

№ 9 дәріс

**Портландцементтің
технологиясы**

Портландцемент алу үшін негізгі қолданылатын табиғи шикізаттар ретінде карбонаттар мен саз жыныстары болып табылады. Сонымен бірге шикізат ретінде табиғи және жасанды өндірістен алынған заттарды қолдануға болады. Оларға домна қожы, белит шламы, күлдер және т. б. жатады. Қосымша негізгі шикізаттармен бірге реттейтін әр түрлі қоспалар қолданылады.

Карбонатты шикі заттар. Портландцемент алу үшін әр түрлі карбонаттар қолдануға болады, әк тасы, бор, мергельді әк тасы, мергель т.б. Карбонаттардың құрамында саз, жыныс қоспалары болады (кремнезем, гипс, доломит). Доломит және гипс сияқты минералдар көп болса, олар зиян келтіреді. Бор жеңіл ұнтақталатын зат, көлемдік салмағы $1600-2000 \text{ кг/м}^3$, әк тасының көлемдік салмағы $2000-2700 \text{ кг/м}^3$ ылғалдылығы 2-30% мөлшерінде.

Портландцемент өндірісінде мергельді және кеуекті әк тастарды пайдалану тиімді. Көлемдік салмағы $2000-2500 \text{ кг/м}^3$ аралығында болады, олардын ылғалдылығы құрамындағы саз жынысқа байланысты 3-25% мөлшерінде болады.

Саз жынысты шикізаттар. Саз жыныстардың ішінде қолданылатын саз, суглинка сазды сланцтер, сары топырақтар және басқалары. Саздың құрамына темір қоспалары, құм, Са, Mg карбонаттары, гипс және басқа заттар болады. Саз жыныстарында портландцементке керек қышқыл тотықтары болады. Мысалы SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , әк тасында негізінде СаО болады. Жылдың мезгіліне байланысты саздың ылғалдылығы 10-30% аралығында болады. Саздың көлемдік салмағы 1700-2100 кг/м³ құрайды. Белит шламы. Белит шламы - негізінен нефелин өндірісінен бөлініп шыққан. Қалдық құрамы жөнінен портландцемент пен 10-30% домна қожының арасында. Шамамен құрамындағы тотықтар мынандай: 24-31% SiO_2 , 2-6% Al_2O_3 , 2-5% Fe_2O_3 , 50-59% СаО және 2-10% басқа қосылыстар құрайды. Белит шламы түгелдей саз жыныс шикізатын ауыстырады. Зауытқа ол ұнтақталған күйінде келіп түседі, сонымен қатар пештердің қуаттылығын арттырады және отын шығымын азайтады.

Белит шламының құрамында негіздер көп болады 2,5% мөлшерінен аспайтын шлам қолданылады.

Түзеткіш қоспалар. Силикат және глинозем модульдерін түзету үшін әр түрлі қоспалар қолданылады. Шикізаттың құрамындағы Fe_2O_3 көбейту үшін темір тұтқылы (кол.огор.), темір рудасы, руда шаңдары қолданылады.

Алюминий тотығын көбейту үшін боксит қолданылады.

Портландцементтің өндірісі шикізаты бар жерге орналасу керек. Тек аз мөлшерде қолданылатын қоспалар басқа жақтан әкелінеді, мысалы түзеткіш қоспалар.

Шикізатты көбінесе ашық тәсілмен алады. Өндірілген шикізатты және отынды әртүрлі көліктермен тасиды.

Үлкен зауыттарда шикізаттарды артық мөлшерде жинайды, өйткені әр түрлі жағдайларда зауыт тоқтап қалмау үшін. Оларды сақтау үшін сүрлем жасалады.

Отын. Клинкерлі күйдіру үшін қатты сұйық және газ тектес отындарын пайдаланады. Клинкер негізінен 1450°C температурасында пайда болады. Күйдірілетін затқа қатты отынның ұнтақ болғаны жақсы, өйткені жақсы әрі тегіс, біркелкі бөлініп тарайды. Қатты отынды кептіріп және ұнтақтап алады. Сұйық отын ретінде мазутты пайдаланады. Көптеген зауыттар табиғи газбен жұмыс істейді, ол үшін көбінесе метанды пайдаланады. Газды және мазутты пайдаланудың арқасында күйдіру процесін жеңілдетуге және біркелкі минералдық құрамы бар клинкер алуға мүмкіндік туғызады.

Портландцемент өндірісінің тәсілі. Портландцемент өндірісі негізінен келесі тізбектерден тұрады: шикізатты өндіру; шикізатты дайындау яғни оны ұсақтау; ұнтақтау және оны біртекті ету (гомогенизация); шикізатты күйдіру; күйдірілген затты яғни клинкерді ұнтақтау. Портландцемент өндірісінің 2 тәсілі бар, олар ылғал және құрғақ тәсіл. Ылғал тәсілде шикізат сумен бірге ұсақталады. Одан қаймақ тәрізді сұйық лай алынады, құрамында 32-45% су болады.

Құрғақ тәсілді шикізаттарды алдын-ала кептіреді, сосын бірге ұсақтайды. Алынған зат шикізат ұны дейді.

Берілген заттың физикалық қасиетіне байланысты және басқа факторларға байланысты портландцементті ылғал тәсілмен алғанда әртүрлі тізбек қолданылады. Бұл тәсіл көбінесе берілген шикізаттар өте ылғал болғанда құрылымы жұмсақ болса, сумен араласқан жағдайда қолданылады. Ылғал тәсілде біркелкі араласқан шикізат жақсы болады. Ылғал тәсілдің кемшілігі, отын өте көп кетеді.

Құрғақ тәсілдің тиімділігі, егер шикізаттың ылғалдылығы аз болса және құрамы біркелкі болған жағдайда. Сонымен бірге шикізатқа саздың орнына домна қожын пайдаланған тиімді. Отын шығыны ылғал тәсілге қарағанда аз кетеді. Сондықтан құрғақ тәсілмен шығаратын өндірістің көлемі артып келе жатыр.

