

666.9  
084

Г.А.ОТАҚҰЗИЕВ, Э.Т.ОТАҚҰЗИЕВ

# БОҒЛОВЧИ МОДДАЛАР



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС  
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ ЎРТА МАХСУС,  
КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИ МАРКАЗИ

38.6.26.1  
0-87  
ЎРТА МАХСУС, КАСБ-ҲУНАР ТАЪЛИМИНИ  
РИВОЖЛАНТИРИШ ИНСТИТУТИ

Т.А. ОТАҚҶЗИЕВ, Э.Т. ОТАҚҶЗИЕВ

# БОҒЛОВЧИ МОДДАЛАР

Касб-ҳунар коллежлари учун дарслик

4288-10

ISLON KUTUBXONA  
N. KUNOVI TITU  
OLMAYI FILALI  
AKBORDI-SHARH S. YERKIN  
(KUTUBXONA)

Ohangaron shahar sanoat  
kasb-hunar kolleji  
KUTUBXONASI

№ 2889/16  
10.10.2020

QAYD ETILGAN

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим  
вазирлиги Ўрта махсус, касб-хунар таълими марказининг  
илмий-методик кенгаши томонидан нашрга тавсия этилган*

Ушбу дарслиқда оҳақ, гипс, магнезиал боғловчи моддалар ва турли цементлар тайёрлашнинг технологик схемалари, улар олинadиган хом ашё ҳамда бу материаллар тавсифи ва таснифига доир маълумотлар берилган. Боғловчи моддалар, хусусан клинкер ҳосил бўлишида ва унинг асосида олинган цементнинг қотишида рўй берadиган жараёнлар, бу материалларга хос физик-механик хоссалар ҳамда уларни ишлатиш соҳалари ёритилган. Шунингдек, цементнинг махсус турлари тўғрисида ҳам сўз юритилган.

Китобда атроф-муҳит муҳофазасига, айниқса, фосфогипс ўғит саноати чиқиндисининг хосса ҳамда хусусиятларига, ишлатилишига кенг ўрин ажратилган.

*Тақризчилар:* **Н.САМИФОВ** — Тошкент архитектура ва қурилиш институтининг профессори, **А.ЭМИНОВ** — Тошкент кимё-технология институтининг профессори, **О.АКБАРОВ** — Тошкент шаҳар Ҳамза номли қурилиш касб-хунар коллежининг директори.

## КИРИШ

Халқ хўжалиги ривожланишида қурилиш материаллари ғоят катта аҳамиятга эга. Кун сайин ўсиб бораётган саноат ва уй-жой қурилиши уларга бўлган эҳтиёжни янада оширмоқда. Шунинг учун бу материалларнинг турларини, қандай буюмлар ясашда иш беришини ҳамда уларни ишлаб чиқариш технологиясини ўрганиш ва билиш ҳар бир қурувчи-мутахассис учун муҳимдир. Бинобарин, мутахассис қуйидагиларни яхши билиши лозим: а) материаллар ишлаб чиқариш учун ишлатиладиган хом ашё; б) унга ишлов бериб, буюм тайёрлаш жараёни; в) материалларнинг хоссалари, уларни синаш ва қабул қилиш; г) ташиш ва сақлаш усуллари; д) қурилишда керакли жойларда ишлатиш; е) тежаш йўллари.

Қурилиш материалларидан тайёрланган маҳсулот қурилиш буюмлари ёки конструкциялари деб аталади. Гишт блоклари, темир-бетон буюмлар, конструкциялар, ёғоч ва бошқалар шулар жумласидандир.

Бинокорлик ашёларини ишлаб чиқариш ва уларни хўжалик соҳаларида ишлатишнинг ўзига хос тарихи бор. Гил — энг қадимги ва кўп тарқалган қурилиш материали бўлиб, у инсоният тараққиётининг бошланғич давридаёқ ишлатилган. Вақт ўтиши билан одамлар гилдан ҳар хил шаклдаги буюмлар тайёрлашни ўрганган. Гилнинг мустақамлигини ошириш мақсадида уни қуритиш ҳамда куйдириш такомиллаштирилиб борилган.

Боғловчи моддаларнинг бундан 4—5 минг йил аввал сунъий йўл билан ҳосил қилинганлиги маълум. Миср, Юнонистон, Рим ва Бобилда оҳақ ва гидравлик қўшимчалар қоришмасидан иборат бетондан бунёд этилган бинолар ҳозиргача сақланиб келмоқда. Ички ва ташқи қисми металл чиқиндиларидан ясалган турли шаклдаги нақшиндор кошинлар билан безатилган тарихий обидаларни бунёд этишда гил, тош, ёғоч тўсинлар, турар жойлар учун эса қамиш, пальма шохлари ва бошқа материаллар кўплаб ишлатилган.

Мамлакатимизда бинокорлик материаллари ишлаб чиқариш жуда қадимдан йўлга қўйилган. Бинокорлар орасида аста-секин ихтисослашув юз бериб, ғишт терувчи, тоштарош, оҳак тайёрловчи ва бошқа касб усталари ажралиб чиқади. Шаҳар деворлари, миноралар, масжид ва қасрлар (масалан, Бухоро, Самарқанд, Хива ёдгорликлари) каби иншоотларни бунёд этишга киришилиши қурилиш материалларига бўлган эҳтиёжни оширган. Бундай қурилишларга турли қўшилмалар, ганч қоришмаси ва гилтупроқдан пиширилган япалоқ ғиштлар ҳамда табиий тошлар ишлатилган. Усталар вулқон шишаси, оқ гил (каолин), ҳайвон қони, тухум сариги, суяк елими, ширали моддалардан қоришмаларнинг мустаҳкамлиги ва чидамлилигини оширувчи қўшимча сифатида фойдаланишган. Самарқанддаги Улуғбек мадрасаси, Қўқондаги Худоёрхон ўрдасини қуришда бундай моддалар билан бирга чанг-ғишт ва оҳак-ғишт қоришмасидан иборат бетон кўп ишлатилган.

XIX аср охири ва XX аср бошидан эса цемент саноати жадал тараққиёт йўлига киради. Цементнинг ихтиро қилиниши бетон хоссаларининг яхшиланишига, кейинчалик эса, қурилиш техникасида янги давр очилишига олиб келди. Гидротехника иншоотларини қуриш зарурияти сувга чидамли боғловчи моддаларни излаш ва кашф этишни талаб қилса, темир-бетон конструкцияларининг қурилишда кенг ишлатилиши портландцементнинг тез қотувчи, мустаҳкам янги турларини яратиш эҳтиёжини туғдирди. Цементнинг денгиз суви, шўр таъсирида бузилиши аниқлангач, олиб борилган тадқиқотлар натижасида янги цемент тури — сульфатга чидамли портландцемент ихтиро қилинди. Бу эса қурилиш материаллари ишлаб чиқаришнинг бир неча марта ортишига имкон яратди. Шу билан бирга маҳсулотнинг сифати яхшиланиб, турлари ҳам кўпайиб борди ва янги технологик усуллар жорий этилди.

