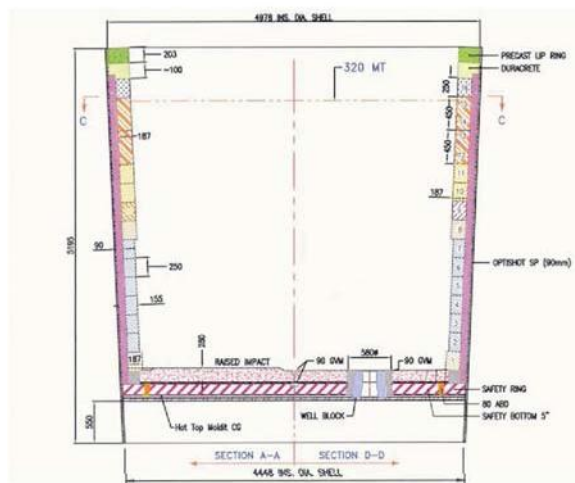
- Пайдаланылатын кірпіш әдетте биіктігі 175-200 мм шамасындағы АМС, МС кластағы немесе доломитті сапалы тігінен қойылған ірі кірпіш болады. Кірпіштердің барлық төрт жағына сұйық цемент ерітіндісін жағып, кірпіштерді дұрыс қалау кәсіби тас қалаушылардың көп уақытын алады (бұл тиімсіз).

9.13-сурет: Болат төгу қауғасының түбінің құрылымы



9.14-сурет Алдын алы құйылған жұмыс түбінің әсері

Шөміштің түбі арқылы тесілуі - залал және өндірісте жоғалтқан уақыт тұрғысынан өте қымбат. Сонымен қатар бұл цехта жұмыс істейтін қызметкерлер құрамын қауіпке ұшырататын қауіпсіздіктің маңызды проблемасы болып табылады. Негізгі себептері мен алдын алудың қысқаша мазмұны 9.15-суретте келтірілен.



Негізгі себептер	Алдын алу шаралары
Жегі қождар / қыздыру	Технологиялық бақылау және түп сапасының процеске сәйкес келуі (ескерту: АМС кірпіші көптеген цехтарда қателерге көбірек кешірімділік береді)
Жіктерді ашатын шөміштің қанағаттанарлықсыз темроциклдеуі	Пайдаланудағы шөміштердің минималды саны, әсіресе болымсыз жүктеме кезеңдерінде
Кірпіштің төмен сапасы	Кірпіштің минималды қолайлы сапасын көрсетіңіз
Қорғаныш қаптама кірпіштерінің құрылымы	Монолитті қорғаныш қаптаманың болатты / қожты токтатуына / мұздатылуына шамасы жақсы келеді (көптеген операциялық кемшіліктерді жеңуге мүмкіндік береді)
Қорғаныш қаптаманың бүтіндігі	Тесіктердің, жарықшалардың және т. б. тереңдігіне стандарттар және жөндеудің әдістемелері. Қорғаныш қаптаманың минималды қалыңдығы
Нашар визуалды қарап тексеру	Оқыту, лазерлік өлшеу, термография

9.15-сурет: Шөміш - түптің тесілуі

9.3 Болат төгу қауғасының араластыру жүйесі

Шөміште араластыру болат төгу қауғасының температурасы мен химиялық құрамын оңтайлы бақылау үшін шешуші маңызға ие. Көптеген зауыттарда әлі күнге дейін шекті сұрыптар өндірісі үшін қажетті араластыру жүйелері жоқ. Араластырудың екі негізгі жүйесі қолжетімді - тікелей емес (электрмагниттік өрістер арқылы) және отқа төзімді аргонды тығындар арқылы тікелей араластыру.

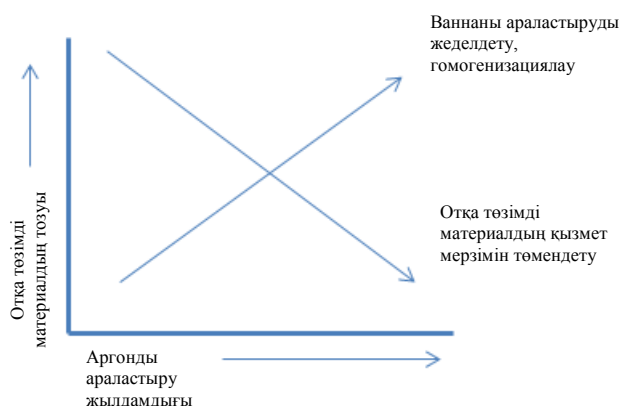
Шөміште араластырудың негізгі артықшылары:

- Неғұрлым біртекті сыйық болат
- Қоспаларды жоюға арналған қож / болаттың өзара жақсырақ әрекеттесуі
- Неғұрлым жоғары өнімділік
- Температураны неғұрлым жақсы бақылау және, сәйкесінше, энергияны үнемдеу
- Жоғары өнімділікке жету үшін шөміш бар металлургиялық білдектерде өңдеу фурмаларда араластырумен салыстырғанда неғұрлым жылдам өңдеу, ал жылытқыш станциялармен жағдайларда - энергияны неғұрлым аз тұтыну.

Аргонды араластырудың кемшіліктері:

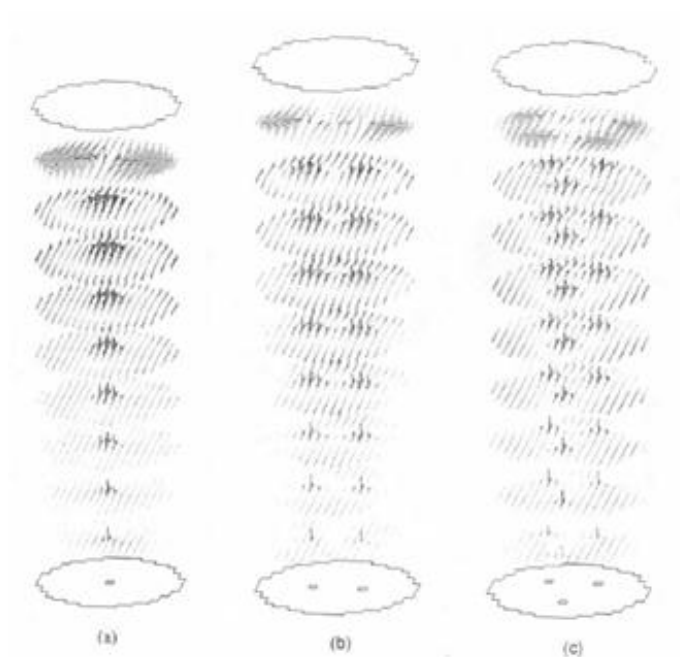
- Шөміштің түп арқылы тесіп өтуінің қауіп-қатері
- Түптің ұлғайған тозуы және түп пен қабырғалардың қажалауынан шөміштің қызмет етуінің қысқа мерзімі.

Осы теңгерімнің қысқаша мазмұндалуы 9.16-суретте көрсетілген.



9.16-сурет: Аргонды араластырудың әсерлері

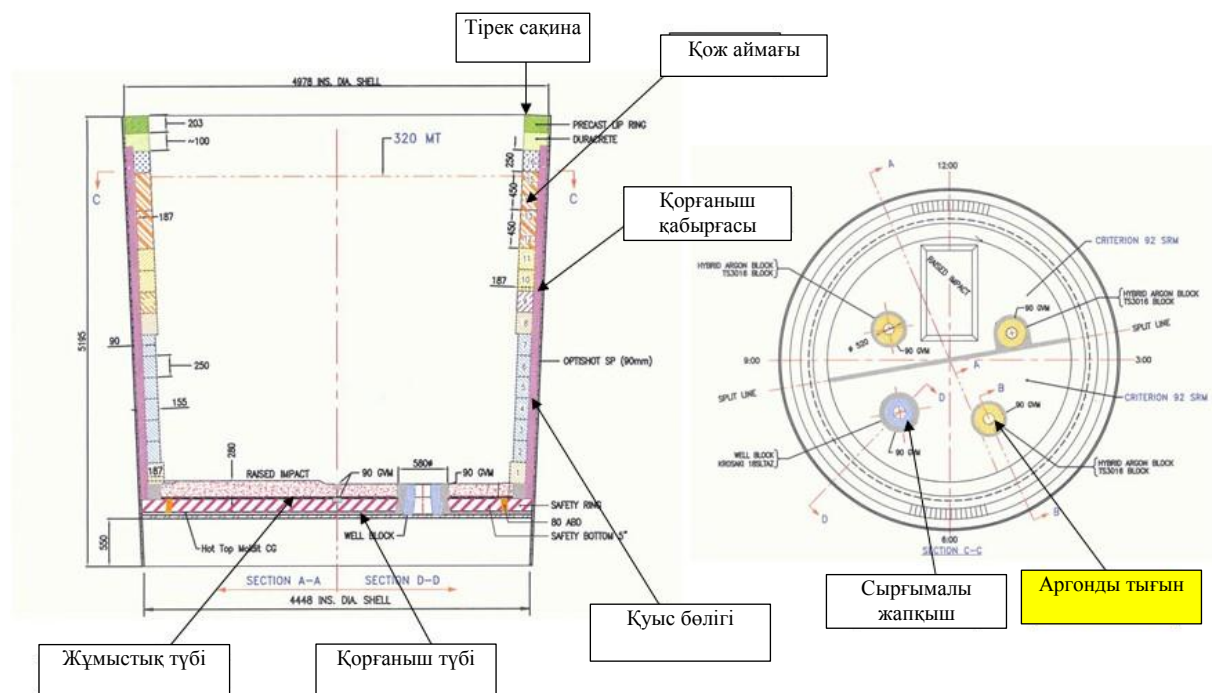
Негізгі параметрлердің бірі – аргонды тығындардың саны және оларды жайғастырған орын болып табылады. Болат құю компаниялары үш аргонды тығынға дейін пайдаланады (вакуумды газсыздандырғыш бактармен), және де бұл шешім өнімділік үшін шешуші маңызға ие болады. 9.17-суретте араластырудың әртүрлі нұсқалары, сонымен қатар дайын үлгілері және құрастырылған өлі аймақтары көрсетілген.



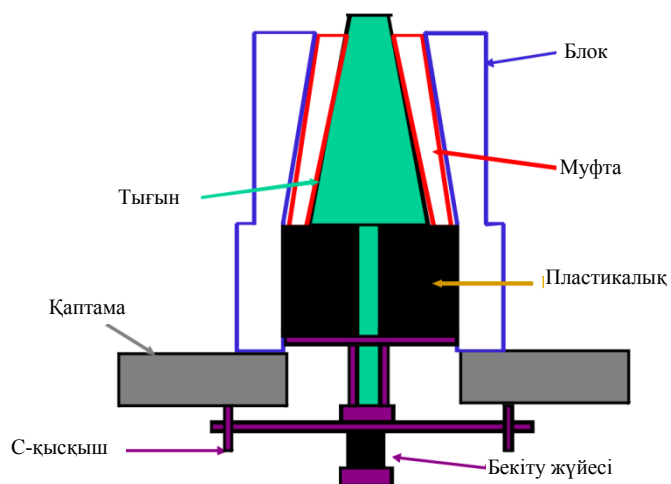
9.17-сурет: Pan, SM; Хо, YH; Хван, WS газ шөміштеріне арналған сұйықтық ағынының үш өлшемді моделі
Материалтану және өнімділік журналы; 1997 жылғы Маусым; 6, 3; ProQuest Материалтану жинақтамасы
311-бет

Аргонды араластыру табысты құрал болып табылады және оның отқа төзімді қасиеттері мәселелерін талқылаудың мәні бар.

9.18 және 9.19- суреттерде тура жүйе және тығындар жақсы ағысты қамтамасыз ете отырып, ваннамен тікелей байланыста болуы көрсетілген.



9.18-сурет: Болат төгу қауғасының аргонды жүйесіне шолу

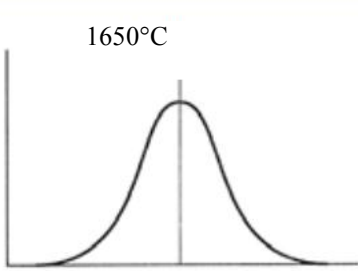
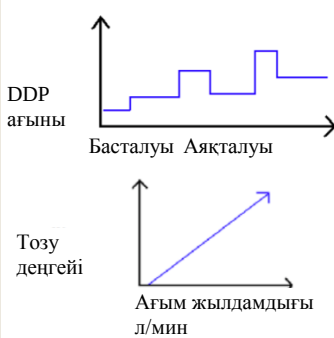


9.19-сурет: Аргон ағын жүйесінің әдеттегідей схемасы

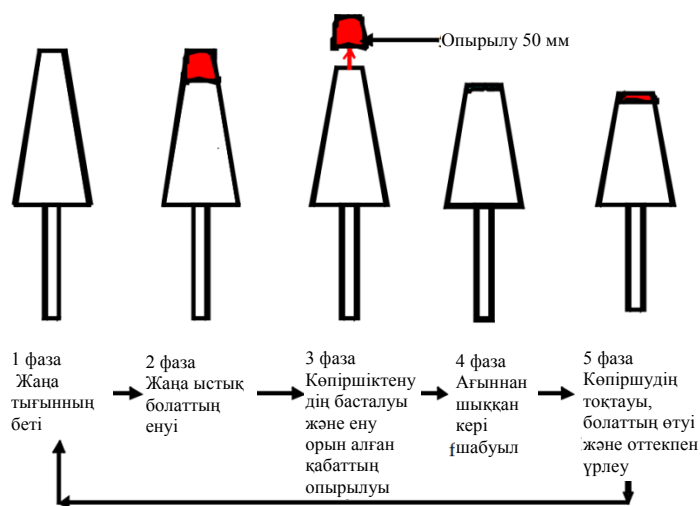
Осы тараудың басында талқыланған металлургияның артықшылықтарын көруге болады және артықшылықтарға нақты пайдалану кезінде қол жеткізілгені дәлелденді.

Енді біз тозу механизмін және онымен күресуде қолданылатын материалдардың түрлерін 9.4-кетседе талқылаймыз.

9.4-кетсе: Болат төгу қауғасының араластыру жүйесіне арналған ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы, және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында төменде ұсынылған:  Шығарылу температурасы: Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термосокқы (ΔT)	Аргонды тығындарға арналған циклдік температуралық әсер жоғары болуы мүмкін, бірақ ол, 9.20-суретте көрсетілгендей, күніне болған балқыту мөлшеріне және температуралардың кенет өзгеруінде шытынауға апаратын қосылулар және сөндірулер санына негізделген. Тығындар үшін шытынау температуралардың кенет өзгеруінен шөмішке түсетін және ыстық сұйық болатпен байланысқа түсетін (салыстырмалы) суық аргоннан күштірек. Бұл аргонды араластыруға арналған тығындар ұшына үлкен кернеу жасайды. Сондықтан температураның кенет өзгеруіндегі шытынау аргонды шөміштерде контактілік араластыру жүйелеріндегі аса маңызды фактор болып табылады.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте араластырғыш тығынына түсетін әсердің шамасы бірқалыпты; онымен бірге НОК-қа әсер ету ағыны негізгі фактор болып табылады. Әдетте бұл шөміште араластырудың аргон тығыны тозуының маңызды факторы емес.
	Қажалу	Қажалу дәрежесі шын мәнінде тығындардың жұмысына және араластыру профиліне байланысты. Аргонды немесе RHOV тығындары бар цехтарда операциялар барысында ваннаның қарқынды қозғалуы және түптің қажалуы, яғни, сәйкесінше - түптің тозуы орын алады. Мұның жақсы мысалы - төменде ұсынылған түбіндегі аргон тығын араластыру профилі болып табылады:  Қажалу аргон тығыны тозуының маңызды факторы
	Қосымшаланған кернеу	Тығынның биіктігі, әдетте, пештің табанына қоса берілген кернеудің пайда болуы үшін жеткіліксіз.

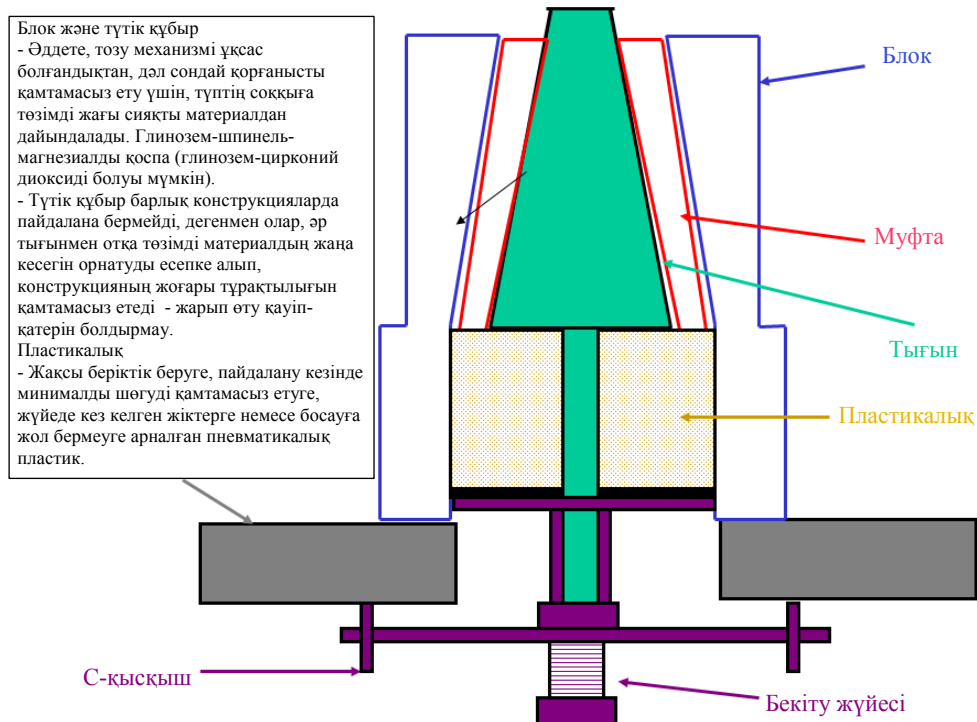
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 9.3-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие, бұл базалық түрдегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Негізгі материалдар пайдаланылуы мүмкін, бірақ олар шытынауға бейімді, сондықтан құрамында көп мөлшерде глинозем пен глинозем-шпинель немесе глинозем-цирконий бар материалдар металлургиялық зауыттарға өте тән.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа төзімді материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Бұл маңызды мәселе болып табылады, өйткені қож төменгі аргон тығындарда ұзақ уақыт бойы орналасады, одан кейін тығындарды тазалауға арналған оттегі фурма көмегімен тығынның ішіне терең кіргізілуі мүмкін. Бұл шөміштің аргонды тығынының тозу механизмінің негізгі бөлігі.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Тығынның биіктігі шамалы, сондықтан тік бағытта түскен кернеу жеткіліксіз, алайда тығын блоктың ішінде қысылған, бұл кейбір кернеулердің жинақталуына апаруы мүмкін. Сұйық цементті ерітінділердің жіктері пайдаланылады; алайда олар болаттың еніп кетуіне сезімтал және өте қалың жікті орнатқанда жарылуы мүмкін.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл, 9.20-суреттегі сипаттамаға сәйкес, тозудың негізгі механизмі.



9.20-сурет Кеуекті тығынның тозу механизмі

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Араластыратын шөмішке арналған тура контактісі бар аргон үшін тығынның базалық конструкциясы 9.21-суретте көрсетілген.



9.21-сурет: Аргон жүйесінің отқа төзімді құрылымы

Болат төгу қауғаларында әдетте пайдаланылатын тік аргон тығындарының, 9.22-суретте көрсетілгендей, үш түрі бар екендігіне назар аударыңыз.



Фотосуреттерді Vesuvius plc компаниясы ұсынған

Тығынның түрі	Кездейсоқ Кеуекті	Саңылаумен бағытталған	Ендірмелермен бағытталған
Сипаттамасы	Алюминий тотығы, магний тотығы және / немесе цирконий тотығы қосылыстарынан жасалған жоғары өткізгіштігі бар кездейсоқ кеуекті тығын Кеуектілікті ашық және ағынды бұғаттайтын болатпен және / немесе қожбен толтырылмаған күйде ұстау маңызды	Саңылаулар сол жерде құйылған, бұл аргон газына олар арқылы өтуге мүмкіндік береді. Әдетте ағынды іске қосу үшін неғұрлым жоғары қарсы қысым қажет. Әдетте, болат / кож енуі төменірек	Ішпектер (әдетте құрамында жоғары мөлшердегі глинозем болады) сол жерде құйылады (құю болат маркасына байланысты болады). Неғұрлым жоғары қарсы қысымы мен төмен енуі бар саңылаулар ұқсас

9.22-сурет: Аргонды тығындар түрлерін салыстыру

Тығынның қызмет ету мерзімін ұзартуға арналған жеті (7) негізгі стратегия бар:

1. Ең қарапайымы - ең ұзын тығынды, бірақ оның ұзындығы шөміш түбінің өзімен ара салмақта болуын жасау.
 2. Тығын материалының өзін, жылулық соққылар мен(немесе) қажалуға төзімді жасай отырып, неғұрлым жоғары тазалыққа дейін жаңартыңыз. Мұнда негізгі фактор қызмет ету мерзімі мен құнының теңгерімі болып табылады.
 3. Қоршаған блокты жаңғыртыңыз. Қоршаған блок тығынды өте жақсы қорғайды, және блоктың мерзімінен бұрын тозуы ыстық бетінен емес, бүйір бойынша тығындардың тозуына алып келеді.
 4. Шығынды азайту тығынға түсетін жүктемені төмендетеді және тозу жылдамдығын жақсартады.
 5. Сонымен қатар бір-бірінен алыс орналасқан тесіктердің дәл сол саны бар үлкен диаметрлі тығынды пайдалану оңды әсер етеді.
 6. Неғұрлым үлкен өлшемді және үлкен қорғанышы бар блок пайдалы болуы мүмкін, егер блоктың тозуы тозудың үдеуін тудыратын болса.
 7. Дұрыс баланс/тесік түрін анықтаңыз (саңылаулар, дөңгелек және кеуекті). Әртүрлі конструкциялар әртүрлі тозу сипаттамаларын бере алады.
- . Мінсіз шешім жоқ!

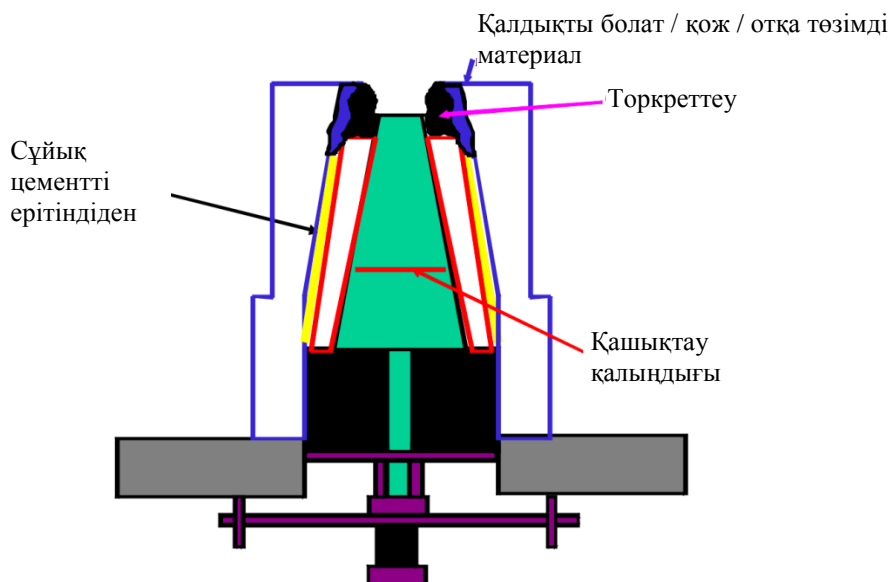
Аргонмен араластырып жөндеу әдістері

Аргонды тығындарды автономды түрде суық күйінде жұмыс істемейтін режимде немесе ыстық күйінде жұмыс режимде ауыстыруға болады. Оларды шөміштің пайдалануға қайта оралуы үшін қажетті жылулық соққы мен қосымша қыздыру ілесетін шөміш қаптамасының өзінің салқындауын болдырмау үшін ыстық күйде ауыстыру ең қолайлы болады.

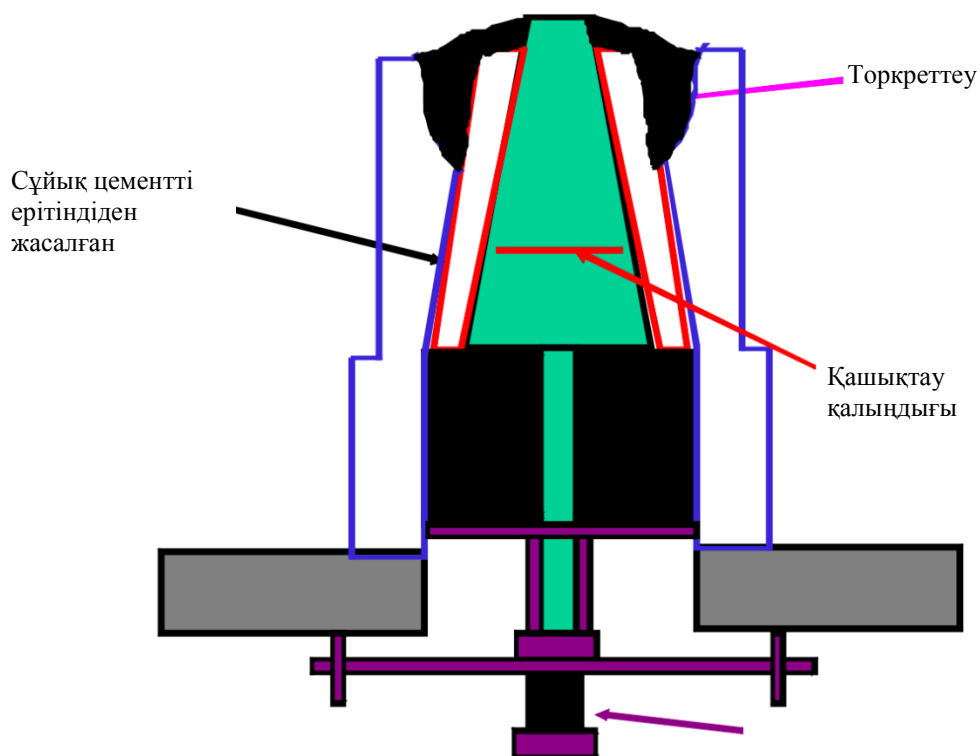
Жедел жөндеу әдісі кезінде:

- Шөміштің түбі түптегі барлық болаттан және / немесе қождан тазартылғанына көз жеткізіңіз.
- Жөндеуге арналған тығынға қолжетімділік алуға мүмкіндік беретін конструкцияға ие болу.
- Тығынды алдыңғы жақтан артқа қарай машинаның ірі бөлшегінің және жақсы оператордың көмегімен итеріп шығарыңыз, НЕМЕСЕ тығынды артқы жақтан кен балға немесе басқа қол құралының көмегімен қазып алыңыз.
- Бұдан кейін блокты бастапқы бетке дейін тазарту қажет (аса маңызды).
- Тығын / жіктің қажетті қалыңдығына дейін алдын ала сұйық цементті ерітіндімен жабылған түтік құбыр үйлесімі, одан кейін орнына орнатылады, және де барлығы қайталап біріктіріледі.

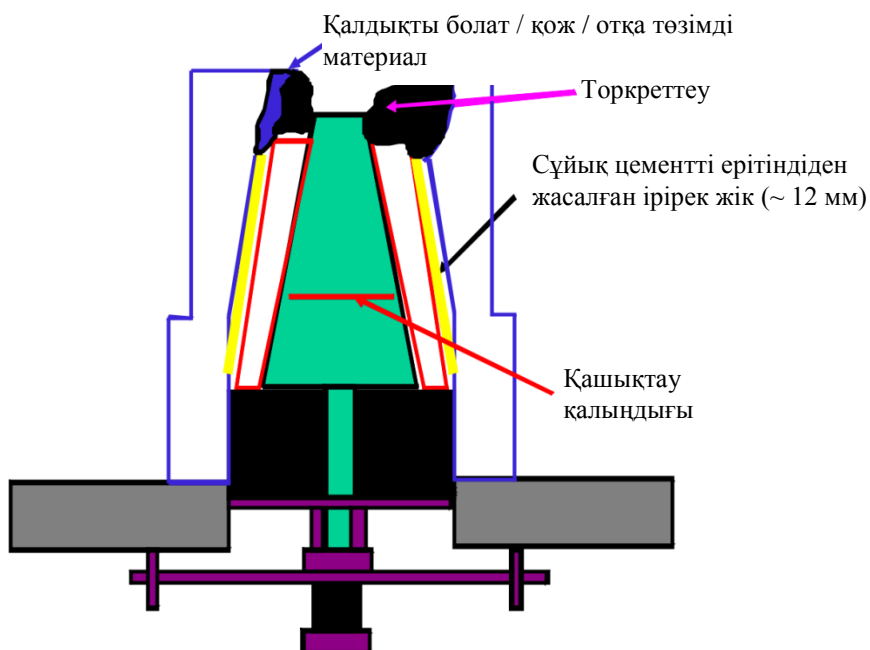
Тығындар жүйесін дұрыс орнатумен байланысты тәуекелдер бар екендігіне және кейбір кілттер 9.23-тен 9.25-суретке дейін көрсетілгеніне назар аударыңыз.