Соңғы кездері ылғал тәсілмен істейтін өндірістерді құрғақ тәсілге ауыстыру көзделіп келе жатыр.

Қай тәсілмен өндіру болсын негізінен өте майда ұнтақтауға жеткізген жөн. Өте майда ұнтақталғанда химиялық байланыс жақсы жүреді және де тез арада өтеді. Қай өндіріс болса да өнімнің сапасын арттыруға, көлемін өсіруте, отынның шығымын азайтуға және т.б. жақсартуға тырысу керек.

Зауыттардың қуаттылығы шикізаттың көлеміне және қажет етуіне байланысты болады. Зауыттардың орташа қуаттылығы 1 млн. т. асады.

Зауытта тастардың мөлшері 1000 - 1200 мм дейін болып келеді. Портландцементтің өндірісінде клинкердің ұнтақтылығы 008 елегінен өткізгенде қалу мөлшері 8-10% болу керек. Ал жоғарғы маркалы цемент алғанда олардың ұнтақтылығы 008 елегінен өткенде 5% -дан аспауы керек. Шикізатты ұсақтау үшін 2 - 3 ұсақтағыштардан өткізеді, одан кейін диірменде ұнтақтайды. Желінген саздарды әуелі валды ұсақтағыштарда ұсақтайды, сосын диірменде немесе шлам алынатын араластырғыштарда ылғалдылығы 60 - 70% болғанша араластырып алады.

Шикізатты дайындау. Портландцемент өндірісінде шикізаттар, отындар, әр түрлі қоспалар және клинкерлер ұсақтаудан және ұнтақтаудан өтеді. Бұл материалдар өзгерісінің физикалық қасиеттеріне байланысты айырмашылықтар бар (беріктілігі, қаттылығы, ылғалдылығы және т.б.). Сондықтан ұсақтау үшін әр түрлі ұсақтағыштар пайдаланады.

Ұсақталатын материалдар сығылып сыну беріктілігіне байланысты өте қатты, қатты, орташа және жұмсақ болып бөлінеді.

1) 100 МПа жоғары; 2) 100 - 50 МПа; 3) 50 - 10 МПа; 4) 10 МПа аз. Ұсақтау мен ұнтақтауға жалпы электроэнергияның 60 - 80% кетеді.

Құрғақ тәсілде ұсақтау кезінде материалдар 8-12% - ға дейін кептіріледі.

Айналдырғыштар ылғал тәсілде пайдаланылады, егер шикізат пен саз және басқа жұмсақ материалдар болған жағдайда олардың диаметрі 6 - 12 м, теріңдігі 1,8 - 6 м болып келеді. Олардың қуаттылығы сағатына 6 - 36 м³ саздыкі, 14-75 м³ бордыкі. Жұмсақ заттарды ұсақтау үшін роторлы диірмендер тиімді болып келеді.

Кептіру. Шикізаттарды, көмірді және қоспаларды жақсылап ұнтақтау үшін оларды кептіру керек. Ұнтақталынатын шикізаттардың, қоспалардың ылғалдылығы 1,5 - 6% дейіп болу керек. Материалдарды ұнтақтау алдында кептіреді немесе дерменде бірдей кептіріліп, бір қондырғыда ұнтақтайды. Бір қондырғыда кептіріліп ұнтақтаған тиімді, егер материалдың ылғалдылығы 8 - 12 % аспаған жағдайда өте ылғал материалдарды кептіру барабандарында кептіріледі. Кептіру қондырғыларының қуаттылығы материалдың қасиетіне байланысты, негізінен ылғалдылығына 10 - 20 т.

Ұсақтау. Ұсақталған материал бункерге келіп түседі, одан әрі тарелка тәріздес өлшегіш (дозатор) арқылы диірменге түседі. Цемент за-водтарында екі немесе көп камералы труба тәрізді диірмендер қолданылады, бұл дермен ашық және жабық циклды жұмыс істейді. Ашық циклде ұнтақталатын материал диірменнің бойы-мен бір рет өтіледі, ал жабық циклде бірнеше рет өтіп қосылған классификатор арқылы ұсақ және ірі фракцияларға бөлінеді, со-нымен бірге ірі бөлшектер болады, ал жабық циклда алынған диірменде алынған заттар біркелкі болады. Труба диірмендерінің ұзындығы 8 - 18 м, 2 - 5 м болады.

Шикі затты ұнтақтағанда көбінесе, ашық циклді труба диірмені қолданылады. Бірінші камера бөліміне труба диірменінің ірі болат шарлары салынады, ал екінші камерасына диаметрі кіші болат шарлар салады. Бұнда бірінші бөлімнен түскен материал-дар майда болып ұнтақталады. Келесі камерада аяғына дейін ұнтақталады, онда болат тәрізді шарлар бар. Ылғал тәсілмен істейтін заводтарда бірінші камераға стержень тәрізді ұнтақтағыштар қолданылады, ал майда қылып ұнтақтайтын каме-рада болат шарлар болады. Соңғы кездері ұнтақтау мен кептіруді бірге істеу үшін өзі ұсақтайтын "Аэрофоль" диірмендері қолданылып жүр. Бұл диірменде материал бір-бірімен соқтығысып ұсақталады. Диірменге салынатын тастардың размері 200 - 500 мм дейін жетеді. Ылғал тәсілмен істейтін өндірісте өзі ұсақтайтын «Гидрофоль» диірмені қолданылады. Ұнтақтауды тездету және жақсарту үшін әр түрлі кішкене мөлшерде активті қоспалар қосады. Оларға триэтаноламин, сульфитт-дрожжевая бражка, мылонафт және басқалар жатады.