Темир-бетон конструкцияларга материал сарфини камайтириш ҳисобига уларнинг вазнини енгиллатиш, чидамлик муддатини ошириш, кенг юзали ва юпқа конструкциялар яратиш, мустаҳкамлиги юқори бўлган бетондан фойдаланиш ҳозирги кундаги асосий вазифалардан биридир. Бу эса цемент сифатини янада яхшилаш ва унинг маркасини оширишни тақозо этади. Мазкур соҳа тадқиқотчиларининг фикрича, 300 маркали бетон қоришмасини тайёрлашда 400 маркали портландцементга нисбатан 500 ва 600 маркали портландцемент ишлатилса, цемент 20 % гача кам сарфланиб, заводларда буюмларга

иссиқлик ёрдамида ишлов бериш муддати 3—4 соатга қисқаради, бу эса технологик линиялар унумдорлиги ва металл қолипларининг ишлатилиш тезлиги ортиб, уларга бўлган эҳтиёж эса 15—20 % камайишига олиб келади. Монолит бетоннинг қотишини жадаллаштириш ҳисобига тайёр конструкцияларни фойдаланишга топшириш муддати тахминан 20 %га қисқаради. Ниҳоят, юқори маркали бетонларни кенг қўламда ишлатиш конструкцияларга материал сарфини қарийб 20 % ва уларнинг таннархини 8—10 % камайтириш имконини беради. Шундай қилиб, цемент фаоллигининг бир маркага (10 МПа) ортиши, уни ишлаб чиқариш миқдорини тахминан 15 % кўпайтириш билан баробардир. Бетон конструкцияларининг хилма-хиллиги, қурилиш ишлари шароитининг ўзгарувчанлиги ва турли ноқулай муҳит омиллари мутахассислар олдига махсус техник хоссага эга цемент ишлаб чиқариш вазифасини қўяди. ✓

Ҳозирги вақтда гидроэлектростанция ва транспорт иншоотларида, оддий ва олдиндан таранглаштирилган темир-бетон маҳсулотлари саноатида, денгиз ва океанлар тубида олиб бориладиган қурилишларда, автомобил йўллари ва аэропорт қурилишларида, нефт ва газ қудуқларини бургулашда, асбоцемент, ўтга чидамли бетон ва бошқа маҳсулотлар ишлаб чиқаришда ҳар қандай об-ҳаво шароитида, йилнинг барча фасларида ишлатиш мумкин бўлган махсус цементлар кенг қўлланилмоқда.

Кимёвий ва минералогик таркибига кўра, бир-биридан фарқланадиган бундай цементларга эҳтиёж йилдан-йилга ошиб бораётир. Ўзбекистонлик олимлар шу эҳтиёжни ҳисобга олиб, цемент ишлаб чиқариш саноати ходимлари билан ҳамкорликда қўшни мамлакатлар учун ҳам зарур бўлган махсус цементлар яратиб, ишлаб чиқаришга тавсия этишди.

Ўзбек олимларининг бетон тайёрлаш технологиясини мукамаллаштириш, портландцемент хоссаларини ўрганиш ва уларнинг ишлаб чиқариш технологиясини такомиллаштириш борасидаги ишлари алоҳида ўрин тутади.

Дарслиқда турли боғловчи моддаларнинг хом ашёлари, уларни олиш технологияси, гипс, оҳак ва цементнинг ҳосил бўлиш жараёнида кечадиган физикавий ва кимёвий жараёнлар батафсил тушунтириб берилган. Бундан ташқари, ушбу жараёнларга турли қўшилмаларнинг таъсирига алоҳида эътибор қаратилиб, боғловчи моддалар олишнинг турли усуллари, шунингдек, бу моддаларни хилма-хил конструкцияларда яна-

да самаралироқ ишлатиш имконини берувчи хосса ва хусу-  
сиятлар атрофлича баён этилган.

Дарсликда боғловчи материаллар қотиш жараёнларининг физик-кимёвий асослари ҳамда бу жараёнларни тезлаштириш ва бошқаришнинг мақбул усуллари, шунингдек, қотиш жараёнида ҳосил бўладиган янги бирикмалар микротаркибий тузилишининг қотган боғловчи материаллар, жумладан, бетонларнинг мустаҳкамлик, деформацияланиш ва ҳоказо хусу-сиятларига таъсири кўрсатиб ўтилган. Бундан ташқари, боғловчи моддалар саноатида кимё, рангли ва қора металлургия чиқиндилари, иссиқлик станцияларининг куллари, фосфогипс-экстракцион фосфор кислотаси ишлаб чиқариш корхоналари чиқиндиларидан фойдаланиш масалалари ҳам ўз ифодасини топган. Шунингдек, боғловчи моддалар ишлаб чиқариш борасида хориж фан ва техникаси эришган энг янги ютуқлар хусусида ҳам атрофлича маълумот берилган.

# ЎЗБЕКИСТОНДА ЦЕМЕНТ САНОАТИ

## 1 боб. ТАРМОҚНИНГ БАРПО ЭТИЛИШИ

### 1.Тараққиёт босқичлари

Марказий Осиёда, жумладан, Ўзбекистонда цемент саноати вужудга келишининг ўзига хос тарихи бор. 1926 йилнинг июнида ишга туширилган Бекобод цемент заводи минтақада бу соҳанинг илк корхонаси бўлди. Завод дастлабки уч йил давомида портландцемент ишлаб чиқаришни ўзлаштириб, йилга 28 минг тоннадан маҳсулот берди. Ўша кезларда замонавий ҳисобланган бу корхона соатига 4 тонна клинкер ишлаб чиқарадиган 45 метрли айланма печга, хом ашё ва клинкерни туювчи шарли тегирмонларга ҳамда 1000 кВт қувватли электростанцияга эга эди.]

1936—1937 йилдаги дастлабки таъмирлашдан кейин завод йилга 155000 тонна маҳсулот бера бошлади. 1959 йилги қайта таъмирлаш натижасида корхона кенгайтирилиб, иккита 118 метрли айланма печь ўрнатилди. 1961 йили эса 150 метрли учинчи печь ишга туширилди. Натижада заводнинг йиллик ишлаб чиқариш қуввати 720000 тоннага етди. Ишлаб чиқариш технологияси узлуксиз такомиллашувда давом этган завод эндиликда улкан корхонага айланди. 1970 йили унинг ишлаб чиқариш қуввати 800000 тоннани ташкил этган бўлса, 1990 йил охирига келиб, 1 миллион тоннага яқинлашди. Бунга печларнинг қувватини ошириш орқали эришилди.

Шуни айтиш керакки, мазкур заводда дастлабки вақтларда цементнинг асосий таркибий қисми бўлмиш оҳактошдан ташқари Сулуктадан келтириладиган махсус тупроқ ҳам ишлатилар эди. Ўзбекистон ФА академиги геолог олим А.С.Уклонский таклифига биноан 1927 йили бу тупроқ маҳаллий лёсс тупроғи билан алмаштирилди. Республика цемент саноати ҳозиргача асосан шу хом ашё ҳисобига ишлаб келмоқда.

1929 йили Қувасой цемент заводи қурила бошлади. 1932 йил 21 февралда фойдаланишга топширилган бу корхона шу йили 42,2 тонна цемент ишлаб чиқарди. Ўша пайтда асосий иш жараёни қўл кучи билан бажарилар эди. Технология такомиллашиб,

ишчи ва муҳандис-техник ходимлар малакасининг ошиб бориши туфайли биринчи беш йил ичида заводнинг йиллик ишлаб чиқариш қуввати 120500 тоннага етди. 1946—1951 йилларда қайта таъмирлаш натижасида эса унда цемент ишлаб чиқариш йилига 200000 тоннани ташкил қилди. 1951—1959 йиллар мобайнида заводда катта қайта таъмирлаш ишлари амалга оширилди. Натижада 150 метрли печлар билан жиҳозланган, тўла механизациялашган иккита технологик линия ишга туширилди. Шу даврга келиб барча печлар газда ишлашга ўтказилиши натижасида заводнинг ишлаб чиқариш қуввати 1960 йили 670000 тоннани, 1970 йили эса қарийб 800000 тоннани ташкил қилди. 1990 йил охирига келиб корхона 1 миллион тоннага яқин маҳсулот берди.]

