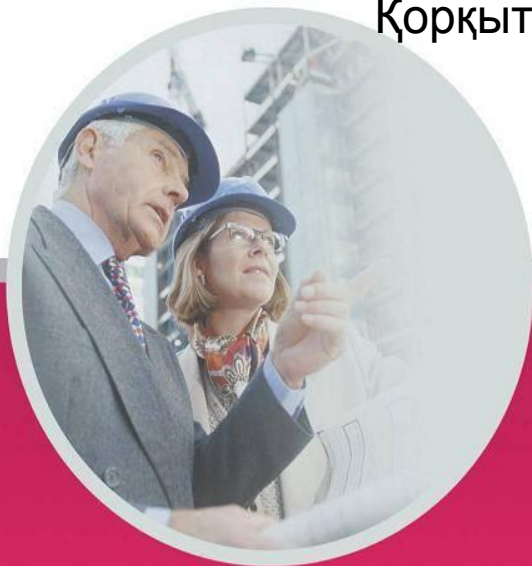


Қазақстан Республикасы Ғылым және Білім Министрлігі  
Қорқыт Ата атындағы Қызылорда Мемлекеттік  
Университеті



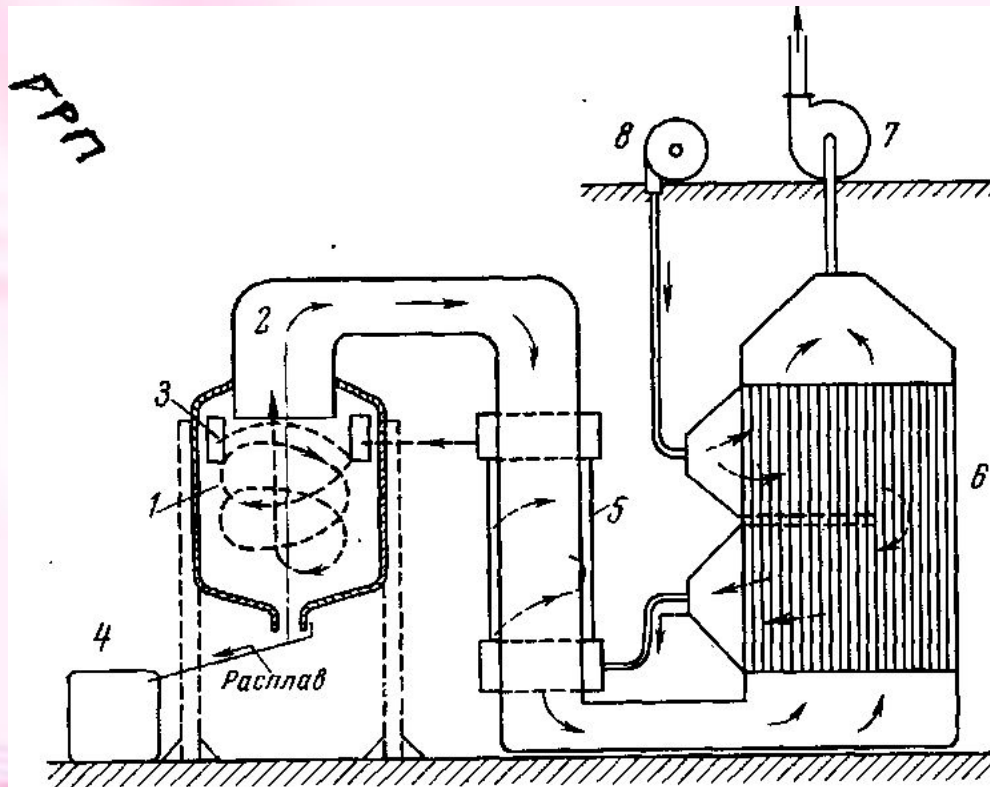
# Күйдіру процестерінің теоретикалық негіздері

## Күйдіру әдісі

Құрылыс бұйымдары өндірісінде күйдіру әдісімен керамикалық және бірқатар жылуоқшаулағыш материалдар жасалады.

**Күйдіру дегеніміз** материалдың бойында тек ғана жоғарғы температурада өтетін фазалық және физика – химиялық өзгерістер туындауының есебінен құрылыста белгілі бір қасиетті туындату мақсатында материалдарды жылу жолмен өңдеу.