Күйдірілгеннен кейін салқындатқыштан кейін суыған клинкер қоймасына түседі. Бұл өйткені одан әрі сууға қажет, өйткені ыстық клинкер ұнтақтағанда диірменнің қуаттылығын темендетеді және ұнтақтағыш шарларды тез істен шығарады. Портландцементтің көп қасиеті, оның ішінде әрекеттілігі, қатаю жылдамдығы тек қана оның клинкердің химиялық және материалдық құрамына, алит, белит кристалының формасына және розміріне байланысты ғана емес, сонымен бірге ұнтақталу дәрежесіне көп мөлшерде әсер етеді. Цемент түйіршігінің мөлшері 5-40 мкм болады.

Цементтің ұнтақтылығын көтерген сайын, оның беріктілігі және қатаю жылдамдылығы өседі. Цемент, ұнтағының әр түрлі фракциясы, оның қатаюына және беріктілігіне әр түрлі әсерін тигізеді.

Пештен шыққан клинкер қоймада ауадан ылғадды алып магнезиалданады. Магнезиалданған кезде белиттің (3 түрі) α-ға айналып кетуі мүмкін. Магнезиалдан клинкер жақсы ұнтақталады және цементтің ұстамдылығын жайлатады.

Клинкер қоймасын 3 күнге артығымен жететіндей қылып істейді, төбесі жабық болады. Клинкер, гипс қоспа силос тәрізді қоймада сақтайды. Силос қоймасы темірбетоннан немесе металдан цилиндр формалы болады, диаметрі 6-дан 18 м дейін. Ұнтақтауды тездету үшін 1% дейін қоспалар қосады. Көп қолданылатын қоспалар триэтаноламин және олардың қоспасы. Диірменге түсетін материалдың ылғалдылығын тексеріп отыру керек, клинкердікі 0,5%-тен, қоспаныкі 2%-тен, гипстікі 10%-тен аспау керек. Ылғаддылығы материалдың жоғарлаған сайын диірменнің қуаттылығы төмендейді, өйткені диірменнің қабырғасына және шарға материал жабысып қалады, сонымен бірге шығатын цементтің сапасы нашарлайды, силостан шығаруда қиынға соғады. Егер жеңіл тез майдаланатын қоспа қосатын болса, оларды клинкерден бөлек ұнтақтап алып, сосын бірге араластырады. Бұндай жағдайда тез ұнтақталатын қоспа қатты клинкердің ұнтақталуына кедергі жасамайды және шыққан заттың сапасыда жақсы болады. Жұмыс жасап тұрған зауыттарда клинкерді ашық және жабық циклді трубалы диірмендерде ұнтақтайды. Қазіргі кезде сепаратор диірмендер көп қолданылып жүр, әсіресе тез қатаятын және жоғарғы берікті портландцемент өндірісінде өте ұнтақтылықты қажет ететін.

Өлшемі 3,2x15 м цемент диірмендерінің қуаттылығы ашық циклмен істейтін сағатына 50-55 т шығарады, ал жабық циклмен істейтінді 55+60 т сағатына. Жабық циклмен істейтін дерменде бірнеше қондырғы болады, топтастырғыш, шаң ұстайтын, тасымалдайтын және реттегішпен автоматикалық бақылау жасайтын жүйе бар. Жабық түрлі тізбегі бар.

Бұл тізбекте ұсақталған материал диірменнен кейін топтастырғышқа барады. Ірі фракциялары сеператордан кейін диірменнің бірінші камерасына қайтадан келіп түсіп ұсақталады. Басқа тізбекте ұсақталған материал бірінші және екінші камерадан кейін топтастырылып, ірісі екінші камераға, бір бөлігі бірінші камераға жіберіледі.

Ал үшінші тізбекте ұсақталған материал бірінші, екінші камерадан кейін араластырып, топтастырғышқа барады. Клинкерді және басқа құрғақ қатты материалдарды өте майда қылып ұнтақтағанда жылу шығарады. Диірменнен шыққан цементтің температурасы 80°C - 140°C дейін барады.

Бұндай жоғары температура диірменнің жұмыс істеуіне қолайсыз жағдай істейді (жабысады, шарлар бөлінеді) және цементтің сапасына әсерін тигізеді су қажет етуі өседі және ол тез қоюланады. Сондықтан диірменді, сыртынан су құйып салқындататын тұру керек. Кейде ұсақтайтын материалды суыту үшін диірменнің соңғы камерасына кішкене мөлшерде ауа су араласқан қоспаны береді.

Цемент диірменінің қуаттылығына портландцемент клинкерінің минералдық құрамы әсер етеді. Клинкердің құрамына белит пен алюмоферрит жоғары болса ол қиын ұсақталады. Цементтің ұнтақтылығы бетон және сылақ жасағанда әсерін тигізеді.

Цементті өте майда ұнтақтаса оның беріктілігі жоғары болады. Мемлекеттік стандарт бойынша анықтағанды 008 елегінен өткізгенде 85% көп өту керек. Негізінен көбісін 90%-тен көп ететін қылып ұнтақтайды. Тез қатаятын және жоғары беріктігі цемент жасағанда олардың өту мөлшері 95% көп болады. Цементтің бөлшек дәрежесі 2800-3000 см²/г.

Портландцемент сапасына құрамындағы әр түрлі фракция түйіршегін сеиорация аспабы арқылы анықтайды, цемент ұнтағын фракцияға бөледі. Цементтің бөлшектену дәрежесінің өсуі, цементке белгілі мөлшерге дейін тиімді болады, одан әрі бөлшектену дәрежесі өссе, беріктілігі көтерілмейді, кей жағдайда түсіп кетеді. Мысалы жай портландцементтің бөлшектену дәрежесінің өсіп, беріктілігінің төмендеуінің себебі, өте қатғы ұнтақталғанда тез қатаяды, суды көп қажет етеді, жылуды көп шығарады және жарылғыш болып келеді.