Иккинчи жаҳон уруши даврида Россия заводларидан кўчириб келтирилган жиҳозлар ҳисобига Ангрен шахрида узунлиги 57,5 м, диаметри 3 м бўлган, соатига 6,2 тонна цемент ишлаб чиқариш қувватига эга бир печли завод қурилди. Бу муъжаз корхонанинг йиллик ишлаб чиқариш қуввати 40 минг тоннага ҳам етмас эди. 60-йилларнинг ўрталарида бу ерда қайта жиҳозлаш ишлари амалга оширилиб, 80 метрли печлар ўрнатилгач, унинг ўртача йиллик ишлаб чиқариш қуввати 50 минг тоннага етди.

Республикамизда оқ ва рангли цементга бўлган эҳтиёж катта эканлигини ҳисобга олган ҳолда Ангрен цемент заводи оқ цемент ишлаб чиқаришга ихтисослаштирилди. Лаборатория ва завод шароитида маҳаллий паст сифатли каолинитли тупроқдан ва Оҳангарон оҳактошидан жуда яхши қовушиб пишадиган, юқори мустаҳкамликка эга оқ цемент олиш мумкинлиги исботланди (техника фанлари номзоди М.Фулотов тавсиясига биноан). Бундай цементга турли ранг бериш ҳам осон эди. 1977 йилнинг бошига қадар Ангрен цемент заводи йилига 60 минг тонна оқ цемент ишлаб чиқарди. Унинг сифатини, хусусан, оқлик даражасини ошириш ва рангли хилларини кўпайтириш мақсадида заводни янги техника билан қайта жиҳозлаш ва 2-печни ўрнатиб, ишга тушириш зарурати туғилди. Бу тадбирларнинг амалга оширилиши туфайли завод қуввати икки марта ортди.

1968 йилнинг бошида Оҳангарон цемент заводи ишга туширилди. Ҳозир бу корхона йилига қарийб 2 миллион тонна цемент ишлаб чиқармоқда.

Ўзбекистон цементчилари олимлар билан олиб борган ҳам-

корликларининг самараси ўлароқ уй소злик учун тез қотади- ган, ирригация иншоотларида ишлатиладиган сульфатга чи- дамли, нефт ва газ қудуқлари учун тампонаж цемент, йўл қури- лиши ҳамда пардозлаш ишларига мўлжалланган оқ рангли цемент ҳамда цементнинг бошқа турларини ишлаб чиқариш- ни ўзлаштирдилар.]

Корхоналардаги мавжуд имкониятлардан тўлиқ фойдала- ниш, янги хом ашё манбаларини сўнгги технология схемала- ри асосида ишга солиш лойиҳалари яратилмоқда. Оҳангарон каолини, алунити, Олмалик, Самарқанд аммофос заводлари- нинг чиқиндиси бўлган фосфогипс ва бошқа минерал хом ашё- ларни комплекс қайта ишлаш натижасида қўшимча равишда кўплаб цемент ишлаб чиқариш имконияти пайдо бўлди.

"Южгипроцемент" (Украина) институти лойиҳаси асо- сида қад кўтарган Навойдаги «Қизилқумцемент» заводи кўп жи- ҳатлари билан одатдаги корхоналардан фарқ қилади. Марка- зий Осиёда биринчи мартаба "қуруқ усул" технологияси асо- сида ишлай бошлаган корхонада хом ашёни куйдириш учун сарфланадиган ёнилғи 30—35 % тежалади. Бу усул иш жараё- нида кўп чанг ажралиб чиқишига сабаб бўлиши боис узоқ вақт қўлланилмай келди. Ҳақиқатан ҳам цемент чанги атроф-му- ҳит ҳавосини ифлослантириб, маълум даражада зарар келти- рар эди. Янги корхонада хом ашёни куйдиришга тайёрловчи улкан (баландлиги 20 қаватли бинога тенг) циклонли иссиқ ал- маштиргичлар ўрнатилган бўлиб, улар қўшимча чанг тозалаш мосламалари билан биргаликда ҳавони тозалаб туради.

Корхонада ишлаб чиқариш жараёнлари юқори даражада механизациялаштирилган ва автоматлаштирилган. Ҳозир бу ерда бошқа цемент корхоналарида ишлаб турган энг йирик айланувчи печлардан диаметри бир ярим-икки баробар катта — 7 метр ва узунлиги 95 метр бўлган печлар илк бор ўрнати- лган. Улар ҳар ишчи бошига 2700 тонна цемент ишлаб чиқари- лишини таъминлайди. Бу эса ҳозирги кунда ҳатто АҚШ ва Япониянинг энг илғор цемент заводлари кўрсаткичларидан анча устундир.

Хом ашёни кондан узатиш, уни меъёрлаш, пишириш, туйиш, технологик режимларнинг тўғри ишлашини таъминлаш каби жараёнлар программали бошқарувга ва автоматик тузилмага таъминлаш электрон ҳисоблаш машиналари ёрдамида кузатиб тури- лади. Амалдаги печларга циклонли иссиқлик алмаштиргичлар ўрнатилса, иш унуми 20—25 % га ортади, ёнилғи сарфи 30—35 %,

шунингдек, маблағ ва металл сарфи сезиларли даражада камаяди.

Ҳозирги вақтда мамлакатимизда "қуруқ усул"да ишлаб чиқарилаётган цемент жами маҳсулотнинг 50 фоизини ташкил этади. Айни пайтда бир қатор хорижий мамлакатларда бу усул етакчи ҳисобланиб, унинг умумий салмоғи 90 % гача етади. Мамлакатимиз цемент саноатидаги бундай ҳол бартараф этилиб, корхоналарнинг "қуруқ усул"га ўтказилиши сўзсиз катта иқтисодий самара беради.

## 2. Илмий-техника тараққиётининг самараси

Ўзбекистон қурилиш материаллари саноати замонавий асбоб-ускуна, илғор технология ва ишлаб чиқаришнинг поток-конвейер усуллариغا, автоматлаштиришнинг замонавий воситаларига асосланган тармоққа айланмоқда. Ҳозирда цемент, йиғма темир-бетон, асбоцемент ва бошқа маҳсулотларни ишлаб чиқарувчи бир қанча муҳим тармоқлар самарали фаолият кўрсатяпти.

Асосий қурилиш материалларидан бўлган цементни «қурилиш нони» деб аташади. Цемент саноатини техник жиҳатдан қайта қуролантириш ва шу йўл билан технологик жараёнларнинг юқори самарадорлигига эришиш унинг янада жадал ривожланишига олиб келади.

Ушбу тармоқнинг техникавий базасини қуйидаги муҳим омиллар ҳисобига янада раванқ топтириш мумкин:

1. Янги ва янада унумли печлар, тегирмонлар, шунингдек, бошқа турдаги асбоб-ускуналар (агрегатлар, машина, механизм ва аппаратлар)ни ишга тушириш.

2. Асбоб-ускуналарни модернизациялаш.

3. Мавжуд технологик жараёнларни такомиллаштириш ва янги технологик жараёнларни жорий этиш.

4. Ишлаб чиқаришдаги оғир ва сермеҳнат ишларни механизациялаш ва комплекс автоматлаштириш.