9.23-сурет: № 1 құрылғының проблемасы - блок таза емес

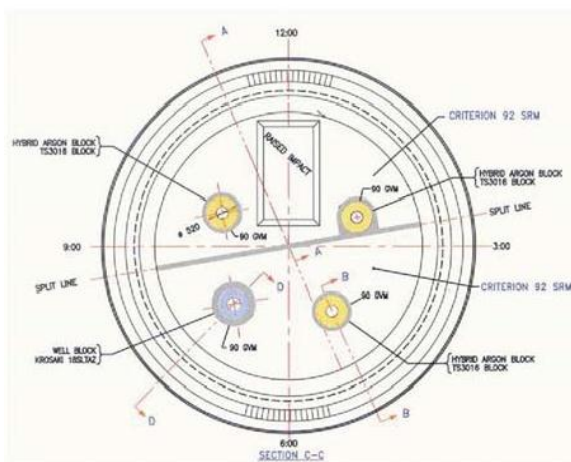


9.24-сурет: № 2 құрылғының проблемасы - бұзылған блок



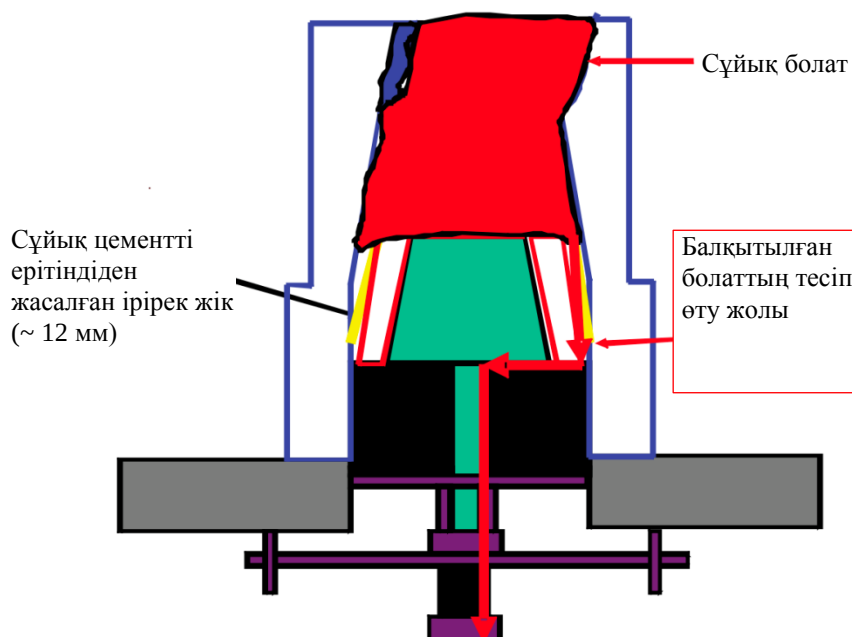
9.25-сурет: № 3 құрылғының проблемасы - бұзылған және таза емес блок

Тазартудың немесе дұрыс өңдеудің болмауы шөміштің жарылуына әкеп соқтырады. Шөміштің төменгі араластыру жүйелері арқылы жарып өтуі зақымданулардың салдарынан өте қымбат тұрады және де өндірісте бос тоқтап тұрып қалу орын алуы мүмкін. Негізгі себептердің және алдын алу әдістерінің қысқаша мазмұндалуы 9.26 және 9.27-суретте көрсетілген.



Негізгі себептер	Алдын алу шаралары
Жемір қождар	Технологиялық бақылау және түп сапасының процеске сәйкес келуі
Қателермен орнату	Орнатудың жақсы стандартты әдістері және оқытудың жақсы тәжірибелік әдістері
Тығынның төмен сапасы	Тығын сапасының минималды қолайлы мөлшерін көрсетіңіз
Тым ұзын аргонды тығын	Аргонды тығындарды араластырғыштардың санына емес, араластыру минуттарының мөлшеріне байланысты ауыстырыңыздар
Нашар визуалды қарап тексеру	Оқыту, лазерлік өлшеу, тығындардағы көрнекілік оқулықтар (әртүрлі тығыздықтағы материалдардан жасалған дөңгелектер, шаршылар)
Бекітудің нашар жүйесі	Қызмет көрсеткен кезде тығын қозғалмауын қатамасыз ететін берік конструкция

9.26-сурет: Шөміштің тесілген жерлері - аргон тығындар



9.27-сурет: Аргонды тығынның тесуі мысалы

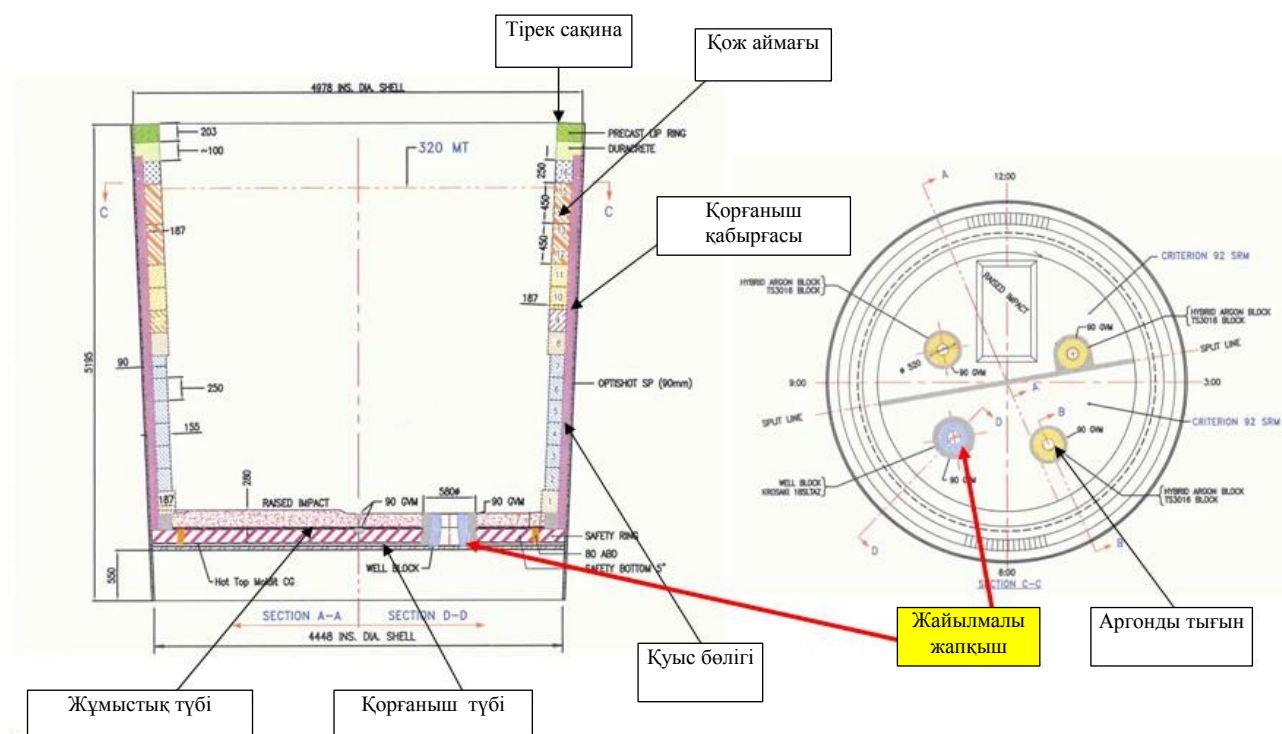
9.4 Болат төгу қауғасының шығынын реттеу жүйелері

Шөміште ағынды бақылаудың болат өндіруде шешуші маңызы болады, өйткені балқытылған сұйықтықты бақылау қауіпсіздік, сонымен қатар өнімділік пен сапа мәселесі болып табылады.

Жылжымалы жапқыш жүйесінің негізгі функциялары келесілер:

- Белгіленген ағын жолынан тыс балқытылған болаттың бұзылуы немесе ағуы болмауын қамтамасыз ету
- Цех қарқынына байланысты сұйық болаттың шығынының бақыланатын өлшемі
- Сұйық болатқа бейметалл қосындыларды құрастыратын ауа / оттектің түсуіне жол бермеу
- Жүйеге арналған ең төмен құны/болат тоннасы
- Жүйемен жұмыс істейтін қызметкерлер үшін қарапайым эргономика

9.28-суретте болат төгу қауғасына шолу және болат төгу қауғасының төменгі бөлігіндегі сырғымалы жапқыштар жүйесінің орналасуы көрсетілген. Сонымен қатар 9.29-суретте жапқыштар жүйесінің барлық бөліктері белгіленген түрі көрсетілген (отқа төзімді материалдарды қоса алғанда), ал 9.30-суретте отқа төзімді материалдардың өздерінің көлденең қимасы. Нарықта сырғымалы жапқыштардың көптеген жүйелері бар екендігін, онымен бірге цехтар олар өндіретін болат маркаларына байланысты жоғарыда көрсетілген функциялардың ең жақсы теңгерімін қамтамасыз ететінді таңдауы тиіс екендігін айтып кету қажет.



9.28-сурет: Болат төгу қауғасының шығынын реттеуге шолу

Жайылмалы
жапқыш

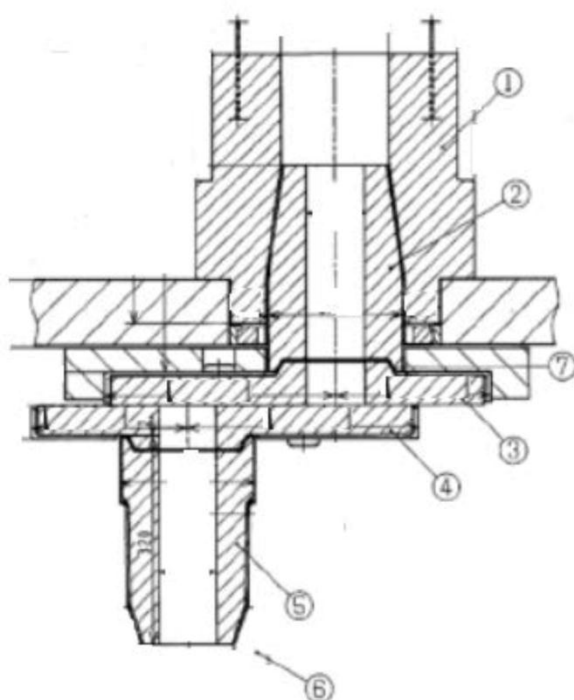


Болат төгу қауғаларының
сырғымалы жапқыштар
механизмі

Жүйе арқылы өтетін
сұйықтық ағыны үшін
ядро ретінде отқа төзімді
компоненттері бар аса
күрделі механикалық
жүйе

9.29-сурет: Болат төгу қауғаларының сырғымалы жапқыштар механизмі

Krosaki Harima Corporation ұсынған



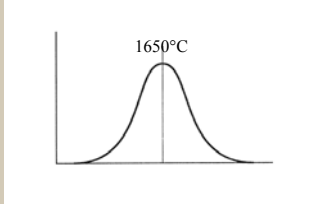
1. Қауға құдығының блогы
2. Қауғаның жоғарғы стақаны
3. Жоғарғы сырғымалы жапқыштың тілімшесі
4. Төменгі сырғымалы жапқыштың тілімшесі
5. Төменгі стақан
6. Қауғаның қорғаныш құбыры
7. Жапқыштар жүйесінің қаңқасы

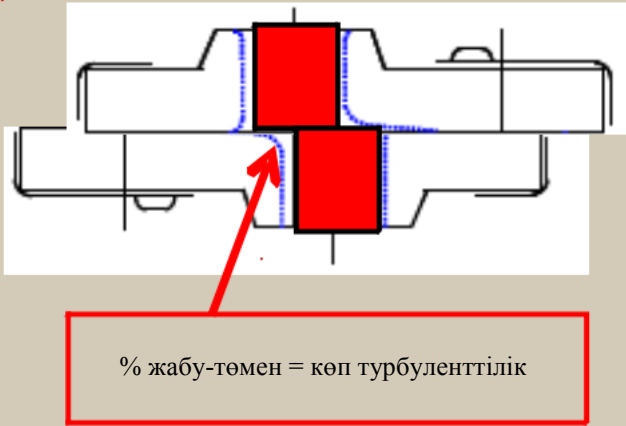
9.30-сурет: Болат төгу қауғаларының сырғымалы жапқыштарына шолу

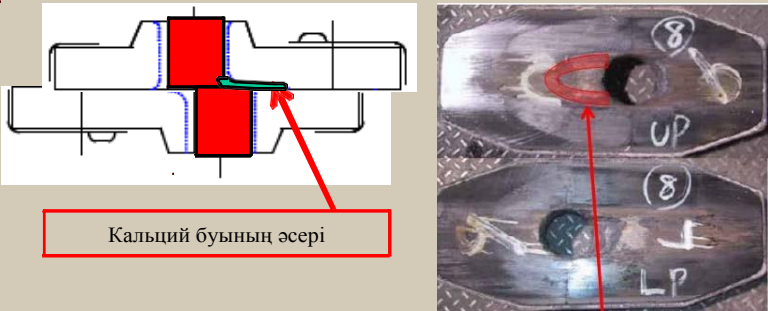
Бәлкім, қауғада сырғымалы жапқыштар жүйесі болат құю цехындағы ең күрделі және ең жегі отқа төзімді пайдаланулардың бірі, тілімшелердің қызмет ету мерзімі, цехқа байланысты, орташа алғанда 1-12 балқыту құрады.

9.5-кестеде жоғарғы стақанның, тілімшелердің және төменгі стақанның тозу механизмдері, одан кейін оны алдын алуға арналған материал түрлері көрсетілген.

9.5-кесте: Болат төгу қауғаларын араластыру жүйесіне арналған ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Сырғымалы жапқыштың температурасы - бұл болаттың өзінің температурасы, және ол, төменде көрсетілгендей, шығарылу температурасының типтік гистограммасында жақсы көрсетілген:  Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

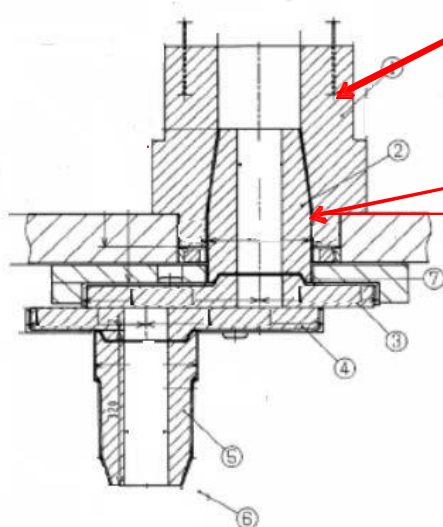
	Термосокқы (АТ)	Жылжымалы жапқыш жүйесіне арналған термоциклдеу жоғары және компоненттерге байланысты өзгереді. Жоғарғы стақанда үш саланың ең төмені, алайда шөміштің басқа бөліктерімен салыстырғанда, әлі биік болады. Бұл шөмішке арналған суық құм оған әр балкытуда төгілетінімен, ал одан кейін ыстық болат ол арқылы 60-120 минуттан кейін құйылуымен байланысты. Сырғымалы жапқыштың тілімшелері және төменгі стақан жүйе ашық ауада қоршаған орта температурасында болғанда қатты жылу соққысына және жапқыш ашық болғанда және сұйық болат аға бастағанда температураның төтенше ауытқуына ұшырайды. Сондықтан жылулық соққы шөміштің сырғымалы жапқыштарына әсер етеді және, сәйкесінше, осы құбылысқа шама келуі үшін, оладың барлығының құрамында көміртек бар.
Механикалық	Соққылы әсер	Тілімшілер бірнеше балкытулар үшін қайталап пайдаланғанда және балкытулар арасындағы кезеңде тазартылғанда әсер ету негізгі фактор ретінде болуы мүмкін. Әдетте тілімшенің беттерін және стақанды тазарту үшін өзекшелер, уатқыш пистолет және т. б. пайдаланады, алайда олар бетті қатты зақымдайды. 
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және арна мөлшеріне байланысты. Егер арна өткізу қабілеті үшін тым үлкен болса, арналарды жабу аз болады, ал төменгі тілімше үлкен күш пен турбуленттілік әсеріне ұшырайды. Қатты жабынды және болаттың ағының басқаруда немесе арнадағы кез келген қоқыстарды теңгеруде қиындықтар болған жағдайда. Қалыпты бағдар қажетті өткізгіш қабілетке арналған арнаның ~ 50% жабынын құрады.  Сондай-ақ, қозғалыс бетін ашу және жабу кезінде қажалу тілімшенің тозуын туындатады. Демек, қажалу сырғымалы жапқыштың тілімшесінің тозуының басты факторы болып табылады және тек қана ағыннан қажалуды көретін жоғарғы мен төменгі стақанға аз шамада әсер етеді.

	Қосымшаланған кернеу	Жапқыш жүйесіндегі кернеу де маңызды фактор болып табылады. Жоғарғы стақан блокпен шектелген, сондықтан орнату жерін кеңейту үшін сұйық цементті ерітіндіден өлшемі 2-3 мм жік жасалады; кері жағдайда стақанда кернеу пайда болады, және ол шытынап кетеді. Жылжымалы жапқыштың тілімшелеріне қысу және кез келген жарықтарды ұстап тұру қажеттілігіне байланысты ең жоғары кернеу болады. Төменде келтірілген суретті сіз тілімшеге түскен механикалық кернеулерді көре аласыз. Оларға сұйық болат өткен кезде қыздырылған тілімшенің кеңеюі қарсылық көрсетеді. Бұл аралас жүктеме пластина материалын құрастыруда маңызды фактор болып табылады.  Төменгі стақанға елеулі кернеу түспейді, өйткені ол шөміштен тыс еркін өсуі мүмкін.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың отқа төзімді материалмен химиялық үйлесімділігіне бағдарланған. Жүйе арқылы өту кезінде болаттың /қождың қалыпты тозуы маңызды мәселе болып табылмайды; дегенмен, жылжымалы жапқыш тілімшелері үшін бір маңызды проблема бар - Са-дің булы әсері. Са болатта болғанда және жабынды болғанда, Са Са буларына айналады және тілімшеге өте жемір әсер етеді (ол әдетте глиноземнен жасалады). Тозудың пішіні жабын түрінде болады және таға пішінді тозу деп аталады, өйткені сіз қызмет көрсеткеннен кейін оған қарағанда, ол осы пішінде болады. Са әсерінен болған тозудың салдары болаттағы миллион Са-ға 35 бөлік шегінен тыс экспоненциалды ұлғаяды. Ол үшін жылжымалы жапқыш жүйелерінде қазіргі уақытқа дейін MgO және MgO-C пайдаланылды, бірақ термосокқы/жарылу кеңейту мен кернеудің жылдамдығына байланысты негізгі мәселе болып отыр.  Кальций буының әсері Кальций буларының әсер етуі: «таға тәрізді сурет» Еріту де құдықтың тозуына әсер етуі мүмкін. Жылдамдатылған тозу пайдаланылатын шөміш құмының химиялық құрамына байланысты. Әдетте шөміш құмы Zr_2O_3, SiO_2, Al_2O_3 және Cr_2O_3-тен тұрады.

	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа төзімді материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Жапқыштар жүйесіндегі негізгі мәселе - тесіктерді тазартатын, алайда тұтқырлығы өте төмен және температурасы жоғары, көміртек болмағанда отқа төзімді материалға терең еңіп кететін қож пен болаттың қоспасын құратын оттеппен үрлеу. 
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы "Түсірілген кернеу" бөлімін қара.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Са буынан қоса берілген кернеудің, қажалудың, коррозияның және термоциклденудің үйлесімі жылжымалы жапқыштың тілімшелері үшін көзделген қысқа қызмет ету мерзімінің себебі болып табылады. Жоғарғы және төменгі стақандарға осы үйлесімдер төмендеу әсер етеді.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Сырғымалы жапқыш тардың базалық конструкциясы 9.36 және 9.37-суреттерде көрсетілген.



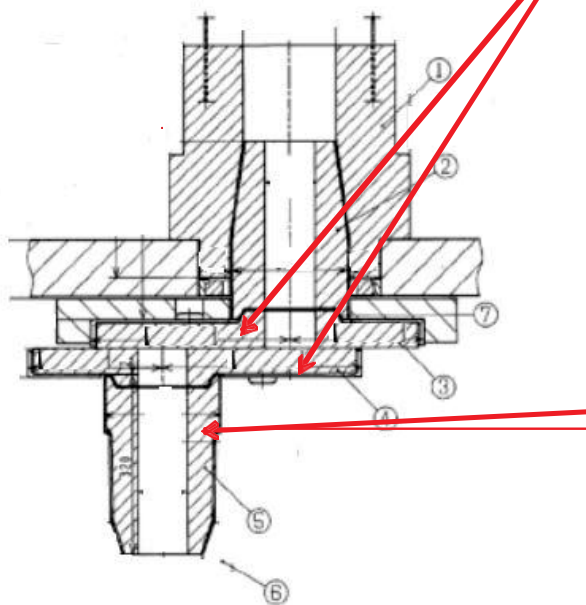
Құлықтың блогы:

- Әдетте, тозу механизмі ұқсас болғандықтан, дәл сондай қорғанысты қамтамасыз ету үшін, түптің сокқыға төзімді жағы сияқты материалдан дайындалады. Глинозем-шпинель-магнезиалды қоспа (Глинозем-цирконий диоксиді болуы мүмкін).

Шөміштің жоғарғы стақаны:

- Әдетте глиноземді-көміртекте қоспадан дайындалады (жоғары тазалықты кестелі немесе балқытылған ақ глинозем және 94% графит)
- сонымен қатар көміртекте қорғау үшін құрамында антиоксиданттар (Al, Si) болады: 3-8% диапазонында болады.

9.36-сурет: Сырғымалы жапқыштардың отқа төзімді құрылымы



Сырғымалы жапқыштың тілімшелері:

- Әдетте глиноземді-көміртекті қоспадан дайындалады (жоғары тазалықты кестелі немесе балкытылған ақ глинозем және 94% графит)
- Әдетте 5-8% көміртек - шайырмен біріктірілген тілімшелермен салыстырғанда, көміртекпен біріктірілген тілімшелердің (қалпына келтіру атмосферасында қатты күйдірілген) арқасында ең жақсы өнімділікті алуға болатынына назар аударыңыз.
- Әдетте цирконий диоксиді фазасының өзгеруімен байланысты мәселелерді жою үшін цирконий диоксидін қоспаланған алюминий тотығы-цирконий тотығы немесе балкытылған муллит-цирконий тотығы түрінде қосады.
- Шпинельдер және әдеттен тыс басқа материалдар оңтайлы өнімділікті анықтау үшін сынаудан өтеді.
- Сонымен қатар 3-8% диапазонда болатын көміртекті қорғау үшін құрамында негізгі антиоксиданттар (Al, Si) болады.

Шөміштің төменгі стақаны:

- Әдетте глиноземді-көміртекті қоспадан дайындалады (жоғары тазалықты кестелі немесе балкытылған ақ глинозем және 94% графит)
- Сонымен қатар 3-8% диапазонда болатын көміртекті қорғау үшін құрамында негізгі антиоксиданттар (Al, Si) болады.

9.37-сурет: Сырғымалы жапқыштарға арналған отқа төзімді құрылым

Біз жапқыштың жұмысын немесе тілімшелерді, стақандарды және т. б. орнатуды қарастырмаймыз, өйткені олар нақты жапқышқа тән. Сырғымалы жапқыштар жүйесінде тесілулер байқалатын болды, негізгі себептер 9.38-суретте көрсетілген.

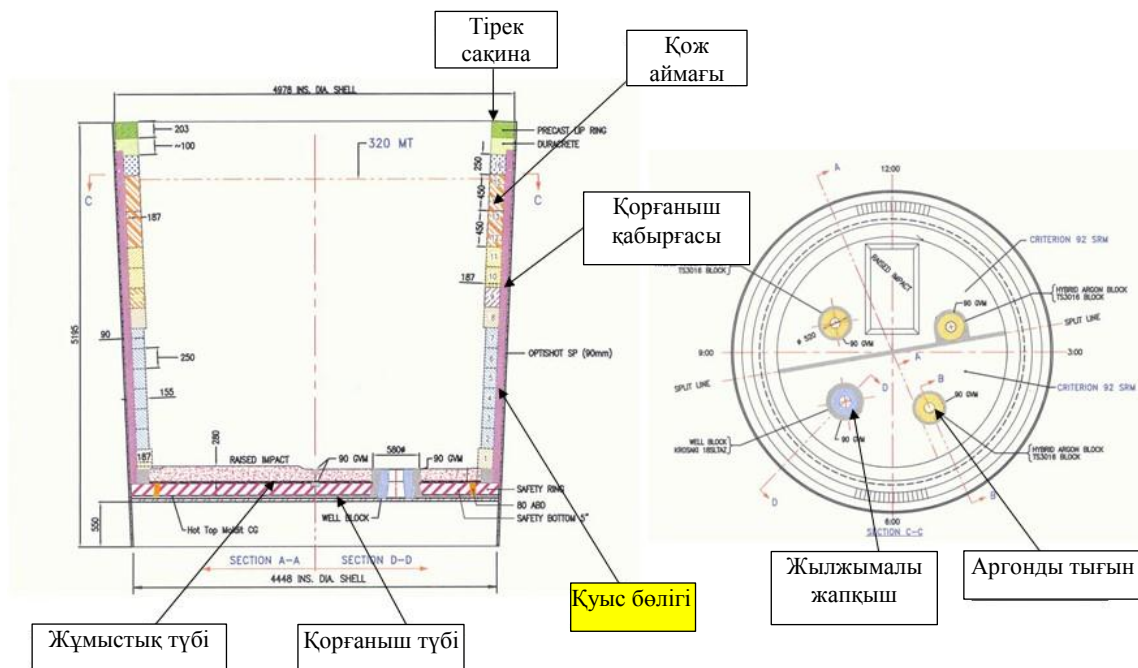


Негізгі себептер	Алдын алу шаралары
Са-дің жемірлік әсер етуі	Са деңгейін (>30 промилле экспоненциалды жоғары) және құю уақытын >60 минут бақылау
Жапқыштың жүрісі тым жиі және (немесе) тым ұзын	Жапқыштарда болат қырлардың пайда болуына жол бермеу үшін жапқыш жүрісіне бақылау жасамаңыз
Кірпіштің төмен сапасы	Кірпіштің минималды қолайлы сапасын көрсетіңіз
Жемірлі оттекті тесу	Операторларды тесу әдістеріне үйрету
Оператормен байланысты мәселелер	Операторларды қақпаны ашу және жабу механизмдеріне, сонымен қатар торкреттеу әдістеріне үйретуді қамтамасыз ету. Назар аударыңыз: Тілімшелердің «сырғымалы құрылымдары» ⁵⁵ оператор параметрлерінің кейбір өзгергіштігін жояды
Сырғымалы жапқыштарға нашар визуалды бақылау	Балкытудың әрқайсысында жылдам қарап тексеру жүргізу үшін жеңіл ашылатын жапқышты пайдаланыңыз. Тақтайшаларды дұрыс оқу үшін оқыту шешуші маңызды болады

9.38-сурет: Шөміштер - сырғымалы жапқыштардың тесілуі Krosaki Harima Corporation ұсынған

9.5 Болат төгу қауғасының бүйір жұмыс қабырғасы (қуыс бөлігі)

Жалпы болат төгу қауғасына арналған бүйірлік жұмыс қабырғасы немесе қуыс бөлігі 9.39-суретте.

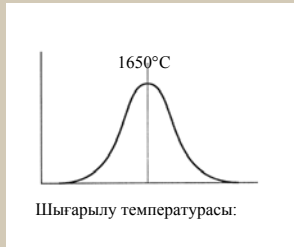


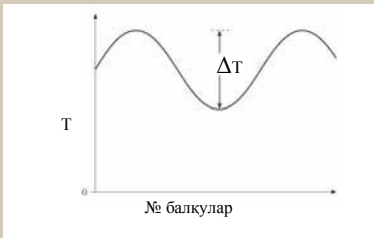
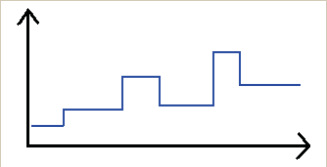
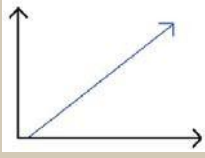
9.39-сурет: Болат төгу қауғасының бос қуысына шолу

Болат төгу қауғасы үш негізгі функцияны атқаратынын есте сақтау маңызды:

- Болаттың тесілуін болдырмау
 - Процеске арналған жылуды ұстап қалу
 - Ластануларға жол бермеу үшін болатпен минималды химиялық өзара байланысуды қамтамасыз ету.
- Болат төгу қауғасының қуыс бөлігінің 9.6-кесте көрсетілген қызық механизмі бар.