Өте майда ұнтақталған цементте болатын қолайсыз жағдайларды реттеуге болады. Активтігін жоғалтпау үшін сақтағанда оларды қаптайды, ылғал бармау үшін цемент өндірісінде болатын ұсақтау, ұнтақтау материалдары үлкен маына береді. 1 т алынатын дайын зат үшін өндірістің тәсіліне байланысты және құрамындағы қоспаға байланысты 2,5 т материал кетеді.

Үнтақтау энергияны көп қажет етеді, ол шама ұсақталатын материалдың құрамына цементтің маркасына, алынатын материалдың ұнтақтылығына байланысты. Мысалы 1т ұнтақталған материалға алғанда энергия шығымы әк тасын ұнтақтау үшін 23-15 кВт.с, бормен сазға 14-9 кВт.с, домна шлағы-на 31 кВт.с, кварц құмына 43 кВт.с, айналу пешінен алынған клинкерге 31-25 кВт.с, шахтылы пешті алынған клинкерге 21-19 кВт.с.

Бұл цифрдан біз цемент өндірісінде ұнтақтаудың қандай екенін білеміз.

Диірменнің қуаттылығына диірменге салынатын ұсақтағыш шарлардың салынған мөлшері көп әсерін тигізеді. Ірі қылып ұсақтайтын камерада ұсақтайтын шарлар камераның көлемінің 26-32% алады, орташа қылып ұнтақтайтын камерада камераның 26-30% алады, майда қылып ұнтақтайтын камерада камераның 24-30% алады.

Жылу арқылы өңдеу яғни буландыру гидратация мен қатаю процессін тездетеді. Портландцемент теменгі температурада қатаяды, бірақ та беріктілігі өте жай жүреді.

Портландцемент қатаю жылдамдығы оның минералдық құрамына клинкердің размері мен құрамына, ұнтақтылығына және тағы басқаға байланысты болады. Цементтің құрамындағы минералдардың ішіндегісі тез қатаятын C_3S және C_3A . Қалыпты температурада портландцемент түгел гидратация жасағанда 5-27% химиялық байланыс суын ұстайды судын цементке қатынасы және ұнтақтылығы жоғары болса суды қор қажет етеді.

Портландцемент клинкерін күйдіру. Портландцемент күйдіргенде материал жентектелу дәрежесіне дейін күйдіріледі, және де аздап балқиды, сонымен бірге сұйық фаза қатты заттардың реакциясын тездетеді. Материал қызғанда әуелі химиялық реакция қатгы заттардың арасында жүреді, сұйық фазасыз. Сондықтан жентектелу аймағына материал дайын келеді.

CaO мен саз минералдарының арасығыдағы қатты күйіндегі жылдамдық реакция, олардың химиялық және минералдық құрамына байланысты. Бор және ұсақ кристалды тастар, ірі кристалды тастарға қарағанда реакцияға жақсы түседі.

Портландцемент өндірісінде көбінесе шикі зат әк тасымен саз қолданылады, құрамдарында көмір қышқыл кальций мен темір тотығы бар гидроалюмосиликаттардан тұратын.

Силикат кальцийлердің ішінде байланыстырғыш қасиетті тек алит пен белит көрсетеді. Портландцемент құрамындағы 3 кальцийлі силикат ең негізгі зат. Ол 1450°C пайда бола бастайды. Ұнтақталған C_3S сумен араласқанда тез қатаяды C_2S қарағанда және де аз уақытта жоғары беріктілік алады. C_3S силикат C_2S қарағанда жеңіл ұнтақталады. C_3S 1250°C және 1900°C C_2S және CaO бөлінеді. Белит C_2S силикат (3 - формалы. Белиттің кристалдар негізінен домалақ формалы болып келеді. C_3A және C_4AF аралық зат.

Айналу пештерінде клинкер пайда болғанда болатын процесстер. Ылғал тәсілде шикі зат пешке лай түрінде келіп түседі.

Лай қызғанда әуелі жайылып өте қозғалғыш болады, Айналу жылдамдығы оның жұмсақтық қасиетіне байланысты. Пеште шикі затты күйдіргенде 6 аймақтан өтеді. Ылғал тәсілмен істеген пештің ең ұзын бөлігі. Айналу пешінің ұзындығы 150-230м, сі 3,6-7м. Қазіргі кезде күйдірілетін пештің мөлшері 4,5x170 және 5x185м. Қуаттылығы күніне 1200, 1800 т клинкер шығарады, құрғақ тәсіл мен істейтін пештің мөлшері 1 = 60-95м сі = 4-6,5. Материал $1300-1500^{\circ}\text{C}$ клинкерге езгереді, клинкердің мөлшері 15-30 мм және одан үлкен болады.

Лай бассейнінен насос арқылы бөлу багіне барады, ол пештің үстінде орналасқан, одан пешке барып түседі. Лай пештің бойымен өткенде физико-химиялық құбылыстар жүреді. Пештен (сурет 22) клинкер 1000-1100°C-та мұздағышқа түседі. Пештің су буланып кететін бөлімін кептіру аймағы деп аталады, онда температура 600-700°C дейін барады. Бұл аймақта 400-500°C материалдың құрамындағы органикалық қосылыстар күйіп кетеді.

Келесі аймақ, саздан су бөлініп шығатын қыздыру аймағы деп аталады, бұнда температура 700-800°C дейін кетеріледі.

750-800°C жоғары материалдын арасында реакция қатгы күйінде жүре бастайды. Әуелгі кезде онша белгісіз, одан кейін температура көтерілген сайын тез жүреді.