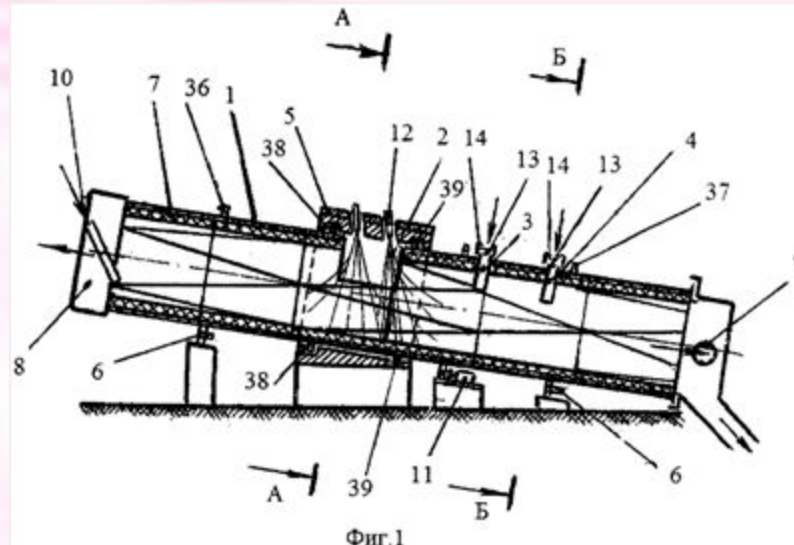
Күйдіруді жылу қондырғыларында бұйымдарды жылу тасымалдаушы құралмен қыздыру арқылы жүзеге асырады (пештерде). Сәйкесінше, өнімдер мен жылу тасымалдаушы құрал арасында жылу және салмақ ауысуының процесстері орын алады. Күйдіру кезінде ылғалды жою және осының салдарынан материалдың бөлшектерінің жақындасуы нәтижесінде фазалық және химиялық өзгерістер туындауының сұйық фазаның шамалы мөлшерінің алынуының арқасында құрылым жасаушы процесстер пайда болады.



- **Принципиальная схема циклонной печи с верхним отводом газов**

- 1 — циклонная камера; 2 — центральная труба; 3 — тангенциальный ввод топлива и воздуха; 4 — гранулятор расплава; 5 — радиационный рекуператор; 6 — конвективный рекуператор; 7 — дымосос; 8 — дутьевой вентилятор.
- В циклонных печах принципиально возможен обжиг разных материалов: серного колчедана с целью получения сернистых газов при производстве серной кислоты, магнезиальных фосфатов с целью обесфторивания при производстве фосфорных удобрений, каолина и т. д.
- Недостатком циклонных печей являются большой вынос технологической пыли, а также абразивный износ кладки.

## Качающаяся обжиговая печь



- Печь содержит установленный на роликоопорах футерованный корпус, который изготовлен с образованием по внутреннему периметру направленных навстречу друг другу трех или более ломанных правых и левых винтовых линий, а также внутренних трех или более винтовых канавок с одинаковым шагом из секций, смонтированных из двух подсекций. Подсекции выполнены из трех или более поочередно соединенных между собой боковыми сторонами равнобедренных трапеций и равнобедренных треугольников. При этом секции соединены между собой большими основаниями трапеций, а подсекции соединены в секцию так, что основания равнобедренных треугольников одной подсекции присоединены к верхнему основанию равнобедренных трапеций второй подсекции, а основания равнобедренных треугольников второй подсекции присоединены к верхнему основанию равнобедренных трапеций первой подсекции. Изобретение позволяет обеспечить полное перекачивание гранул, расширение технологических возможностей и повышение производительности

Құрылыс материалдары технологиясындағы **күйдіру әдісі дегеніміз** шикізат пен жартылай фабрикаттарды жоғарғы температурада жылу жолмен өңдеу, соның нәтижесінде материалдың физика – техникалық қасиеттері мен құрылымын фазалы құрамын өзгертетін қалпына қайтып келмейтін физика – химиялық процесстер орын алады, бірақ ол олардың агрегаттық жай – күйімен көлемін айтарлықтай өзгерте қоймайды. Бұл анықтама шартты болып табылады. Себебі мысалы, керамикалық материалдарды күйдіру барысында оның құрамындағы құрамдас бөліктер жартылай ериды.

Құрылыс өндірісінің жылу қондырғыларында әкті, гипсті, керамикалық материалдар мен бұйымдарды күйдіреді.