5. Илмий тадқиқотларнинг натижаларини ишлаб чиқариш амалиётига татбиқ этиш.

6. Материаллар ва ёнилғиларнинг янги турларини ишлаши, асосий ҳамда ёрдамчи материаллар хом ашёси сифатини яхшилаш.

Цемент саноати корхоналарининг техник даражасини юксалтиришнинг асосий йўналишларидан бири янги, қувватли

асбоб-ускуналарни яратиш ва ўзлаштиришдан иборат. Шуни айтиш керакки, цемент ишлаб чиқариш ҳажми фақат янги заводлар қуриш ҳисобига эмас, балки клинкер куйдириладиган печлар ва майдалаш агрегатларининг янги турларини жорий қилиш йўли билан ҳам кўпайтирилади. Ҳозирги вақтда қўлланилаётган узунлиги 150—185 м, диаметри 4—5 м бўлган айланувчи печлар ўрнига яқин вақтларда дунёда энг йирик — узунлиги 230 м ва диаметри 7 м бўлган, соатига 125 тонна ёки йилига 1 миллион тонна клинкер ишлаб чиқариш қувватига эга печлар, шунингдек, диаметри 7 м, узунлиги 95 м ва циклон иссиқлик алмаштирувчиси бўлган печлар қўлланилади. Янги печлар 150 метрли печларга нисбатан 5 марта, 185 метрли печларга нисбатан эса 1,7 марта унумдир. Тонна-қувват ҳисобидаги солиштирма капитал сарфлар тегишлича 40—15 %, клинкер куйдириш таннархи 20—10 % кам. «Қизилқумцемент» корхонасида иккита шундай линия ишлаб турибди.

Юқори унумли асбоб-ускуналарни қўлланишнинг катта иқтисодий самара беришига Оҳангарон цемент заводида ишга туширилган 7 километр узунликдаги тасмали транспортёр яққол мисол бўла олади. Майдалаш фабрикасида оҳактош етказиб берувчи биринчи бу транспортёр ўн йиллар мобайнида нуқсонсиз ишлаб келяпти. Шу даврда умумий узунлиги 14000 м. ли тасманинг 700 м қисми ёки 5 фоизи алмаштирилди, холос. Тасманинг туташадиган қисмлари узилганда вулканизация усулида бириктирилади. Уч сменали ишда транспортёрга 26 киши хизмат қилади. Бу усулда ташилган хом ашё таннархи автомобил транспортида ташилганига нисбатан анча пастдир.

Техника ютуқларини жорий этишнинг яна бир йўли асосий технология асбоб-ускуналарини модернизациялаш борасида комплекс ишлар олиб боришдан иборат. Масалан, Оҳангарон цемент заводида печь совутгичлари ва юритмаларини ўзлаштириш туфайли айланувчи печлардан фойдаланиш коэффициенти 1—1,5 % ортди. Бекобод цемент корхонасида айланувчи печнинг қайта таъмирланиши (диаметри 3 м. дан 3,6 м. гача катталаштирилиши) натижасида меҳнат унумдорлиги анча ошди. Ҳозир бошқа печлар ҳам қайта таъмирланмоқда.

1 ва 2-жадваллардан кўриниб турибдики, 3,6x3,3x3,6x150 м ўлчамли печларда кенг кўламли қайта таъмирлаш ишларини олиб бориш, уларнинг узунлигини 170 метрга қадар, диаметрини эса 4,6—5 м. га қадар кенгайтириш, такомиллашган клин-

Қайта таъмирланган печларда маҳсулот ишлаб чиқарилишига доир баъзи маълумотлар («Южгипроцемент» маълумотлари)

Қайта таъмирлаш хусусиятлари	Печлар сони	Клинкер ишлаб чиқаришнинг йиллик ўсиши (минг тонна)	
		Барча печларда	Бир агрегатда
Узунлиги 108 метргача бўлган ва иссиқлик алмаштирувчи қурилмаларсиз печларда асосан бугланиш зонаси диаметрини кенгайтириш йўли билан профилни ўзгартириш.	90	2000	22
Шахта печларда дам бериш асбобининг қайишқоқлигини ошириш.	22	600	27
Қисқа печлар диаметрини 3,6 метргача кенгайтириш, шлам концентраторларини ўрнатиш.	30	1500	50
Узунлиги 127 ва 118 метрли печлар диаметрини 3,6 метргача кенгайтириш.	30	1500	50
Узунлиги 150 метр бўлган печлар диаметрини 4 метргача кенгайтириш.	7	500	70
Ишлаб чиқариш жараёни қуруқ усулда олиб бориладиган қисқа печлар диаметрини 3,6 метрга қадар кенгайтириш, циклонли иссиқлик алмаштиргичлар ўрнатиш.	6	600	100
Ишлаб чиқариш жараёни қуруқ усулда олиб бориладиган 3x50 метр ўлчамли печларни 3,6x118 метр ўлчамли печлар билан алмаштириш.	—	190	95

кер совуттичларини ўрнатиш печларнинг самарадорлигини оширади. Бундан ташқари, печлар янада такомиллашган таянч қурилма конструкцияларига, куйдириш жараёнларини автоматик ростлаш тизимига, печнинг ҳолатини ва корпус қизишини кузатиб туриш аппаратларига эга бўлиши керак.

Ҳозирги вақтда 5x185 м. ли йирик печларни модернизациялашнинг энг самарали усуллари изланилмоқда.

Қувасой цемент корхонасида эски, иш унуми паст айланувчи печларнинг юқори унумли печларга алмаштирилиши на-

## «Южгипроцемент» да печлар қайта таъмирланишининг иқтисодий самарадорлиги

Печларнинг ўлчами		Иш унуми		Маҳсулот ишлаб чиқаришнинг ортиши		Металл сарфи	
Қайта таъмирлашга қадар	Қайта таъмирлашдан сўнг	Қайта таъмирлашга қадар	Қайта таъмирлашдан сўнг	т/соат	Бир йилда (минг тонна)	Жами (тонна)	Қувват ортиши бирлигига (тонна)
3,6x3,3x3,6x150	4x3,6x4x150	25	33	8	64	750—1005	12,16
3,6x3,3x3,6x150	4,5x150	25	42	17	130	2100	16
3,6x3,3x3,6x150	5,0x150	25	50	25	200	—	—
3,6x3,3x3,6x150	5x4,5x5x170	25	62	37	300	2770	9,5
4x150	4,5x4x4,5x150	33	42	9	72	1331	18,5
4x150	5x150	33	50	17	130	—	—
4,5x170	4,5x5x170	50	55	5	40	—	—
4,5x170	5,4x5x170	50	62	12	96	1620	17
5x185	5,6x5x5,6x185	70	80	10	80	2000	25
5x185	5,7x5x6,1x185	70	90	20	160	—	—

тижасида унумдорлик ошди. Шунингдек, амалдаги технологик жараёнларни такомиллаштириш ҳамда янгиларини жорий этиш асосида ҳам цемент ишлаб чиқариш кўпаймоқда. Чунончи, 5x185 метр ўлчамдаги печлар билан замонавий технологик линияларни ишга тушириш технологик асбоб-ускуналар оғирлигини 3,6x3,3x3,6x150 метр ўлчамли печга нисбатан (бир соатдаги унумдорликнинг 1 тоннаси ҳисобида) 15 %, қурилиш кубатурасини 30 %, капитал маблағларни 12 %, меҳнат сарфини 2,5 %, куйдириш таннархини 15 % камайтириш имконини беради.