9.6-кесте: Болат төгу қауғасының қуыс бөлігінің тозуы

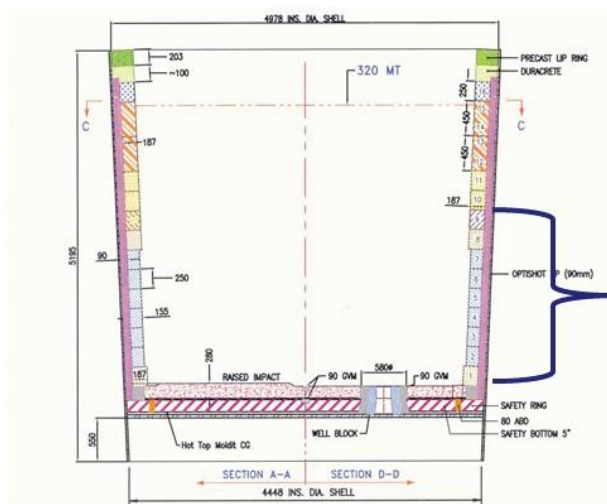
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы, және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында төменде ұсынылған:  Шығарылу температурасы: Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Жылу соққы (6Т)	Жұмыс қаптама үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балқыту / күн саны Демек, температура қаншалықты жиі өзгереді және қаншалықты?  Көптеген болат құю цехтарында шөміштерде орташа алғанда күніне төрт балқыту өтеді, бірақ ең жақсы цехтарда күніне алты немесе жеті балқыту болуы мүмкін. Бұл диапазон тозудың маңызды факторы болып табылады, сондықтан жылулық соққы - болат тоғу қауғасының жұмыс қабырғасы үшін аса маңызды фактор, алайда бұл операцияға байланысты болуы мүмкін. Жапонияда шөміштің отқа төзімді қоспасының бүйірлік қабырғалырымен жұмыс істейтінін және отқа төзімді қоспаның опырылып құлауына жол бермеу үшін күніне 6 реттен артық шөміштің жұмысын қолдау ең маңызды параметрлердің бірі екендігін көрсету қажет
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте пайдаланғанда қуыс бөлігіне минималды әсер түседі; дегенмен, НОК және болат тоғу қауғасының конфигурациясына байланысты бүйірлік қабағаны тықылдату өзінің әсерін тигізуі мүмкін: негізгі факторлар болып тықылдатудың биіктігі мен бұрышының және соққылы ағынды жұмсартатын сұйық бассейнді құруға жұмсалатын уақыттың үйлесуі табылады.  Сапалы кірпішті аймақталуы бар аумақ Операторлар егер бұл, төменде көрсетілгендей, аймақтарға бөлінген аймағы бар қалыпты құбылыс болса, орнын толтыратын болады:
	Қажалу	Қажалу шамасы пайдалануға тікелей байланысты болады; онымен бірге ванна қозғалыстары - шекті фактор. Аргонды немесе RHOV тығындары бар цехтарда операциялар барысында ваннаның қарқынды қозғалуы және түптің қажалуы, яғни, тиісінше - түптің тозуы орын алады. Төменде ұсынылған түбіндегі аргон тығын араластыру профилі осыған жақсы мысал болып табылады:  Тозу деңгейі  Ағым жылдамдығы л/мин

	Қосымшаланған кернеу	Бүйірлік қабырғаның биіктігі шөмішке байланысты; алайда тік бағытта түсірілген кернеу проблемаға айналуы үшін әдетте жеткіліксіз болады. Дегенмен, егер сіз монолитті қуыс бөлікті пайдалануды жобалаған болсаңыз, әрине, кернеу түсетін болады, және де кеңеюге немесе шөмішке арналған иілімді материалға әдіп қарастыру қажет. Сонымен қатар глиноземді-магнийлі-көміртекті (АМС) кірпішті немесе кеңеюдің жоғары жылдамдықтары бар доломитті кірпішті пайдалану да жүктеме тудыратынын ескерту қажет. Тағы да, опырылып құлауға жол бермеу үшін шөмішке арналған кеңеюге немесе иілгіш материалға кеңдікті жобалау қажет.
Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 9.3-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие, бұл базалық түрдегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Базалық кірпішті пайдалануға болады, бірақ түптерің материалдары, қорғаныш қабатты құрастырумен қожбен реакцияға түсетіндей ағылып жобалануы мүмкін. Сондықтан металлургиялық кәсіпорындар үшін жоғары глиноземді және глиноземді шпинельден жасалған негіздер тән.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Бұл көміртекті емес кірпіш үшін (мысалы, глинозем) негізгі мәселе болып табылады, өйткені еніп кету 100 мм дейінгі тереңдікке жетіп, терең тозуды тудыруы мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Бүйірлік қабырғаның биіктігі шөмішке байланысты; алайда тік бағытта түсірілген кернеу проблемаға айналуы үшін әдетте жеткіліксіз болады. Дегенмен, егер сіз монолитті қуыс бөлікті пайдалануды жобалаған болсаңыз, әрине, кернеу түсетін болады, және де кеңеюге немесе шөмішке арналған иілімді материалға әдіп қарастыру қажет. Сонымен қатар глиноземді-магнийлі-көміртекті (АМС) кірпішті немесе кеңеюдің жоғары жылдамдықтары бар доломитті кірпішті пайдалану да жүктеме тудыратынын ескерту қажет. Тағы да, опырылып құлауға жол бермеу үшін шөмішке арналған кеңеюге немесе иілгіш материалға кеңдікті жобалау қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл шөміштердің қуыс бөліктері тозуының негізгі проблемасы. Цилиндр материалының температуралық циклдік кеңеюінің әсерінен, төмендегі суретте көрсетілгендей, шөміштің қуыс бөлігінің опырылып түсуін береді. 

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Болат төгу қауғасының бүйірлік қабырғасы мен қуыс бөлігінің базалық құрылымы 9.40-суретте келтірілген.



Қуыс бөлігі

- Қазіргі кезде ең жақсы тәжірибе болып құрамында көп мөлшерде глинозем және / немесе магнезиялы отқа төзімді қоспасы бар құйма шпинельден дайындалған монолитті жұмыс қабырғалар табылады. Бұндай тәжірибе көптеген жапондық және кейбір еуропалық металлургиялық зауыттарда пайдаланылады, бірақ Солтүстік Америкада таралмаған. Орнатуды балкыту және (немесе) шоткреттеу технологиясында тәжірибесі бар сарапшылар командасы жүргізуі қажет. Оған қоса, орнату үшін кез келген ауа райы факторларынан қорғауға арналған бақыланатын цехты салу қажет.

- Цехтарда құрамында көп мөлшерде глинозем (75%-дан артық), глинозем-магнийлі көмертек (АМС), доломит немесе магнезиялы көміртек (MgO-C) бар қалыңдығы ~ 150-200 мм кірпіш пайдаланылады. Бұл болат маркаларына және пайдалану әдістеріне байланысты.

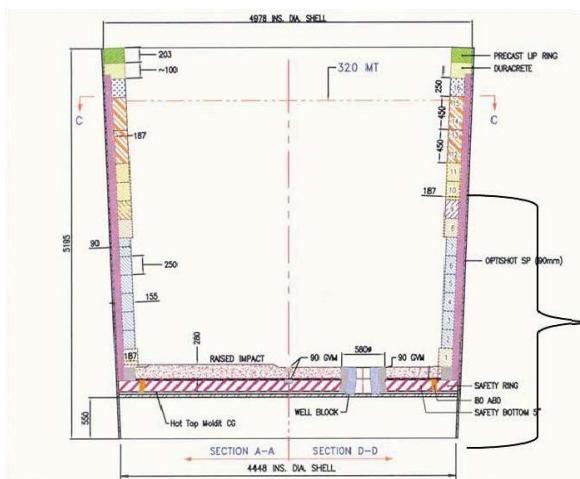
- Аса таза болаттар немесе силикон қождары бар болаттар үшін негізгі кірпіш (МС немесе доломит) пайдаланылады.

- Көптеген цехтар АМС кірпішін шығындар және өнімділіктің ең жақсы үйлесімдігі үшін таңдады. Глинозем, магнезия түрлерінің көптеген үйлесімдеріне және құрамында шпинель бар шикізатқа негізделген көптеген әртүрлі АМС кірпіштер бар (Шикізат туралы 3-тарауды қараңыз). Өнімділік цехтың жұмыс жағдайларына сәйкес келетін кірпіш минералогиясына байланысты кең ауқымда өзгеруі мүмкін.

- Кейбір кезде компенсатор ретінде құрғақ дірілдікті материал қабатын пайдаланатынына (көбінесе доломитті қаптамада) назар аударыңыз. Қаптаманы қайта төсеген әр кезде бүтіндікті қамтамасыз ету үшін оны ауыстырып отыру қажет, сондықтан процедура қымбат тұратын болып табылады.

9.40-сурет: Болат төгу қауғасының қуыс бөлігінің отқа төзімді құрылымы

Шөміштің қуыс бөлігі арқылы тесілу зақымданулардан және өндірістік уақытты жоғалтудан өте қымбат тұрады, ал алдын алудың негізгі себептері мен әдістердің қысқаша мазмұны 9.41-суретте келтірілген.

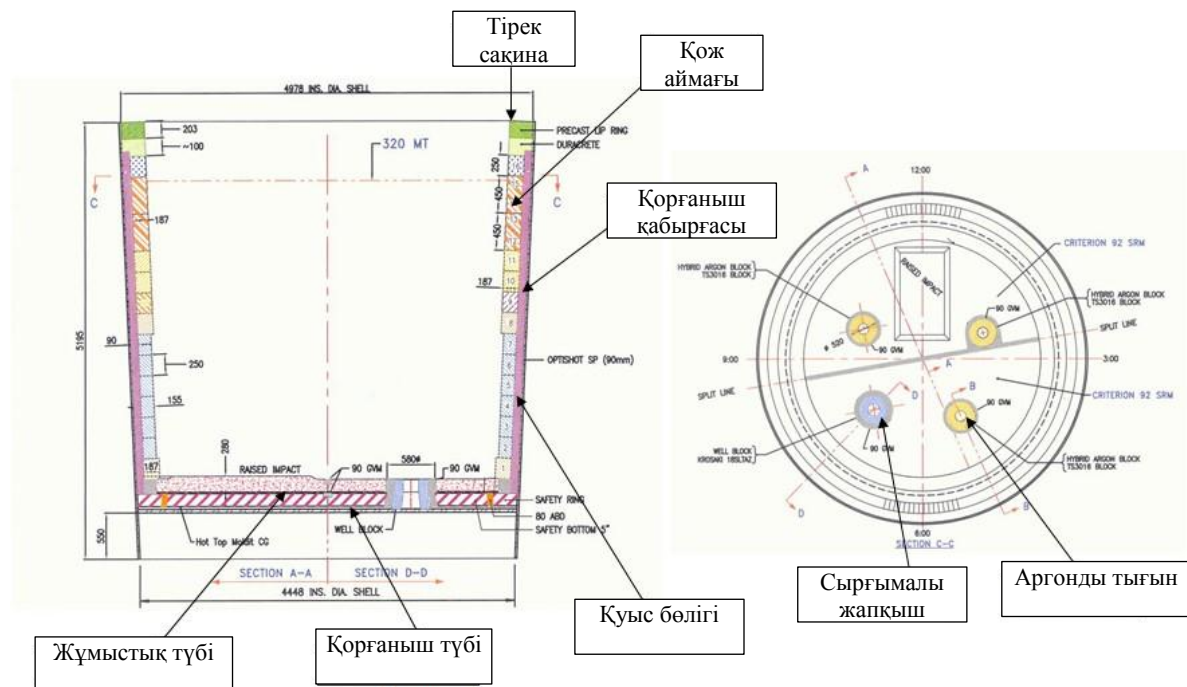


Негізгі себептер	Алдын алу шаралары
Жегі қождар / қыздыру	Технологиялық бақылау және түп сапасының процеске сәйкес келуі (ескерту: АМС кірпіші көптеген цехтарда қателерге көбірек кешіріледі)
Жіктері ашылып кететін шөміштің қанағаттанарлықсыз термоциклдеуі	Пайдаланудағы шөміштердің минималды саны, әсіресе болымсыз жүктеме кезеңдерінде
Кірпіштің төмен сапасы	Кірпіштің минималды қолайлы сапасын көрсетіңіз
Қорғаныш қаптаманың кірпіштерінің құрылымы	Монолитті қорғаныс қаптаманың болатты / қожты тоқтатуына / мұздатылуына шамасы жақсы келеді (көптеген операциялық кемшіліктерді жеңуге мүмкіндік береді!!)
Қорғаныш қаптаманың бүтіндігі	Тесіктердің, жарқышалардың және т. б. тереңдігіне стандарттар және жөндеудің әдістемелері. Қорғаныш қаптаманың минималды қалыңдығы
Нашар визуалды қарап тексеру	Оқыту, лазерлік өлшеу, термография

9.41-сурет: Шөмішті болаттың тесіп өтуі - қуыс бөліктер

9.6 Болат төгу қауғасының жұмыс қож аймағы

Болат төгу қауғасына арналған жұмыс қож аймағы 9.42-суретте көрсетілген.



9.42-сурет: Болат төгу қауғасының жұмыс қож аймағына шолу

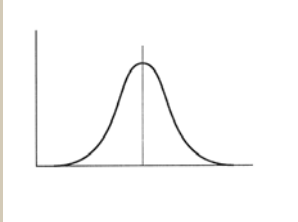
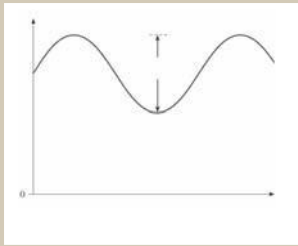
Болат төгу қауғасының жұмыс қож аймағы екі негізгі функция атқаратынын есте сақтаңыз:

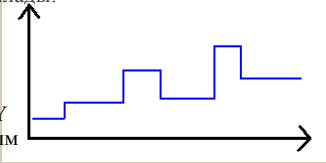
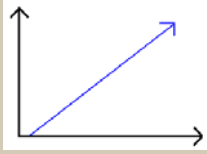
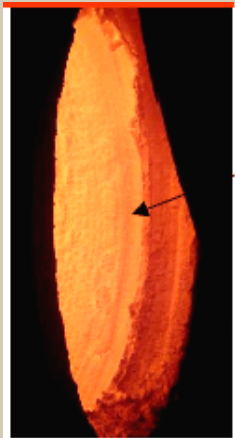
- Болаттың тесіп өтуін болдырмау
- Қоспалардың пайда болуына жол бермеу үшін болатпен мейлінше төмен химиялық өзара әрекеттесуді қамтамасыз ету.

Қож аймағы - ол қож аймағының тозу деңгейін 200-300%-ға жоғарлата алатын шөміштерді өңдеуге арналған құрылғының әсеріне әсіресе бейімді аймақ екенін айтып кету керек.

Болат төгу қауғасының қож аймағы тозуының 9.7-кестеде көрсетілген қызық механизмі бар.

9.7-кесте: Болат төгу қауғасының қож аймағына арналған ЖМХ талдау.

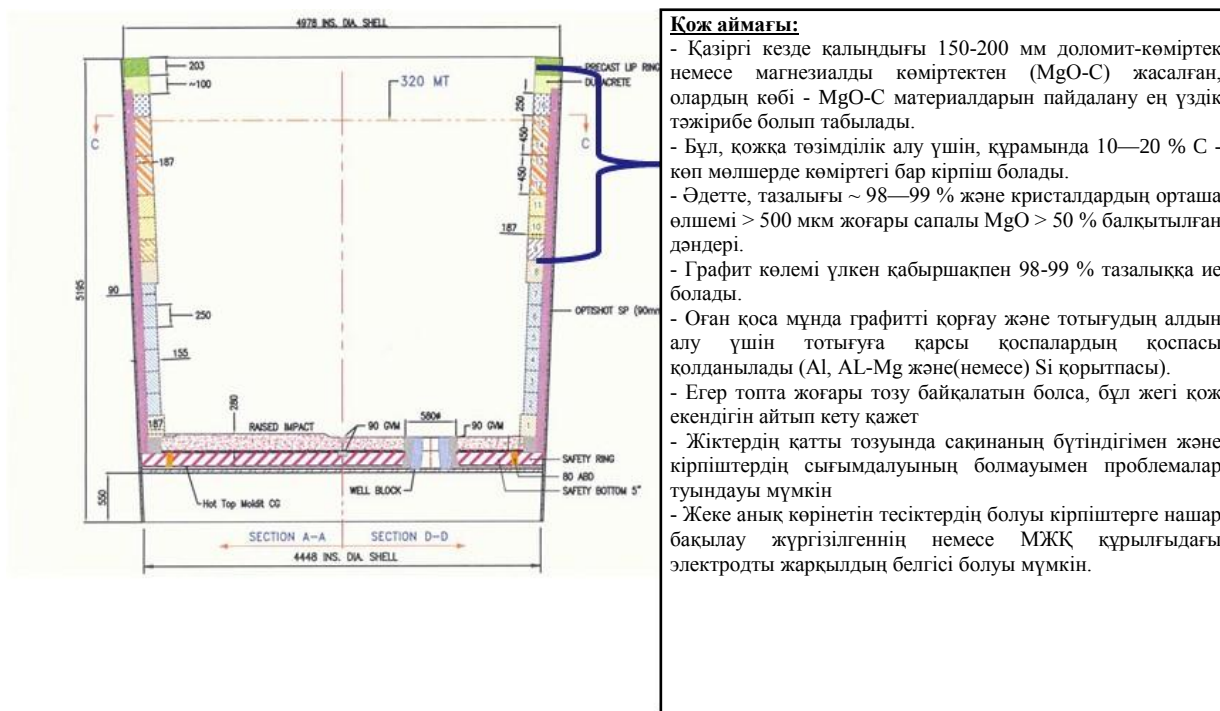
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Қаптаманың жұмыс температурасы-бұл болаттың температурасы, және ол ең жақсы шығарылу температурасының типтік гистограммасында төменде ұсынылған:  Металды сапаландырудың электрдогалы қыздыруы бар құрылғы орнатылған цехта бұл температура едәуір жоғары болуы мүмкін, өйткені электродтар болат ваннаның өзіне жылу беру үшін қожты қатты қыздырады. Температура 1700° С-ден артуы мүмкін. Егер операторлар трансформатордағы бұрмалардың ең жоғары баптауларын пайдалана алса (жоғары бұрма неғұрлым қысқа мерзімдегі көп энергия дегенді білдіреді), онда температура бұдан да жоғары болуы мүмкін! Отқа төзімділер тұрғысынан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек қана жоғары ыстыққа төзімді материалдарды (MgO-C және доломит-C) пайдалану қажет.
	Термо соққы (6Т)	Жұмыс қаптама үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішіне негізделеді: - Балқыту / күн саны Демек, температура қаншалықты жиі өзгереді және қаншалықты?  № балқымалар Көптеген болат құю цехтарында шөміштерде орташа алғанда күніне төрт балқыту жүреді, бірақ ең жақсы цехтарда күніне алты немесе жеті балқыту болуы мүмкін. Бұл диапазон - маңызды фактор, және қож аймағы шөміш сағасына жақын орналасқан және қоршаған орта температурасы, сондықтан жылулық соққы - қож аймағындағы маңызды фактор
Механикалық	Соққылы әсер	 Әдетте пайдалану кезінде қож аймағы, оның ең жоғарғы бөлігін қоспағанда, шөміш қапсырмасын гарнисажды шешіп алғанда болымсыз әсер көреді, бұл газсыздандырғыш сыйымдылықтары бар цехтар үшін проблема ретінде болуы мүмкін.

	Қажалу	Қажалу мәні пайдалануға тікелей байланысты болады; онымен бірге ванна қозғалыстары - шекті фактор. Аргонды немесе RHOV тығындары бар цехтарда операциялар барысында ваннаның қарқынды қозғалуы және түптің қажалуы, яғни, тиісінше - түптің тозуы орын алады. Төменде ұсынылған түбіндегі аргон тығын араластыру профилі осының жақсы мысалы болып табылады:  Тозу деңгейі  Басталуы Аяқталуы Ағым жылдамдығы л/мин
	Қосымшаланған кернеу	Қож аймағының биіктігі шөмішке байланысты; бірақ тік бағытта түсірілген кернеу проблема тудыру үшін әдетте жеткіліксіз. Егер сіз MgO-C және көбірек доломит пайдалануды жобаласаңыз, әрине, салынуы мүмкін болатын созу кернеуі бар болады, сондықтан кеңеюге немесе шөмішке арналған иілімді материалға әдіп қарастыру қажет.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен пайда болған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. 9.3-тарауда келтірілген қож базалық сипатқа ие, бұл базалық түрдегі кірпіш онымен үйлесімді болатынын білдіреді. Негізгі кірпіштер әдетте осы салада пайдаланылады. Қож аймағының биіктігі шөмішке байланысты; бірақ тік бағытта түсірілген кернеу проблема тудыру үшін әдетте жеткіліксіз. Егер сіз MgO-C және көбірек доломит пайдалануды жобаласаңыз, әрине, салынуы мүмкін болатын созу кернеуі бар болады, сондықтан кеңеюге немесе шөмішке арналған иілімді материалға әдіп қарастыру қажет.  Қож аймағының аса күйдіргіш кождардан тілінуі Қож аймағының құрылымы - шөміштің қож сызықтарының төмен тозуының негізгі факторы. Қашқақтауға жататын материалдардың бірі болып кальций фториді (CaF_2 - балкыштық шпат) табылады! Ол өте тез сұйық қож құрайды, бірақ шөміштің отқа төзімділері үшін ерекше жемір. Сондықтан баяу балкыштық, сонымен қатар денсаулық пен қауіпсіздік үшін қауіпті қоспалардың буларының себебінен кейбір цехтарда оларға тыйым салынған.

	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Бұл көміртекті емес кірпіш үшін негізгі мәселе болып табылады, өйткені еніп кету 100 мм дейінгі тереңдікке жетіп, терең тозуды тудыруы мүмкін. Осы себептен шөміштің қож желілерінде тек қана құрамында көміртек бар кірпіштер пайдаланылады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Қож аймағының биіктігі шөмішке байланысты; бірақ тік бағытта түсірілген кернеу проблема тудыру үшін әдетте жеткіліксіз. Егер сіз MgO-C және көбірек доломит пайдалануды жобаласаңыз, әрине, салынуы мүмкін болатын созу кернеуі болады, сондықтан кеңеюге немесе шөмішке арналған иілімді материалға әдіп қарастыру қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл шөміштік қождар тозуының негізгі механизмі. Шөміштің қызуынан жоғары температуралар + қождың жегі жемірілуі + кеңеюден түскен жүктемесі + температуралық цикл шөміштің қож аймағының тозуына және жіктердің тозуына әкеп соқтырады.

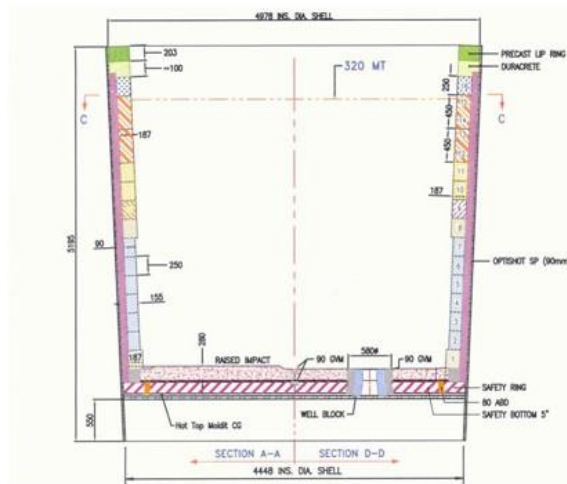
Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Болат төгу қауғасының қож аймағының базалық құрылымы 9.43-суретте келтірілген.



9.43-сурет: Болат төгу қауғасының қож аймағының отқа төзімді құрылымы

Шөміштің қож аймағы арқылы тесілуі - келтірілген залал және өндірісте уақыт жоғалту тұрғысынан өте қымбат тұрады. 9.44-суретте тесілулердің негізгі себептері мен алдын алудың әдістері ақпары келтірілген.

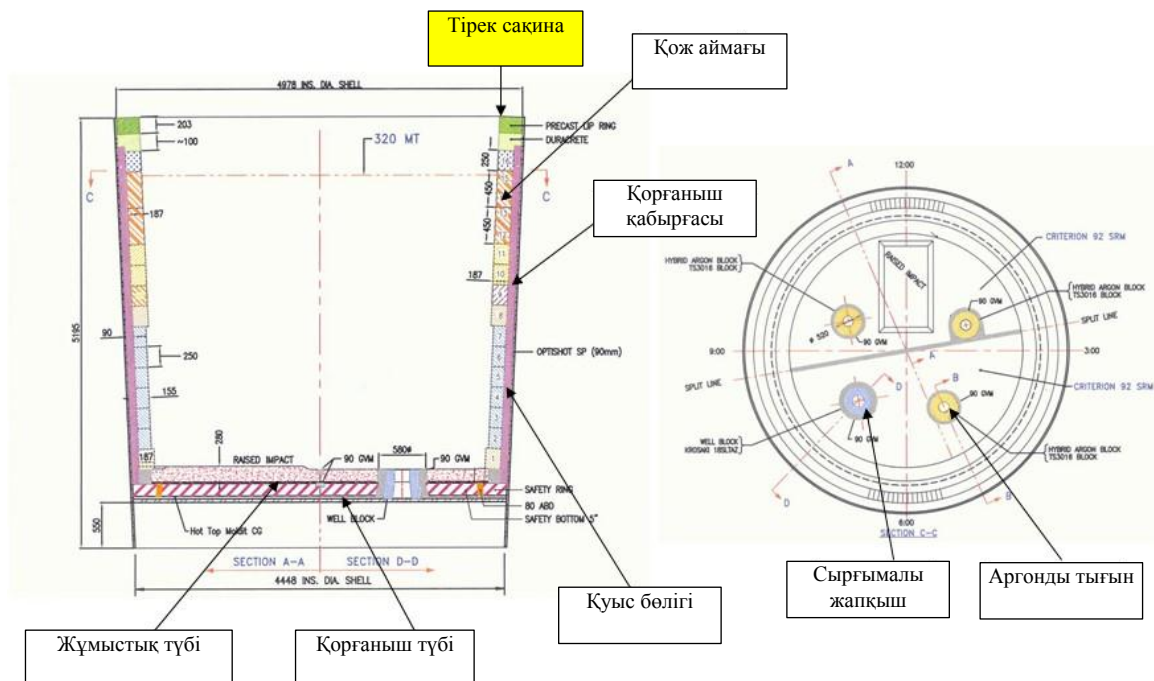


Негізгі себептер	Алдын алу шаралары
Жегі қождар / қыздыру	Технологиялық бақылау және кірпіш сапасының процеске сәйкес келуі
Жіктері ашылып кететін шөміштің қанағаттанарлықсыз термоциклдеуі	Пайдаланудағы шөміштердің минималды саны, әсіресе болымсыз жүктеме кезеңдерінде
Қож аймағы үстіндегі пластиктегі шөміштердің толып кетуі	Заряды НОК-қа дейінгі таразылардағы процесті басқару және тықылдатуды бақылау, сонымен қатар бос тактайдың минималды деңгейін анықтау
Кірпіштің төмен сапасы	Кірпіштің минималды қолайлы сапасын көрсетіңіз
Қорғаныш қаптаманың кірпіштерінің құрылымы	Монолитті қорғаныш қаптаманың болатты / қожты тоқтатуына / мұздатылуына шамасы жақсы келеді (көптеген операциялық кемшіліктерді жеңуге мүмкіндік береді)
Қорғаныш қаптаманың бүтіндігі	Тесіктердің, жарықышлардың және т. б. тереңдігіне стандарттар және жөндеудің әдістемелері. Қоғаныш қаптаманың минималды қалыңдығы.
Тірек сақинаның бүтіндігі бұзылғандықтан компрессиядан айырылу / кірпіш жіктері ашық	Тірек сақинаның деформациялануын белгіленген деңгейде сақтау үшін жобалауды / қарап тексеруді қамтамасыз ету
Нашар визуалды қарап тексеру	Оқыту, лазерлік өлшеу, термография

9.44-сурет: Шөміштің тесілуі - қож желілері

9.7 Болат төгу қауғасының тірек сақинасы

Болат төгу қауғасының тірек сақинасы 9.45-суретте қалыпты болат төгу қауғасы үшін көрсетілген



9.45-сурет: Болат төгу қауғасының тірек сақинасына шолу

Болат төгу қауғасының тірек сақинасы екі негізгі функция атқаратынын есте сақтаңыз:

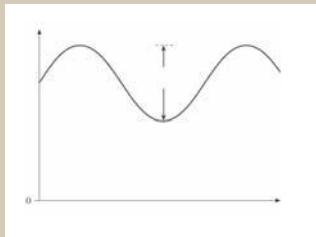
- Қабырғаны (қож желісін және қуыс бөлікті) шөміштің жұмыс істеген кезінде қатты қысылған қалыпта ұстайды
- Болат / қожты түсіру процесіне және онымен байланысты шөміш жүктемесін тазартуға шыдайды (9.46-сурет)



9.46-сурет: Кірпіштер тірек сақинадан төмен түседі

Болат төгу қауғасының тірек сақинасы тозуының 9.8-кестеде сипатталған өте қарапайым механизмі.

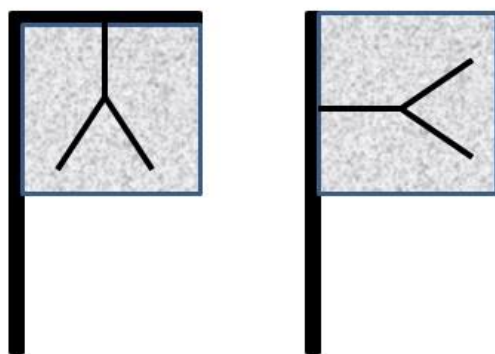
9.8-кесте: Болат төгу қауғасының тірек сақинасына арналған ЖМХ талдау.

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Тірек сақинаның температурасы - ол қоршаған ортаның уақыттың көп бөлігіндегі температурасы немесе өңдеудің сәулелік жылуына арналған неғұрлым жоғары температура немесе ол болатты немесе қожты жиек арқылы түсіргендегі болаттың өзінікі сияқты жоғары болуы мүмкін. Металды электрдоғалы қыздырумен жетілдіру қондырғысы бар цехында бұл температура, егер процесс бақыланбайтын болса, неғұрлым жоғары болуы мүмкін. Отқа төзімді тұрғысынан бұл жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Тірек сақинасы үшін термоциклдеу жоғары болуы мүмкін, бірақ ол екі маңызды жұмыс көрсеткішке негізделеді: - Балқыту / күн саны Демек, температура қаншалықты жиі өзгереді және қаншалықты?  № балқулар Көптеген болат құю цехтарында шөміштерде орташа алғанда күніне төрт балқыту өтеді, бірақ ең жақсы цехтарда күніне алты немесе жеті балқыту болуы мүмкін. Бұл диапазон - маңызды фактор, және де тірек сақинасы шөміш сағасына және қоршаған орта температурасына жақын орналасады, сондықтан да жылулық соққы - осы аймақтағы маңызды фактор
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте гарнисажды арылтқан кезде жиекті тазалағанда немесе жиектемелен гарнисажды алып тастағанда тірек сақина қатты әсерге тап болады, бұл газсыздандырғыш резервуарлары бар цехтар үшін мәселе болуы мүмкін.
	Қажалу	Қажалу деңгейі шын мәнінде соншалықты зор емес, өйткені тірек сақина шөміштің негізгі өңдеуші бөлігінің астында орналасады.
	Қосымшаланған кернеу	Тірек сақинаның биіктігі түскен жүктемені қамтамсыз етпейді, бірақ егер сіз монолитті құйманы пайдаланған болсаңыз, тірек сақиналардың орнында салынуы мүмкін болатын кергіш жүктеме пайда болуы мүмкін, және де шөміште кеңеюге немесе иілігіш материалға әдіп жобалануы қажет.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың отқа төзімді материалмен химиялық үйлесімділігіне бағдарланған. Қож демпферге тек қана шөміш жиектемесінде тигендіктен, бұл тозудың негізгі факторы болып табылмайды.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Бұл шөміштің тірек сақинасы бөлігіндегі маңызды проблема емес.

Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Тірек сақинаның биіктігі түскен жүктемені қамтамсыз етпейді, бірақ егер сіз монолитті құйманы пайдаланған болсаңыз, тірек сақиналардың орнында салынуы мүмкін болатын кергіш жүктеме пайда болуы мүмкін, және де шөміште кеңеюге немесе иілігіш материалға әдіп жобалануы қажет.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Бұл шөміштің тірек сақиналарының тозуының негізгі механизмі емес, өйткені жемірілу соншалықты жоғары емес

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Болат төгу қауғасының тірек сақинасының базалық құрылымы 9.47-суретте келтірілген.



- Тірек сақинасының бір түрі - ол корпусқа бекітілетін және одан кейін кірпіш арқылы шығатын дәнекерленген сақина. Мәселе кеңею жүктемені тек қана сақинаға түсірмей, сонымен қатар оны қаптамаға беретінінде. Бұл шөмішті дәнекерленген жіктерді жөндеу үшін пайдаланудан шығаруды талап етеді. Бұл конструкция техникалық қызметті жиі және мұқият көрсетуді қажет етеді.
- Фотода көрсетілген конструкцияның басқа түрі жоғарғы тіректі отқа төзімді материалдан анкерлерді орнатып, кейін тірек сақинаны шөмішке құю, немесе тегістеу, немесе шоткреттеу жолымен жасауда болады. Бұл температуралары төмен цехтар үшін проблема болуы мүмкін, өйткені материал орнатқанда, қатып қалуы мүмкін, ал егер оны орнату мүмкін болса да, оның қасиеттері жоғалып кетуі мүмкін (ақпан айында Канадада -40°C-де шоткреттеуді жүргізу мүмкін емес!)
- Анкерлер ерітіп жабыстырылуы мүмкін немесе шөміш қаптамасында бұрғылап тесілген тесіктерге орнатылатын тесіктерге бұрандамалар көмегімен орнатылуы мүмкін екендігіне назар аударыңыз.
- Бұрандамалар, олар ең алдымен кесіліп және шөміш қаптамасының бүтіндігін қорғайтындай, қаптама және сегмент үйлесімінің ең әлсіз бөлігі болу қажет екендігіне назар аударыңыз.
- Материал - құрамында отқа төзімді материалы бар 80% жоғары сапалы саздақ немесе шпинель (>90% тым жылдам опырылып түседі; <70% - тым жылдам жемірілу). Сонымен қатар кез келген соққылы бұзылуда отқа төзімді қоспаны ұстап қалу үшін материал тот баспайтын болаттан жасалған инелерді қамтуы қажет
- Шөміштің тірек сақинасы деформацияланғаннан кейін (жоғарыға қарай >75 мм қайқайды) ол ендігіде кірпішті ұстап тұра алмайды және пайдаланудан шығарылуы қажет.



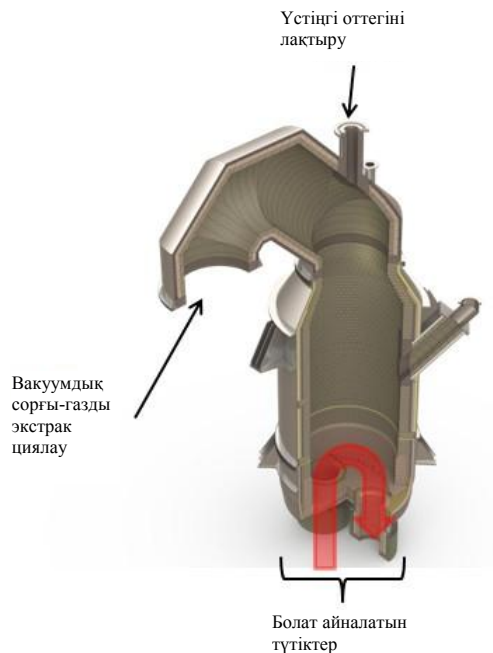
Тіректің алдын ала құйылған сегменттері:

- Қазіргі кезде ең жақсы әдіс болып отқа төзімді материалға орнатылған бұрандалары бар және шөміш қаптамасында бұрғылап тесілген тесіктері бар құрама жиектемелік сегменттерді пайдалану табылады.
- Материал - құрамында отқа төзімді материал бар жоғары сапалы 80% глинозем немесе шпинель. Сонымен қатар кез келген соққылы бұзылуда отқа төзімді қоспаны ұстап қалу үшін материал тот баспайтын болаттан жасалған инелерді қамтуы қажет
- Шөміштің тірек сақинасы деформацияланғаннан кейін ол ендігіде кірпішті ұстап тұра алмайды және пайдаланудан шығарылуы қажет.

9.47-сурет: Сақиналардың әртүрлі құрылымдары

9.8 Газсыздандырғыштың отқа төзімді материалдарына шолу

Газсыздандырғыш - болаттан, оның құрамын жоғары қалыптастыратын болаттарға арналған аса төмен деңгейлерге (~ 20-40 промилле) дейін жеткізіп, көміртекті және (немесе) сутекті шығаруға жұмыс істейтін клапан. Жұмыс процеске шолу әдеттегі РГ вакууматор үшін 9.48-суретте көрсетілген



9.48-сурет: РГ вакууматоры

Magnesita Refractories SA компаниясы ұсынған диаграмма

Отқа төзімді материалдарға осы материал өтетін өңдеуші блок ең үлкен әсер ететінін, бұл тозу жылдамдығын (араластыруды, бүркуді, оттекті және т. б.) ұлғайта алатынын айта кету керек.

РГ вакууматоры екі негізгі функцияны атқаратынын есте сақтаңыз:

- ULC сұрыптарына арналған көміртексіздендіру және тақталар сұрыптары үшін сутегін шығару
- Қоспалардың пайда болуына жол бермеу үшін болатпен мейлінше төмен химиялық өзара әрекеттесуін қамтамасыз ету.

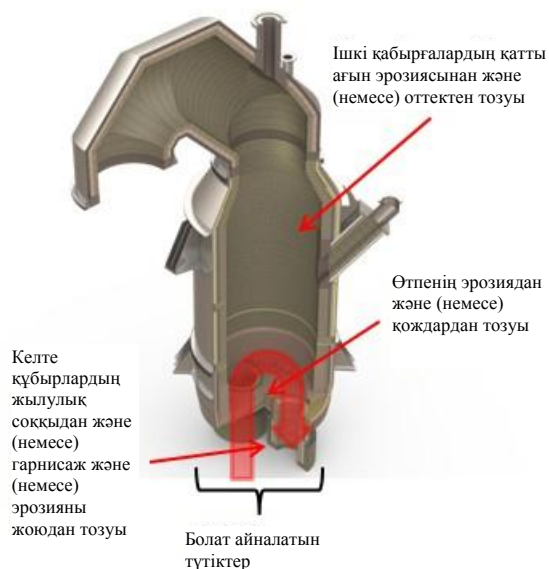
РГ вакууматорлары: Процесс және отқа төзімді материал

Отқа төзімді материалға шолудың сызбасы 9.49-суретте көрсетілген.



9.49-сурет: РГ вакууматорының құрылымы
Magnesita Refractories SA компаниясы ұсынған диаграмма

Отқа төзімді материалдың тозу механизмі 9.50-суретте және 9.9-кестеде көрсетілген және сипатталған.



9.50-сурет: РГ вакууматорының тозу механизмі
Magnesita Refractories SA компаниясымен ұсынылған диаграмма

9.9-кесте: РГ отқа төзімді материалдың тозуы

Отқа төзімді материалдың ауданы және зақымдануы	Механизмдер	Шекті технологиялық параметрлер	Отқа төзімді материалдар жағдайындағы әдеттегі қарсылық шаралар
Ұлғаймалы тарам: Магний-хромды кірпіштердің ішіндегі тозу	Темір тотығы әсерінен болған жемірілу және жылдам айналатын металмен түйіскендегі эрозияның әсерінен болған тозу (фурмалаға жақын және салғыштардың жоғарғы бөлігінде)	Аргонның шығындалуы, келте құбырдың диаметрі, торкреттеу операциялары	Жоғары температурада келте құбырдағы металл қозғалу жылдамдығының төмендеуі, неғұрлым жоғары кедергісі бар магний-хром
Келте құбырлар: Термо-механикалық проблемалар	Ішкі болат қабықшасының деформациялануы, отқа төзімді қоспаның бұзылуы, кірпіштің іште сырғып кетуі, ішкі жақтан немесе сырттан тесілулер	Келте құбырлардың қатты қызып кетуі (жоғары температуралардың ұзын топтамалары, қысқа ішкі өңдеулер, әсіресе науқанның басында)	Келте құбырлардың салқындауы (салқындату жүйесі, ұзақ ішкі өңдеулер), неғұрлым берік келте құбырлар (неғұрлым қалың құты, неғұрлым қалың кірпіштер)
Келте құбырлар: Сыртқы отқа төзімді қоспаның тозуы	Шөмішлық қождан болған жемірілу	Қождың химиялық құрамы және қожты торкреттеу әдістері - CaO-мен байытылған қож (конвертерден қожты маңызды тасу, жоғары температурадағы күкіртсіздендіру) - MnO-мен байытылған қожтер (Mn қорытпаларын ерте кезеңде қосу)	Қожты тасудың төмендеуі және әкті қосу - магниймен сыртқы торкреттеудің ұлғаюы
Келте құбырлар: Сырттан қалау (әсіресе төмендеуші тарамда)	Шпинельдің түзілуі	Қождың химиялық құрамы және қожты торкреттеу әдістері - Al ₂ O ₃ -пен байытылған қождар	Әкті қосуды жоғарлату - Сыртқы торкреттеуді төмендету
Төменгі сауыт: Кірпіштің төменгі қабаттарындағы тозу, әсіресе төмендеуші тарамдарда	Өңдеу кезінде темір тотықтары тудыран жемірілу - Келіп түсетін қождардан (DeS) туындағын жемірілу	ТҚ және қайта тотығу жылдамдығы, шөміштерді газсыздандырумен (de-H) десульфурация шлагымен қыздыру жылдамдығы	Осындай балқытулардың жылдамдығын төмендету Неғұрлым қалың кірпіштері бар панельдер
Төменгі сауыт: Ерте кезеңдегі тесілулер	Жергілікті жемірілу, әсіресе жіктерде	Ауаның түсуі (қаптамадағы жарықшалар), O ₂ ағыны кате бағдарланған	Қаптамаға түсетін шекті жүктемелер (компенсатор), фурма шүмегінің тозуын бақылау
Төменгі сауыт: Гарнисажды және гарнисажды арылтудың қарқынды әдістері	Металл тамшылардың вакуумдық өңдеуде қатаюы	Жанғаннан кейінгі ішкі қызу/қайта қыздыру, аргонның шығыны	Сауыт температурасының жоғарлауы (° C)

- Әрине, өңделген болат тоннасының құнын бағалағанда, келте құбыр балқыту цехындағы ең қымбат қаптама болып табылады. Келте құбырдың қызмет ету мерзімі әдетте 130-дан 200 процедураға дейін құрайды, одан кейін төменгі сауытты ауыстыру талап етіледі.
- РГ вакууматорлар вакуумды өңдеу (O₂-мен үрлеу) процесінде немесе өңдеулер арасында (O₂-мен өңдеу) пайда болатын темір тотығының әсерімен жемірілуге қарсы тұру үшін қымбат тұратын магний-хромды кірпішпен («магний-хром») қапталған.
- Қаптамада әдетте магний-хромды кірпіштердің бірнеше түрі пайдаланылады: тура байланыстары бар түрлер (сауыттар үшін), қақталған немесе балқытылған тығыз қақталған екі компонентті кірпішпен қайталама байланысқан түрлер (салғыш үшін және жергілікті - ұлғаймалы келте құбырда).

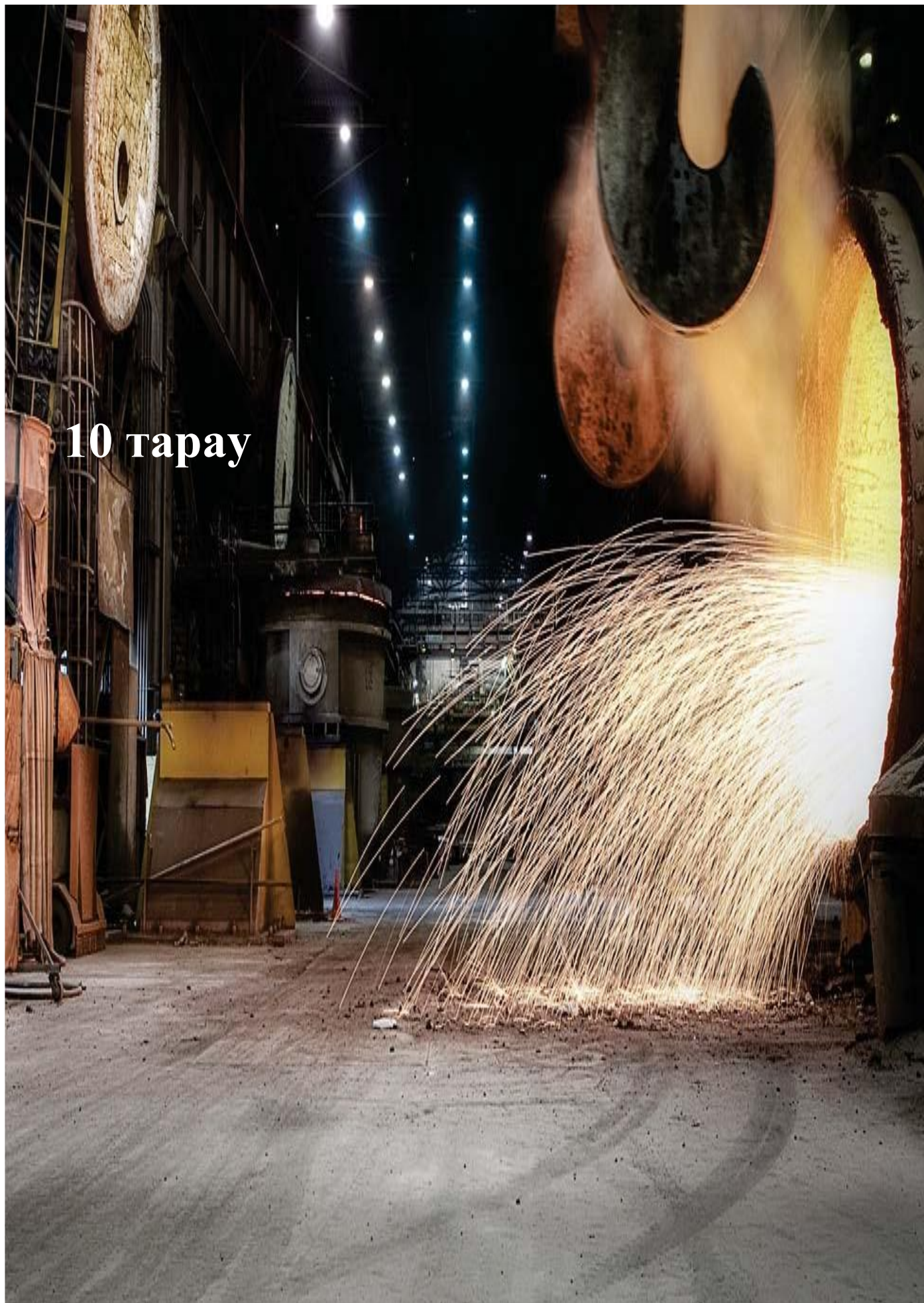
Отқа төзімді материалдармен проблемалардың туындауы мыналарға байланысты:

- Жабдық: Дара немесе қосарланған сауыттар, оттегі үрлеу фурмалары, жоғарғы фурма (-лар), ыдысты жылытуға арналған құрылғы, сауыт түбін салқындатуға арналған құрылғы, келте құбырларды құрастыру жүйесі, келте құбырларды салқындатуға арналған құрылғы, келте құбырлардың диаметрі
- Технологиялар: Аргонның ұлғаймалы келте құбырда шығындалуы, көміртексіздендіру / сәулемен/ газсыздандырумен стандартты өңдеудің үлесі, сауытты қайта қыздыруға арналған ЖОК, қож шөмішның химиялық құрамы, торкреттеу әдістері

Сыни аймақтар:

- Келте құбырлар: 1 - жоғарғы бөліктегі ішкі кірпіштердің (аргонды фурмалар қасында және жоғарғы салғыш бөлігінде) жемірілу эрозиясынан тозу. 2- жемірілу немесе қождың сырттан қаспақтануы.
- Төменгі сауыттың қаптамасы: кірпіштің төменгі қабаттарының тозуы, жергілікті тесіктер.

10 тарау

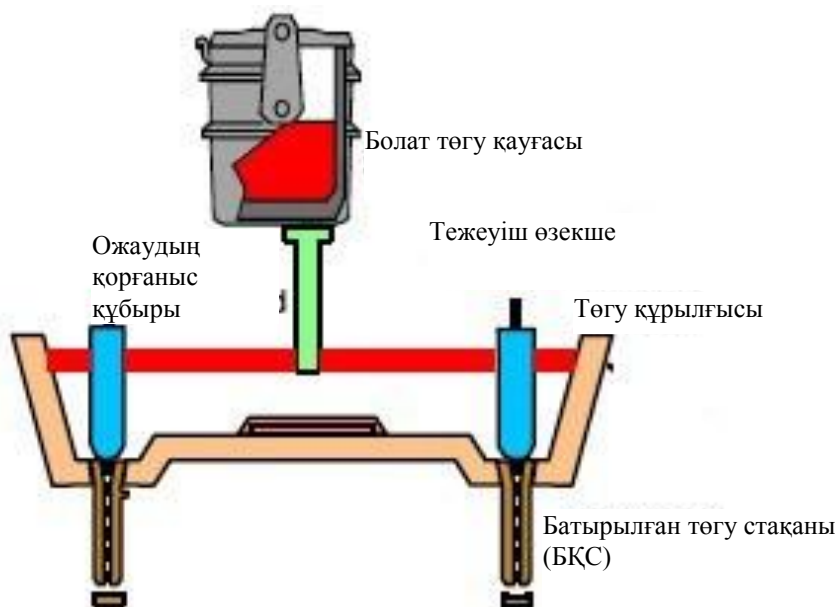


10.0 Құю машинасы/төгу құрылғысына арналған отқа төзімді материалға шолу

Дайындамаларды үздіксіз құю машинасы (ДҰҚМ), оған байланысты төгу құрылғысы және құю машинасы үшін отқа берік материалдар сапалы болат өндірісін қамтамасыз етеді. Бүкіл әлем бойынша ДҰҚМ көмегімен өндіріс >90% құрайды және тек бірнеше зауыт ғана құйма технологиясы бойынша болатты балқытуды жалғастыруда. Негізгі технологияда талап етілетін пішіні арқылы болат ағынын бағыттау үшін бірқатар отқа төзімді заттар пайдаланылады. Бұл 10.1-суретте көрсетілгендей, дайын болат өнімін алуға мүмкіндік береді. Төгу құрылғысы болат төгу қауғаларын ауыстыру кезінде үздіксіздікті қамтамасыз ететін аралық сауыт болып табылады.

Отқа төзімді конструкцияның негізгі мақсаттары:

- Сұйық болатты герметизациялау (жарықсыз)
- Қауіпсіздікке және/немесе қоршаған ортаға қауіп төндірмейтін отқа төзімді заттарды пайдалану
- Отқа берік материалдарды жобалау. Олар пеш науқанының талап етілетін ұзақтығына сәйкес келеді (балқыту саны немесе құю уақыты)
- Отқа төзімді материалдың құнын азайту (тоннасына)
- Өнімнің соңғы түріне соққы әсерін азайту (болаттың дұрыс химиялық құрамы, ауаның ең аз сорылуы, беттің сапасы үшін ағынның дұрыс динамикасы)



10.1-сурет: Қанылтаққа арналған ДҰҚМ: шолу

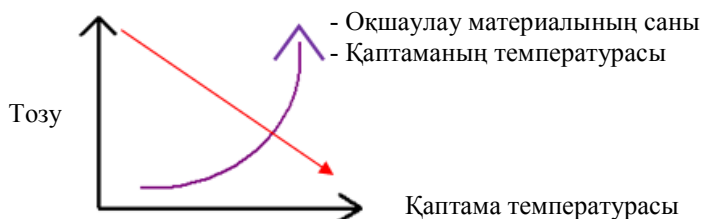
- ДҮҚМ-ның қазіргі түрлері көптеген аспектілерде өте ерекше:
- Олардың бірінші функциясы-құю машинасына болат ағынын бақылау.
- Отқа берік бөлшектер (құю стакандары, стопорлар, жапқыштар), тиісінше, күрделі пішінге, материалдардың түріне (ұсақ түйіршікті және таза керамикалық) және өте қуатты изостатикалық баспақты қолдануды талап ететін дайындау процестеріне ие.
- Материалдар сапасының деңгейі және төгу құрылғысын баптау болаттың сапасына үлкен әсер етуі мүмкін. Отқа төзімді құю стакандары мен тосқауылдардың тозуы немесе бітелуі «қоңыздар», газ көпіршіктері және қылтақтағы бойлық сызаттар сияқты болаттың ақауларының пайда болуына әкеп соқтыруы мүмкін. Тексерілген және герметикалық қалаудың көмегімен отқа берік элементтер арасындағы тігістер арқылы болат ағысына ауа түсуден аулақ болу керек.
- Құю цехының шегіндегі отқа төзімді материалдар:
- Тозуға төзімді қаптамаға (көбінесе құрамында жоғары MgO отқа берік торкретбетон) және соққы әсер ету аймағына (кірпіштер немесе алдын ала құйылған блоктар) ерекше назар аударатын Төгу құрылғысының қаптамалары.
- Құю машиналарына байланысты үш түрлі ағынды құю жүйесі бар:
- Тежеуіш өзекшесі (ағысты реттеу үшін) + тұтас батырмалы құю стақаны (БТС): ауа өткізбестей тығыздау үшін өте ыңғайлы (ең аз қосылыс тігістері).
- Тежеуіш өзекшесі+бірнеше құрылғы, оның ішінде төгу стақаны, аралық құрылғының төгу стақаны, орталық пластина және төменгі батыру стақаны (көбінесе ПСДЧ деп аталатын «екі бөліктен тұратын батыру стақаны»). Бұл төгу стақанының ауыстыру жүйесі: қауғаны ауыстыру кезінде төгу кезінде ішінара ластанған ПСДЧ-ты ауыстыруға болады.
- Төгу құрылғысының жылжымалы сұқпажапқышы: үш пластинадан тұрады және жылжымалы орташа болат ағынын реттейді. Ол төгу құрылғысының құю стақаны мен ПСДЧ арасында орнатылған. Төгу құрылғысының ішінде тежеуіш жоқ, бірақ бұл күрделі және қымбат жүйе. Сондай-ақ ПСДЧ-тан болаттың асимметриялық ағынын және болат сапасына теріс әсер ететін пішін жасайды.
- Толық төгу құрылғысының (болаттың бір тоннасына) үлестік құны алдымен тізбектеп құюға болатын шөмішлардың санына байланысты. Бұл зауыттың тапсырыстары журналымен және отқа берік материалдары (тозу, ағынды басқару жүйесінің бітелуі) проблемалерімен шектеледі.

Енді әрбір компонентті бөлек қарастырайық.

Шағын-тақта	• Сауыттың сыйымдылығын арттыру үшін өте жұқа жасауға болады. • Қарапайым монтаждау.	• Материалдың тозуына және оқшаулаудың жоғалуына және қаптама тіреуінің жоғалуына әкеп соқтыратын шамалы беріктігі. • Шамалы отқа төзімді құндылық және түйіскен жерлер, металдың өтіп кетуі мүмкін.

Талқылау қажет соңғы проблема - бұл қаптаманың температурасы мен химиялық коррозия арасындағы балансы (10.3-сурет).

- Оқшаулау санының ұлғаюына қарай сіз қаптама температурасын жоғарылатасыз, демек, тозу экспоненциалды өсуде.
- Алайда оқшаулау санының ұлғаюына байланысты қаптаманың температурасы төмендейді.



10.3-сурет: Төгу құрылғысындағы оқшаулау әсері

Сондықтан, айтып кетілгендей, отқа төзімді материалдарды жобалау — ол ылғи теңгеру болып табылады.

10.2-кестеде ұсынылған ЖМХ талдауын көріп тұрғандай, тозуға қатысты бұл тез тозатын учаске.

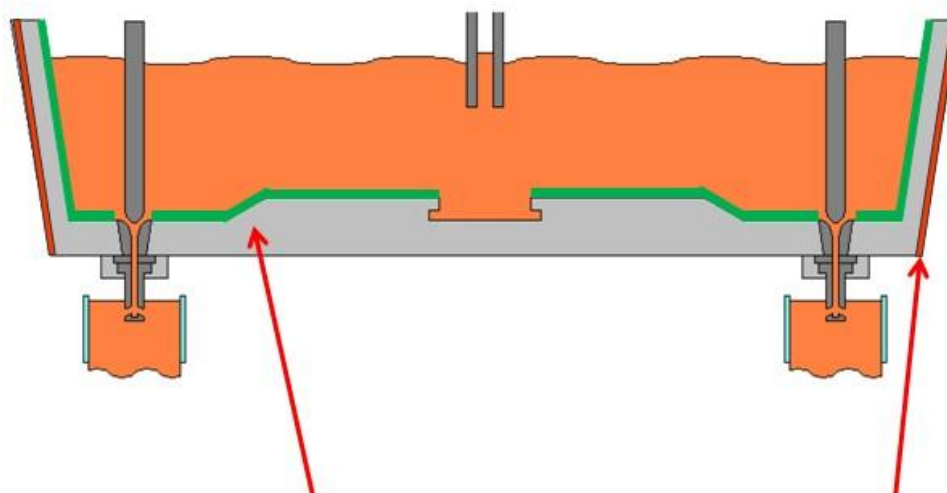
10.2-кесте: Құю машинасының қорғаныш қаптамасы үшін ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Қорғаныш қаптамасының температурасы ешқашан өлшенбеген; дегенмен, ол қоршаған ортаның температурасынан 1500°C дейін өзгереді, өйткені төгу құрылғысындағы жұмыс қаптамасы әдетте өте жұқа (25-50 мм тозандану). Отқа берік материал тұрғысынан бұл температура жеткілікті түрде жоғары және материалдар үшін белгілі бір қолайлы жағдайлар жасайды.
	Термо сокқы (6T)	Қорғаныш қаптамасы үшін термоциклдеу тек қана қаптамаға (кез келген гарнисажды тастағаннан кейін) келесі шашырауға дейін ауамен салқындайтын болса, тозудың орташа факторы болып табылады. Егер төгу құрылғысы сумен салқындатылса, термо сокқылар маңызды фактор болуы мүмкін.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте, егер гарнисаж кептелмесе және оны жою үшін экскаваторды пайдаланбаса (операторға байланысты өте жойғыш салдары болуы мүмкін), қорғаныш қаптамасына сәл соққы әсері болады.
	Қажалу	Қорғау қаптамасында қажалу жұмыс қаптамасы бұзылған және сұйық болат төгу құрылғысында айналатын жағдайда ғана байқалады, бірақ аз және өте сирек болады.
	Қосымшаланған кернеу	Бүйір қабырғасының биіктігі өте төмен, бірақ төгу құрылғысының ұзындығына және монолитті қорғаныш қабырғасының болуына байланысты қатты кеңею орын алады және оған кедергі келтірмеу үшін қаптамаға кеңейткіш жіктерді салу қажет. Төгу құрылғысының қаптамасы мен қаптама арасындағы ұштары осы үлкен материал массасын кеңейтуді қаптамасыз ету үшін белгілі бір қысымға ие болатын тегістейтін отқа төзімді массамен немесе жұмсақ оқшаулағыш плитамен толтырылуы тиіс.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Төгу құрылғысындағы қождар химиялық құрамы бойынша өте әртүрлі, сондықтан дұрыс сәйкестікті табу керек. Сондықтан, глинозем немесе шпинельдің жоғары мөлшері бар отқа төзімді қоспаны көруге болады. Төгу құрылғысының шлагы: - Al_2O_3 : 3-35% - CaO : 1-40% - SiO_2 : 3-90% - MgO : 1-20% - FeO : 1-3%
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Төгу құрылғысының қаптамасын қорғау үшін бұл әдетте проблема емес. Егер сіз кірпіштерді пайдаланған болсаңыз, қорғаныш қаптаманы тығыздап орнату аса маңызды.
Термо Механикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Бүйір қабырғасының биіктігі өте төмен, бірақ төгу құрылғысының ұзындығына және монолитті қорғаныш қабырғасының болуына байланысты қатты кеңейту орын алады және оған кедергі келтірмеу үшін қаптамаға кеңейткіш жіктерді салу қажет. Төгу құрылғысының қаптамасы мен қаптама арасындағы ұштары осы үлкен материал массасын кеңейтуді қамтамасыз ету үшін белгілі бір қысымға ие болатын тегістейтін отқа төзімді массамен немесе жұмсақ окшаулағыш плитамен толтырылуы тиіс.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қорғаныш қаптама үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Төгу құрылғысының қорғаныш қаптамасының базалық құрылымы 10.4-суретте көрсетілген.