## Әкті күйдіру барысында орын алатын процестер

Әкті құрамында көмірқышқыл кальций мен көмірқышықыл магний бар карбонатты жыныстарды күйдіру арқылы алады. Мұнымен қоса карбонаттарды эндотермиялық реакциялар бойынша көмірқышқыл газды бөле отырып ажыратады:



Бастапқы карбонаттардың 1 кг-на қайта есептегенде осы реакциялар кезіндегі жылу шығындары 1584 кДж/кг  $\text{CaCO}_3$  және 1316 кДж/кг  $\text{MgCO}_3$  ті құрайды.

Әкті күйдіру барысындағы кальций карбонатының жайылу реакциясы басты маңызға ие.  $\text{CaCO}_3$ -ң ажыратылуы белгілі бір температура барысында жүзеге асырылады; оның жоғарлауымен бірге процестің екпіні де прта түседі. Аталмыш реакцияның екпінділігі  $\text{CO}_2$  -ң ажырағыштыққа бейімділігімен сипатталады. Бұл тәуелділік Джонстон бойынша мына теңдеумен сипатталады:

$$\lg 136P = (9340/T) + 1,1 \lg T - 0,0012T + 8,882$$

Мұндағы P – көмірқышқыл газының қысымы, Па; T – абсолютті температура, К.

Бұл формула бойынша есептеулер  $\text{CO}_2$ -ң ажырағыштыққа бейімділігі мен температура арасындағы арақатынастарды береді.  $\text{CaCO}_3$  үшін 0,1 Мпа ажыратқыштық қысымы 898 °С –да, ал  $\text{MgCO}_3$  үшін 710 °С –да қол жеткізіледі.

Әк түйіршіктерін пеште қызуы барысында олардың жылулық ажырату процесі беткі жағынан басталады, және процестің дамуы барысына қарай реакцияның алдыңғы шебі түйірдің ішіне терең ене түседі. Ажырату реакциясы тек ғана екі фаза  $\text{CaCO}_3 - \text{CaO}$  –ның шекараларында жүреді. Алдыңғы шектің ішіне терең енуі де температураға байланысты болып, Фуранс бойынша мына теңдеу арқылы сипатталады

$$\lg U = 0,003145t + 3,3085$$

мұндағы  $U$  – ажыратудың сызықтық жылдамдығы, см/г,  $t$  – қоршаған орта температурасы,  $^{\circ}\text{C}$

Фуранстың тәжірибелері бойынша, табиғи түйіршікті әктің ажыратылуы оның беткі жағында  $900^{\circ}\text{C}$  – ге жеткен кезде толығымен аяқталады, ал бұл  $\text{CO}_2$  –ң материал қабаты арқылы диффузия процесіне қарсыласуымен және осы қарсыласуда  $\text{CO}_2$  басымдылық танытып, жеңіл шығуы үшін аса жоғары бейімділіктің қажет екендігімен түсіндіріледі.

## Гипсті күйдіру барысында орын алатын процестер

Жарты сутекті кальций сульфаті болып табылатын гипсті екі сутекті кальций сульфатын жылулық өңдеу жолымен мына реакция бойынша алады.

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - 484 \text{ кДж/кг CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O-ны қыздыру барысындағы оның сусыздану белгілері 50 -60 °С-да ақ бөлінеді. Алайда, сусыздану 107°С-де екпінді түрде жүреді. Өнеркәсіптік жағдайда қыздыру температурасын 170-180°С – қа дейін жеткізеді.

“Гипсті күйдіру” термині қазіргі уақытта қатаң түрде шартты болып табылады, себебі ол күйдірілетін материалды отпен қыздыру арқылы пештерде (камералы, сақиналы, шахталы) алынатын болған. Күйдірудің мұндай әдісі барысында гипстің сапасы төмен болып шығушы еді, себебі күйдірілуші түйіршіктегі бір шексіз температуралы өрістің себебінен оның бойында кальций сульфатының бірнеше модификациясы болды, соның ішінде екі сутекті , жарты сутекті және сутексіз.



Кальций сульфатының сегіз модификациясы мен гипсті сутекті және сутексіз заттардың бірнеше түрлері белгілі. Алайда біздің елде жасалып шығарылатын негізгі гипстік жабысқаққа құрылыс гипсі жатады, оның құрамындағы үлкен үлес  $\beta$  -  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  – ға тиесілі. Құрылыс гипсін көптеген кәсіпорындарда қызып жеткен бу атмосферасында қайнау қазандықтарында шығарады. Біздің елімізде мықтылығы жоғары гипсті шамалы мөлшерде жасап шығарады, оның негізгі құрамдас бөлігіне  $\alpha$  -  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  жатады. Оларды автоклавтарда алады, яғни 0,12-125 °С МПа қысымы жағдайында және 120-125<sup>0</sup> температурада қаныққан су буының атмосферасында алады.