Реакция қатты күйінде жүрген кезде карбонаттармен саз жұмыстарының арасында $p - 2CaO \bullet 5SiO_2$, $CaO \bullet Al_2O_3$ және $2CaO \bullet .Fe_2O_3$ пайда болады. Осы көмір қышқыл кальциі тез бөліне бастайтын аймақты кальциленген аймақ деп атайды. Бұнда температура 900-1100°C дейін барады. Пештің температурасы 1000-1100°C жеткен бөлігінде карбонат кальцийдің бос CaO және белит, CA , C_2F айнала бастайды, яғни кальциленген аймақтың аяғында реакция қатты күйінде тез жүреді.

Силикат, алюминат, феррит кальцилерінің пайда болу реакциясы экзотермиялық болады. Пайда болған силикаттар жылу бөліп шығарады, сондықтан бұл аймақты **экзотермиялық аймақ** деп атайды. 1300°C материал жентектеле бастайды. Жентектелудің басталу кезінен балңылған зат C_3A , C_4AF , MgO , CaO айналады, одан әрі C_2S ери бастайды. Сондықтан сұйық фазада портландцементтің негізгі минералы 3 кальцийі силикат пайда болуға жақсы жағдай жасалады, бұнда белит пен CaO байланысады.

Пештегі минералдың жентектелуі немесе алиттің пайда болуы **жентектелу аймағы** деп аталады. Бұл аймақта температура 1300°C -тен 1450°C дейін жетеді. Жентектелу температурасы шикі заттың қасиетіне және құрамындағы қоспаларға байланысты жентектелу аймағынан кейін материал **салқындату аймағына** өтеді, пештің соңғы аймағында салқындалған клинкердің құрамы негізінен алит және белит кристалдарымен және аралық зат C_4AF , C_3A , MgO тұрады. Құрғақ тәсілде шикі зат ұны жылу ауыстыратын циклоны бар айналу пешінде күйдіріледі. Құрғақ шикі зат қоспалары пневмонасос арқылы пештің бункеріне түседі.

Құрғақ тәсілде пайдаланатын пештің мөлшері 5x75 және 7x95 м, күніне 1600 және 3000 т шығарады. Бұл пеште күйдірілген материалда болатын процесстер жүреді. Сонымен бірге құрғақ тәсілде материалды күйдіру үшін шахталы пештер қолданылады. Бұл пеште жылу аз кетеді. Олардың қуаттылығы күніне 150-250 т клинкер шығарады. Бұл пештер аз қолданылады.

Өлшемі $1 = 8-10$ d = 2,5-2,8 м. Шахталы пеште отын матери-алмен бірге жанады, ол айналу пеште отын бөлек жанады. 2 кальцийлі силикаттың 3 кальцийлі силикатқа айналу күрделі құбылыс, ол жоғарғы температураны және белгілі уақыт қажет етеді. Жентектелу аймағына материал кеуікті болып түседі. Ылғалдың буланып кетуіне, органикалық, заттардын жанып кетуіне жақсы болады. Жентектелгенде материал тығыздалышады, бірақта аз мөлшерде кеуіктілік қалады. Клинкердің кеуіктілігі шикі заттың құрамына және күйдіру жағдайына байланысты болады. Күйдіруді тездету үшін, жақсарту үшін әр түрлі тездеткіш қоспалар қосады, бұлар минералдың пайда болуын және цементтің сапасын жақсартады. Бұндай қоспаларға CaF_2 , NaF , MgF_2 , BeF , гипс, фосфогипс, фосфор және фторы бар шлактар, хлорлы кальций және басқалары жатады. Бұл қоспалар алиттің пайда болуына ерекше жағдай жасайды, яғни CaO мен C_2S байланысуында.

Шикізаттарды және клинкерді күйдіргенде күрделі физикалық және физико-химиялық процестер жүреді жәнеде нәтижесінде берілген компоненттердің піскен түйіршіктері пайда болады. Олар негізінен β - C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF минералдарынан және шыны тәрізді фазадан тұрады. Шикізаттарда жүретін процестердің сипатын, күйдіру температурасы анықтайды. Сонымен қатар, микроқұрылымды алитпен белит жақсы кристаллынған бір келкі бөлінген клинкер алуға жағдай жасау керек. Бұған шикізаттың жоғарғы қанығу коэффициентімен, жоғарғы температура аймағындағы клинкерді ұстау мүмкіншілігі жағдай жасайды.

Лай пешке түскенде, температурасы 300-600 °C болатын түтін газдардың әсеріне ұшырайды. Осы кезде судың булануы басталып лай қоюлана бастайды. Одан әрі судың айтарлықтай мөлшері буланып кеткеннен кейін ірі түйіршіктер пайда болады, сазды компоненттің байланыстырғыш қасиеті нашарлап, ірі түйіршіктер майда бөлшектерге бөлінеді.

Одан әрі пештің бойымен материал қозғалып, жоғарғы температура аймағына түседі. 400-500 °C материалдағы органикалық қосылыстар жанып, каолинитпен басқа да сазды минералдар каолиниті ангидрид $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ түзеп дегидратация басталады.

Саздағы гидратты судың шығып кетуі, жұмсақтылықпен байланыстырғыш қасиетінің айырлуына әкеліп соқтырады, бұл алдында пайда болған түйіршік материалдардың бөлініп қозғалғыш ұнтаққа айналуына әкеліп соқтырады. Пеште болатын бұл процесте материалдың температурасы шамамен 600-700 °C барады. Пештегі судың буланып кетуі және материалдың кеуібін кептіру аймағы деп атайды. Келесі аймақ, яғни саздағы дегидратация жүруі және материалдың 700-800 °C дейін қызуы қыздыру аймағы деп аталады. Бұл екі аймақ пештің ұзындығының 50-50 % алады.