Қорғаныш қаптамасы/қаптаманың арматуралық қабатының аймағы

- Қазіргі уақытта ең озық тәжірибе - муллиттен және/немесе андалузитті материалдан жасалған (термо соккыдан қорғау үшін ең қолайлы) монолитті құю. Бокситті және жоғары топырақты материалдар қождың үлкен жарылуына және енуіне бейім, сондықтан оларды тандаудың керегі жоқ.
- Қасиеттерді максималдау үшін бақыланатын цех жағдайында орнатуды жүзеге асырған жөн.
- Қолданылатын кірпіш, биіктігі 125-175 мм, глинозем >60% құрайтын тік қойылған ірі кірпіш болып табылады. Кірпіштердің төрт жағына сұйық цемент ерітіндісін жағу кәсіби тас қалаушылардың көп уақытын алады (бұл тиімсіз).

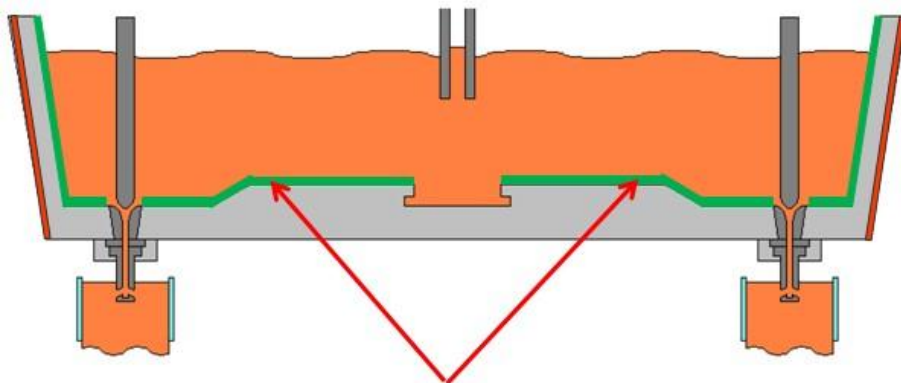
Оқшаулау плитасы:

- Қазіргі уақытта сыртқы қаптаманың қажетті температурасын қамтамасыз ететін, төгу құрылғысының ұзындығына негізделген, белгілі бір қысымға ие және оның бүтіндігін сақтай отырып қорғаныш қаптаманың ұзындығын сақтау үшін жеткілікті беріктікке ие оқшаулау плитасы ең озық болып табылады.

10.4-сурет: Төгу құрылғысының қорғаныш қаптамасының құрылымы

10.2 ДҮҚМ жұмыс қаптамасындағы құю машинасының төгу құрылғысы

Әмбебап төгу құрылғысына арналған қаптама 10.5-суретте көрсетілген. Жұмыс қаптамасының орналасуы қоса берілген.



Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасы

10.5-сурет: Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасына шолу

Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасы үш негізгі қызметті орындайды:

- Қаптаманың арматуралық қабатының эрозиясын/ коррозиясын болдырмау үшін қожбен тозуға шыдайды
- Инерттілік-оттегінің ең аз жұтылуын және болаттың жақсартылған тазалығын қамтамасыз етеді. оттегімен әрекет етпейді және оны сұйық болатқа өткізіп алмауға тырысады.
- 10.3-кестеде өнеркәсіпте қолданылатын үш негізгі технология сипатталады.

10.3-кесте: Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасының конструкциялары

Технология	Сипаттамасы	Негізгі артықшылықтар/кемшіліктер
Төгу құрылғысының плиталары	Төгу құрылғысының нақты құрылымына сәйкес кесілетін құрамында 75% MgO бар дайын плиталар. (әдетте қалыңдығы 25-35 мм)	Ескі конструкция болат құю зауыттарында сирек қолданылады. Өйткені оны қолмен орнату қиын, ал қалыңдығын өзгерту оңай емес. Дегенмен, оның кейбір оң жақтары бар, себебі ол алдын ала кептірілген және құрамында су жоқ. Ол сондай-ақ төгу құрылғысын төсемеден тазалау үшін жарамды, өйткені ол қорғаныш қаптамадан оңай бөлінеді. Айта кету керек, салада осы материалдың жеткізушілері аз қалды.
Төгу құрылғысында бүрку әдісі		Төгу құрылғысында бүрку әдісі ұзақ қызмет ету мерзімінің артықшылықтарына және төгу құрылғысының әр түрлі бөліктеріне байланысты қалыңдығын өзгертуге және ағысты басқарудың кез келген аппараттық құралдарымен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Бұл төгу қондырғысының жұмыс қаптамасын орнатудың негізгі әдісі. Оның қалыңдығы 25-75 мм болуы мүмкін және қолмен немесе механикалық жағылады. Механикаландырылған қондырғы қолмен қолданумен салыстырғанда, келісушілікке байланысты материалдың шығынын 7-10% қысқартуы мүмкін, сондықтан мұндай әдіс қолайлы болып табылады. Кемшілігі - ыстық арматуралық қабатқа қаптамаға бүрку арқылы жою қажет ылғалдың жоғары мөлшері және/немесе одан да ұзақ алдын ала қыздыру. Дұрыс қолданғанда, құрамында MgO бар материалмен тұнбадан тазалау оңай. Тығыздығы аз болса қорғау қаптамасына төмен енеді және, бұл әдіс ең аз ШТСТ береді.

кұрғақ діріл массасы	Кұрғақ дірілдеу материалы артында MgO бар құрғақ дірілдеу материалын пішіндерді пайдаланады елгіленген қалыңдыққа дейін жабады, содан кейін төгу құрылғысы тұнбадан тазаланған сайын оны қайта жабады.	Кұрғақ дірілдеу материалы төгу құрылғысының өте ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз ету артықшылығына ие. Себебі ол өте қалың, сондай-ақ құрамында MgO материалының көмегімен тез алдын ала қыздыру және тұнбадан жеңіл тазалау үшін ылғалдың аз болуы. Бұл материалдың кемшілігі оның жоғары бағасы, жоғары тығыздығы және терең ену деңгейі болып табылады. Бұл жалпы тұтынуды арттыруға әкеледі. Сондай-ақ, СО жоғары өндірісін және әлеуетті қалқаларды көрсететін белгілі бір сынақтар жүргізілді. Бұл төгу құрылғысының өте ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз ету қажет болған жағдайда мүмкін нұсқа болуы мүмкін.

10.4-кестеде ұсынылған ЖМХ талдауын көріп тұрғандай, тозуға қатысты бұл тез тозатын аумақ.

10.4-кесте: Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасы үшін ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Төгу құрылғысының жұмыс қаптамасының температурасы - бұл болаттың температурасы және ол төменде көрсетілгендей шөміштің құю температураларының типтік гистограммасында өте жақсы көрсетілген:
	Термо соққы (ΔT)	Жұмыс қаптамасын термоциклдеу болат балқымасының биіктігінің өзгеруіне байланысты өзгеруі мүмкін. Ол сондай-ақ отқа берік материалдарды алдын ала қыздыруға байланысты. Оларға термоциклденудің әсер ету жиілігіне қатысты, бұл ретте кейбір цехтар отынды жылытуды сақтау үшін суық тәжірибені пайдаланады. Жылытулар арасында қаптаманың жоғарғы жартысы болат балқымасының биіктігінен төмен түсіп, сууы мүмкін; дегенмен төменгі жартысы мен түбі әрқашан болатпен жабылады және пайдалану процесінде айналмалы минимумға теңестіріледі. Осылайша, термосоққы төгу құрылғысының жұмыс қаптамасына қалыпты әсер етеді.
Механикалық	Соққы әсері	Әдетте жұмыс қаптамасына елеусіз соққы әсер етеді. Демек бұл тозуға да шамалы әсер етеді.
	Қажалу	Жұмыс қаптамасында қажалу жеткілікті түрде төмен. Бұл құю жылдамдығына (т/мин) байланысты. Осылайша, қажалу төгу құрылғысының жұмыс қаптамасының тозу дәрежесіне бірқалыпты үлес қосады.
	Қосымшаланған кернеу	Жұмыс қаптамасының биіктігі және оның қалыңдығы өте аз болғандықтан бұл үлкен проблема тудырмайды.

Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесімдігіне бағдарланған. Төгу құрылғысындағы қождар химиялық құрамы бойынша әртүрлі болғандықтан дұрыс сәйкестікті табу керек. Сондықтан, глинозем немесе шпинельдің жоғары мөлшері бар отқа төзімді қоспаны көруге болады. Төгу құрылғысының шлагы: - Al_2O_3 : 3-35% - CaO : 1-40% - SiO_2 : 3-90% - MgO : 1-20% - FeO : 1-3%
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Бұл проблема болуы мүмкін, өйткені бүріккіш түрі өте кеуекті, бірақ қызмет ету мерзімі әдетте сондай үлкен емес (~ 5-10 балқыту). Төгу құрылғысының ұзақ қызмет ету мерзімінде бұл материалды таңдауда маңызды фактор болуы мүмкін.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жұмыс қаптамасының биіктігі және оның қалыңдығы өте аз, сондықтан бұл ағынды басқарудың аппараттық құралдары үшін үлкен проблема емес.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Төгу құрылғысының қорғаныш қаптамасы үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/құрылымы/орнату әдісі

Көптеген талқыланатын жобалау/орнату әдістері енді ең төмен ШТСТ-ті қалай алу керектігін анықтайтын негізгі методологияға, бүркеме бағытталатын болады.

Ең төменгі ШТСТ үшін негізгі факторлар:

- Материал түрі (MgO оливинмен салыстырғанда)
- Ең төмен тығыздығы
- Қаптама жуандығы
- Қондырғының құнын азайту үшін механикаландырылған торкреттеу (жоғарыда сипатталғандай)

Материал түріне келетін болсақ, оливин магнезия мен ұқсас техникалық сипаттамалары бар материалдарға қарағанда монополиялы нарықта сатылатын материал бағасы бойынша неғұрлым тұрақты болуға бейім. Сондықтан ол қолайлы материал болып табылады. MgO немесе оливин негізіндегі материалдар үшін сапа көрсеткіштері эквивалентті екенін атап өткен жөн.

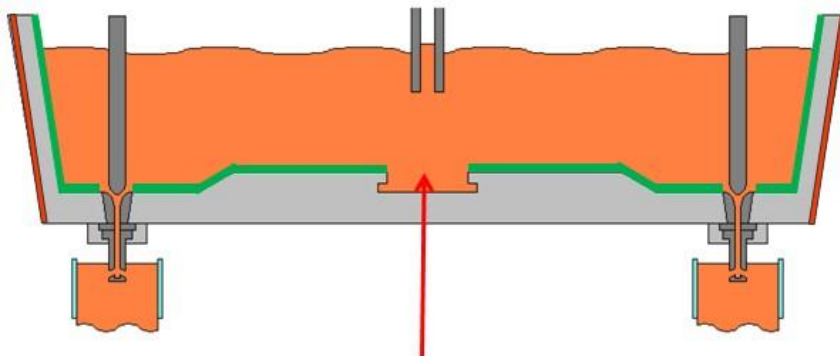
Қаптаманың тығыздығы мен қалыңдығы:

- Реттіліктің орташа ұзындығы
- Реттіліктің максималды ұзындығы (ұзақ қызмет ету мерзімі жұмыс қаптамасы арқылы өту арқылы төгу құрылғысына гарнисажды жабыспауы үшін қалыңдығын анықтайды)
- Төгу құрылғысындағы қождың саны мен түрі
- Орнату тәсілі (қолмен салыстырғанда механикаландырылған) негізінде анықталуы тиіс.

Робот техникасы Робототехника мен бірнеше беру жүйелерін ғана жүзеге асыруға болатын басқа нұсқа - бүйір жағында арзан материалмен екі қабатты қаптама. Ол логистика/жабдық түріндегі жалғыз кемшілігі бар барлық артықшылықтарға ие.

10.3 Күю машинасындағы төгу құрылғысының ағынын басқару

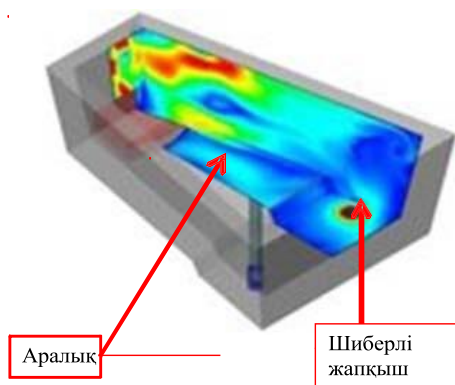
Әмбебап төгу құрылғысына арналған төгу құрылғысының қаптамасы 10.6-суретте көрсетілген. Ағынды басқару панелі қоса берілген.



Ағынды басқару панелі

10.6-сурет: Төгу құрылғысының ағыны, №1 мысал

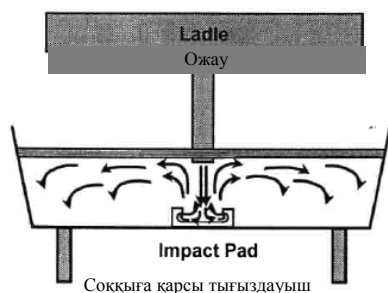
10.7-суреттегі сызба ағындарды басқару үшін төгу құрылғысында аракабырғалар мен реттығынды пайдалануды көрсетеді.



Vesuvics PLC компаниясы ұсынған

10.7-сурет: Төгу құрылғысының ағыны, № 2 мысал

10.8-суреттегі сызба ағынды басқару үшін төгу құрылғысында соққыға қарсы тығыздауышты пайдалануды көрсетеді.

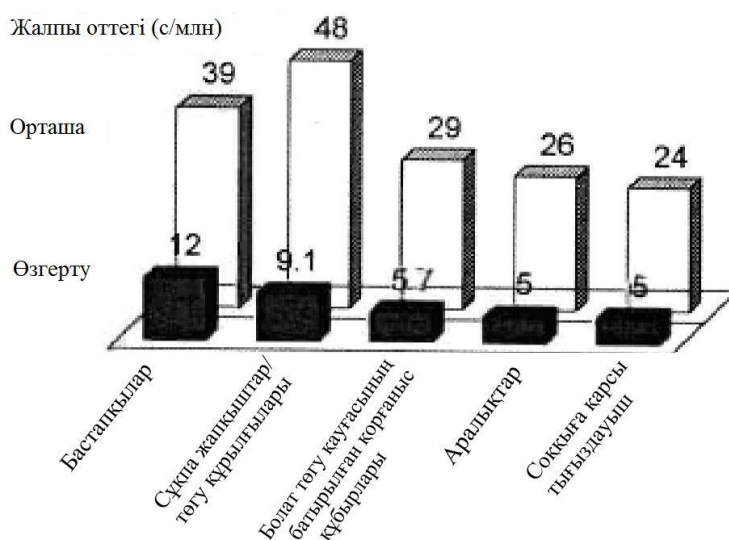


10.8-сурет: Төгу құрылғысының ағыны, № 3 мысал

Ағысты басқару панельдері, рет тығындары, төгу құрылғылары мен аракабырғалар отқа төзімді элементтер болып табылады:

- Оттегінің ең аз жұтылуын қамтамасыз ету және болаттың тазалығын жақсарту
- Сыныптар арасында өту кезінде химиялық құрамның өзгеруін азайту

ArcelorMittal Dofasco компаниясының оттегіні жұту/тазалау осы түрлі технологиялары бойынша сынау нәтижелері 10.9-суретте көрсетілген (олардың зауытқа байланысты әр түрлі болатынын ескеріңіз).



10.9-сурет: Болат тазалығына қысқаша шолу

Сонымен қатар, химиялық деңгейдің ауысуын тығыз және қысқа етіп жасау үшін нені болсын пайдаланбаумен салыстырғанда сокқыға қарсы тығыздау әсері 10.10-суретте көрсетілген.

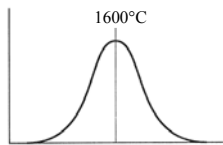


10.10-сурет: Химиялық ауысу-болжау (суды үлгілеу)

Осылайша, бұл қазіргі заманғы таза болат өндірісіне көмектесетін негізгі құрылғылар.

10.5-кестеде ұсынылған ЖМХ талдауынан көріп тұрғандай, тозуға қатысты бұл тез тозатын аумақ.

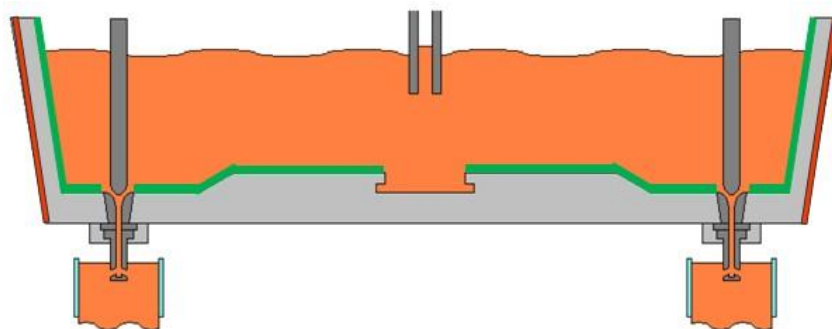
10.5-кесте: ЖМХ талдау үшін құю машинасының аралықтары/құйылма құрылғылары/сокқыға қарсы тығыздаулары/реттығындары

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Ағынды басқарудың аппараттық құралдарының жұмыс қаптамасының температурасы - бұл болаттың өз температурасы және ол төменде көрсетілгендей шөмішті құю температураларының типтік гистограммасында ең жақсы көрсетілген:  Шығарылу температурасы: Бұл отқа төзімді позициядан өте жоғары температура. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Термосоққы (ΔT)	Ағындарды басқарудың аппараттық құралдарына арналған термоциклдеу құбылмалы, себебі болат материалдар арқылы олардың айналасында өтеді. Бірақ бұл термоциклденудің әсер ету жиілігіне байланысты отқа төзімділікті алдын ала қыздыруға байланысты. Балқымалар арасында арақабырғалар немесе төгу құрылғылары болат балқымасының биіктігінен төмен түсіп, сууы мүмкін. Дегенмен, реттығындар мен соққыға қарсы тығыздағыштар әрқашан болатпен жабылады және олар үшін пайдалану процесінде айналым жасау барынша азайтылатын болады. Осылайша, термо соққы ағынды басқарудың аппараттық құралдарына қалыпты әсер етеді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте ағынды басқарудың аппараттық құралдарына соққылы әсер етуі шамалы болады (болат соққыға қарсы нығыздалу аймағына түскенде, шөміштің алғашқы ашылғанын қоспағанда). Сондықтан ағынды басқарудың аппараттық құралдарына ешқандай соққы әсер етпейді. Бұл тозудың болмашы факторы болып табылады.
	Қажалу	Соққыға қарсы тығыздағыш материалдарының қажалуы өте жоғары, өйткені ағын 10.8-суретте көрсетілгендей олар арқылы жіберіледі. Арақабырғалар үшін тесік арқылы қажалу құю жылдамдығына (т/мин) қатты байланысты болуы мүмкін. Алайда реттығындары мен төгу құрылғылары үшін ол аз. Осылайша, қажалу ағысты басқарудың аппараттық құралдарының тозу деңгейінің факторларының бірі болып табылады.
	Қосымшаланған кернеу	Ағынды басқарудың аппараттық құралдарының биіктігі жеке бөлшектердің өлшемдері сияқты өте аз. Демек, бұл ағынды басқарудың аппараттық құралдары үшін елеусіз проблема.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Ерітумен тудырылған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесуіне бағдарланған. Төгу құрылғысындағы қождар химиялық құрамы бойынша өте әртүрлі болғандықтан дұрыс сәйкестікті табу керек. Сондықтан, әдетте құрамында глинозем немесе шпинель бар отқа төзімді қоспа қолданылады. Төгу құрылғысының шлагы: - Al_2O_3 : 3-35% - CaO : 1-40% - SiO_2 : 3-90% - MgO : 1-20% - FeO : 1-3%
	Ену	Ену металдармен және/немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Төгу құрылғысының ағынын басқарудың аппараттық құралдары үшін бұл әдетте проблема емес.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Ағынды басқарудың аппараттық құралдарының биіктігі жеке бөлшектердің өлшемдері сияқты өте аз. Демек, бұл ағынды басқарудың аппараттық құралдары үшін елеусіз проблема.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Төгу құрылғысының қорғаныш қаптамасы үшін қолданылмайды.

Ағымдағы материал/Құрылымы/Орнату әдісі

Базалық құрылымы аппараттық құралдарды басқару ағынымен (реттығындар, төгу құрылғылары, панельдер немесе арлықтар) 10.11-суретте көрсетілген.



Реттығындар /аралықтар/соққыға қарсы тығыздағыштар:

- Қазіргі уақытта ең озық тәжірибе - төгу құрылғысына салынатын монолитті алдын ала төгілген бөлшектерді пайдалану болып табылады. Олар муллиттен және/немесе андалузиттен жасалған (термо соққыдан жақсы). Бокситті және жоғары топырақты материалдар қождың үлкен жарылуына және енуіне бейім. Сондықтан оларды таңдау қажет емес.

- Алдын ала төгілген, бақыланатын цех жағдайында дайындалған және пеште кебуі бақыланатын бөлшектер қасиеттерді барынша ұлғайту үшін қолайлы болып табылады.

10.11-сурет: Төгу құрылғысындағы ағынды басқару құрылымы

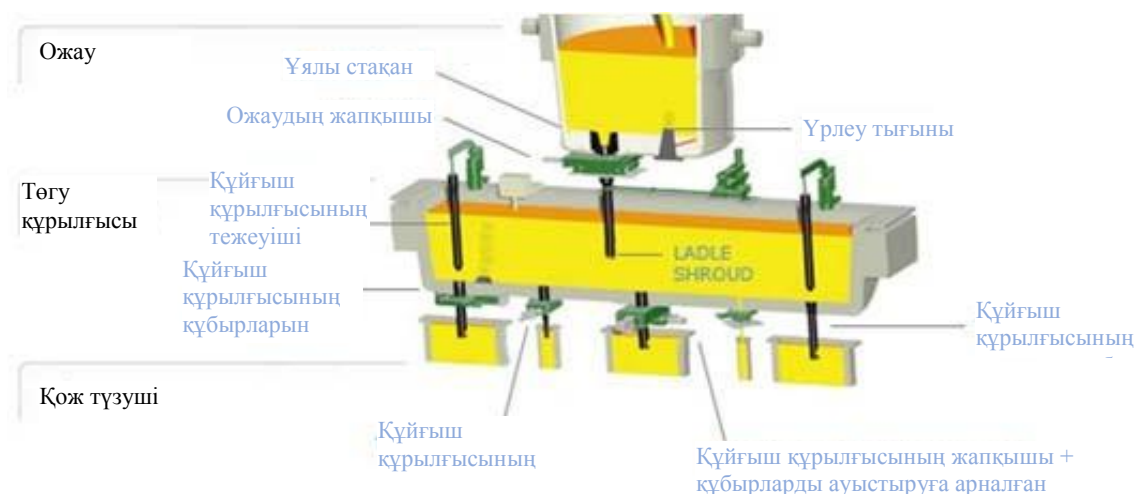
10.4 Құю машинасының ағынын басқару жүйесі

Дайындамаларды үздіксіз құю машинасы (ДҰҚМ), оған байланысты төгу құрылғысы және құю машинасы үшін отқа берік материалдар сапалы болат өндірісін қамтамасыз етеді. Бүкіл әлем бойынша ДҰҚМ көмегімен өндіріс болат қорытудың жалпы көлемінің >90% құрайды және тек бірнеше зауыт ғана құйма технологиясы бойынша болат балқытуды жалғастыруда. Негізгі технологияда болат ағынының қажетті пішіні арқылы бағыттау үшін бірқатар отқа төзімді заттар пайдаланылады. Бұл дайын болат өнімдерін алуға мүмкіндік береді. Төгу құрылғысы болат төгу қауғаларын ауыстыру кезінде үздіксіздікті қамтамасыз ететін аралық ыдыс болып табылады.

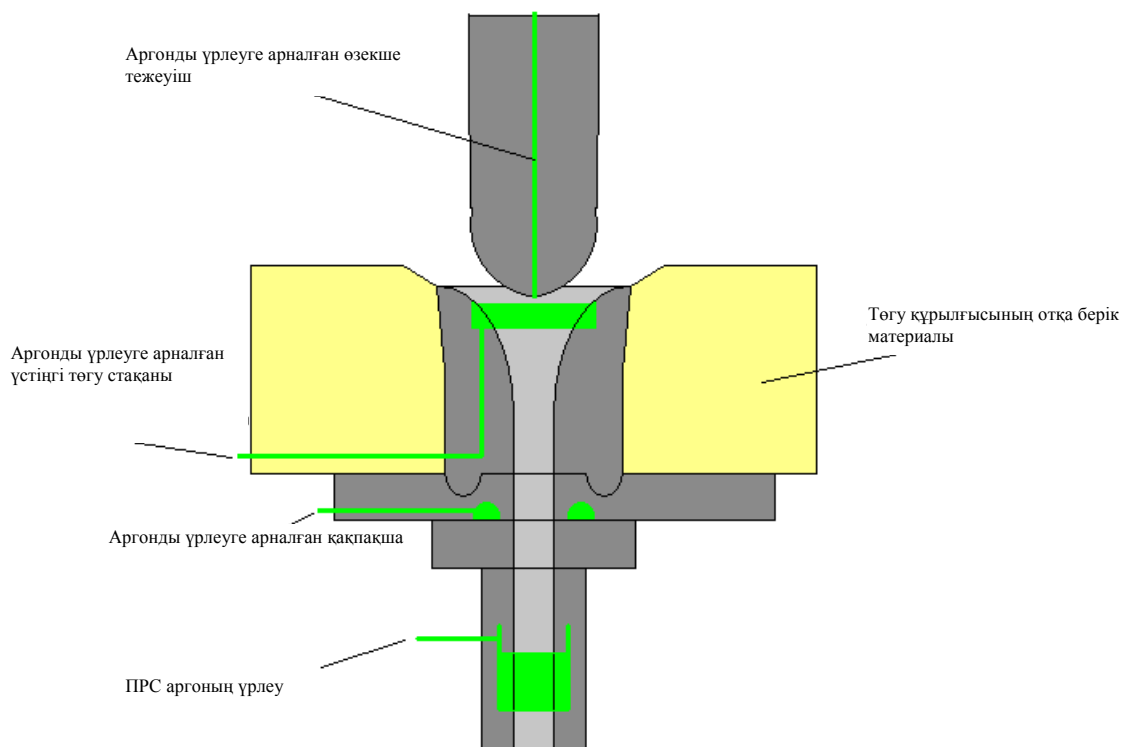
Жылжымалы жапқыш жүйесінің негізгі функциялары:

- Белгіленген ағын жолынан тыс балқытылған болаттың бұзылуы немесе ағудың болмауын қамтамасыз ету
- Цех қарқынына байланысты пішіні сұйық болаттың шығынын дәл өлшеу
- Металл емес қосылыстарды, қоқыстануды және қаптаманың жедел эрозиясын құрайтын сұйық болатқа ауа/оттегінің сіңірілуін болдырмау
- Жүйеге арналған болат тоннасының құнын азайту үшін отқа төзімділікті қамтамасыз ету
- Жүйемен жұмыс істейтін қызметкерлер үшін қарапайым эргономика

10.12 және 10.13-суреттердегі сызбалар құю машинасының ағынын басқаруға шолуды және төгу құрылғысының аймағында жүйенің әртүрлі компоненттерінің орналасуын бейнелейді. Сондай-ақ, құю машинасының көптеген отқа төзімді жүйелері үшін стандартты болып табылатын аргонның үрленуін қоса алғанда, толық ақпараты бар төгу құрылғысының түбіндегі аймақтың көлденең қимасы бейнеленген. Айта кетейік, нарықта ағындарды басқарудың көптеген жүйелері бар және цехтар олар өндіретін болат маркаларына байланысты жоғарыда көрсетілген функциялардың ең жақсы теңгерімін қамтамасыз ететінді тандауы тиіс.



10.12-сурет: Құю машинасы ағынының жүйесіне шолу



10.13-сурет: Құю машинасындағы ағынды басқару жүйесіне шолу

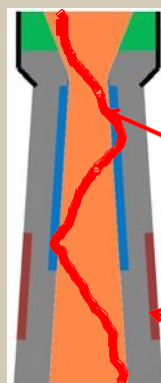
Төгу құрылғысындағы ағындарды басқару жүйесі болат құю цехындағы ең күрделі және жемір отқа төзімді қолданулардың бірі болып табылады. БТС қызмет ету мерзімі цехқа және өндірілетін маркалардың түрлеріне байланысты орташа 3-10 балқытпаны құрайды.

Енді шөміш, тежеуіш, құю машинасының стаканы, пластиналар мен БТС қорғау құбырының тозу механизмін, онан соң онымен күресу үшін қолданылатын материалдардың түрлерін талқылаймыз (10.6 а-10.6 е-кестелері).

10.6а-кесте: Шөміштің қорғау құбырына ЖМХ талдау

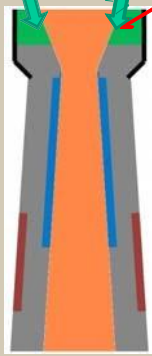
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Шөміштің қорғау құбырының ішкі температурасы болаттың температурасына жақындап келеді және төменде көрсетілгендей шөмішпен құю температураларының типтік гистограммасында ең жақсы көрсетілген: Шығарылу температурасы: — Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура, сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Термо сокқы (ΔТ)	Шөміштің қорғаныш құбырына арналған термоциклдеу өте жоғары, себебі болат қорғаныш құбырының ішінде, ал сыртынан - қоршаған орта температурасында өтеді. 1600°C температурасының бұл ауытқуы жұқа әрі отқа берік 35-50мм қалыңдықтағы жұқа материалда болады! Құю машинасында шөмішті ауыстыру кезінде оны қорғау құбыры қайтадан салқындатылады. Содан кейін ол арқылы жаңа балқыту шығарылады; бұл әсіресе төгу құрылғысын бірінші балқыту кезінде, шөмішті қорғау құбыры бөлме температурасында жұмыс істей бастайды. Сондықтан термо сокқылар шөміштің қорғаныш құбырларына қатты әсер еткендіктен олардың барлығы осы құбылысты жену үшін көміртекті құрайды. Жылу сокқысынан бұзылудың белгісі радиалды кеңейтуден туындаған тік орналасқан сызат болып табылады (суретте көрсетілгендей).
Механикалық	Сокқылы әсер	Әдетте шөміштің қорғаныш құбырына сокқы әсерінің шамасы өте үлкен емес. Себебі ол болат арқылы өтеді. Ол тіпті жүйенің өзіне механикалық әсер етпейді. Демек, сокқының әсері шөміштің қорғаныш құбырына әлсіз әсер етеді.
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және қорғаныш құбырының өлшеміне байланысты. Сызбадан төменде болат ағыны шөміштің қорғаныш құбырымен «секіру» және оның бүйір жағын ысқылайтындығы көрінеді.
	Қосымшаланған кернеу	Шөміштің қорғаныш құбырындағы қоса берілген кернеу құю машинасында тұрған жерде қорғау құбырын ұстап тұратын механизмге ғана әсер етеді. Шөміштің қорғаныш құбыры айтарлықтай кернеуге түспейді, өйткені ол шөміштен тыс еркін өсе алады.