## Керамикалық материалдар мен бұйымдарды күйдіру барысында орын алатын процестер

Керамикалық деп сазды жыныстар мен олардың мөлшері жоғары болып табылатын шикізаттық қоспалардан жасалған бұйымдарды атайды.

Құрылыс керамикасының барлық өнімдерінің ақырғы кезеңі күйдіру болып табылады, оны шикізаттық қоспаның жылулық қасиеттеріне қарай температурасының кең диапазонында жүргіземіз (900-1350<sup>0</sup>С). Сазды жыныстар түрлі тау жыныстарының механикалық қоспалары болып табылады және олардың заттық құрамында сумен жанасқан жағдайда майысқақ қасиет пен түрлі механикалық қоспаларға қол жеткізу қабілетін беретін сазды құрайтын минералдардың кешенінен тұрады. Осыған сәйкес қыздыру барысында сазды жыныста күрделі химиялық және физика – химиялық процестер жүріп отырады, олар сазды құраушы минералдардың өзінде, қоспаларда және сазды құраушы минералдардың жайылу өнімдерінің қоспалары мен қоспалардың жайылу өнімдерімен өзара әрекеттесуі нәтижесінде дамиды.

Бұл процестер едәуір күрделі және күйдіруге сәйкес келетін шарттар (қыздыру екіні, газ ортасы және т.б) мен сазды құраушы минералдардың түріне қарай жеке ерекшеліктерге ие, алайда шекті түрде жақындату кезінде оларды 3 – суретте келтірілген схема түрінде ұсынуға болады, ол сутек жайылатын, шұрық –тесік каолинитті сазды жыныстан мықтыда тас тәрізді керамикалық дененің пайда болуына әкеп соқтыратын өзгерістер мен өзара әрекеттердің біркелкілігін көрсетеді.

Бұл схемаға сәйкес, 450 – 600 °С арақашықтығында сусыз метакаолинит қалыптасатын каолиниттің сусыздануы орын алады, ол 700 – 800 °С кезінде аморфты кремнезем бөле отырып, жайылады. Аморфты глинозем магний оксидімен әрекеттесе отырып, балқу температурасы 2135 °С болатын отқа төзімділігі жоғары қосынды – шпинельді құрайды, ол керамикалық дененің құрамдас бөлігіне айналады. 900 °С –ден бастап, глинозем қайтадан кремнеземмен қосылады, бірақ мулмет құра минералын құра отырып және жүйені әрі қарай аморфты кремнеземмен байыта отырып, өзге қатынастарда үлкен реакциялық қабілетке ие бола отырып, аморфты кремнезем, 750 – 800 °С –ң өзінде-ақ сазды жыныстың флюстенуші қоспаларымен (балқытпа) қосылысқа түседі де бүкіл жүйені цементтейтін сұйық – фаза силикатты әйнек тәріздес балқымаларды құрайды. Сұйық фазаның жинақталуы барысы температураның жоғарылауына орай күрт күшейтеді. Шамамен осындай температуралардың кезінде-ақ темір оксиді органикалық қоспалармен әрекеттесе отырып, шала тотыққа айналады, оның реакциялық қабілеті жоғары. Аморфты кремнеземмен әрекеттесе отырып, шала тотыққан жүйенің екіпінді түрде цементтелуіне ықпал ететін темірлі әйнектерді қалыптастырады. Бұл процесс екіпінділігімен қалпына келтіруші ортада күйдірген жағдайда қатты артады. Темір оксиді керамикалық денені құрайтын кристаллдық фазалардың бірі болып табылатын гематит минералына да жартылай кристалданады.

Өзге оксидтермен қоспаларға енбеген аморфты кремнезем қалдықтары кристоболитке кристалданады. Қалаптасып келе жатқан сұйық фаза кристалды кремнезем дәндерінің бұрыштары мен қырларын жартылай балқытады, бірақ оның көп бөлігі сұйық фазаның қалыптасу реакцияларына қатыспайды, кристалды жаңа құрылымдарымен күйдірілген материалдың қаңқалық каркасының элементі болып қала отырып,  $1000^{\circ}\text{C}$  –н жоғары температурада кристобалитке жартылай өтіп отыратын полиморфты өзгерістерге ұшырайды.

Сонымен күйдіру температурасы мен сазды жыныстың топырақтануы деңгейіне қарай керамикалық дененің негізгі кристалды фазалары муллит, гематит, кристобалит,  $\alpha$  – кварц пен шпинельдер болады.