750-800 °C және одан жоғарыда материалдың құрамының арасында қатты күйінде реакция басталады. Басында әзір ғана білінеді де, материалдың температурасы 1000 °C жеткеннен кейін үдемелі тез көтеріледі. 800 °C қатты фазадағы компоненттердің арасындағы байланысудың нәтижесінде, ұнтақтың кейбір бөлшектерінде байланысу басталып, әр түрлі мөлшердегі түйіршіктер пайда болады. Қатты күйіндегі реакцияның үдемелі жүруі, материалдың майда ұнтақталуына және компоненттердің араласуына жағдай жасайды. Қатты күйдегі реакция кезінде карбонат кальцийімен сазды материалдардың арасында β -2CaO·SiO₂, CaO·Al₂O₃ және 2CaO·Fe₂O₃ пайда болады.

900-1000 °C карбонат кальций тез бөлініп бос CaO және көмір қышқыл газы CO₂ пайда болады. Пештің 900-1100 °C аралығында көмір қышқыл газының үдемелі бөліну ұзындығын кальцийлену аймағы деп атайды. Пештің бұл аймағында жылуды көп қажет етеді. CaCO₃ бөлінуі жылуды жұтатын эндотермиялық реакция болып табылады. Силикаттардың, алюминаттардың және феррит кальцийінің пайда болу реакциясы экзотермиялық болып табылады. Осыған байланысты көрсетілген қосылыстардың үдемелі пайда болуы, жылу бөліп шығарумен жүреді, бұл материалдың температурасының 150-200 °C көтерілуіне әкеліп соқтырады бұл пештің аз бөлімінде болады. Пештің бұл бөлімін экзотермиялық аймақ деп атайды. Кальцийленген аймақта, әсіресе экзотермиялық аймақта материалдың температурасының көтерілуі C₂S пайда болу жылдамдығын арттырады, сонымен қатар CA-ның C₅A₃ ауысуына одан әрі C₃A ауысады. Экзотермиялық аймақтың аяғында материалдың температурасы шамамен 1300 °C жетеді. Бұл ол уақытта C₂S, C₃A, C₄AF немесе C₂F және кейбір мөлшерде бос CaO тұрады. Жентектелудің бастапқы уақытында еріген материал C₃A, C₄AF, MgO және CaO ауысады, одан әрі екі кальцийлі силикат C₂S ери бастайды. Сонымен бірге сұйық фазада портландцементтің негізгі минералы үш кальцийлі силикаттың C₃S екі кальцийлі силикатпен C₂S оксид кальцийінен CaO пайда болуы басталады.

- Пештегі материалдың жентектелуі және алиттің пайда болу бөлімін жентектелу аймағы деп аталады. Пештің бұл аймағында материал шамамен 1300-ден 1450 °C дейін қызады, бұл оксид кальцийімен CaO екі кальцийлі силикатың C_2S тез бірігіп үш кальцийлі силикаттың C_3S пайда болуына жағдай жасайды. Тиімді жентектелу температурасы негізінен шикізаттардың қасиетіне, ондағы әр түрлі қоспаларға, ұсақталудың майдалығына және қоспаның бір келкілігіне байланысты болады. Материалды тиімді жентектелу температурасында ұстау дұрыс және дәл жүру керек, өйткені клинкердің сапасына әсерін тигізеді. Бір жағынан жентектелу аймағында материалды ұстау ұзақтылығын арттыру CaO толығымен игеруге жағдай жасайды, бұл клинкердің сапасын жақсартады, екінші жағынан алит кристаллдарының бірігуіне мүмкіншілік жасайды. Зерттеулер мынаны көрсетеді, яғни жоғарғы физико-механикалық көрсеткіші бар портландцемент алу үшін, клинкердегі алитпен белиттің кристаллды құрылымы дұрыс болу керек, игерілмеген CaO мөлшері 0,5-1 % аспау керек.

Сұйық фазаның пайда болу температурасы және оның мөлшері күйдіріу процесі кезінде пайда болатын минерал балқуларын (C_3A , C_4AF) шығаратын шикізат компоненттеріне байланысты болады. Бірақта олардың мөлшері клинкерде шектеулі, өйткені олардың мөлшері көбейген сайын беріктілік сипаттамасы және қатайған цементтің бекемділігі нашарлайды. Клинкер пайда болу процесін тездету үшін, әсіресе үш кальцийлі силикаттың мөлшерін көбейту үшін клинкер дайындау кезінде, оған арнаулы қоспа-минерализаторын (фторлы кальций CaF , кремнефтористі натрий Na_2SiF_6 немесе магний $MgSiF_6$, руда түрінде темір оксиді немесе колчедан огаркасы, гипс және т.б.) пайдаланады. Минерализаторлар материалдардың жентектелу температурасын төмендетіп қана қоймай, сонымен бірге балқыламаның тұтқырлығын төмендетеді. Клинкедің салмағынан 0,5-1 % мөлшерде фторлы тұздарды қосқанда тиімділігі жоғары болады. Олар жентектелу температурасын 100-150 °C төмендетеді. Сонымен қатар, фторлы тұздар клинкердегі сілтелердің мөлшерін төмендетуге жағдай жасайды. Пайда болған фторидтер күйдіру процесі кезінде түтін газдарымен бірге ұшып кетеді. Бұл әсіресе портландцемент өндірісінде сілтесінің мөлшері көп шикізаттарды пайдаланғанда маңызды. Портландцементтің мөлшерінде 0,8-1 % көп болса, оның қатаюына теріс әсерін тигізеді.

Жентектелу аймағынан кейін күйдірілген материал, суыту аймағына ауысады бұл пештің соңғы бөлімі, мұнда алынған клинкер ауамен 1300°C -тан $1000-1100^{\circ}\text{C}$ -қа дейін салқындап шығады. Температурасы шамамен 1300°C -қа дейін, онда әліде сұйық фаза болады және CaO -ның реакциясының жүруі жалғасып C_3S пайда болады. Сосын сұйық фаза қатайып жентектелу аяқталады.