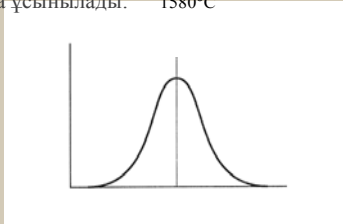
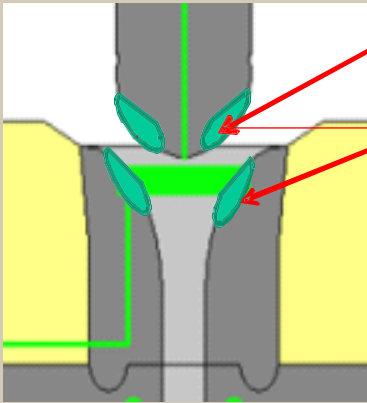


Болат ағыны симметриялы емес және шөміштің барлық қорғаныш құбырын толтырмайды

Төгу құрылғы ваннасынан туындайтын тозу

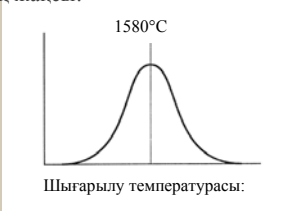
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еріту арқылы туындаған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесуіне бағдарланған. Төгу құрылғысындағы қождар химиялық құрамы бойынша өте әртүрлі болғандықтан дұрыс сәйкестікті табу керек. Сондықтан, құрамында глинозем немесе шпинель бар отқа төзімді қоспа қолданылады. Төгу құрылғысының шлагы: - Al_2O_3: 3-35% - CaO: 1-40% - SiO_2: 3-90% - MgO: 1-20% - FeO: 1-3% Қож аймағындағы эрозияның еруінен туындаған шөмішті қорғау құбырлардың қызмет ету мерзімін шектейтін фактор болып табылады. Әдетте, ол қорғаныш құбырының қажетті бағытталған қысымына зиян келтірмей, барынша қалың құрылымға ие болады.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Шөмішті қорғау құбырларымен болатын негізгі проблема - бұл оттекті фурманың көмегімен шөмішті ауыстыру кезінде қорғау құбырының тостағандарын тазалау; бұл қож бен болаттың өте төмен тұтқырлығымен және жоғары температурамен үйлесімін жасайды, ол егер көміртекті қорғау үшін болмаса, отқа төзімді материалға терең түсірілуі мүмкін. Қорғау құбыры тостағаны бетінің күйі төгу құрылғысына ауаның сінуін болдырмау үшін маңызды.  Қорғаныш құбырының жоғарғы бөлігіндегі оттегі фурмасы қатты тозу механизмін жасайды
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы «Түсірілген кернеу» бөлімін қараңыз.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Шөмішті қорғау құбырында бір уақытта оған әсер ететін көптеген тозу механизмдері бар. Бірақ олар әртүрлі жерлерде орналасқандықтан бұл аралас әсер әлсірейді.

10.6b-кесте: Төгу құрылғысының өзекшелерін тежеуге арналған ЖМХ талдау

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Тежеуіш өзекшесінің температурасы болаттың температурасына жетеді және ол төменде көрсетілгендей шөмішпен төгу температураларының типтік гистограммасында ұсынылады: 1580°C  Бұл отқа төзімді материал позициясынан өте жоғары температура. Сондықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔТ)	Өзекше пайдаланбас бұрын алдын-ала қыздырылатындықтан, тежеуіш өзекшесін термоциклдеу салыстырмалы түрде төмен болады. Болат төгу құрылғысына құйылады және содан кейін төгу құрылғысының қалған бөлігін болатқа салады (ваннаның биіктігін жоғары және төмен қарай белгілі бір өзгерту арқылы). Сондықтан термо соққы тежеуіш өзекшелеріне әлсіз әсер етеді.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте тежеуіш өзекшесіне соққы әсері тек стақанмен қосылатын жердегі ұштыққа қана келеді (төмендегі суретті қараңыз). Бұл минималды соққылы әсері бар цехқа байланысты бітелуді балкыту ішінде >5 рет өздерінің тежеуіштерін «соққылайтын» цехтарда өзгеруі мүмкін екендігін атап өту қажет. Тежеуіш пен стақан өзекшесі ұшының отқа берік материалы осы механизмге қарсы іс-қимыл үшін таңдалуы тиіс.  Тежеуіш өзекшесіне соққы әсер ету аймағы Стақанға әсер ету аймағы
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және тежеуіш өзекшесі мен стақан арасындағы саңылауға байланысты болады. Ол осы саңылауға көлденең шығын жасайды. Соққы әсер ету үшін жоғарыдағы суретте сияқты аймақ сол жерде орналасқан. Демек, қажалу шөміштің қорғау құбырының тозуының орташа факторы болып табылады.
	Қосымшаланған кернеу	Тежеуіш өзекшесіндегі жалғыз кернеу тежеуіш өзекшесі жетегін басқару жабдықтарына түседі. Тежеуіш өзекшесі алдын ала қыздыру кезінде төгу құрылғысының ішінде еркін өсе алатындықтан кернеуді сезбейді.

Химиялық (және термехимиялық)	Еру	Еріту арқылы туындаған тозу қождың кірпішпен химиялық үйлесуіне бағдарланған. Төгу құрылғысындағы қождар химиялық құрамы бойынша өте әртүрлі болғандықтан дұрыс сәйкестікті табу керек. Сондықтан, құрамында глинозем немесе шпинель бар отқа төзімді қоспа қолданылады. Төгу құрылғысының шлағы: - Al_2O_3 : 3 -35% - CaO : 1 -40% - SiO_2 : 3-90% - MgO : 1-20% - FeO : 1-3%
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Тежеуіш өзекшесінде тежеуіштің «қож аймағына» кіретін төгу құрылғысының шлағы болуы мүмкін. Бірақ отқа төзімді материалдың есептік қалыңдығы басқа да шекті сипаттамаларға әсер етпейтіндіктен проблемаға жатпайды.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы «Түсірілген кернеу» бөлімін қар.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Тежеуіш өзекшесінде оған әсер ететін тозудың көптеген механизмдері бар және де тежеуіш өзекшесінің ұшы тозудың бірнеше механизмдеріне, соққы және химиялық әсерге арналған негізгі аймақ болып табылады.

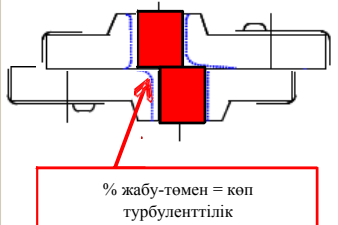
10.6с-кесте: Құйғыш стақан үшін ЖМХ талдауы

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	Құйғыш стақанның температурасы-болаттың температурасы және ол төменде көрсетілгендей, шөмішпен төгу температураларының типтік гистограммасында ең жақсы:  Отқа төзімді позициядан бұл өте жоғары температура болғандықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Құйғыш стақанға арналған термоциклдеу бір-біріне түсетін барлық отқа берік заттар үшін ең аз болып табылады. Өйткені стақан колдана алдында әдетте қызады және болаттың жоғары температуралары оны пайдаланудың соңына дейін сақталады. Сондықтан термо соққы құю стақанына әлсіз әсер етеді.

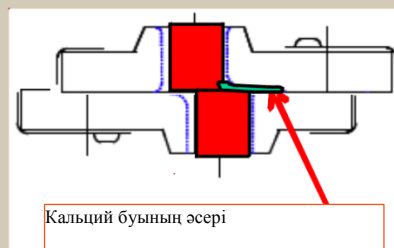
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте төгу стақанына соққы әсері тек тежеуіш өзекшесімен жалғанатын ұштыққа келеді. Бұл цехтардағы минималды соққылы әсері бар цехқа байланысты бітелуді балқыту ішінде >5 рет өздерінің тежеуіштерін «соққылайтын» цехтарда өзгеруі мүмкін екендігін айтып кету қажет. Тежеуіш өзекшесінің ұшы мен стақан осы механизмге қарсы іс-қимыл үшін таңдалуы тиіс. Стақанның пішіні радиалды жарықшақтарға байланысты бұзылуы мүмкін. Бұл болат ағынын реттеу қабілетін жоғалтуға немесе пішінді асыра толтыруға немесе бірізділікті үзуге әкеп соқтырады және қиын істен шығуға байланысты оны ажырату қабілетін жоғалтуға әкеп соғады. Сондай-ақ аргонды жеткізу арналары радиалды жарықтар арқылы бұғатталған ену болуы мүмкін. Бұл олардың азғантай беріктігіне байланысты магниалы стақандармен күрделі проблема болуы мүмкін. Радиалды шаюдың алдын алу үшін мүмкіндігінше стақанның беріктігі жоғары материалын немесе механикалық қолдау үшін стақанның сыртына қосылған нығайтуды пайдалану керек. Тежеуіш бұл жерде жабылады Тежеуіш осында жабылуы керек Ұштың жағдайы қалыпты, бірақ стақан қатты зақымдалған Стақанның қатты зақымдануынан болат өзгеруі мүмкін
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және тежеуіш өзекшесі мен стақан арасындағы саңылауға тікелей байланысты. Соққы әсері тиімді болу үшін жоғарыдағы суреттегідей аймақ сол жерде орналасқан. Демек, қажалу шөміштің қорғау құбырының тозу факторларының бірі болып табылады.

	Қосымшаланған кернеу	Төгу стаканында қоса берілген кернеу сұйық болаттың температурасын отқа төзімді қаптамаға қосу салдарынан стаканның кеңеюіне байланысты туындайды және өсуге мүмкіндік бермейді. Стақан жоғары тегістейтін отқа төзімді массасымен немесе өсуге мүмкіндік беретін белгілі бір қысымға ие болатын қоспамен қоршалуы тиіс; әйтпесе жарықтар және, мүмкін, сынықтар пайда болады. Бұл төгу стакандары үшін маңызды проблема, әсіресе, егер олар магнезия немесе цирконий диоксиді сияқты кеңею коэффициенті жоғары материалдардан жасалған болса. Стақандардың радиалды жарылуына жол бермеу үшін тегістеу материалының қысылу деңгейін шектеу қажет.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождар мен отқа берік материалмен болаттың химиялық үйлесуіне бағдарланған. Стақандармен болған жағдайда болаттың химиялық құрамы ең маңызды компонент болып табылады. Себебі қож стаканмен сирек байланыста болады. Құрамында кальций бар болаттар үшін, егер стакан глиноземнен жасалған болса, глиноземмен Са реакциясы және балқу температурасының төмен қалыптасуынан стаканның жоғарғы бөлігінің тозуы орын алады. Қарапайым болаттар үшін бұл үлкен проблема емес, бірақ магнезиялы стаканды еріту үшін пайдалану кезінде айтарлықтай кернеу және жарылу проблемасы болуы мүмкін. Сондықтан болат маркасына сәйкес келетін материал қолайлы
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Стақандағы негізгі проблема кальцийдің әсері болып табылады. Жоғарыда айтылғандай, бұл стакан аймағындағы шамадан тыс тозуға және жарылуға әкелуі мүмкін және жобадан шығарылуы тиіс.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы «Түсірілген кернеу» бөлімін қараңыз.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Құю стаканының жоғарғы бөлігіндегі шектеулі аймақта кальций мен кеңею кернеуінің химиялық әсерінің, сондай-ақ жоғары температуралардың үйлесімі отқа төзімді конструктор үшін көптеген проблемалер туғызады, өйткені бұл күрделі аралас әсер.

10.6d-кесте: МНЛЗ тілімдеріне (пластиналарына) арналған ЖМХ талдау

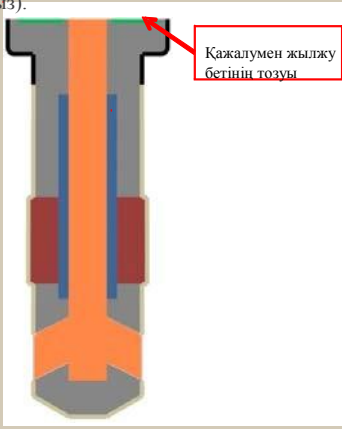
Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (Т)	Тілімдердің температурасы - болаттың температурасы және ол құю температураларының типтік гистограммасында ең жақсы:  Бұл отқа төзімді позициядан өте жоғары температура болғандықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.
	Термо соққы (ΔT)	Жылжымалы жапқыш жүйесіне арналған термоциклдеу жоғары және компоненттерге байланысты өзгереді. Төменгі стақан сырғымалы жапқыштың тілімдері жүйе қоршаған орта температурасында ашық ауада болғанда қатты термоқондыруға және жапқыштың ашық және сұйық болат ағып бастағанда температураның экстремалды градиентіне ұшырайды. Тағы бір маңызды проблема - ыстық отқа төзімді суық аргоннан кернеуді үдететін аргонды салқындату жиегі. Сондықтан термсоққы шөміштің сырғымалы жапқыштары үшін өте маңызды фактор болып табылады және осы әсерді жеңу үшін олардың барлығы осы себептен көміртекті қамтиды.
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте құю машинасының плитасында май жүйесіне соққының әсер ету шамасы және тозудың маңызды механизмі болып табылмайды. Жалғыз ерекшелігі - арнада қатты болат болған кезде БТС ауыстыру әрекеті немесе жапқышты жабу әрекеті.
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және арна мөлшеріне байланысты. Егер арна өткізу қабілеті үшін тым үлкен болса, арналарды жабу азғантай болады, ал төменгі тілім үлкен күш пен турбуленттілік әсеріне ұшырайды. Қатты жабынды және болаттың ағынын басқаруда немесе арнадағы кез келген қоқыстарды теңгеруде қиындықтар болған жағдайда, қалыпты бағдар қажетті өткізу қабілеті үшін арнаның ~ 50% жабының құрайды.  Сондай-ақ, қозғалыс бетін ашу және жабу кезінде қажалу пластинаның тозуын туындатады. Демек, қажалу сырғымалы жапқыштың пластинасының тозуының басты факторы болып табылады және төменгі стақанға азғантай дәрежеде әсер етеді. Олар тек ағынмен ғана байланысады.

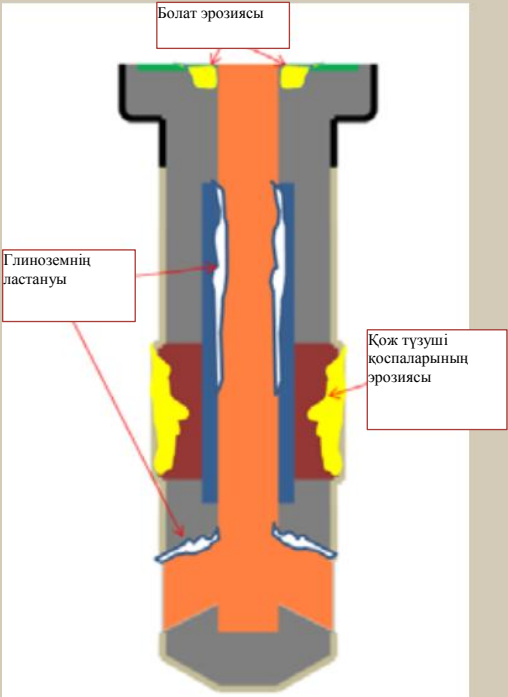
	Қосымшаланған кернеу	Жапқыш жүйесіндегі кернеу де маңызды фактор болып табылады. Жылжымалы жапқыштың пластиналарына қысу және кез келген жарықтарды ұстап тұру қажеттілігіне байланысты ең жоғары кернеу болады. Бұл аралас жүктеме тілім материалын құрастыруда маңызды фактор болып табылады. Сондай-ақ, көптеген жүйелерде тілімдер аймағында инертті атмосфераны қамтамасыз ететін аргонды салқындату жиектері бар екеніне назар аудару керек. Бұл тілімде қосымша кернеу жасай алады.
Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың отқа төзімді материалмен химиялық үйлесімділігіне бағдарланған. Болаттың / қождың жүйе арқылы өткендегі қалыпты тозуы маңызды проблема болып табылмайды; дегенмен, жылжымалы жапқыш тілімшелері үшін бір маңызды проблема бар - Са булы әсері. Са болатта болғанда және жабынды болғанда, Са Са буларына айналады және пластинаға өте жемір әсер етеді (ол әдетте глиноземден жасалады). Арқалық пішіндегі тозу «таға» тозуы деп аталады. Өйткені ол осы пішінді, егер тілімшеге оның қызмет ету мерзімі аяқталғаннан кейін қарайтын болсақ, қабылдайды. Са тозуы болаттан 35 с/млн Са асатын геометриялық прогрессияда ұлғаяды немесе ауа жарықтар немесе саңылаулар арқылы сіңеді. Ол үшін жылжымалы жапқыш жүйелерінде қазіргі уақытқа дейін MgO және MgO-C пайдаланылды. Бірақ термосоққы/жарылу кеңейту мен кернеудің жылдамдығына байланысты негізгі проблема болып отыр.
	Ену	Ену тұтқырлығы төмен немесе кеуекті отқа берік материалдарға кіретін, қатты суланатын металдармен және/немесе қождармен байланысты. Бұл пластиналар жүйеге салынған және оттегі фурмасы жоқ болғандықтан, аз ғана тозу механизмі болып табылады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы «Түсірілген кернеу» бөлімін қараңыз
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Са буынан қоса берілген кернеудің, қажалудың, коррозияның және термоциклденудің үйлесімі жылжымалы жапқыштың пластиналары үшін көзделген қысқа қызмет ету мерзімінің себебі болып табылады.



10.6е-кесте: Батырмалы төгу стақандары үшін ЖМХ-ны талдау (БТС)

Басты механизм	Бағынышты механизм	Мысалдар
Жылулық	Шекті температурасы (T)	БТС температурасы - бұл болаттың температурасы және ол құю температураларының типтік гистограммасында ең жақсы көрсетілген: Бұл отқа төзімді позициядан л өте жоғары температура болғандықтан тек жоғары ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану қажет.

	Термо сокқы (ΔТ)	БТС үшін термоциклдеу орташа, бірақ пластиналардың бөліну сапасының өзгеруі сияқты ерекше жағдайларда жоғары болуы мүмкін, ыстық БТС пластиналарды пішінге салу кезінде салқындатылады және болатты төгу кезінде тез қызады. Қалыпты жылу циклдары, БТС суыту мүмкіндігі бар құю жағдайына жылытқыштың арасында орын ауыстырғанда орын алады. БТС әсіресе салқындату циклдарына сезімтал және егер олар алдын ала қыздырылса, бірақ дереу пайдаланылмаса, жарамсыз болады. Егер суытуға тым көп уақыт кетсе (әдетте 5 минуттан артық), онда термосокқы қауіпі өте жоғары. Жылу сокқысынан бұзылудың тән белгісі жылу кернеуінен пайда болған жарықтың күшті тік құраушысы болып табылады. 
Механикалық	Соққылы әсер	Әдетте БТС жүйесіне соққы әсерінің шамасы аз және тозудың маңызды тетігі болып табылмайды. Алайда, БТС өрескел өзгерістердің нәтижесі БТС ернемегіндегі айналу кезеңінің кернеуінің жоғары деңгейі болуы мүмкін. Осы себепті БТС құрылымы өзгерді және енді отқа төзімділікті қолдау үшін болат қабықшамен күшейтілген. Кейбір жағдайларда ернеменектердегі жарықтар БТС өрескел өзгерістер нәтижесінде пайда болуы және ауаның сорылуы проблемалеріне әкелуі мүмкін.
	Қажалу	Қажалу шамасы болат ағынының өткізу қабілетіне (тонна/минут) және БТС арнасының диаметріне байланысты. Егер арна өткізу қабілеті үшін тым үлкен болса, онда болат ағынының төмен жылдамдығының салдарынан іркілген шекаралық қабаттан ластану пайда болады. Егер арна тым кішкентай болса, онда ағын жылдамдығына жету қиын болады. Ағынмен байланысты маңызды проблемалардың бірі тесіктер мен арналардағы қоқыстар саны болып табылады (төменде «химия өнеркәсібі» бөлімін қараңыз).  Сонымен қатар, «жылдам ауыстыру» жүйелері үшін қажалу беттерінің үйкелуі де конструкциялау кезінде ескерілуі және көзделуі тиіс. Қосымша омырылу құюдың пайда болуына және БТС өзгертудің мүмкін еместігіне әкелуі мүмкін, бұл реттіліктің үзілуіне әкеледі. Осы себептен БТС жоғарғы бөлігінде әдетте мықты жоғары сапалы материалдар орнатылады. Демек, қажалу-бұл БТС тозуының маңызды факторы.
	Қосымшаланған кернеу	БТС қоса берілген кернеу құю машинасында жылжымалы жапқыш жүйесіндегі орында БТС ұстап тұратын механизмге ғана әсер етеді. Олай болмаған жағдайда, БТС қажеттілігіне қарай кеңейтілуі және қысылуы мүмкін.

Химиялық (және термохимиялық)	Еру	Еру кезіндегі тозу қождардың отқа төзімді материалмен химиялық үйлесімділігіне бағдарланған. БТС қатысты екі маңызды проблема бар: біріншіден, ерітілген қож құраушы қоспаның стаканның қож аймағына әсері; екіншіден, БТС арнасы мен тесіктеріндегі глинозем және/немесе шпинельдің жиналуы (төменде қараңыз).  Қож эрозиясы өте жемір, себебі қож түзуші қоспа құю пішінінде болат қаптамасын майлайтын жеңіл балқитын керамика. Алайда тез балқитын керамика ериді және отқа төзімді, өте тез тозуды туындатады. Бұл құбылыспен күресу үшін көміртек пен цирконий диоксидінің үлкен мөлшері қолданылады. Эрозия жылдамдығының одан әрі төмендеуіне фторы жоқ қож түзуші қоспалардың және тұтқырлығы жоғары қож құраушы қоспалардың көмегімен қол жеткізуге болады. Жинақталған жағдайда (құрамында Са жоқ алюминиймен қышқылданған болаттың сорттары үшін) бұл механизмі қалыптасқан, Al-дан болаттан жасалған глиноземнің түзілуі. Шешім ретінде ауаның сорылуын азайтуға болады, бұл оттегіге болат Al әрекет етуге мүмкіндік береді. Оттегі сондай-ақ жоғары температураларда газдардың пайда болуынан CO немесе SiO түрінде отқа төзімді ең қол жетімді. Жұмыс жинақталу әсерін болдырмау үшін аз немесе көп дәрежеде Al жауап беретін әртүрлі «төсемелермен» жүргізіледі. Аргонды үрлеу БТС ластануын азайтудың тағы бір әдісі.
	Ену	Ену металдармен және /немесе тұтқырлығы төмен қождармен НЕМЕСЕ кеуекті отқа төзімді материалдарға енетін қатты суланған металдармен/қождармен туындайды. Қож эрозиясы өте жемір, себебі қож түзуші қоспа құю пішінінде болат қаптамасын майлайтын жеңіл балқитын керамика. Алайда тез балқитын керамика ериді және отқа төзімді, өте жылдам тозуды туындатады. Бұл құбылыспен күресу үшін көміртек пен цирконий диоксидінің үлкен мөлшері қолданылады.
Термомеханикалық	Жылулық кеңею кернеуі	Жоғарыдағы «Түсірілген кернеу» бөлімін қараңыз.
Химиялық-механикалық (және термомеханикалық химиялық)	Ену аймақтарындағы сыну	Қажалу, жемір коррозия және термоциклденудің үйлесімі батырмалы төгу стаканына көзделген қысқа қызмет ету мерзіміне себеп болып табылады.

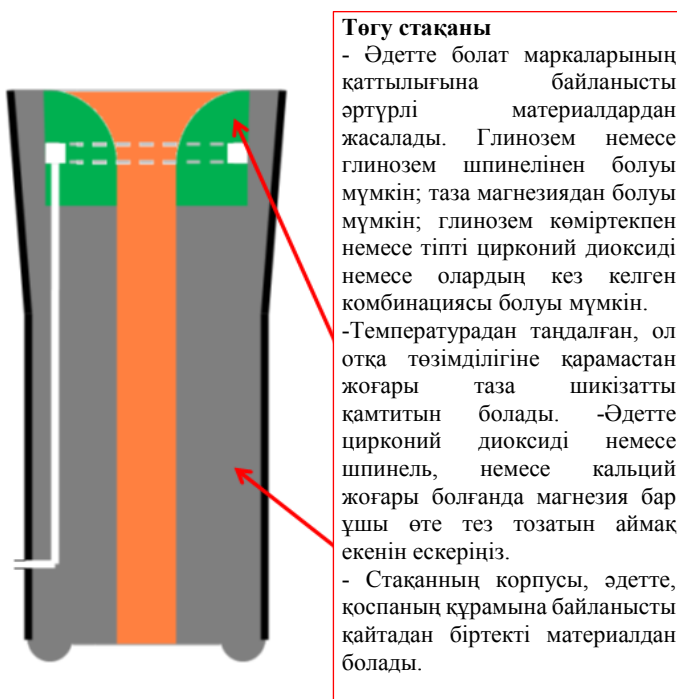
Ағымдағы материал/құрылымы /орнату әдісі

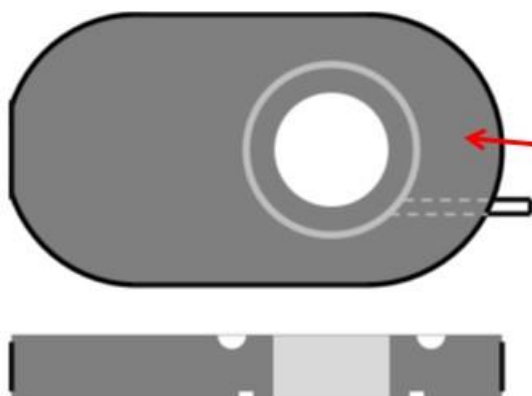
Құю машинасының ағыны жүйесінің негізгі құрылымы 10.14-10.18-суреттерде көрсетілген.



10.14-сурет: Шөміштің қорғаныш құбыры

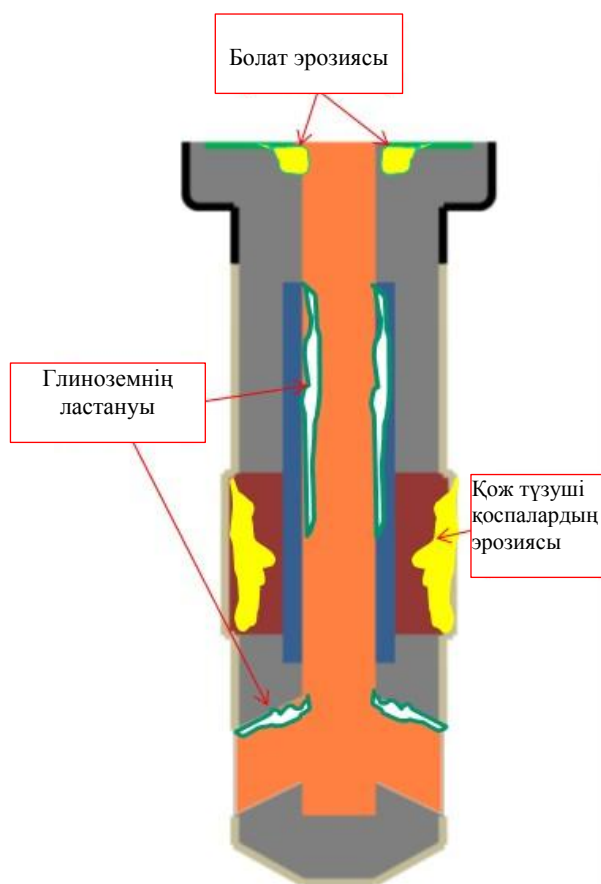
10.15-сурет: Тежеуіш өзекшесі





Жылжымалы жапқыш пластиналар
 * Әдетте құрамында 20-25% С (94% графит құрамы) және 70-75% глинозем (муллит қоспалары бар пластиналы, балқытылған глинозем) және цирконий диоксидінің 0-5% құрамы бар глинозем-көміртекті қоспадан дайындалады.
 • Сондай-ақ көміртекті қорғау үшін антиоксиданттар (Al, Si, бор және т. б.) болады.

10.17-сурет: Жылжымалы жапқыш пластиналар



Батырмалы төгу стақаны

Әдетте 20-25% құрамы С (94% графит құрамы) және 70-75% құрамы бар глинозем (муллит қоспалары бар пластиналы, балқытылған глинозем) және цирконий диоксидінің 0-5% құрамы бар глинозем-көміртекті қоспадан дайындалады.

Сондай-ақ көміртекті қорғау үшін антиоксиданттар (Al, Si, бор және т. б.) болады.

- Аса жылдам тозатын учаскеде әдетте С мәні төменірек және ZrO₂ жоқ екенін атап өткен жөн

- Қож аймағы және құрамында ~ 25% с бар цирконий жоғары болуы мүмкін тесіктер.