Тўртта технологик линияси бўлган 5x185 метр ўлчамли печлар билан жиҳозланган цемент заводлари йилига 2,4 миллион тонна маҳсулот ишлаб чиқариш қувватига эга. Иккита шундай технологик линияли заводларнинг ишлаб чиқариш қуввати эса 1,2 миллион тонна цементни ташкил қилади. Шунда иккинчи корхонага нисбатан биринчисида 1 тонна маҳсулот ишлаб чиқаришга солиштира капитал маблағлар сарфи 15—20 %, таннарх эса 5 % кам бўлади. 2,4 миллион тонна маҳсулот ишлаб чиқариш қувватига эга завод учун солиштира капитал маблағ ва маҳсулот таннархини ҳамда цементнинг 700 километр масофага ташилишини ҳисобга олувчи чиқимлар 1,2 миллион тонна маҳсулот 300 километр масофага ташилаётган корхона сарф-харажатлари билан барабар келади.

Ҳозир мамлакатимизда ялпи цемент маҳсулоти ҳажмининг 50 % га яқини ҳўл усулда ишлаб чиқарилмоқда. Лекин янги технология негизда қайта вужудга келган ва анча тежамли ҳисобланган қуруқ усулнинг истиқболи порлоқ.

Суткасига 3000 тонна клинкер ишлаб чиқариш қувватига эга 7x6,4x95 метр ўлчамли печда маҳсулотни қуруқ усулда ишлаб чиқариш технологиясини яратиш ва жорий этиш муҳим аҳамиятга эга («Қизилқумцемент» заводи). Мазкур қурилманинг самарадорлигини шундан ҳам билиш мумкинки, бу усул линияларидаги ишчиларнинг меҳнат унумдорлиги ҳозирда мавжуд бошқа линиялардагиларникидан тахминан икки барабар юқоридир. Шу билан бирга 1 тонна клинкер олиш учун ёнилги 1,5—2 марта кам сарфланган.

Бекобод, Қувасой ва бошқа цемент корхоналари 60—100 метр узунликдаги печлар билан жиҳозланган. Циклонли иссиқлик алмаштиргич ўрнатиш йўли билан уларни қуруқ усулга ўтказиш мақсадга мувофиқдир.

Республикаимиз цемент корхоналарида асосий технологик

жараёнларни автоматлаштириш, сермеҳнат ишларни механизациялаш, маҳсулот сифатини яхшилаш кўзда тутилган. Автоматик ағдаргичли вагонлар, тошқол, гипс ва бошқаларни бўшатувчи тебранма ағдаргичларнинг қўлланилиши меҳнат унумдорлигини 25 % оширади. Ташиш, сақлаш, ортиш-бўшатиш жараёнларида жами цементнинг 6—8 % исроф бўлади. Бу кўрсаткични ўртача бир фоизга камайтириш ҳисобига йилига бир неча минг тонна цемент тежаш мумкин.

Печь ва кукунлаш агрегатларининг технологик жараёнлари автоматик тарзда созланиб турилиши лозим. Ҳисоблашлардан маълум бўлишича, печлардан (4x150; 4,5x170 ва 5x185 метр) илгор заводларда эришилган даражага етказиб фойдаланиш ана шундай печли корхоналарда ишлаб чиқариш унумдорлигини 7—10 % ошириш имконини беради.

Технологик жараёнларни автоматлаштириш ва механизациялаш айланувчи печлардан ҳам яхши фойдаланишга олиб келади.

Цементчи мутахассислар олдида илмий тадқиқотлар борасида ҳам катта вазифалар турибди. Улардан муҳими — суткасига 5000 тонна (соатига 200 тонна) клинкер ишлаб чиқариш қувватига эга айланувчи печли автоматлаштирилган линияда цементни қуруқ усулда ишлаб чиқариш учун зарурий технология ва қурилмалар яратишдир.

«Қизилқумцемент» корхонасида 7x6,4x95 метр ўлчамли айланувчи печга эга учта технологик линия бўлиб, уларнинг ҳар бири соатига 125 тонна клинкер етказиб беради. Заводнинг йиллик цемент ишлаб чиқариш лойиҳавий қуввати 1990 йили 3,4 миллион тоннага етказилди. Иккинчи босқичда белгиланганига кўра, алоҳида технологик жараёнлар истиқболи ҳал этилишини ҳисобга олиб, бу кўрсаткич 4,6 миллион тонна бўлиши кўзда тутилган. Лойиҳада 4-линияни қуриш ҳамда барча технологик жараёнларда юқори қувватли асосий ва ёрдамчи асбоб-ускуналар ишлатиш, хом ашё аралашмасини тайёрлаш, майдалаш, қуритиш, клинкерни куйдириш ҳамда совитиш, цементни кукунлаш ва тайёр маҳсулотни ортиш операцияларини ўз ичига олган ишлаб чиқариш жараёнларини оптималлаштини таъминловчи автоматлаштирилган бошқариш тизимини жорий этиш мўлжалланган. Бундан ташқари, чангли газни ва ҳавони тозалаш, иш жараёнида чанг чиқарувчи барча асосий ҳамда ёрдамчи технологик жараёнлар аспирациясининг самарали схемаларини ишлатиш кўзда тутилган.

Белгиланган бу барча тадбирларнинг амалга оширилиши натижасида республикада ишлаб чиқарилаётган цемент сифати янада яхшиланиб, хиллари ҳам кўпаяди. Цементнинг тез қотадиган, ўта мустаҳкам, ҳажман кенгайдиган, пластификацияланувчи, гидрофоб, манзарали (оқ ва бошқа ҳар хил рангли) ҳамда қимматли энергия тежовчи технологияга асосланган бошқа махсус хилларини ишлаб чиқариш ҳажми анча ортади.

### 3. Анорганик (минерал) боғловчи материаллар

Анорганик ёки минерал боғловчи материаллар кукунсимон бўлиб, майда ва йирик тўлдиргичлар билан қўшиб сувда қорилганда суyoқ ёки пластик қоришма ҳосил қилади ва аста-секин қотиши натижасида сунъий тошга айланади. Ишлатилиши ва хоссаларига кўра, анорганик боғловчиларни қуйидаги гуруҳларга бўлиш мумкин:

1. Ҳавода қотадиган боғловчи материаллар: оҳак, гипс ва каустик магнезит.

2. Гидравлик боғловчилар. Бундай материаллар фақат ҳавода эмас, балки сувда ва намликда ҳам қотиш хусусиятига эга. Масалан, гидравлик оҳак, романцемент, портландцемент, кварцкум қўшилган портландцемент, пуццолан портландцемент, тошқол портландцемент ва бошқалар.

3. Кислоталарга чидамли боғловчилар. Уларнинг қотиш жараёнидан кейинги мустаҳкамлиги ортиши кислоталар таъсирида ҳам давом этади. Кислотага чидамли эрувчан суyoқ шиша асосида олинадиган цементлар ва қоришмалар бунга мисолдир.

Юқорида санаб ўтилган боғловчилар асосида гишт териш ва сувоқчиликда ишлатиладиган қоришмалар, бетон ва темир-бетон конструкциялари ҳамда қотиш жараёни *автоклав* қозонларда кечадиган буюмлар тайёрланади. Қурилишларда буюм хоссаларини ўзгартириш ва боғловчи материалларни тежаш мақсадида қуйидаги махсус қўшимчалар ҳам ишлатилади:

1. Чучук ҳамда сульфат тузларига тўйинган сувлар таъсирида боғловчи материаллар чидамлилигини оширишни кўзлаб ишлатиладиган гидравлик ёки фаол минерал қўшилмалар — трепел, опока, диатомит, трасслар, пемза, вулқон кули ва туфи, фаол кремний чиқиндилари, куйдирилган гил, глиеж, куйган жинслар ва тошқоллар.