Клинкер 1450°C -тан 1300°C -қа дейін салқындағанда сұйық фазада кейбір бөлшектері шыны тәрізді қатаяды және де кейбір бөлшектерінде C_3A , C_4AF -ың балқуларынан, сонымен қатар MgO кристаллизация жүреді. Балқулардың кристаллдану дәрежесі материалдың жентектелу аймағынан шыққандағы салқындау жылдамдығына байланысты болады.

Салқындалынған клинкер негізінен силикат-минералдарының (алит және белит) кристаллдарынан тұрады, сонымен қатар аралық заттардан (C_4AF , C_3A , C_5A_3) және оксид кальцийімен магнийінен.

- Салқындау жылдамдығына байланысты шыны тәрізді фазаның құрамы өзгеріп қоймай, ондағы периклаз MgO кристаллдарының мөлшері де өзгереді. Баяу салқындаған клинкерде MgO ірі кристаллдары 30-40 мкм дейін болады, бұл цементтің көлемінің бір қалыпты өзгермеуіне әкеліп соқтырады. Тез салқындаған клинкерде MgO көп мөлшері шыныда қалады, ал қалған бөлігі майда кристаллды күйге 8-10 мкм дейін ауысады, бұл цемент қатайғанда көлемінің бір қалыпты өзгеруіне теріс әсерін тигізбейді.
- Баяу салқындалынған клинкерден төменгі активтілі цемент алынады, мұны шыны тәрізді фазаның мөлшерінің аздығымен түсіндіріледі. Цементте шынының мөлшері көп болса, сульфатқа төзімділігі жоғары болады, үш кальцийлі алюминаттың мөлшері төмендейді. Мұны сульфатқа төзімді цемент жасағанда ескеру керек және де химиялық құрамына есептеулер жүргізгенде C_3A мөлшеріне шек қойылмайды.

Портландцемент клинкерін ұнтақтау. Күйдірілгеннен кейін салқындатқыштан өткен суыған клинкер қоймаға түседі. Бұл өйткені одан әрі сууға қажет, өйткені ыстық клинкер ұнтақтағанда диірменнің қуаттылығын төмендетеді және ұнтақтағыш шарларды тез істен шығарады. Портландцементтің көп қасиеті, оның ішінде әрекеттілігі, қатаю жылдамдылығы тек қана оның клинкердің химиялық және материалдық құрамына, алит, белит кристалының формасына және мөлшеріне байланысты ғана емес, сонымен бірге ұнтақталу дәрежесіне көп мөлшерде әсер етеді. Цемент түйіршігінің мөлшері 5-40 мкм болады.

Цементтің ұнтақтылығын көтерген сайын, оның беріктілігі және қатаю жылдамдылығы өседі. Цемент, ұнтағынын әр түрлі фракциясы, оның қатаюына және беріктілігіне әр түрлі әсерін тигізеді.

Пештен шыққан клинкер қоймада ауадан ылғалды алып магнезиалданады. Магнезиалданған кезде белиттің β түрі α -ға айналып кетуі мүмкін. Магнезиалдан клинкер жақсы ұнтақталады және цементтің ұстамдылығын баяулатады.

Клинкер қоймасын 3 күнге артығымен жететіндей қылып жасайды, төбесі жабық болып келеді. Клинкер, гипс, қоспа силос тәрізді қоймада сақталады. Силос қоймасы темірбетоннан немесе металдан цилиндр тәрізді жасалады, диаметрі 6-дан 18 м дейін. Ұнтақтауды тездету үшін 1% дейін қоспалар қосады. Көп қолданылатын қоспалар триэтаноламин және олардың қоспасы. Диірменге түсетін материалдың ылғалдылығын тексеріп отыру керек, клинкердікі 0,5 %-дан, қоспаныкі 2 %-дан, гипстікі 10 %-дан аспау керек. Ылғалдылығы материалдың жоғарлаған сайын диірменнің қуаттылығы төмендейді, өйткені диірменнің қабырғасына және шарға материал жабысып қалады, сонымен бірге шығатын цементтің сапасы нашарлайды, силостан шығаруда қиынға соғады. Егер жеңіл тез майдаланатын қоспа қосатын болса, оларды клинкерден бөлек ұнтақтап алып, сосын бірге араластырады. Мұндай жағдайда тез ұнтақталатын қоспа қатты клинкердің ұнтақталуына кедергі жасамайды және шыққан заттың сапасыда жақсы болады. Жұмыс жасап тұрған зауыттарда клинкерді ашық және жабық циклді трубалы диірмендерде ұнтақтайды. Қазіргі кезде сепаратор диірмендер көп қолданылып жүр, әсіресе тез қатаятын және жоғарғы берікті портландцемент өндірісінде өте ұнтақтылықты қажет ететін.

Өлшемі 3,2x15 м цемент диірмендерінің қуаттылығы ашық циклмен істейтін сағатына 50-55 т шығарады, ал жабық циклмен істейтін 50-55 т сағатына. Жабық циклмен істейтін диірменде бірнеше қондырғы болады, топтастырғыш, шаң ұстайтын, тасымалдайтын және реттегішпен автоматикалық бақылау жасайтын жүйе бар. Бұл тізбекте ұсақталған материал диірменнен кейін топтастырғышқа барады. Ірі фракциялары сеператордан кейін диірменнің бірінші камерасына қайтадан келіп түсіп ұсақталады. Басқа тізбекте ұсақталған материал бірінші және екінші камерада кейін топтастырылып, ірісі екінші камераға, бір бөлігі бірінші камераға жіберіледі. Ал үшінші тізбекте ұсақталған материал бірінші, екінші камерада кейін араластырып, топтастырғышқа барады. Клинкерді және басқа құрғақ қатты материалдарды өте майда қылып ұнтақтағанда жылу шығарады. Диірменнен шыққан цементтің температурасы 80-140°C дейін барады. Бұндай жоғары температура диірменнің жұмыс істеуіне қолайсыз жағдай істейді (жабысады, шарлар бөлінеді) және цементтің сапасына әсерін тигізеді су қажет етуі өседі және ол тез қоюланады. Сондықтан диірменді, сыртынан су құйып салқындата туру керек. Кейде ұсақтайтын материалды суыту үшін диірменнің соңғы камерасына кішкене мөлшерде ауа су араласқан қоспаны береді.

