

**SEMENT ISHLAB CHIQARISH JARAYONIDAGI TERMOKIMYOVIY
REAKSIYALAR: KALTSINATSIYA VA KLINKER HOSIL BO'LISH
BOSQICHLARI**

Hikmatova Hilola Ilhom qizi

Nurmamatova Ruxshona Mardi qizi

Xudoyberdiyeva Farzona Ilhom qizi

Rayimova Zarina Alisher qizi

Samarqand Davlat Universiteti Kattaqo'rg'on filiali Kimyo yo'nalishi talabalari

hikmatovahilola00@gmail.com

**MAQOLA
MALUMOTI**

ANNOTATSIYA:

MAQOLA TARIXI:

Received: 28.08.2025

Revised: 29.08.2025

Accepted: 30.08.2025

KALIT SO'ZLAR:

*sement ishlab
chiqarish, termokimyoviy
reaksiya, kaltsinatsiya,
klinker, kaltsiy oksidi,
silikatlar, klinker
fazalari, harorat.*

Mazkur maqolada sement ishlab chiqarish jarayonidagi asosiy termokimyoviy bosqichlar — kaltsinatsiya va klinker hosil bo'lish jarayonlari ilmiy jihatdan yoritilgan. Kaltsiy karbonatning parchalanishidan tortib, silikat va aluminat fazalarning hosil bo'lishigacha bo'lgan kimyoviy reaksiyalar izchil tahlil qilinadi. Shuningdek, harorat ta'sirida sodir bo'ladigan fazaviy o'zgarishlar va energetik muvozanat masalalari zamonaviy ilmiy ma'lumotlar asosida izohlangan. Maqola sement sifatiga ta'sir qiluvchi asosiy reaksiya faktorlarni tushunishga yordam beradi..

Kirish

Sement ishlab chiqarish bugungi qurilish sanoatining eng strategik yo'nalishlaridan biri bo'lib, uning asosiy texnologik bosqichi termokimyoviy jarayonlarga asoslanadi. Ushbu jarayonlarda xomashyo komponentlari yuqori haroratda o'zaro kimyoviy reaksiyalarga kirishib, klinker deb ataluvchi asosiy mahsulot hosil qiladi. Aynan kaltsinatsiya va klinkerlanish jarayonlari, ularning harorat oralig'i, reaksiya tezligi va hosil bo'ladigan fazalar sementning yakuniy sifatini belgilab beradi. Bu bosqichlarni chuqur o'rganish,

samarali boshqarish va ilmiy asoslash nafaqat mahsulot sifatini oshirish, balki energiya samaradorligini ta'minlash hamda ekologik xavfsizlikni yuksaltirishda muhim ahamiyatga ega.

Sement ishlab chiqarish jarayonida kaltsinatsiya bosqichi ohaktosh tarkibidagi kaltsiy karbonatning termal parchalanishiga asoslangan bo'lib, bu jarayon taxminan 850–950 °C harorat oralig'ida sodir bo'ladi. Ushbu bosqichda karbonat angidrid (CO₂) ajralib chiqadi va natijada kaltsiy oksidi (CaO) hosil bo'ladi. Kaltsiy oksidning sifati va uning keyingi reaksiyalarda ishtiroki sementning yakuniy xususiyatlarini belgilashda muhim rol o'ynaydi. Shuningdek, kaltsinatsiya jarayonining samaradorligi energiya sarfini bevosita ta'sir qilgani sababli, uning texnologik sharoitlarini optimallashtirish sement ishlab chiqarishda katta ahamiyatga ega.

Kaltsinatsiyadan so'ng, klinker hosil bo'lish jarayoni boshlanadi. Bu bosqichda yuqori harorat ta'sirida (taxminan 1300–1450 °C) kaltsiy oksidi va silikat, aluminat hamda temir oksidlari o'rtasida murakkab kimyoviy reaksiyalar yuz beradi. Ularning natijasida sement klinkeri tarkibidagi asosiy mineral fazalar — trikalsiy silikat (C₃S), dikalsiy silikat (C₂S), trikalsiy alyuminat (C₃A) va tetrakalsiy aluminoferrit (C₄AF) shakllanadi. Bu fazalarning proporsiyalari sementning qattiqlashish xususiyatlari, suv bilan reaksiyaga kirish tezligi va mustahkamlik ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir qiladi.