2. Боғловчи материалларни тежаш учун тўлдиргичлар сифатида майда туйилган қум, оҳактош, доломит, табиий чангсимон кварц куми, тошқол ва бошқалар.

3. Цементларнинг тишлашув жараёнини тезлаштирувчи ва сусайтирувчи материаллар: тезлаштирувчилар — кальций хлорид ( $\text{CaCl}_2$ ), натрий хлорид ( $\text{NaCl}$ ), хлорид кислота ( $\text{HCl}$ ), эрувчан шиша ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), сода; сусайтирувчилар — гипс, сульфат кислота, сульфит оксидли темир ва бошқалар.

4. Цементнинг қотишини тезлаштирувчи ва мустаҳкамлигини оширувчи қўшимчалар — кальций хлорид ва хлорид кислота.

5. Бетон ва қотишманинг совуққа чидамлилигини, пластиклигини ошириш учун ишлатиладиган органик ва анорганик қўшилмалар — сульфат спирт бардаси (ССБ), етмак (кўпиртирадиган дарахт илдизи), совун чиқиндиси, гил, бентонит, трепел ва бошқалар.

Боғловчи материалларни ишлатишда қоришманинг тишлашиш даври, нормал қоришма олиш учун сув миқдори, сувнинг қоришма билан бирикиш даражаси, тишлашишдаги иссиқлик даражаси ва ҳоказо талабларга риоя қилиниши лозим.

Сув билан қориштирилган боғловчи материал қаттиқ ҳолатга ўтунига қадар кетган вақт унинг *тишлашиш даври* дейилади. Қоришмада сув қанчалик кўп бўлса, унинг тишлашуви шунча секин кечади. Шунинг учун нормал қоришма тайёрлашда аввало зарур сув миқдорини аниқлаб олиш керак. Ҳар бир боғловчи учун сув миқдори унинг оғирлигига нисбатан фоиз ҳисобида стандартларда белгиланган меъёрга асосан аниқланади.

Сув билан қориштирилган боғловчи материал физик-кимёвий жараёнлар натижасида қуюқлаша бошлайди, унинг қўзғалувчанлиги камаяди. Бу боғловчи модда тишлашувининг *бошланиш даври*, қўзғалувчанлиги бутунлай йўқолгандан кейинги вақт эса *охирги* (қотиш) даври ҳисобланади. Тишлашиш даврига қараб боғловчилар уч гуруҳга бўлинади:

а) тез тишлашувчи материаллар — тишлашувининг бошланиш даври 3—10 минут. Бундай боғловчиларни ишлатиш ноқулайлиги сабабли уларга тишлашишни сусайтирувчи махсус моддалар, масалан, қурилиш гипси қўшилади;

б) нормал тишлашувчи материаллар — тишлашиш даври 30 минутдан бошланиб, 12 соатгача давом этади. Бундай боғловчиларга бетон ва қоришмалар тайёрлашда кўп ишлатиладиган барча цементлар киради;

в) секин тишлашувчи материаллар — тишлашувининг охириати даври 12 соатдан кейин бошланади.

Нормал қоришма тайёрлашда сув (аслида боғловчининг кимёвий бирикиши учун сарфланадиган сув) керакли миқдордан кўп олинади. Шунинг учун қоришма қотқандан кейин ҳам ундаги майда капиллярлар ва говакларда бирикмаган эркин сувлар кўп сақланиб қолади. Бу сувлар аста-секин бугланиб, цементнинг говаклигини оширади. Шундан маълумки, бетон ёки бошқа қоришма кўп миқдорли сувда тайёрланса, унинг говаклиги ортиб, мустаҳкамлиги камаяди.

Барча боғловчилар тишлашиш ва қотиш жараёнида ўзидан иссиқлик чиқаради. Боғловчининг тишлашиш даври ва қотиш жараёни тез кечса, унинг иссиқлик чиқариши ҳам ортади. Материалларнинг бу хусусияти, айниқса, совуқда бетон ва бошқа қоришмалар тайёрлашда катта аҳамиятта эга. Аммо йирик бетон иншоотлар қуришда, масалан, гидротехник қурилишларда бетоннинг ички қисмидаги иссиқлик ташқи қисмидагига нисбатан ортиб (айрим ҳолларда 100°C гача етади), ҳарорат фарқи кўпаяди. Натижада бетоннинг нотекис совиши бошланади, бу эса бетон танасида дарз ҳосил қилувчи деформацияланишга олиб келади. Шунинг учун гидротехник қурилишларда ўзидан кам иссиқлик чиқарувчи махсус цементлар ишлатилади.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Халқ хўжалигининг ривожланишида қурилиш материалларининг ўрни.
2. Энг қадимги боғловчи моддаларга қандай боғловчилар киради?
3. Цементнинг ихтиро қилиниши қурилиш техникасида қандай даврни бошлаб берди?
4. Ўзбекистондаги тўнғич цемент ишлаб чиқариш корхонаси қачон бунёд этилган?
5. Республикамизда цемент саноатининг барпо этилиши ва унинг ривожланиш босқичлари.
6. Ўзбекистоннинг энг йирик цемент корхонаси ҳақида сўзлаб беринг.
7. Цемент саноатининг ривожланиш омиллари нималардан иборат?
8. Ишлатилишига ва хоссаларига кўра, анорганик боғловчиларни қандай гуруҳларга бўлиш мумкин?
9. Тишлашиш ва қотиш даврининг бир-биридан фарқи.
10. Тишлашиш даврига кўра, боғловчи неча гуруҳга бўлинади?

## II боб. ГИПС ТЕХНОЛОГИЯСИ

### 4. Гипснинг тавсифи

Гипсли боғловчи моддалар. Гипсли боғловчи моддалар куйдирилган гипс-тошни майда қилиб туйиш йўли билан ҳосил қилинади (гипс-тош асосан таркибида икки молекула суви бўлган кальций сульфат  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  дан иборат). Гипс-тошдан куйдирилиш ҳарорати ва шароитига қараб қурилиш гипси, жуда мустақкам гипс ҳамда ангидритли цемент ҳосил бўлади.

Қурилиш гипси. Таркибида икки молекула сув бўлган кальций сульфатли чўкинди тоғ жинси — гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), сувсиз гипс деб аталувчи ангидрит тош ( $\text{CaSO}_4$ ) ва айрим саноат чиқиндилари пиширилиб, гипсли боғловчилар олинади. Стандартда кўрсатилишича, биринчи нав гипс ишлаб чиқариш учун таркибида 90 % миқдорда  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , иккинчи нав учун эса 65 % дан кам бўлмаган табиий гипс-тош керак.

Табиий гипс-тош оқ рангли, қаттиқлиги 2 (Моос шкаласи бўйича), зичлиги 2200—2400  $\text{кг/м}^3$  бўлган жинсдир. Гипс-тош захираларининг энг йириги Ўзбекистоннинг Бухоро вилоятида (Когон гипс кони) мавжуд.