Сирек кездесетін цирконий диоксидін (цирконийдің балқытылған әк диоксиді және т. б. цирконийдің балқытылған глинозем диоксиді) пайдалануға болатынын ескерту қажет

- БҚС корпусы глиноземнен жасалады. Цирконий диоксиді жоқ.

Глинозем

Ластану

Қож түзуші

Қоспа

Эрозия

- Сондай-ақ жиналуды болдырмау үшін құрамында кремний немесе көміртегі бар немесе еркін әк тас бар ішкі төсем болуы мүмкін.

10.18-сурет: Батырмалы төгу стақаны

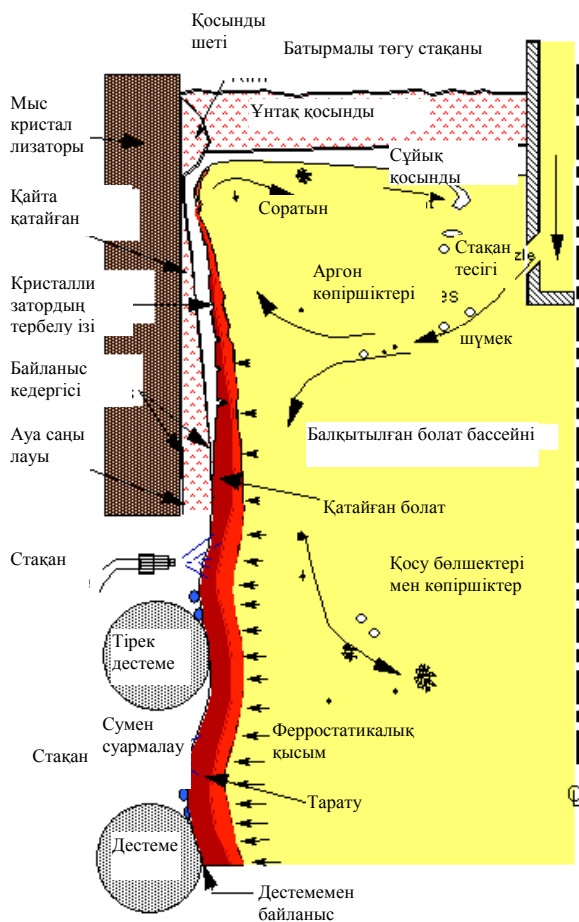
Құйма пішіндегі ағын және жобалық параметрлерге шолу 10.19-суретінде ұсынылған.

БКС құрылымы-функциялары

- Пішіндегі орналастырылмаған ағын
- Глиноземді қожқа дейін барынша флотациялауды қамтамасыз ететін ағын
- Қож түзуші қоспаны балқытуға арналған жоғарғы бөлікке және салқындатуды болдырмау үшін бұрыштарға жылу әкелетін, бірақ кристаллизатордағы металл деңгейінің бұзылуын туындатпайтын, бұйымға бағыттаушы құйынды қож түзуші қоспа сияқты ағын
- ULC бұйымына (үлкен ені 1600 мм және ең төменгі жылдамдығы 1,0-1,2 м) және D&I бұйымына (кіші ені 1000 мм және ең төменгі жылдамдығы 1,8 м) арналған оңтайлы конструкцияға қажеттілік

БТС құрылымы-айнымалы шамалар

- Арна диаметрі
- Саңылау пішіні өлшемі (жақсы ағын өту үшін)
- Саңылау бұрышы
- Арнаның пішіні (шеңбер, сопақ, саты және т. б.)
- Сыртқы пішіні (шеңбер, кесілген жақтары)
- БТС орындау (қалыпты, қалақ тәрізді)
- Саңылау саны (2,3,4?)
- БТС түбі (пышақ пішінді немесе тегіс салыстырғанда ұя түрінде?)
- БТС бір түрі (ерекше ULC, ерекше D&I және т. б.?)
- Батыру тереңдігі
- Аргонның оңтайлы ағыны (ені бойынша өзгереді ме?)



10.19-сурет: Құю машинасының БТС құрастыру параметрлері
(<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0201/Thomas/Thomas-0201.html>)

Біз жапқыштың жұмысы немесе пластиналар нақты жапқышқа тән болғандықтан, стақандарды және т. б. орнатуды қарастырмаймыз.

11-тарау



11.0 Сатып алу стратегиясы

Отқа төзімді материалдарды таңдау және сатып алу бүкіл бизнестің өте қызықты бөлігі болып табылады. 1.6-тарауда біз сатып алудың жиынтық құны туралы айтқан болатынбыз. Бұл талдаудың әдістемесі, отқа төзімді материалды пайдаланумен байланысты барлық шығындарды, сатып алудан бастап кәдеге жаратуға дейінгі, оның ішінде процестің өзіне әсер етуі, яғни қызмет ету мерзімін, өнімділігін, шығаруды, сапасын және т. б. қамтиды.

Сатып алудың жеке негізінде ең ұтымды, логикалық шешім қабылдау үшін оның барлық компоненттерін ескеру керек.

Алайда, егер "қолайлы" жеткізуші болса, ол өнім берушілер тізімінен емес, жұмысқа тартуды өтінген адамдар болып табыла ма? Егер таңдалған өнім беруші корпоративтік "қара тізімде" болса, не болады? Егер бір өнім берушіні таңдасаңыз, сіз еншілес кәсіпорындардан көп үнемдей аласыз ба?

Басқа да маңызды мәселелер бар. Біз отқа төзімді материалдарды салмағы бойынша сатып алуымыз керек пе? Әлде данамен сатып аламыз ба? Өндірілген болат тоннасының бағасымен бе немесе қандай да бір өзге тәсілмен бе? Сондай-ақ, консигнация шарттарында (фактура шотын пайдаланған кезде) немесе жеткізу фактурасы бойынша (жеткізуші фактура шотын жіберген кезде) сатып алуларды жасауға бола ма?

Осының бәрін отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі маман да ескеруі тиіс. Бұл осы тарауда қаралатын негізгі мәселелердің бірі болмақ.

Есте сақтау қажет болатын тағы бір маңызды нәрсе - отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі маман түпкілікті шешім қабылдамайды. Бұл, 11.1-суретте көрсетілгендей, операторлармен, сатып алушылармен және басқалармен бірлескен жұмыс кезінде жасалады.



11.1-сурет. Отқа төзімді материалдарды сатып алу туралы шешімге негізгі үлес

Осы топтардың әрқайсысы өз рөлін атқаруы тиіс; Олар кәсіпорын шеңберіндегі қауіпсіздік, өндіріс және құн үшін жауапты болғандықтан, соңғы шешімді өндірістік директорлар/технологиялық бөлімнің бастықтары қабылдауға тиіс. Қалғандарында тиесілі негізгі үлес бар, бірақ сайып келгенде өндіріс/технологиялық бөлім басшылары жауапты болады.

Сондай-ақ, отқа төзімді материалдарды таңдау өте күрделі және жоғары технологиялық шешім екенін есте сақтауымыз керек. Біз күнделікті өнеркәсіп тауарларын емес, арнайы әзірленген керамикалық материалдарды таңдаймыз!

Бұл өте маңызды және техникалық шешімдерді қабылдамайтын тұлғаларға түпкілікті шешім қабылдауға мүмкіндік бермейтін жай ғана мәлімдеме емес, керісінше ең төменгі жиынтық сатып алу құны бар шешім дұрыс деп кепілдеме беру. Мысалы, бір күні бір зауытта шөміштің аргонды тығындары мен форсункаларын орнату үшін қолайлы ерітіндіні жобалау және таңдау үшін 12 ай сынақ қажет болды. Ол дұрыс химиялық құрамы, дұрыс консистенциясы және орнату кезінде жылдам қатып қалуы керек-тін, бірақ мүмкін болатын жою кезінде кейбірі борпылдақ болып қалды. Дұрыс комбинацияны алу үшін әртүрлі желімдеуші жүйелер және минералогия, бірнеше сынақ қажет болды. Көптеген адамдар 80% глинозем ерітіндісі тек тауарлық материал және салмағы 25 кг шөміштің ең төмен құны шешуші фактор болып табылады деп ойлайды. Бірақ бұл мүлдем дұрыс емес.

Бұл тауар емес отқа төзімді материалдар жоқ дегенді білдіре ме? Жоқ! Бұл біздің сатып алу агенттеріне келіссөздер жүргізуге көмектесу үшін отқа төзімді материалдарды коммодитациялай алмайтындығымызды білдіре ме? Жоқ! Бірақ бұл түзу өнімді алу үшін техникалық дұрыс жұмыс алдымен командамен жасалуы тиіс дегенді білдіреді!

Енді 11.1-кестеде көрсетілгендей, пайдаланылатын сатып алудың түрлі стратегиялары, сондай-ақ олардың күшті жақтары және пайдалану уақыты жөнінде әңгімелесейік.

Отқа төзімді материалдарды сатып алу стратегиялары

11.1 кесте: Отқа төзімді материалдарды сатып алу

Сатып алу стратегиясы	Стратегияның анықтамасы және күшті жақтары	Стратегияны қай кезде пайдалана аламыз
АҚШ доллары отқа төзімді материал кг	Кг үшін олардың бағасына негізделген отқа төзімді материалдарды сатып алу бизнес үшін шын мәнінде тауарлық тәсіл болып табылады. Негізінен тиеуге жататын материалдың салмағына негізделген сатып алулар мен АҚШ доллары түріндегі көбейткішті қамтиды. АҚШ/кг. Отқа төзімді материалдар сирек тауар болғандықтан мұндай тәсілді таңдау кезінде қолдануға болмайды.	Дегенмен, бұл тәсіл кейбір жағдайларда пайдалы: - Екі түрлі зауытта бір өнім үшін төленген бағаны салыстыру кезінде баға айырмашылығы жоқ екеніне көз жеткізген пайдалы. - Қолда бар өнімнің мөлшерін өзгерту кезінде, бірақ материалды өзгертпей, өнім берушінің бағаны арттыру мүмкіндігі ретінде осы өзгерісті пайдаланбайтынына көз жеткізу үшін оны тексерген пайдалы. - Егер сізде әр түрлі жеткізушілерден бірдей өнімділікті қамтамасыз ететін екі өнім болса (ШТСТ бірдей көрсеткіші), онда оны "экономикалық тұтқаны" сатып алу үшін пайдалануға болады.
АҚШ доллары отқа төзімді материал данасына	Мұндай материалдың бір данасына негізделген отқа төзімді материалдарды сатып алу кірпіш немесе құйылған буып-түйілген өнімдерді сатып алудың стандартты тәсілі болып табылады. Бұл стратегияның күшті жағы - тапсырыс үшін жеңіл логистика болуында. Бірақ ол сатып алуда нақты тәсілге ешқандай құндылықты қоспайды. Егер арнайы әзірленген материалды таңдау құндылығы түсінікті немесе бағаланбайтын болса, тауарлық тәсіл ретінде түсіндірілуі мүмкін.	Бұл тәсіл көптеген жағдайларда стандартты болып табылады: - Кірпіштерге, құйылған қалыптарға немесе белгіленген пішіндегі кез келген басқа да отқа төзімді материалдарға тапсырыс беру кезінде бұл жоспарды логистика тұрғысынан оңай іске асыру қажет. - Ол ШТСТ таңдау жасалғаннан кейін ғана пайдаланылып, содан кейін бұйымға тапсырыс беріледі. Бірақ оны әр текті материалдарды және/немесе жеткізушілерді салыстыру үшін пайдалануға болмайды.
АҚШ доллары өндірілген болат тоннасы үшін	Бұл стратегия өнім берушіден отқа төзімді материалдарды сатып алу және сауытта өндірілетін болаттың (немесе темір, кокс және т. б.) санына байланысты төлеу үшін пайдаланылады. Бұл шығындарды бақылайды, өндіріспен дәл салыстырады және өндіріске байланысты ауыспалы шығындарды қолдайды. Бұл зауыттың өзінің шығындарын бақылау үшін өте қолайлы. Сондай-ақ отқа төзімді материалдар үшін шотты соңында ұсынғандықтан ақша ағындары тұрғысынан жақсы. Стратегия өнім беруші үшін жоғары тәуекелмен байланысты, өйткені операциялық ірікістер/инциденттер және т. б. тұтынудың ұлғаюына әкелуі мүмкін. Бұл ретте олар тек стандартты ставка бойынша төленеді.	Бұл стратегия әдетте жабдықтың бірнеше/бүтін секциялары үшін қолданылады. Сол жабдық үшін материалдарды жеткізетін басқа отқа төзімді материалдарды жеткізушілермен өзара наразылықтардың санын шектейді. Бұл стратегия - тоннасына АҚШ доллары - бұл мүмкін болған әр кезде пайдаланылуы тиіс; алайда, алдын ала ескерту-бұл мұндай сценарийде өнім берушілер зауыт тұрақты жұмыс істейтін кезде ғана осындай тәсілмен келіседі. Көптеген жағдайларда сатып алудың жиынтық құны артады, өйткені болат құю зауытының қызметкерлері шоғырланудан айырылып, басқа кезек күттірмейтін басымдықтарға ауысады. Тиісінше сатып алудың жиынтық құны өнім берушінің мәселесіне айналады. Егер көрсетілген тәсіл таңдалса, мұндай жағдайды болдырмас үшін мұқият ойластырылған өндіріс процесін пайдалану керек.
АҚШ доллары болат тоннасына, пайданы бөлуді қоса алғанда	Бұл стратегия өнім берушіден отқа төзімді материалдарды сатып алу және сауытта өндірілетін болаттың (немесе темір, кокс және т. б.) санына байланысты төлеу үшін пайдаланылады. Бұл жоғарыда көрсетілген стратегиямен бірдей. Тек аздаған уәдмесі бар. Егер жеткізуші-оператор бумасы белгілі бір шектен тыс үнемдеуді қамтамасыз ете алса, қосымша үнемдеу бөлінеді. Мақсаттар осылайша әзірленеді және іске асырылады. Ал егер өнімділік нысаналы межеден нашар болса, қосымша шығындар да осылай бөлінеді. Бұл өндіріске байланысты шығындарды бақылау тұрғысынан зауыттың өз шығындарын бақылау үшін ең қолайлы әрі тамаша стратегия. Стратегия осы мақсатқа бағытталған өнім берушіге де, болатты өндірушіге де жалпы тәуекел қояды.	Бұл стратегия барлық жоспарлардың ішінде экономикалық жағынан ең тиімдісі болғандықтан, оны мүмкін болған жағдайда пайдалану керек. Мақсаттар АҚШ доллары /т түріндегі отқа төзімді материалдардың және сатып алудың жиынтық құнын төмендетуге бағытталуы мүмкін. Отқа төзімді материалдарды іріктеу бойынша мамандар мен отқа төзімді материалдарды жобалаушылар (тек сатушылармен ғана емес, отқа төзімді материалдармен айналысатын техникалық қызметкерлер) арасындағы командалық күш-жігер жобалаын тез және тиімді жылжыта алады. Мұндай типтегі жүйені пайдалану кезінде шығындар мен пайданы тиісті бөлуді қамтамасыз ететін процесті мұқият ойластыру қажет. Осы жалпы шығындар тек отқа төзімді материалдармен байланысты болуы керек. Тәуекел соңғы пайдаланушыда қалатындықтан өнімділікті ешқашан төмендетіп, үнемдеуге болмайды.

Монтаждық жинақтар-материалдар мен жабдықтар	Бұл стратегия өнім берушіден отқа төзімді материалдарды сатып алу және жабдықты монтаждау (кейде жұмыстарды орындау үшін персонал да) және оларды сауытта немесе тіркелген баға негізінде өндірілетін болат (немесе темір, кокс және т. б.) мөлшері негізінде төлеу болып табылады. Бұл зауыттың өз шығындарын бақылау үшін ең қолайлы және өндіріске байланысты шығындарды бақылау тұрғысынан тамаша стратегия. Стратегия өнім беруші үшін жоғары тәуекелмен байланысты, өйткені операциялық іркілістер / инциденттер және т. б. тұтынудың ұлғаюына әкелуі мүмкін. Бұл ретте олар тек стандартты ставка бойынша төленеді.	Бұл стратегия бизнесті болат құю компанияларының бақылауына қояды және материалдарды, жабдықтар мен қызметкерлерді араластыра бастайды. Бұл өз бетінше алуға болатын отқа төзімді материалдардың тоннасы үшін бағағаның көтерілуіне алып келеді. Егер ішкі сараптама отқа төзімді материалдарды орнатуға қатысты төмен деңгейде болса, мұндай нұсқа отқа төзімді жабдықтың негізгі бөліктерінің аутсорсингі үшін жақсы. Бұл болатты өндіруші үшін жабдықтың түрі мен санын негіздеу қиын болғанда, НОК торкреттеу және шоткреттеу кезінде кеңінен қолданылады.
АҚШ доллары болаттың тоннасы үшін Монтаждық жинақтар-қызметтердің толық пакеті	Бұл стратегия өнім берушіден болат құю зауытында отқа төзімді материалдарды сатып алу, тасымалдау, орнату, бұзу және т. б. үшін отқа төзімді материалдарды және монтаждық жабдықтарды сатып алу және қаралатын сауытта өндірілетін болат (немесе темір, кокс және т. б.) санының негізінде оларды төлеу болып табылады. Бұл болат құю зауытының қызметкерлері үшін қолжетімсіз, бірақ бір тоннаның ең аз құнына және зауыт үшін сатып алудың жиынтық құнына әкелмейді деген көзқарас тұрғысынан қарапайым стратегия! Мұның себебі - болат өндірісінің барлық салаларында (кірпіш, торкрет, құйылған дайындамалар, алюминий тотығы, магнезиялы-көміртекті кірпіштер және т. б.). әрдайым және барлық жерде отқа төзімді материалдармен айналысатын бір компанияның жоқтығында. болат өндірісінің барлық салаларында. Барлық салаларда ең жақсы бір компания болуы мүмкін емес (тіпті бір болат шөміштен!). Дегенмен мұндай стратегияның артықшылығы болмаса да көптеген жеткізушілер оларға көрсетілген мүмкіндіктерді беруді қалайды.	Бұл стратегия бизнесті болат құю компанияларының бақылауынан шығарады және өнім беруші материалдарды, жабдықтар мен қызметкерлерді араластыра алады. Салдарынан өз бетінше алуға болатын отқа төзімді материалдардың тоннасы үшін бағаның жоғарылауына әкеледі. Дегенмен, болат құю зауытында ешқандай техникалық немесе монтаждық сараптама болмаса, жақсы болар еді. Өте шағын зауыт пен аутсорсинг үшін (жылына<500 000 нт) бұл аутсорсинг тиімді модель болуы мүмкін.
Кэптивті компаниядан сатып алу	Бұл стратегияның атауы жеткізушіден сіз білетін және теориялық тұрғыдан оны ең төмен бағамен (өзіндік құны бойынша және пайдасыз) шығара алатын отқа төзімді материалдарды сатып алуды білдіреді. Егер жеткізушінің біліктілігі жеткілікті болса өнімді сізге қажетті сапа деңгейінде тұрақты өндіру үшін жақсы тәсіл болуы мүмкін. Бұл жақсы шикізатты сатып алу, капиталды инвестициялау және зауытта техникалық қызмет көрсету үшін корпоративтік басшылық тарапынан толық қолдауды, қызметкерлерді өнімнің тұрақты сапасы үшін жауапкершілікке тартуды және сіздің бас компанияға кірмейтін отқа төзімді материалдарды жеткізушілермен бәсекелесу үшін уақыт өте келе өнім ассортиментін жетілдіретін техникалық мамандарды тартуды талап етеді. Бұл стратегияның қауіптілігі кэптивтік көзі клиентке бағдарланбауы мүмкін және сіздің сатып алудың жиынтық құнын арттыруға алып келетін шығындардың сапасын және/немесе тиімділігін жоғалтуы мүмкін.	Бұл тәсілді сіз ең аз сатып алудың жиынтық құны үшін ең жақсы отқа төзімді материалды таңдау бойынша жұмыс істеген жағдайда ғана пайдалану керек. Егер Кэптивті өнім беруші осы стандартқа сәйкес өнімді жасай алса, уақыт өте келе осы сапа деңгейіне шыдай алса және шығындары ең төмен болса, онда бұл артықшылық!
Өндіріс құны арзан елден сатып алу	Бұл стратегияның атауы елдегі отқа төзімді материалды ең төмен бағамен шығара алатын тауарлық материалды сатып алуды білдіреді. Егер компания бұрын айтылған техникалық стандарттар мен сапа стандарттарын қолдай алмаса, шын мәнінде бұл бизнеске деген тауарлық көзқарасты. Біз отқа төзімді материалдар сирек тауар болып табылатындығын білгеннендіктен бұл тәсіл осындай материалдарды таңдау кезінде мұқият ойластырылуы тиіс (арзан өндірісі бар елден өнім беруші жеткілікті біліктілік пен құзыреттілік деңгейі бар жағдайда). Осы стратегияны пайдалану қысқа мерзімді (және, мүмкін, ұзақ мерзімді) пайда береді. Бұл стратегия бүгін өндірісі арзан ел келесі жылы өндірісі қымбат елге айналуы мүмкін екендігін түсіндіреді. Осы екі тараптың жақсы мысалы ретінде валюта бағамдарының жоғары ауытқулары бар елдерден отқа төзімді материалдарды пайдалану болып табылады. Валюта бағамының 40% - ға көтерілуі компанияның төмен құннан жоғарыға ауыса алатындығын білдіреді. Тәсіл бойынша ең төмен сатып алудың жиынтық құны үздік отқа төзімді материалды таңдау үшін жасалуы тиіс. Егер өндірісі арзан елдің жеткізушісі осыған сәйкес өнім жасай алатын болса, онда бұл үлкен артықшылық!	Бұл тәсілді сіз ең аз сатып алудың жиынтық құны үшін ең жақсы отқа төзімді материалды таңдау бойынша жұмыс істеген жағдайда ғана пайдалану керек. Егер Кэптивті өнім беруші осы стандартқа сәйкес өнімді жасай алса, уақыт өте келе осы сапа деңгейіне шыдай алса және шығындары ең төмен болса, онда бұл артықшылық!

1. Салыстырмалы талдау, білім алмасу

Салыстырмалы талдау және білім алмасу отқа төзімді материалдар үшін ең төменгі сатып алудың жиынтық құнына қол жеткізу үшін шешуші мәнге ие! Алайда, бұл ұқсас технологиялық әдістер өндірістерін салыстыру арқылы ғана тиімді жасалуы мүмкін екенін атап өткен жөн. Күніне 8000 тонна өндіретін бір бірлікті НОК бар цехты күніне 8000 тонна өндіретін үш бірлікті НОК орнатылған цехпен салыстыруға болмайды; стратегиялар мен пайдалы уақыт басқа орындаумен ерекшеленетін болады. Бұл әсіресе, температура, қож, уақыт және т. б. қатысты айырмашылық болатын болат төгу қауғаларында өте маңызды! Менің бастығым, бірнеше жыл бұрын басқа болат құю компаниясы қож аймағында 150 балқыманы, ал біздің тек 60 балқыма алғанымызға қатысты сұрақ қойғаны есімде. Оның ойынша бұл жұмысты нашар орындаудың айқын көрінісі. Біраз талдау жүргізгеннен кейін біз олардың CAS-OB-процесті қолданғанын анықтадық. Ал бізде ол кезде электр доғалы жылытылуы бар МЖҚ ғана болған еді. Бұл осы екеуі арасындағы айырмашылықты жылдам түсіндірді. Осыған ұқсас зауыттарды/процестерді табу және салыстыру және ШТСТ-ны жақсартуға арналған басымдықтарды орналастыру үшін кем дегенде жылына бір рет оларды салыстырған жақсы болады.

2. Өнім берушілердің рөлі

Өнім берушілер күн мен дағдарыстық жағдайға байланысты қоздырғыштар немесе құтқарушылар секілді қаралуы мүмкін! Жеткізушілер баға жетпес көмек көрсете алатыны шындық. Алайда, олардың жұмысы отқа төзімді материалдарды сату және олардың табысты болуы мен сатылуын арттыру болып табылатынын есте сақтау керек. Осының салдарынан отқа төзімді материалдарды іріктеу жөніндегі маманның сатушылармен ғана емес, сонымен қатар НИОКР және пайдалануда жұмыс істейтін негізгі техникалық мамандармен байланысы болуы өте маңызды. Мен өнімнің өнімділігін арттыруға ұмтылатын жеткізушілердің техникалық мамандарынан отқа төзімді материалдарды таңдауы жөнінде көп білдім. Сондай-ақ, барлық отқа төзімді материалдарды өндірушілерге үнемі жақсы және әр түрлі шикізатты сатуда алдына жан салмайтын, НИОКР-да жұмыс істейтін, шикізатты жеткізушілердің қызметкерлеріне баға жетпейді. Олардың материалдарды жобалау және оларды таңдауда және т. б. саласында жақсы білімі бар. Өндіруші олардың материалдарын (әсіресе монолитті материалдарды) қолдану мақсатында соңғы пайдаланушыдан маркетингті "шығарып алуды" қалайтындықтан олар ақпарат алмасу үшін өте ашық.

Жеткізуші отқа төзімді материалдарды орнату және кептіру, түпкілікті пайдалануға қажетті қасиеттерді алу үшін өнімді дұрыс орналастыру және қыздыруға арналған негізгі ресурс болып табылады.

3. Сатып алу бөлімінің рөлі

Сатып алу бөлімінің адамдарын кейде «Дилберт комикстерінің теріс кейіпкерлері» деп санайды. Олар зауытқа өздері қалайтын нәрселерді жасауға мүмкіндік бермейді. Оның орнына оларды пайдалана алмайтын немесе қажет емес нәрселерді сатып алуға мәжбүр етеді! Алайда бұның шындыққа сәйкес келмейтінін (ішінара?) және сатып алуда маңызды рөл атқаратынын түсіну керек. Оның қысқаша тарихы былай: мен Англиядағы металлургиялық зауыттардың бірінде болғанда менеджерден қандай қож кірпішті қолданды деп сұрадым. Ол маған: «Сатып алу бөліміндегі жарыместер қандайын әкелсе, соны қолданамыз», -деп жауап берді. Ол шынымен де осылай айтты. Өйткені ол сатып алуға қатыспаған, олар өткен аптада жақсы бағамен тапқан, оның орнына 85% MgO және 15% C кірпіш тиеген. Цехтың өнімділігі кірпіштің сапасына байланысты 40-тан 70-ке дейін балқытылды! Бұл сатып алу бөлімі үшін дұрыс жайт емес. Мұның орнына 11.1-кестеде сипатталғандай, соңғы пайдаланушымен келісімге келуге және сатып алудың дұрыс стратегиясын анықтауға көмектесуі тиіс. Сатып алу бөлімі, сондай-ақ жеткізушілерді біріктіруде болашақ үрдістерді, материалдар бағасын қадағалауда, өнім немесе шикізаттың негізгі түрлерін жеткізудегі қиындықтарды іздеуде, жаңа әлеуетті өнім берушілерді іздеуде және, егер мүмкіндік болса, бірнеше зауытта көлемін ұлғайтуда маңызды рөл атқара алады.

Сатып алу бөлімі өнім берушілерді таңдау процесіне қатысатын ішкі мүдделі тараптардың қызметаралық командасының бөлігі болып табылады. Алайда, бірнеше рет көрсетілгендей, өндіріс/технологиялық бөлім бастығы болат құю өндірісі үшін ең төмен сатып алудың жиынтық құнын беретін цех үшін өнімді анықтауға және көрсетуге түпкілікті жауапкершілік көтеруді жалғастырады. Сатып алумен айналысатын қызметкерлер оператормен бірлесіп, бәсекелес өнім берушілермен ұсыныстарды салыстыру кезінде сатып алудың жиынтық құнының әртүрлі сценарийлерін әзірлеу және есептеуге тиіс. Сонымен қатар, операторларда бұрынғы болып кеткен жағдайларды қолдау қолайлы деген тар дүниетаным болмауы керек. Сондай-ақ, сатып алу бөлімі оларға жаңа өнім берушілер, материалдар және т. б. туралы сұрақтар бойынша жүгінген кезде бейтарап болулары тиіс. Оған қоса, біз жедел басқару мен сатып алу бөлімі арасындағы ынтымақтастық қарым-қатынасына кепілдік беруге міндеттіміз.

Зауыттың рөлі сатып алу тобымен бірге жұмыс істеу үшін кез келген аймаққа балама сатып алудың жиынтық құны бар, кем дегенде екі өнім берушіні әзірлеу, олар баға туралы келіссөздерге әсер ету тетігі ғана емес, сондай-ақ жеткізу іркілісі немесе негізгі өнім берушіде пайда болуы мүмкін сападағы мәселелер жағдайында әрқашан балама көз болады деп кепілдік беретініне назар аударыңыз. Сондай-ақ, зауыттың сатып алу бөлімінің қызметкерлерін олардың оңтайлы шешім жасауға келіссөздерді шоғырландыруы үшін ШТСТ негізгі тетіктері жөнінде хабардар етуі тиіс.