Керамикалық қоспаны күйдіру барысында да қоспалар мен қосындыларды маңызды өзгерістер орын алады. Көптеген керамикалық қоспалардың маңызды құрамдас бөлігіне кристалды кремнезем жатады. Көптеген саздарда ол қоспа – кварцты құм түрінде болады, ал кейбір керамикалық қоспаларға оны құм, кварц, пен пегматит қоспасы түрінде ендіреді. Қыздыру барысында кремнезем көлемді өзгерістермен қатар жүретін модификациялық айналуды бастан кешіреді. Кристалды кремнеземнің үш модификациясы мен жеті түрі белгілі.

## Кремнеземнің кристалды модификациялары мен түрлері

Кремнеземнің модификациялық айналуларының тәжірибелік схемасы 8.4-суретте көрсетілген, оның бетінде айналулар біркелкілігі бағытшалармен көрсетілген, сонымен бірге тек фазалық айналуның көлемдік әсеріне ғана қатысты оның температурасы мен көлемдік өзгерістер ( $\Delta V$ ) де көрсетілген. Сонымен қатар таза жылулық кеңеюден де тұратын жалпы көлемдік өзгеріс кейбір айналулар үшін жақшада көрсетілген. Бұл схеманы былай түсіну қажет  $573^{\circ}\text{C}$  –де  $\beta$  – кварц түріндегі табиғатта неғұрлым жиі кездесетін кремнезем көлемі жағынан  $0,82\%$  –ға ұлғаятын  $\alpha$  – кварцқа айналады.  $\alpha$  – кварцтың формасы  $1050^{\circ}\text{C}$  –ге дейін тұрақты болады. Сондықтан егер бұйым  $1000^{\circ}\text{C}$  –н төмен температурада күйдірілген болса, онда  $573^{\circ}\text{C}$  температурасында  $\alpha$ -кварц көлемі жағынан азая түсіп,  $\beta$ -кварцқа өтеді.  $1050^{\circ}\text{C}$  –н жоғары температурада  $\alpha$ -кварц көлемі жағынан едәір ұлғая отырып  $\alpha$ -кристобалитке айналады. Бұл айналу қайтарымсыз, ол едәуір баяу да қиын өтеді де  $1200-1300^{\circ}\text{C}$  де біраз күшейеді.  $\alpha$ -кристобалиттің формасы  $1400^{\circ}\text{C}$  дейін тұрақты болады. Сондықтан күйдірудің ақырғы температурасы  $1000-1400^{\circ}\text{C}$  болатын өнімдер  $\alpha$ -кристобалитпен қатар  $\alpha$ -кварцтанда тұруы ықтимал, олар суыту кезінде сәйкесінше  $\beta$ -кристобалит пен  $\beta$ -кварцқа айналады.

Кристобалиттің  $\alpha$ -дан  $\beta$ -формаға өтуі қайтарымды. Егер  $1000^{\circ}\text{C}$  жоғары температурада күйдірілген керамикалық бұйымды екінші қайтара қыздырсақ онда  $220-274^{\circ}\text{C}$  аралығында  $\beta$ -кристобалит  $\alpha$ -кристобалитке айналады. Күйдірілуші бұйымның сууы барысында  $253^{\circ}\text{C}$ -де  $\alpha$ -кристобалит  $\beta$ -кристобалитке өтеді, ал басқа мәліметтер бойынша  $240-280^{\circ}\text{C}$ -де  $1,8\%$  -ға дейінгі көлемді өзгеріспен.

$1400-1450^{\circ}\text{C}$  аралығында  $\alpha$ -кристобалит  $0,6\%$  көлемді өзгерісімен  $\alpha$ -тридипит  $163^{\circ}\text{C}$ -де  $\beta$ -тридипитке өтеді, ал  $117^{\circ}\text{C}$ -де соңғысы  $\gamma$ -тридипитке айналады. Айналулардың екі түрі де көлемдердің  $0,2\%$ -ға болар – болмас өзгеруімен қатар жүреді де қайтарымды болады.