Цемент диірменінің қуаттылығына портландцемент клинкерінің минералдың құрамы әсер етеді. Клинкердің құрамына белит пен алюмоферрит жоғары болса ол қиын ұсақталады. Цементтің ұнтақтылығы бетон және сылақ жасағанда әсерін тигізеді. Цементті өте майда ұнтақтаса оның беріктілігі жоғары болады. Мемлекеттік стандарт бойынша анықтағанды 008 елегінен өткізгенде 85 % көп өту керек. Негізінен көбісін 90 %-дан көп ететін қылып ұнтақтайды. Тез қатаятын және жоғары беріктігі цемент жасағанда олардың өту мөлшері 95 % көп болады. Цементтің бөлшек дәрежесі $2800-3000 \text{ см}^2/\text{г}$. Портландцемент сапасына құрамындағы әр түрлі фракция түйіршегін сепорация аспабы арқылы анықтайды, цемент ұнтағын фракцияға бөледі. Цементтің бөлшектену дәрежесін өсуі, цементке белгілі мөлшерге дейін тиімді болады, одан әрі бөлшектену дәрежесі өссе, беріктілігі көтерілмейді, кей жағдайда түсіп кетеді.

Мысалы жай портландцементтің бөлшектену дәрежесі өсіп, беріктілігінің төмендеуінің себебі, өте қатты ұнтақталғанда тез қатаяды, суды көп қажет етеді, жылуды көп шығарады және жарылғыш болып келеді.

Өте майда ұнтақталған цементте болатын қолайсыз жағдайларды реттеуге болады. Активтігін жоғалтпау үшін сақтағанда оларды қаптайды, ылғал бармау үшін цемент өндірісінде болатын ұсақтау, ұнтақтау материалдары үлкен мағына береді. 1 т алынатын дайын зат үшін өндірістің тәсіліне байланысты және құрамындағы қоспаға байланысты 2,5 т материал кетеді.

Ұнтақтау энергияны көп қажет етеді, ол шама ұсақталатын материалдың құрамына цементтің маркасына, алынатын материалдың ұнтақтылығына байланысты. Мысалы 1 т ұнтақталған материалға алғанда энергия шығымы әк тасын ұнтақтау үшін 23-15 кВт.с, бормен сазға 14-9 кВт.с, домна қожына на 31 кВт.с, кварц құмына 43 кВт.с, айналу пешінен алынған клинкерге 31-25 кВт.с, шахтылы пеште алынған клинкерге 21-19 кВт.с.

Бұл мәннен біз цемент өндірісінде ұнтақтаудың қандай екенін білеміз. Диірменнің қуаттылығына диірменге салынатын ұсақтағыш шарлардың салынған мөлшері көп әсерін тигізеді. Ірі қылып ұсақтайтын камерада ұсақтайтын шарлар камераның көлемінің 26-32 % алады, орташа қылып ұнтақтайтын камерада камераның 26-30% алады, майда қылып ұнтақтайтын камерада камераның 24-30 % алады.

Шағын цемент зауыты. Шағын цемент зауыты - қуаттылығы күніне 200 т көп шығарылмайтын бір немесе бірнеше пештен тұратын өндіріс. Бұндай зауыттардың пайда болуы істеп тұрған кәдімгі зауыттардың қондырғыларының қымбат болуында, екінші жағынан шағын цемент зауытына кететін энергия, су және басқа да ресурстар шектелген жағдайда тиімді болып табылады. Шағын цемент зауыты жергілікті жердің сұранысын қанағаттандыра отырып, тасымалдау қиындығын жақсарттады. Сонымен қатар жергілікті адамдарды жұмыспен қамтамасыз етіп және де жергілікті экономиканы көтереді. Шағын цемент зауыты технологиялық жағынан да тиімді қондырғыларды тандайды. Шағын цемент зауытында мынадай технологиялық процесстер болуы мүмкін: 1. Тік шахта пешінде болатын процесс; 2. Айналу пешінде болатын процесс; 3. Шлақты технология; 4. Ленталы пештегі процесс.

Бірінші және екінші процесстер тиімді болып есептелінеді, қалғандары теория жүзінде қарастырылған. Цемент өндірісінде айтылғандардың біріншісі 1824 жылдан дами бастады. Сол кездері бұл процесске көңіл бөлінбеді, өйткені жүргізілген операциялар өте қиын бодды, алынған клинкердің сапасы біркелкі болмады, жалпы айтқанда экономикалық жағы қолайсыз бодды.

Материалдардың біркелш сапасын қамтамасыз ететін сиымдн грануляторлардың дамуы жағдайды түбегейлі өзгертті.

Тік шахта пешіндегі гфоцесстер негізінен мынандай технологиялық этаптардан тұрады: 1. Әк тасы және басқа қоспаларды бірінші ұсақтағыштан өткізу. 2. Керекті ұнтақтылыққа дейін ұсақтағышпен ұнтақтау. 3. Біркелкі сапалы зат алу үшін ұнтақталған материалды араластыру. 4. Грануляторда су қоспасы бар бөлшектерді қалыптауға дайындау. 5. Гранулдарды тік шахта пешіне тиеу, кептіру, күйдіру, жентектеу және суыту. Осының нәтижесінде цемент клинкері алынады. 6. Юшнкерді ұнтақтау және ұнтақталған клинкерді сапалы портландцемент алу үшін гипспен араластыру.

Шағын цемент зауыпы қуаттылығы 20-дан 100 т дейін күніне цемент шығаратын тік шахта пеш технологиясына негізделген. Алынған цемент жай цементке қойылатын талаптарды қанағаттандырады.