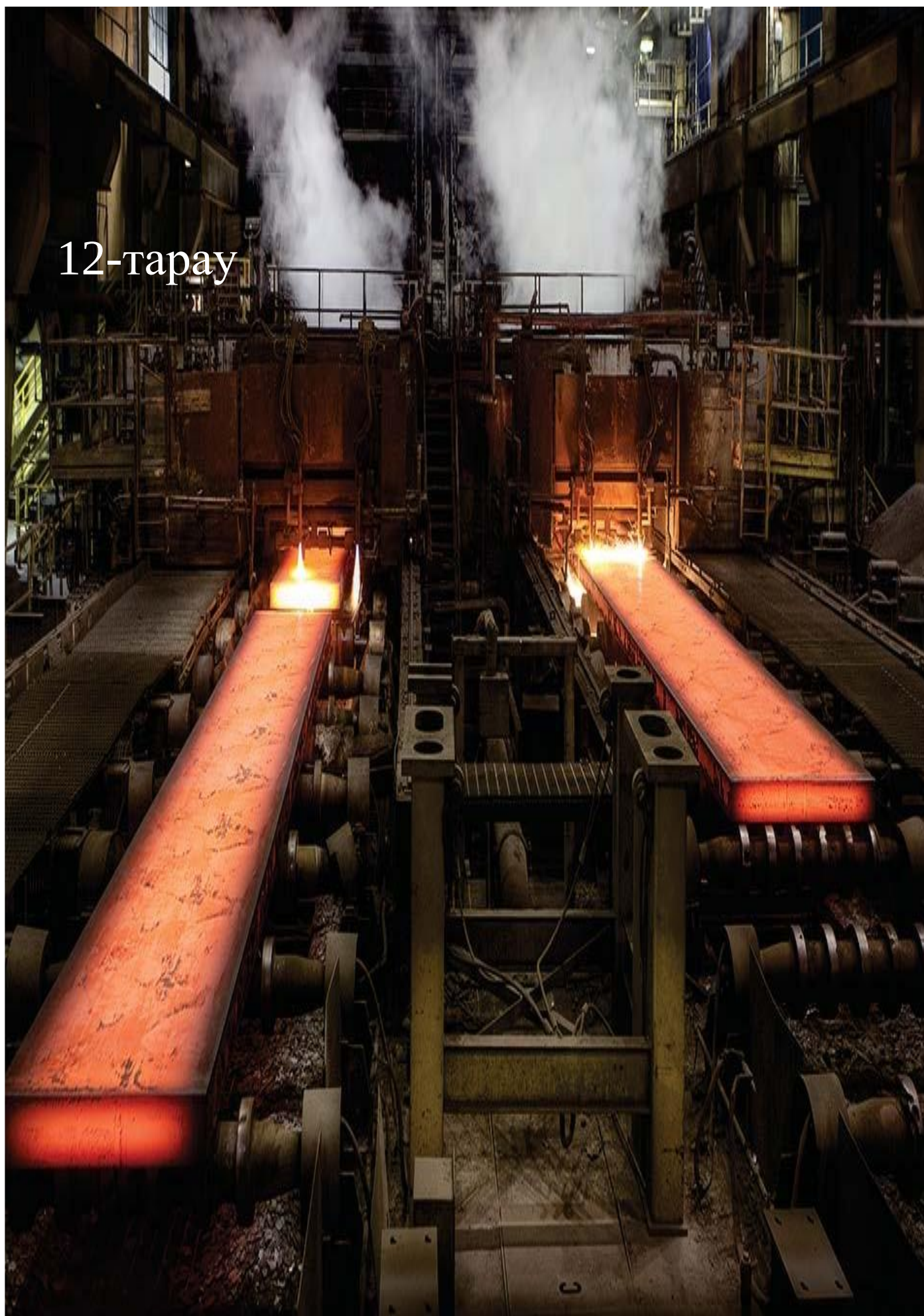
4. Операторлардың рөлі

Жедел басқарудың негізгі рөлі стандартқа сәйкес пештерді, шөміштерді және процестерді басқару және отқа төзімді материалдарды әзірлеуші жұмыс істей алатын негізгі жұмыс шарттарын анықтау үшін варианттылықты азайту болып табылады. Жасауға қарағанда бұл айтуға оңай, және көптеген отқа төзімді материалдардың істен шығуы болат балқыту зауытындағы процестердің варианттылығына байланысты (жоғары температура, үлкен термиялық циклдар, төмен тұтқырлығы бар қождар және т. б.). Операторлардың тағы бір негізгі рөлі отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі маманға өнім түрлерінің немесе технологиялық әдістердің/ауыспалы өзгерісі туралы хабарлау болып табылады. Сондықтан тиісті шығындарға байланысты ірі сәтсіздіктер туындағанға дейін өзгерістер алдын ала жасалуы мүмкін.

Осылайша, барлық тараптар отқа төзімді материалдарды жобалау/таңдау процесінде қолданылатын үш негізгі ережені есте сақтау керек:

1. Сіз ешқашан тамаша шешім таңдай/әзірлей алмайсыз, бірақ оңтайлысын таңдай/әзірлей аласыз!
2. Егер сіз оңтайлы шешім тапсаңыз, жұмыс параметрлері өзгереді және сізге процесті қайта бастауыңызға тура келеді!
3. Бұл әрдайым қызықты болады!

12-тарау



12.0 Қорытынды сөз

Осындай ауқымды кітапты қалай аяқтасақ болады? Сонымен, неге біз бүкіл процесті бастадық және қалаған мақсатқа қол жеткізе алдық па деген сұрақтан бастайық.

Біз бірнеше негізгі сұрақтарға жауап бергіміз келді, атап айтсақ: Неге сіз өзіңіз жасайтын отқа төзімді материалды таңдайсыз? Қалай таңдайсыз? Таңдау үдерісін қайдан бастайсыз?

Бұл кітапта біз бірінші тараудың алдында тұрған мақсаттарды тұжырымдаудан бастадық. Олар күрделі әрі бірін-бірі ішінара толықтыратын болып шықты.

Содан кейін «Проблема неде?» немесе «Неге отқа төзімді материалдар тозады?», «Тозудың негізгі механизмдері қандай?» деген сауалдарға терең үңілдік. 2-5-ші тарауларда «Отқа төзімді материалдар дегеніміз не?», «Қандай шикізат пайдаланылады және олар қалай орнатылады?» және, сайып келгенде, «Белгіленген өнімнің құрылымы мен қасиеттері қандай?» деген мәселелер қарастырылды. 6-10-ші тарауларда болат құю зауытында, ыстық металл шөміштен бастап дайындамаларды үздіксіз құюға дейін отқа берік материалдарды қолданудың әрбір негізгі нұсқалары үшін тозудың негізгі проблемалары мен шешімінің мысалдары ерекше сипатталды.

Соңғы, 11-ші тарауда оларды қалай сатып алуға болатыны және осы процеске қандай негізгі стратегиялар қатыстырылатындығы баяндалған. Сөйтіп, кез келген салада кез келген отқа төзімді материалдарды таңдау жөніндегі мамандардың отқа төзімді материалдардың проблемаларын шешуге арналған жүйелі тәсілінің көмегімен мақсатқа қол жеткізілді.

Және де бұл кітаптың мақсаты – отқа төзімді материалдарды қандай да бір жеке нысан немесе процесс, не жабдық үшін таңдау емес. Есесіне мұны жасаудың жолдарын іздеу болғанын тағы да қайталап өтеміз. Бұл кітап отқа төзімді материалдарды өндірушінің көзқарасы тұрғысынан алғанда материалды нақты жобалауға терең үңілмегенімен, оны таңдаудың берік негізін қамтамасыз ету үшін жеткілікті түрде жан-жақты басшылық ететін курс болып табылады.

Кітаптың басты негізі - табысқа жетудің тексерілген әрі нақты әдістемесін айқындап берген 25 жылғы сынаулар /қателер, табыстар/, сәтсіздіктер, тер төгу. Егер соңғы 25 жылдың ішінде осы білім қорына тікелей немесе жанама түрде үлес қосқан негізгі тұлғалардың еңбегін мойындамасам және оларға алғысымды білдірмесем, онда бұл осы жұмысты құрған кездегі менің шын мәніндегі ұқыпсыздығым болған болар еді (Кітаптың басындағы алғыс сөздерімді қараңыз).

Қолданылған әдебиеттер

- Aneziris C., Poirer J, Tonnesen T, Fire Course - Unitecr' 2011, October 30th. 2011, Kyoto, Japan - Fundamentals on Corrosion Behaviour of Refractories
www.fire.polymtl.ca/documents/2.2ExperimentalCorrosionTT.ppt
- "AutoPore IV." AutoPore IV. Micrometrics. Web. 27 July 2015.
- "Basic Oxygen Process." Lime for Basic Oxygen Furnace Applications. Carmeuse NA, Web. 27 July 2015.
- Carniglia, Stephen C., and Gordon L. Barna. Handbook of Industrial Refractories Technology: Principles, Types, Properties, and Applications. Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1992. Print.
- Crescent R., and Rigaud M, Proceedings of the International Symposium on Advances in Refractories for the Metallurgical Industries, Winnipeg, Canada, August 23-26, 1987. New York: Pergamon Press, pp. 235 - 250.
- H. Harmuth H., Bradt R C, Investigation of Refractory Brittleness by Fracture Mechanical and Fractographic Methods; Refractories Manual, 2010; 62 (2010) [4] 264-269
- "Hexmesh™ Accessories Refractory Hardware." J971-S., Jayne Industries, Web. 27 July 2015.
- "How Glazes Melt: In Search of the Elusive Eutectic." Ceramic Arts Daily RSS.. Web. 27 July 2015.
- Kingery, W. D., H. Kent Bowen, and D. R. Uhlmann. Introduction to Ceramics. New York: Wiley, 1976. Print.
- Lee, W.E., Zhang, S., Direct and indirect slag corrosion of oxide and oxide-c refractories. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, The South African Institute of Mining and Metallurgy, 2004. Modern Refractory Practice. Pittsburgh, PA: Harbison-Walker, 1992. Print.
- Pan, S. M.; Ho, Y. H.; Hwang, W S, Journal of Materials Engineering and Performance; "Three-dimensional fluid flow model for gas-stirred ladles" June 1997; ProQuest Materials Science Collection.
- "Phase Equilibria Diagrams." The American Ceramic Society. Web. 27 July 2015.
- Ruh, Edwin, and J. Spotts Mcdowell. "Thermal Conductivity of Refractory Brick." Journal of the American Ceramic Society 45.4 (1962): 189-95. Web.
- "Diffusers." Vesuvius. Web. 27 July 2015 www.vesuvius.com/en/end-markets/iron-steel/casting/continuous-casting/tundish-furniture/diffusers/
- www.cooksongroup.annualreport2010.com/information/ceramics-products/steel-flow-control
- Schacht, Charles A. Refractory Linings: Thermomechanical Design and Applications. New York: M. Dekker, 1995. Print.
- Stett, Mark A. Proceedings of Unified International Technical Conference on Refractories: Fifth Biennial Worldwide Congress, November 4-7, 1997, Radisson Hotel, New Orleans, Louisiana, USA: Refractories - a Worldwide Technology. Westerville: American Ceramic Society, 1997. Print
- Padfield R.C., "The Relationship Between Hot Strength and the Performance of BOF Refractories", Sixth Annual Symposium on Refractories, St. Louis Section of the American Ceramic Society, April, 1970.
- Technology of Monolithic Refractories. Tokyo, Japan: Plibrico Japan, 1984. Print.
- Vert, T. A., "A Comparison of Precast Bottom Materials/Designs at Dofasco Inc.", American Iron and Steel Proceedings, Chicago, 1999.
- Yuan, Quan, Brian G. Thomas, and S. P. Vanka. "Study of Transient Flow and Particle Transport in Continuous Steel Caster Molds: Part II. Particle Transport." Metallurgical and Materials Transactions B 35.4 (2004): 703-14. Web.
- Schmidt, K; Carbon Based Materials for Severe Service Applications, Presentation at 46th annual ACerS Symposium on Refractories - SGL Group; March 2010

Көрсеткіштер

АҚШ доллары

АҚШ доллары отқа берік материал кг 355

АҚШ доллары отқа берік материал данасына 355

АҚШ доллары болат тоннасына, пайданы бөлуді қоса алғанда 355

АҚШ доллары өндірілген болат тоннасы үшін 355

%

% В₂O₃ 2, 5, 6, 7, 22, 23, 26, 47, 48, 49, 52, 60, 64, 70, 75, 89, 97, 99, 101, 111, 113, 114, 121, 127, 151, 152, 157, 194, 196, 201, 206, 213, 223, 226, 231, 245, 252, 271, 274, 294-296, 300, 327

А

Қажалу 2, 36, 77, 78, 89, 90, 125, 196, 200, 204, 210, 216, 221, 230, 236, 237, 243, 250, 257, 267, 270, 276, 284, 287, 295, 304, 309, 314, 318, 327, 331, 336, 340, 342, 344, 346, 348

Жұтылуы 27, 33, 66, 67, 71, 73, 113, 209

Ауыспалы тоқтағы пеш 241, 253

Катализатор 135, 137, 142, 143, 145

әкімшілік шығындар 17

толтырушылар 83, 111, 135, 144, 150, 163, 164

ауаны басып алу 26, 324, 349

ауаның түсуі 31

ауа тұтқыр зат 151

ауа/оттегінің сорылуы 338

Алькемад үшбұрышы 54, 55

глинозем 11, 57, 72, 84, 109, 110, 111, 112, 149, 163

алюминий тотығы бар графит 128

глинозем-магнезия-көміртек (ГМК) 310

алюминий карбиді 119

кристалды емес 12

бекітпе анкерлі бекіткіші 2, 133, 153, 154

андалузит 110, 111, 164

әсер ету бұрышы 74, 75, 77, 210

сулау бұрышы 86, 88

тотығуға қарсы қоспалар Al 2, 2, 118

Al-Mg 118

B₄C 118

Mg 118

MgB₂ 118

қосымшаланған кернеу 36, 196, 200, 204, 211, 216, 221, 230, 236, 237, 243, 251, 257, 267, 270, 276, 284, 287, 295, 305, 310, 314, 318, 327, 331, 336, 340, 342, 345, 347, 348

аркалы 139

аркалы-құлыпты сына 139

аргонды жіберу жүйесі 294

аргонды араластыруға арналған тығын 265, 268, 295, 297

аргонмен араластыру 263, 264, 268, 298

асбест 9

ASTM 61, 65, 94, 95, 165

пайдалану деңгейі 13, 18, 73, 90, 137, 209

В

аралық 334 335

қуыс бөлігі 2, 29, 37, 200, 203, 204, 205, 208, 211, 212, 215, 216, 217, 221, 308, 309, 310, 311, 317

негізгі оттектік конвертері (НОК)

НОК түбінің түйіспесі 5

жүктеу жағынан НОК алаңына әсер ету 5

НОК пеші 5
 НОК стадион көлбеуі 5
 НОК қаптамасы 5
 НОК ернеуі 5
 НОК қорғаныш қаптамасы 5
 НОК стадионы 5
 НОК теспесі 5
 шығарылған НОК болатының химиялық құрамы 5
 НОК тіреу сақинасы 5
 балқытпаны араластыру 80, 83
 боксит 110, 111, 144,150,163,164
 байланыстырушылар 113, 123, 130, 131, 163
 биоерігіш 10,12
 орама оқшаулауы 2, 135, 137, 159, 161, 283, 326
 плита 2, 135, 137, 159, 161, 198, 283, 326
 арна 31, 304, 346, 348, 349
 бор карбиді (B4C) 120
 тар жері 13,18
 түбі 2-6, 13, 17, 18, 61, 68-70, 72-74, 90, 91, 100, 115, 116, 140, 148, 150, 151, 156, 172, 173, 185, 187, 191, 193, 196, 197, 209, 210, 224-228, 230-233, 241, 243, 244, 247, 250-254, 263, 265, 267, 268, 273, 276, 282, 284, 286-292, 295, 296, 298, 299, 301, 309, 310, 314, 322, 331, 338
 жарылулар 2-6, 14, 126, 183,191, 194, 233, 241, 280, 282, 286, 291, 299, 300, 301, 307, 308, 311, 312, 316, 322, 324, 326, 338, 345 кірпіш 6, 7, 8,14,17,18, 21, 27, 29, 33, 34, 37, 38, 43, 44, 46, 47, 56, 60, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 76, 79, 83, 84, 87, 92, 95, 100, 104, 111, 114-119, 122-123, 125-127, 130, 131, 135, 137, 139-141,149, 150, 154, 164, 165, 166, 173, 180, 181, 190, 191, 196-206, 208, 211, 212, 213, 215-224, 228-231, 236, 237, 239, 243, 244, 247, 251-254, 256-259, 262, 267, 274, 275, 276, 277, 284, 288, 296, 309, 310, 314, 315, 322, 328, 332, 336, 341, 343, 355, 356, 357
 кірпіштің жабыны 200, 204, 211, 216, 221
 кірпіш сапасы 199, 357
 тұз ерітіндісі 97, 99
 осал 65, 66, 86,112, 213, 239, 247
 қоңыр электрокорунд 110, 144, 150, 164
 жинау 199, 200, 348, 349
 сусымалы массамен бітеу 207, 214
 жанарғы / инжекторлар 6
 С
 Шикізат/катализатор қатынасы 104
 кальций буының әсері 305, 347
 кальций алюминаты 31, 43, 56
 кальций хлориді 145
 магний-кальций карбонаты 130
 кэптивтік компаниядан сатып алу 356
 көміртек 2, 26, 27, 33, 57, 113, 114, 118, 123, 126, 135, 253, 277, 362
 пеш күйесі 125
 көміртектендіру 34,127
 канцерогендер 11
 кеңейту өтеміне арналған картон 200, 204, 211, 216, 221
 отқа төзімді қоспа 38, 43, 65, 135, 142, 143, 144, 145, 154, 155, 156, 157, 163, 173, 233, 270, 309, 322, 325, 328, 332, 336, 341, 343, 345
 құю цехтарына арналған отқа төзімді 111, 129, 324, 338
 керамикалық талшықтар 2, 9
 жүктеу жағындағы алаңы 73, 74, 208, 209, 210, 212, 213, 214
 жүктеу бұрышы 230
 хромдық кен 33
 хромит 126
 клиноэнстатит 48

ластану 31, 304, 325, 338, 342, 344, 346, 348, 349
кеуіктіктің жабылуы 86,167
тығыздамалардың бар болуы 64
коксталған кеуектілік 165, 167, 169
суық беріктік (CCS) 165
тауарлар 354
қысылуы 61, 171, 236, 237, 276, 305, 317, 347
өткізгіштігі 21
өткізгіш 69
партиясы 17, 354
саңылаусыздандыру 2, 183, 194, 241, 280, 324
үздіксіз құюды орнату 279
мердігер 17
конвекция 22
жемірулік 24, 25, 38, 39, 41, 47, 49, 51, 55, 71, 79, 80-84, 86, 89, 113, 116, 121, 123, 159, 161, 165, 167, 168, 173, 176, 177, 178, 179, 223, 229, 231, 237, 271, 276, 283, 306, 315, 319, 322, 326, 327, 330, 347, 349, 361
жемірулік төзімділігі 165
корунд 46, 47
жарықтарды жабу 71,229
жарықтардың пайда болуы 67,175
жарықтың таралуы 67, 73, 73,175
сырғыштық 38, 65, 91, 289
кристобалит 9,12, 48, 60
тигльдерді сынау 177
қабығы 113, 247, 248
кристалдың өлшемі 101, 102, 106, 164, 206, 213, 218, 239
кристалды 9,12
клиенттер 26
D
реттығынды жапқыш 334, 335
тұрақты тоқ пеші 241, 253, 262, 271, 277
декарбонизациялау 320
дефлокулянт 145
дегазатор 126, 127, 320, 321
сутекті шығару 320
бұзуға арналған шығыстар 15,17
тығыз қабаттың пайда болуы 118
Тығыздық 27, 28, 61, 67, 86, 94, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 150, 151, 165, 166, 169, 175, 176, 213, 248, 254, 330, 331, 332
тотықсыздану 26
гарнисажды шешу 204, 216, 322, 330, 331
әсер етуші ағынның диаметрі 74, 75, 210
диаспоралық 110
қоскальцийлі феррит 249
қоскальцийлі силикат 131
дилатантты 145
тікелей байланыстағы тығындар 267
кәдеге жарату 15, 18, 354
еру 2, 36, 79, 89, 92,125,197, 201, 205, 211, 217, 222, 230, 236, 244, 251, 258, 267, 270, 276, 284, 296, 305, 310, 314, 318, 328, 332, 336, 341, 343, 345, 347, 349
доломит 2, 44, 130, 149, 313
төменгі бұтақ 322
құрғақ діріл массасы 244, 247, 275, 331
кебу 7, 91, 125, 153, 154, 158, 260, 289, 357
ілімді 65, 66
шаңдану 146

Е
 орта түбінен тыс шығарылым 273
 Электрдоғалы пеш (ЭДП)
 ЭДП дельтасы 6, 241
 ЭДП пеш түбіне арналған өлшеу құралы 6
 ЭДП үрлеу 6
 ЭДП шлагының химиялық құрамы 6
 ЭДП реттығындар 6
 ЭДП болатынан шығарылған химиялық құрамы 6
 сәуле шығарғыштық қабілет 23
 энергия 15,19, 21, 23, 28, 29, 36, 75,159,183, 210, 241, 292, 313
 эвтектика температурасы 41, 43
 эвтектоид 42, 48
 кеңейту әдібі 64, 65, 72, 141,196,197, 200, 204, 211, 221, 229, 230, 244, 251, 258, 259, 284, 310, 314, 315, 318, 319
 кеңейту/сығу 59,173
 әсер етудің шектері 10
 F
 жайылып тарау 148
 беру жылдамдығы 146
 қаптамалау
 құю машиналары 247, 252
 қаптамалау материалдары 247
 далалық жағдайлар 179
 жіптер 9
 қоспа материалы 235, 274, 277
 балқыту сынамасы 178
 сынақ саусағының көмегімен сынау 109
 үлпек мөлшері 114, 115, 116
 үлпектер 113, 114, 115, 116, 164, 166, 213, 239
 етпетінен қаланған 140
 флокулянт 145
 ағынды басқарудың аппараттық құралдары 330, 332, 335, 336, 337
 ағын динамикасы 324
 жүзбелі шпат 314
 мәжбүрлі конвекция 22
 формальдегид 7,125
 форстерит 48, 72
 қызметтердің толық пакеті 356
 түтін 2, 7
 пеш бұрышы 73, 209
 пештердің қаптамасы 21, 282
 балқытылған дән 16, 19, 71, 206, 213, 218, 239
 балқытылған кремнезем 60, 63, 67, 108, 144,150
 G
 жапқыш 31, 274, 276, 277, 301, 303, 304, 305, 306, 338, 346, 347, 348
 дәне шектері 58, 101,102,103,164
 дән мөлшері 101, 130, 131,134, 164, 175, 252
 графит 16, 17, 69,104, 113-117, 120, 123, 124, 164, 206, 213, 218, 223, 231, 239, 259, 277
 торкреттеу
 торкреттеу қондырғысы 135
 торкреттеу қондырғысының шүмегі 135
 H
 қауіпті қалдықтар 18
 асты 6, 243, 245, 247-254, 256, 257, 263, 264, 268, 274, 275, 277
 жылу сыйымдылығы 21, 69
 жылу ағыны 21, 23, 24, 37, 159, 283, 326

қыздыру кезінде қататын тұтқыр зат 151
 жылыту 21, 60, 67, 69, 108, 139, 154, 158, 169, 173, 348, 357
 қыздыру 59, 83, 99, 123, 128, 154, 166, 176, 177, 181, 292, 298, 313, 315, 318, 322
 глинозем көлемі 250, 266
 герцинит 126
 шырша түрінде қаланған 140
 гексагоналды тор 157
 гексагоналды тор 157
 алты валентті хром 126
 жоғары глиноземді 110, 288, 296, 310, 328, 332, 336, 341, 343
 жоғары температура 4, 11, 34, 37, 38, 46, 56, 57, 108, 111, 128, 135, 139, 142, 203, 206, 215, 218, 220, 228, 235, 236, 250, 256, 258, 266, 269, 270, 271, 275, 286, 295, 303, 306, 308, 313, 318, 331, 335, 339, 341, 342, 343, 346, 347
 сұйық металды жүктеу 208, 209
 сұйық металдың химиялық құрамы 184
 сұйық металл қысымы 74, 210
 болат төгу қауғасы 2, 5, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 243, 360
 ыстық болат шлағы 184
 қыздырғандағы беріктік шегі 65
 максималды температуралар аймағы 6
 сөндірілген әк 145
 гидратация 44, 130, 131, 135, 197, 244, 252, 259
 I
 соққылы әсер 2, 20, 36, 73, 76, 77, 89, 90, 125, 151, 152, 196, 200, 204, 209, 210, 216, 221, 230, 236, 237, 243, 250, 257, 267, 270, 276, 284, 287, 289, 290, 295, 304, 309, 313, 318, 327, 331, 336, 340, 342, 344, 346, 348
 соққыға қарсы тығыздағыш 90, 91, 287, 289, 334, 335, 336
 соққы беру әсерінің аймағы 325
 қоспалар 19, 26, 48, 58, 67, 99, 102, 103, 106, 111, 114, 135, 308, 312, 320
 қоқысжаққыш қондырғы 7, 8
 еңіс кірпіші 202, 224
 қосылу 26, 27, 31
 монтаждарға жұмсалған шығындар 17
 монтаждау жинақтары 356
 оқшаулау қабаты 197
 оқшаулау 9, 11, 23, 24, 25, 109, 135, 137, 159, 160, 161, 167, 170, 176, 197, 198, 245, 246, 283, 285, 326, 327, 327.328
 орама оқшаулауы 137
 оқшаулағыш плита 137
 оқшаулағыш 21, 69
 аралық сауыт 324, 338
 ішкі жүктеме 62, 65, 65, 173
 изостатикалық баспалау 325
 J
 түйіспелер 31, 46, 64, 72, 92, 135, 137, 140, 141, 150, 151, 161, 191, 225, 229, 230, 235, 258, 274, 283, 284, 296, 322, 325, 326, 327, 328
 K
 құлыптық кірпіштер 92, 139, 149, 298
 кианит 110
 L
 шөміштің қуыс бөлігі 310
 шөміштің түбі 140
 шөміш металлургиясы 47, 126, 279, 292, 313, 318
 шөміш топырағы 128, 304, 305
 шөміште араластыру 77, 292
 L-тәрізді анкерлер 155
 тетік ережесі 42

әк тас 13, 14, 30, 31, 41, 42, 43, 44, 45, 51, 53, 55, 56, 58, 59, 102, 104, 130, 131, 252, 322
 сызықтық өзгерту 62, 63, 64, 91, 174, 289
 тірек сақина 317
 жиектен гарнисажды алып тастау 313, 318
 сұйық болат 2, 5, 6, 129, 183, 191, 193, 195
 ликвидус сызығы 41, 47
 ликвидус беті 55
 логистикаға жұмсалатын шығындар 15,17
 төмен глиноземді 107 109
 өндірісі арзан елден сатып алу 356
 төменгі конустар 221
 төменгі бүйір қабырғалары 256
 М
 магнезия 18, 44, 46, 48, 49, 56-58, 67, 79, 80, 84, 89, 91, 99, 107, 125, 126, 130, 131, 163, 164, 180,
 181,197, 200, 201, 204, 205, 211, 213, 216, 217, 221-223, 230, 237, 244, 251, 252, 258-260, 267, 276, 277,
 284, 289, 310, 322, 333, 344, 345, 356
 магнезит 72
 магний 119 120
 магний ферриті 249
 техникалық қызмет көрсету 7, 9, 13, 14, 15, 18, 247, 356
 матрица 36, 71, 78, 83, 92, 123, 142, 144, 150, 163, 164, 172, 229
 механикалық әсер ету 37, 73
 механикалық соққыға төзімділік 76
 балқу қасиеттері 38, 95
 MgO-C 18, 22, 27, 33, 56, 57, 71, 104, 116, 117, 118, 139, 166, 180, 181, 207, 213, 214, 229, 239, 305,
 313, 314, 315, 347
 Шағын-тақта 161, 283, 326
 Шағын жарылулар 164
 Шағын зақымданулар 71, 229
 Микротүсірілімдер 84, 164, 176
 Минералогиялық құрамы 39, 91, 169, 247, 249, 289, 354
 Құлыпты шағын-кірпіштер 139
 Серпімділік модулі 65, 67, 68, 70, 91, 289
 Ылғал 19, 44, 119, 130, 143, 144, 145, 150, 154, 330, 331
 монолитті 95, 135, 136, 139, 140, 143, 150, 153, 191, 196, 197, 201, 233, 244, 247, 251, 252, 253,
 284, 285, 287, 288, 310, 318, 319, 327, 328, 357
 ерітінді 31, 72, 135, 141, 150, 151, 152, 229, 298, 299, 300, 305, 354
 пішінді ұнтақ 31,176, 349
 ернеулікті тазарту 200
 муллит 12, 47, 55, 107, 109, 110, 111, 144, 144,150
 бірнеше алғыр 253
 N
 табиғи конвекция 22
 табиғи минералды талшықтар 9
 азотты жұту 26
 металл емес қосылулар 301, 338
 шүмек 30, 31, 34, 116, 128, 176, 306, 307, 325, 343, 344, 345, 349, 352, 354
 О
 оливин 332
 ашық кеуектілік 86, 169, 170
 операциялық әсер ету 15
 органикалық полимерлер 145
 тотығуға төзімділік 99, 113, 114, 116, 120, 125
 оттегімен үрлеу процестері 193
 оттегілік фурма 200, 296, 306, 341, 347
 оттегіні жұту 330, 334
 оттегімен араластыру 225, 228, 231

Р

- панельді сынау әдісі 176 181
- бөлшектердің қаттылығы 77
- бөлшектерді орау теориясы 166
- бөлшектер пішіні 77
- бөлшектер мөлшері 37, 77, 95, 95, 145
- бөлшектер мөлшерін бөлу 95
- пассивті қабат 80
- қайта пісіру 7, 18, 19, 74, 148, 213
- шекті температура 36, 125, 196, 199, 203, 208, 215, 220, 228, 235, 236, 243, 250, 256, 266, 269, 275, 284, 286, 295, 303, 308, 313, 318, 327, 331, 335, 339, 342, 343, 346, 347
- ену 2, 36, 86, 88, 89, 106, 125, 197, 201, 205, 212, 217, 222, 230, 236, 237, 244, 251, 258, 267, 270, 276, 284, 288, 296, 306, 310, 315, 318, 328, 332, 336, 341, 343, 345, 347, 349
- Пенсильвания штатының университеті 8
- өткізгіштік 86, 134, 167, 168, 169
- фазалық өзгерістер 108
- фазалық диаграмма
- Al₂O₃—SiO₂ 109
- Al₂O₃—ZrO₂ 109
- CaO—Al₂O₃ 109