Өте баяу және ұзақ қыздыруы барысында  $870^{\circ}\text{C}$  температурада  $\alpha$ -кварц  $16\%$  көлемді өзгеріспен теориялық жағынан тікелей  $\alpha$ -тридипитке өте алады.  $1400-1450^{\circ}$ -де қалыптасқан тридипит әрі қарайғы қыздыру барысында  $1450^{\circ}\text{C}$ -де  $\alpha$ -кристобалиттің тұрақты формасына көлемді, ал ол  $1723^{\circ}\text{C}$ -де балқымаға айналады. А-кварцтан  $1050-1400^{\circ}\text{C}$ -де қалыптасатын  $\alpha$ -кристобалит формасы тұрақсыз саналады және де оны кейде метакристобалит деп атайды.

Қоспалар мен сұйық балқытпалардың болуы кремнеземнің модификациялық айналуларын жылдамдатады да олардың жоғары толықтылығын қамтамасыз етеді.

Көптеген саздарда қоспа ретінде кальций мен магний карбонаттары кездеседі. Кальций карбонаты көмірқышқыл газын бөле отырып, 900-950<sup>0</sup>С-де керамикалық мөлшерде сусызданады. Егер бұл кезеңде керамикалық дене тесікті және жеткілікті түрде газды өткізгіш болса, онда карбонаттардың сусыздануы күйдірілген бұйымдардың қуыстылығын арттыра түсіа, олардың тұтастығын ешқандай бұзылуын тудырмайды.

Егер керамикалық дене карбонаттың күшті жайылуының басталуына дейін қатты тығыздалса, онда бөлінетін көмірқышқыл газы күйдірілеиін бұйымдардағы ісінудің және өзгеде жәйттердің себебі болуы мүмкін. Сазда тасты карбонатты қоспалар болған жағдайда олар әктің түйірлеріне айналады.

Органикалық заттар сазда қоспа ретінде кездеседі, ал кірпіш, керамзит пен аглопорит өндірісіне оларды жанар-жағар май қоспасы ретінде ендіреді (көмір, кокс, мазут, ағаш қалдығы). Органикалық заттардың керамикалық бөліктерде күйдірілуі барысында бірнеше кезеңді көругн болады. 350 – 400<sup>0</sup>С-де ұшпалы заттардың бөлініп,жануы орын алады.

Неғұрлым жоғары температурады (700 -800<sup>0</sup>С) коксты қалдық салыстырмалы түрде баяу өртенеді. Оның күй жылдамдығы бұйым қалаңдығының квадратына пропорционалды және пешті газдардағы артық ауаға көп тәуелді болады. Коксты қалдықтың өртеніп бітуі керамикалық дене бойында тесіктер болып, ол бүкіл қалыңдығы жағынан газды өткізетін болған жағдайда орын алуы тиіс, бұл кщксты қаладықтың өртенуі кезінде қалыптасатын газдар керамикалық бұйымның қалдығынан еркін түрде сыртқа шыға алуы тиіс.

Сазды жыныстар мен керамикалық қоспаларды күйдіру барысындағы маңызды қоспалар мен қосындылар боп табылатын сазды құраушы минералдардан орын алатын процестер осындай. Бұл процестердің барлығы бір-біріне тәуелсіз түрде өзара байланысты және бір-бірімен тәуелсіз түрде орын алады.



Қарастырылған реакциялар мен айналулардың нәтижесінде күйдірілетін бұйымды біріктіреді, ал бұл қатты тас тәрізді керамикалық денені қалыптастыра отырып, тығыздандыру деген сөз. Саздың біріктірілуі қатты бөліктердің сұйық фазалар – силикатты балқытпалармен жабыстыру салдарынан орын алуы мүмкін, ол саздың жекелеген құрамдас бөліктері немесе олардың құлдырау өнімдері арасындағы қатты фазадағы реакциялар арқасында және керамикалық бөлікті құрайтын минералдардың қайта кристалдануы салдарынан пайда болатын сазды күйдіруі барысында қалыптасады. Біріктіру процесінің нәтижесінде күйдірілетін материал тығыздалады, соның салдарынан оның ашық тесіктері кішірейеді. Өзгеде осыған тең жағдайларда әйнек тәрізді балқытпалар қалаптасып, жаңа құрылымдар кристалданатын кездегі жоғары температуралардың әсері неғұрлым ұзағырақ болған сайын, соғұрлым олардың бірігуі толығырақ болады.