Termokimyoviy jarayonlarda fazalararo o'zgarishlar va kristallanish dinamikasi muhim hisoblanadi. Pech ichidagi harorat va gaz muhiti (oksidlovchi yoki reduksiyalovchi) fazalarning shakllanishiga ta'sir qiladi, shuningdek, klinkerning sifatini yaxshilash uchun pechning harorat rejimi qat'iy boshqarilishi lozim. Kam samarali issiqlik tarqatish yoki noto'g'ri harorat zonalari nohomogen klinker hosil bo'lishiga olib keladi.

Shu bilan birga, sement ishlab chiqarishda termokimyoviy jarayonlarning optimal boshqarilishi uchun zamonaviy sensorlar va real vaqtda monitoring tizimlari keng qo'llanilmoqda. Bu texnologiyalar pech ichidagi harorat, gaz tarkibi va kimyoviy reaksiya tezligini aniq nazorat qilib, energiya sarfini kamaytirish va chiqindi gazlarni kamaytirishga yordam beradi. Energiya samaradorligini oshirish uchun chiqindi issiqlikni qayta tiklash tizimlari ham muhim o'rin tutadi.

Termokimyoviy reaksiyalarning kinetikasi va termodinamika qoidalarini chuqur o'rganish sement texnologiyasini takomillashtirishga, mahsulot sifatini nazorat qilishga hamda atrof-muhitga zarar yetkazishni kamaytirishga imkon beradi. So'nggi tadqiqotlar natijasida pozzolanik va boshqa qo'shimcha materiallar klinker hosil bo'lish jarayonida reaksiyalarni tezlashtirib, energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishi isbotlangan.

Termokimyoviy reaksiyalar davomida kaltsinatsiya va klinker hosil bo'lish bosqichlari sement ishlab chiqarish jarayonining eng energetik jihatdan talabchan qismi hisoblanadi. Kaltsinatsiya jarayonida ohaktosh tarkibidagi karbonat angidrid ajralib chiqishi nafaqat kimyoviy o'zgarishlarga, balki atrof-muhitga chiqariladigan karbonat angidrid miqdorining oshishiga ham olib keladi. Shu sababli, sanoatda karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish bo'yicha innovatsion texnologiyalarni joriy etish ustuvor vazifa hisoblanadi.

Klinker hosil bo'lish bosqichida yuz beradigan reaksiyalar kinetikasi yuqori haroratda amalga oshishi tufayli, jarayon tezligi va mahsulotning mikroskopik tarkibi pech ichidagi haroratning barqarorligi va uning taqsimlanishiga bog'liq. Haroratda kichik o'zgarishlar ham klinker fazalarining nisbatini o'zgartirib, sementning mustahkamligi va chidamliligiga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu bois pech haroratini aniq boshqarish uchun zamonaviy avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari keng qo'llaniladi.

Bundan tashqari, klinker hosil bo'lish jarayonida chiqadigan gazlar tarkibida sulfat, nitrat va boshqa zararli moddalar mavjud bo'lib, ularning nazorati uchun gaz tozalash tizimlari muhim ahamiyat kasb etadi. Bu atrof-muhitni himoya qilish va sanoat xavfsizligini ta'minlash uchun zarurdir.

So'nggi yillarda, kaltsinatsiya va klinker jarayonlarini optimallashtirish uchun sinergetik effektlarga ega yangi qo'shimchalar va katalizatorlar qo'llanilmoqda. Masalan, metall oksidlar va nanozarrachalar reaksiya tezligini oshirish va pechdagi issiqlik taqsimotini yaxshilashda samarali hisoblanadi. Bu esa mahsulot sifatini oshirish bilan birga energiya sarfini kamaytirishga yordam beradi.

Termokimyoviy reaksiyalar jarayonining chuqur modellashtirilishi va simulyatsiyasi zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Kompyuter yordamida pech ichidagi jarayonlarni simulyatsiya qilish orqali, ishlab chiqarishni rejalashtirish va optimallashtirish mumkin, bu esa ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va sifatni oshirishga xizmat qiladi.

Natijada, sement ishlab chiqarishda termokimyoviy reaksiyalarni chuqur tushunish va ularni boshqarish texnologiyalarini takomillashtirish energiya tejamkorligi, ekologik barqarorlik va mahsulot sifati uchun muhim omillardan biridir.