150—170°C ҳароратда куйдирилган гипс-тошни туйиб-майдалаб олинган маҳсулот *қурилиш гипси* деб аталади. Икки молекула сувли кальций сульфат 65°C қиздирилганда, ўз хусусиятини ўзгартиради ва таркибидаги сув аста-секин йўқолиб, дигидратлана бошлайди. Бунда гипс-тош 1,5 молекула сувни йўқотиб, аста-секин ярим молекула сувли гипсга айланади, бу қуйидаги реакция билан ифодаланади:



Гипс-тош 140—170°C ҳароратда кўп миқдордаги сувни йўқотиб, тезда ярим сувли, тез қотувчи ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) гипсга айланади. Бундай боғловчи баъзан *алебастер* деб юритилади.

Шундай қилиб, қурилиш гипсини ҳосил қилиш юзасидан белгиланган техникавий вазифа икки молекула сувли гипсни ярим молекула сувли гипсга айлантиришдан иборат. Табиий кальций фосфатларини фосфат кислота ҳамда концентрацияланган фосфор ўғитларига гидро-кимёвий усулда айлантириш натижасида олинган чиқинди — фосфогипс саноат учун йирик хом ашё манбаи ҳисобланади.

Махсус ишлаб чиқилган усуллар асосида фосфогипсдан аъло сифатли табиий хом ашёдан ҳосил қилинадиган маҳсулотдан қолишмайдиган тайёр боғловчи модда олиш мумкин.

Гипс ишлаб чиқариш. Қурилиш гипси уч хил усулда ишлаб чиқарилади:

гипс-тош кукунлаб туйилади ва пиширилади;

гипс-тош майдалаб пиширилиб, сўнгра туйилади;

гипс-тош майдаланиб, юқори босимли сув буғида ишланади ва қуритилиб туйилади.

Гипс-тош асосан шахтали ва айланма хумдонларда ёки буглаш қозонларида пиширилади. Шахтали хумдонларга гипс-тош бўлаклари 70—300 мм йирикликда, айланма хумдонларга 15 мм. гача, буглаш қозонларига эса 25-50 мм катталиқда солинади: пишириладиган гипс-тош қозонларга кукун қилиб туйилган ҳолда солинади. Гипс-тошни пишириш усули, энг аввало, хом ашёнинг хусусияти ва олинадиган маҳсулотга бўлган талабга қараб танланади.

Гипс-тош болғали майдалагичларда ёки пўлат шарли (золдирли) тегирмонларда майдаланади. Кукун даражасигача туйиш керак бўлганда, аввал қуритилиб, кейин майдаланади. Гипс-тошни қуритиш, туйиш ва пишириш ишларини шахтали ёки гилдиракли тегирмонларда бажариш мумкин.

Амалда гипсни *қайновчи* деб аталувчи қозонларда пишириб олиш усули кенг ёйилган. Пўлат цилиндр ва тик ўққа ўрнатилган қорғичдан иборат қозонга кукун қилиб туйилган гипс солинади. Қозон диаметри бўйлаб тўртта иситгич қувури ўтказилган. Солинаётган хом гипс пиширилгач, тайёр маҳсулот қозон тагидаги галвир орқали гипс йиғувчи бункерга тушади. 2 м<sup>3</sup> қозон ҳажмининг иш унуми — 2 соатда 1000 кг. га тенг. Гипс кукунининг қозонда пишиш вақти — 1—1,5 соат.

Кристаллик таркибий тузилишига кўра, гипсининг қуйидаги асосий хиллари маълум: шарсимон синиқ майда донали зич гипс ёки бўшлиқда тартибсиз йўналадиган йирик донали гипс (алебастр); ипаксимон товланадиган, тўғри жойлашган, ипси-

мон кристаллардан таркиб топган толали гипс ҳамда қатламли таркибий тузилишдаги ясси тиниқ кристаллар тарзида жойлашган пластинкасимон гипс.

Таркибида икки молекула сув бўлган гипс моноклин сингонияга мансуб. Кристалл түри  $\text{Ca}^{2+}$  ионлар ҳамда  $\text{SO}_4^{2-}$  сульфат тетраэдраларини ўз ичига олган бу модда сув молекулаларидан иборат қатламлар билан бўлинган қаватлардан таркиб топади.

Одатда, гипс устунсимон ва таблеткасимон шаклларда кристалланиб, кўпинча қалдирғоч думини эслатувчи қўшайрилар ҳосил қилади. Эгри қиррали ва юзаси силлиқ ёсмиқсимон кристаллар ҳам гипсга хосдир. Қўшайри тизимлар ҳосил бўлиши туфайли икки ёки бир неча панжасимон қайрилган шаклдаги кристаллар ҳам учрайди. Улар баъзан йирикроқ шох-шабба шаклларга бирлашади. Кристалларнинг ёруғлик нурини синдириш кўрсаткичи:

$$N_g = 1,5305; N_p = 1,5207.$$

Оптик ўқлар оралиғидаги бурчак —  $2V = 58^\circ$ . Гипс кристаллари рангсиз ва шаффоф, бироқ таркибида аралашмалар бўлса, улардан ранг олиб, хилма-хил, масалан, кулранг, сарғиш, қизғиш рангларда товланади. Гипс таркибида бир текис ёйилган кам миқдордаги аралашмалар гипсдан ҳосил қилинадиган боғловчи модда сифатига салбий таъсир кўрсатмайди.

Гипс-тошнинг зичлиги ундаги аралашмаларга боғлиқ ҳолда 2200—2400 кг/м<sup>3</sup> ни ташкил қилади. Гипсдан тайёрланган шағалнинг ҳажмий массаси 1300—1600 кг/м<sup>3</sup> дан иборат, намлиги кескин равишда 3—5 % ва ундан юқори чегарада ўзгариб туради. Моос шкаласи бўйича гипснинг қаттиқлиги 2 га тенг.

Гипснинг сувда эрувчанлиги (кальций сульфат ҳисобида) 18°C ҳароратда — 0,2 %, 40°C да — 0,21 ва 100°C да — 0,17 % ни ташкил қилади. 32°C дан 41°C гача оралиқдаги иссиқликда эрувчанлиги энг юқори. Тадқиқотчиларнинг маълумотларига қараганда, гипснинг сувда эрувчанлиги турлича бўлиб, бу унинг ўта тўйинган эритмалар ҳосил қилиш хусусиятига, шунингдек, кристалларининг катта-кичиклигига боғлиқ. Масалан, Гулетнинг маълумотига кўра, 25°C да гипс эрувчанлиги кальций оксид ҳисобида 2 мкм катталигидаги кристаллар учун 2,08 г/л га етади, кристаллар катталиги 0,3 мкм бўлганда эса, 2,47 г/л га тенг. Кальций оксид гидрати иштирок этган тақдирда кальций сульфатнинг эрувчанлиги сусаяди. Гипснинг суюлтирилган хлорид

ва азот кислоталаридаги, шунингдек, айрим-туз эритмаларидаги эрувчанлиги сувдагига нисбатан юқоридир.

Иссиқлик ўтказувчанлик гипсда паст бўлиб,  $1,6-46^{\circ}\text{C}$  ҳароратда  $0,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ га тенг. Ангидритнинг кристалл түри ҳар бири түрттадан молекулали элементар катаклардан иборат бўлиб, зич жойлашуви туфайли кальций сульфат бошқа турларининг кристалл түрларига қараганда анча мустаҳкамдир.