**Шала өңделген өнім** – бұл қалдықты ылғалмен кептіргеннен соң кешке салынатын қалыптасқан бұйы түріндегі жартылай фабрикат. Күйдірудің жылдамдықты режимдеріне әсіресе қалдықты ылғалдың екпінді булануы су булары қалыптасуы жылдамдығының олардың күйдірілетін дене арқылы сүзілу жылдамдығынан асып түсуіне әкеп соқтырады. Бұл жағдайда қыздырылатын бұйым ішінде су буларының артық қысымы пайда болып, сосын ол ең жоғарғы мөлшерге жетіп, бұйымды жарып жіберердей бұзады. Мұны болдырмас үшін керамикалық плитканы жылдамдықты тесігі бар пештерде күйдіру үшін қалдықты ылғалдылығы 0,5% -н кем емес қылып салады. Бұл шала күйдірілетін бұйым қалаңдығы ұлғайған сайын арта түседі.

Осыған ұқсас себептер бойынша сазды минералдардың 500 -700<sup>0</sup>С температурасы аралығында сусыздануы да қиратқыш құбылыс болып табылады,оны бұйымның күйдіру барысындағы сызат түсірмеушілігі жағынан сусыздану деңгейіне сәйкес үш кезеңге бөледі ,% :

1) 0 – 15

2) 15 – 80

3) 80 – 100

Бұйы бойында шекті ауыртпалықтардың пайда болуына қатысты бірінші кезең неғұрлым қауіптірек, мұнда сусызданудың рұқсат етілген жылдамдықты екіншісіне қарағанда 1,5 – 2 есе төмендеу болуы тиіс. Бұйымның тұтастығы үшін қауіпсіз сусызданудың бірінші кезеңінің ұзақтылығы олардың қалыңдығына өте тәуелді болады.

575<sup>0</sup>С-де кварцтың көлемді өзгерістермен полиморфты айналуы орын алады. Негізінен оған кварц дәнінің өзінде сызаттардың пайда болуымен қатар жүретін қиратушы құбылыстар сәйкес келеді. Алайда бұл қиратушы процесс бұйымды қыздыру кезеңінде жергілікті сипатқа ие және жалпы алғанда бұйымның бұзылуына әке соқтырмайды. Себебі бұл кезеңде бұйым денесі қуысты бола отырып, жергілікті ауыртпалықтарды кварц дәніне жинақтайды. Қыздырудың келесі кезеңінде қалыптасатын сұйық фаза – силикатты балқытпа кемшіліктерін “толықтырып отырғандай” жекелеген дәндерді жарықшақтарды бітейді.

Күйдірілетін бұйым денесінде сұйық фазаның қалыптаса және екпіндеп жинақталуының басталғанына дейін ол майысқақ күйде болады да оның қыздырылуы жылулық ауыртпалықтардың пайда болуымен қатар жүреді – ол бұйымды беткі жағында қысып, өзегінде тартады. Алайда олар айтарлықтай қирататын салдарға әкеп соқтырмайды.

750<sup>0</sup>С болатын температурадан басты температураның өсуіне қарай сұйық фазаның қалыптасуы мен екпіндеп жинақталуы орын алады, бұйым денесі майысқақ пластикалыға содан кейін пиропластикалы жүйеге көшеді; оның бойында шөгу деформациялары дамып , ауыртпалық өз белгілерін өзгертеді.

Қалпына келтіруші газ ортасы бірігу прцестерін күрт күшейтеді де олардың басталуын 100 – 150<sup>0</sup>С-ге дейін төмендетеді. Су буы ортасыда осы тәріздес әсер етеді. Қабырғалық керамика бұйымдарын оңай ерігіш саздан күйдіру барысында минералдар мен карбонаттардың жайылуына ықпал етеді, босаған оксидтердің белсенділігін арттырады және қатты фазалы реакциялардың өтуі үшін қолайлы жағдайлар туғызады. Қалпына келтірудің күйдіруі кезінде керамикалық денеде пайда болатын темірдің шала тотығы төменгі температурада (600-700<sup>0</sup>С)  $Al_2O_3$  және  $SiO_2$  - мен әрекеттесіп, метатұрақты қоспаларды қалыптастырады. Олар келесі күйдіруде  $Al_2O_3$  пен  $SiO_2$  – ні белсенділігі жоғары жағдайда босатып, жайылып кетеді, ал бұл шыдамды минералдар – анортит пен муллиттің қалыптасуына ықпал етеді.