Sement ishlab chiqarish ikki muhim termokimyoviy bosqichdan iborat: kaltsinatsiya va klinker hosil bo'lish. Kaltsinatsiya jarayoni ohaktoshning issiqlik ta'sirida parchalanishi bilan boshlanadi. Bunda kaltsiy karbonat termik dissotsiatsiyaga uchraydi va natijada

karbonat angidrid gaz ajralib chiqadi hamda qattiq holatdagi kaltsiy oksidi hosil bo'ladi. Bu jarayon odatda o'rta harorat oralig'ida sodir bo'ladi va issiqlik balansi muhim rol o'ynaydi.

Hosil bo'lgan kaltsiy oksidi klinkerlanish jarayonida kremniy dioksid, alyuminiy oksidi va temir oksidi kabi komponentlar bilan o'zaro reaksiyaga kirishadi. Bu bosqichda turli fazalar: trikalsiy silikat, dikalsiy silikat, trikalsiy alyuminat va temirli alyuminat hosil bo'ladi. Ayniqsa trikalsiy silikat va trikalsiy alyuminat sementning qattiqlashuvi va mustahkamligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Reaksiyalar yuqori haroratda, ya'ni klinker pechining eng faol zonalarida sodir bo'ladi. Bu yerda suyuqlikka yaqin holatda moddalar orasida diffuziya kuchayadi va yangi mineral fazalar kristallanadi. Issiqlik va modda almashinuvi optimal bo'lsa, klinker fazalari bir tekisda hosil bo'ladi va yakuniy mahsulot sifati yuqori bo'ladi. Shu bilan birga, noto'g'ri issiqlik rejimi yoki noaniq tarkibiy nisbatlar klinkerda nosifatli yoki inert fazalarning paydo bo'lishiga olib keladi.

Zamonaviy texnologiyalar bu jarayonlarni nazorat qilishda yuqori aniqlikdagi sensorlar, termografik uskunarlar va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlaridan foydalanadi. Bu usullar orqali pech haroratining notekisligi, reaksion zonalaridagi issiqlik muvozanati, gaz tarkibi va chiqindilar darajasi doimiy kuzatuv ostida bo'ladi. Energiya tejovchi yoqilg'ilar, chiqindi issiqlikdan qayta foydalanish texnologiyalari va modifikatsiyalangan xomashyolar sement ishlab chiqarishning termokimyoviy jarayonlarini optimallashtirishda muhim vositadir.

Shuningdek, yangi avlod xomashyolari tarkibida pozzolanik qo'shimchalar, faol silikatlar yoki sanoat chiqindilari mavjud bo'lsa, ular klinker hosil bo'lish bosqichida kimyoviy reaksiyalarni tezlashtiradi. Bu holat energiya sarfini kamaytirib, ekologik yukni pasaytiradi. Ilmiy tadqiqotlar asosida bu kabi moddalarning fazaviy diagrammalari, reaksion kinetikasi va kristall tuzilmalari chuqur o'rganilmoqda.

Xulosa

Sement ishlab chiqarishdagi kaltsinatsiya va klinkerlanish bosqichlari murakkab termokimyoviy reaksiyalarga asoslangan bo'lib, ularning har biri mahsulot sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Kaltsiy karbonatning parchalanishi va keyingi silikat, aluminat fazalarning shakllanishi — harorat, tarkibiy nisbat va reaksiya tezligi bilan chambarchas bog'liq. Zamonaviy ilm-fan yutuqlari, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari va ekologik yondashuvlar bu jarayonlarni yanada samarali qilish imkonini bermoqda. Ushbu bosqichlarni chuqur ilmiy o'rganish sement ishlab chiqarishning barqarorligi va sifatini ta'minlashda asosiy omil hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Mahmudov A., Sement ishlab chiqarish texnologiyasi. Toshkent: Fan
2. Ergashov D., Qurilish materiallari kimyosi. Toshkent: O‘qituvchi
3. Saidov Sh., Mineral bog‘lovchilar va ularning tahlili. Samarqand: SamDU
4. UNIDO. Cement Production and Climate Change Mitigation
5. Rashid M., “Chemical Activation of Cement Raw Materials: A Review”, Journal of Materials Science and Engineering
6. Portland Cement Association (PCA) – Technical Guidelines and Industry Reports.