Ауыртпалықты жағдай мен олармен қатар жүретін қиратушы құбылыстар әлдеқашан күйдірілген бұйымдарды суыту барысында да пайда болады. Бұл кезеңде екі температуралық аралық қауіпті:

1-ші күйдірілген бұйым денесінің

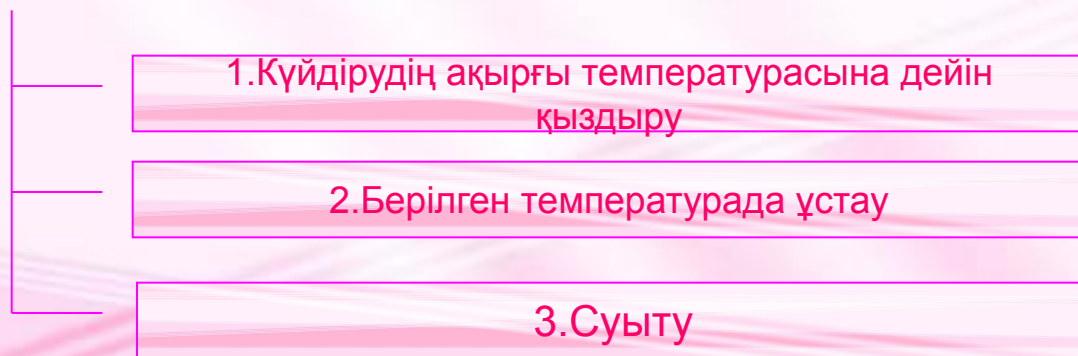
пиропластикалық жағдайдан сынғыш күйге ауыса отырып әйнек тәрізді фазаның қатаюы. Бұл айналу 900-700<sup>0</sup>С температура аралығында орын алады.

2-шісі неғұрлым қауіптілеу аралық 600-550<sup>0</sup>С, оған кристалды кварцтың Модификациялы айналулары сәйкес келеді

Фазалық айналулар аралығындағы жылулық ауыртпалық 20 – 780<sup>0</sup>С температуралы аралығында келесіні құрайтын олардың жылулық кеңеюі коэффициенттеріндегі айырмашылық нәтижесінде пайда болады, %:

Кристаллит үшін	→	1,82
Кварц үшін	→	1,38
Тридимит үшін	→	1,21
Муллит үшін	→	0,48
Әйнекті фаза үшін	→	0,53-0,79

**Күйдіру режимі дегеніміз** – бұл күйдіру температурасы мен уақыты (температуралық режим) және күйдіру уақыты (газды режим) мен газды ортаның химиялық сипаты арасындағы тәуелділік. Оттегі 1%-ға дейін артық болғанда газды орта қалпына келтіргіш, 1,5 -2%-ға дейін қышқылды және 10%-ға дейін қатты қышқылдағыш болып табылады. Неғұрлым жалпы жағдайда күйдірудің бүкіл процесін үш кезеңге бөледі:



Керамикалық бұйымдарды күйдіру барысында болатын процестердің үлкен қиындығы, ол кейде жеткіліксіз айқындылығы бұйым үшін күйдірудің қауіпсіз температуралық режимдерін анықтаумен қатар, неғұрлым қысқа режимдерді есептеп анықтау үшін сенімді сараптамалық теорияның жасалуын қатты қиындатады. Сондықтан осы мақсатқа бағытталаған есептеу тәуелділіктері жартылай эмпирикалық сипатқа ие.

Температуралық қисықтың әрбір бөлігі үшін тәжірибелік жолмен болжамды температура өткізгіштік ( $a_k$ ) пен геометриялық жағынан күйдірілетін бұйымға ұқсас формасы бар үлгі ортасы мен біткі бөлігі арасындағы температуралардың ең көп орын алуы мүмкін ауытқуы анықтайды.

$$wt = a_k K_\phi \Delta t_1 / R^2$$

формуласы бойынша бұйымның қызуының орын алуы мүмкін жылдамдығын,  $^{\circ}\text{C}/\text{г}$  анықтайды.

Мұндағы  $K_\phi$  – форма коэффициенті (түпсіз цилиндр үшін  $K_\phi = 4$ );  
 $\Delta t_1 = (t_a - t_u)$  – күйдірудің температуралық қисығының есептеліп отырған бөлігі үшін үлгінің беткі жағы ( $t_n$ ) мен оның орталығы ( $t_u$ ) арасындағы температуралық орын алуы мүмкін ауытқуы;  $R$  – бұйымға тән мөлшер, м (цилиндр мен шар үшін – радиус, пластина үшін – қалдықтың жартысы).  
Бұйымды қыздыруға кететін уақытты (с), мына формуламен анықтайды

$$\Delta r_1 = \Delta t_2 / wt$$

мұндағы  $\Delta t_2 = t_n - t_k$  ( $t_n, t_k$  – сәйкесінше температуралық қисықтың есептеліп отырған бөлігінің бастапқы және ақырғы температурасы).