Икки молекула сувли гипсдан фарқли ўлароқ ангидрит ўзаро перпендикуляр ҳолатдаги уч йўналишда мустаҳкам бирика олади. Ангидрит кристаллари асосан майда бўлиб, уларни ажратиб турувчи юзада ғадир-будур чизиқлар мавжуд. Ангидритнинг синдириш кўрсаткичлари:

$$N_g = 1,614; N_p = 1,57.$$

Соф ангидрит оқ рангли бўлса-да, ўз аралашмаларига қараб гипс сингари хилма-хил тусга киради. Ангидрит икки молекула сувли гипсга нисбатан анча зич ва мустаҳкам жинсдир. Унинг зичлиги  $2900 - 3100 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

## 5. Сувли ва сувсиз кальций сульфат модификацияси

Сувли кальций сульфат ҳароратта ва қизиш шароитларига боғлиқ ҳолда кристаллар зичлиги, шакли ва ўлчамлари, гидратланиш иссиқлиги, иссиқлик сигими, оптик ва бошқа хусусиятлари жиҳатидан бир-биридан фарқланувчи турли модификацияларни ҳосил қилиши мумкин.

Кальций сульфат модификацияларини, уларнинг барқарор мавжудлик шароитларини, бирининг иккинчисига айланишини текширишга бир қанча тадқиқотлар (Ле Шателье, Вант Гофф, А.А. Байков, Д.С. Белянкин, П.П. Будников, Келли, Суттард ва Андерсон, Флеркс ва бошқаларнинг изланишлари) бағишланган. Бироқ унинг сувли ва сувсиз модификациялари сони, таркибий тузилишлари ҳамда физик-кимёвий хоссалари хусусида ҳозирга қадар бир фикрга келинмаган. Д.С.Белянкин ва Л.Г.Берг тадқиқотларига, шунингдек, Келли, Суттард ва Андерсон маълумотларига асосан, кальций сульфатнинг қуйидаги модификациялари маълум:

1) икки молекула сувли кальций сульфат (гипс)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;

2)  $\alpha$  — ярим молекула сувли кальций сульфат ( $\alpha$  — ярим гидрат)  $\alpha$  —  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ;

3)  $\beta$  — ярим молекула сувли кальций сульфат ( $\beta$  — ярим гидрат)  $\beta$  —  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ;

4)  $\alpha$  — сувсизлантирилган ярим гидрат  $\alpha$  —  $\text{CaSO}_4$ ;

5)  $\beta$  — сувсизлантирилган ярим гидрат  $\beta$  —  $\text{CaSO}_4$ ;

6)  $\alpha$  — эрувчан ангидрит  $\alpha$  —  $\text{CaSO}_4$ ;

7)  $\beta$  — эрувчан ангидрит  $\beta$  —  $\text{CaSO}_4$ ;

8) эримайдиган ангидрит (одатда, ангидрит деб аталувчи)  $\text{CaSO}_4$ .

Сувсизлантирилган гипс дастлаб ярим гидратга, сўнгра қизиш жараёнида сувсиз модификацияларга — ангидритларга айланади.  $\alpha$  ва  $\beta$  модификацияларининг ҳосил бўлиши иссиқлик таъсирида ишлов бериш шароитларига боғлиқ.

$\beta$  — ярим гидрат модификация дигидратланиш жараёнида сувнинг буг тарзида чиқишида вужудга келади, унинг зарралари эса ички юзаси анча ривожланган таркибий тузилиш ҳосил қилади.

$\beta$  — ярим гидратдан фарқли равишда  $\alpha$  — ярим гидрат гипсга сувда ёки туз ва кислотанинг сувдаги эритмаларида иссиқлик таъсирида ишлов берилаётганда ҳосил бўлади. Бунда сув суюқ томчи ҳолатида ажралиб,  $\alpha$  — ярим гидратнинг зич кристаллари ҳосил бўлиши учун шароит туғилади. Натижада  $\beta$  — ярим гидрат заррачалари  $\alpha$  — ярим гидратникига нисбатан анча (2,5—5 марта) юқори солиштирма сатҳга эга бўлади.

Заррачалар ички сатҳининг хилма-хиллиги  $\beta$  ва  $\alpha$  — ярим гидратларнинг синдириш ва зичлик кўрсаткичларидаги фарқни изоҳлаб беришга хизмат қилади.

$\beta$  — ярим гидратга нисбатан кам сувда қорилган  $\alpha$  — ярим гидратдан қўзғалувчанлиги кераклича хамир олиш мумкин. Демак, гипснинг  $\alpha$  — ярим гидратли модификацияси маҳсули қотан гипс-тош  $\beta$  — ярим гидратли гипсга нисбатан анча зич ва мустаҳкам бўлади. Тенг ҳажмдаги сувда қорилган  $\alpha$  ва  $\beta$  — ярим гидратлардан ҳосил бўладиган гипс-тош мустаҳкамликда ҳам ўзаро баробардир.

Сувда қорилган  $\alpha$  — ярим гидрат  $\beta$  — ярим гидратга нисбатан бирмунча суст тишлашади, бунда  $\beta$  — ярим гидрат заррачаларининг ҳақиқий сатҳи юқори даражада ривожланганлиги туфайли гидратланиш тезлиги ортади.

## 6. Ярим молекула сувли гипснинг қотиши

Ярим молекула сувли гипснинг тишлашиш ва қотиш механизмига доир масала кўп вақт мобайнида тадқиқотчилар диққатини жалб этиб келади. Ле-Шательенинг (1887) назариясига кўра, гипснинг тишлашуви ва қотиши куйидагича кечади. Ярим молекула сувли гипс сувда эритилиб, аралаштирилганда метастабил тўйинган сувли эритма ҳосил бўлади. У эритмада ярим гидрат сув билан ўзаро таъсир кўрсатишиб, икки молекула сувли гипсга айланади ва эритмадан ажралиб чиқади. Ярим гидратнинг сувда эрувчанлиги  $20^{\circ}\text{C}$  да  $8\text{ г/л}$ , икки гидратнинг эрувчанлиги эса  $2\text{ г/л}$ . Ўта тўйинган эритмадан икки молекула сувли гипс ажрала борган сари унинг кристаллчалари ҳам кўпайишда давом этиб ва ўзаро чирмашиб-битишиб, бошлангич аралашманинг тишлашуви ҳамда қотиши учун имкон яратади. Тишлашиш жараёни бошлангандан сўнг қотаётган гипс таркибий тузилишининг бузилиши унинг мустаҳкамлигини кескин пасайтириб юборади. Шунинг учун гипснинг таркибий тузилишини фақат кристаллар энди ҳосил бўла бошлаганда, тишлашишнинг дастлабки босқичида бузиш мумкин.

Кейинчалик ярим молекула сувли гипснинг (шунингдек, бошқа боғловчи моддаларнинг) қотиши бўйича А.А.Байков назарияси ўртага ташланди. Бу назарияга биноан, қотиш жараёни уч босқичга бўлинади. Биринчи босқичда ярим гидрат сувда эриб, унинг тўйинган эритмаси ҳосил бўлади. Деярли айна бир вақтда бошланувчи иккинчи босқичда сувнинг ярим молекула сувли гипс билан ўзаро таъсир этишуви содир бўлади. Бунда икки молекула сувли гипс коллоид ўлчамидаги ( $0,2\text{ мкм}$  дан кичик) юқори даражада дисперсланган кристалл зарралар тарзида ҳосил бўлиб, аралашманинг тишлашуви рўй беради.

Учинчи босқичда икки гидратнинг ўта эрувчан майда зарралари қайта кристалланиб, янада йирикроқ кристалларни ҳосил қилади, бу эса, тизимнинг қотишини ва унинг мустаҳкамлиги ортишини таъминлайди.

Кейинги ўн йиллар мобайнида боғловчи моддалар, хусусан, гипсли моддаларнинг қотишига оид юқорида зикр этиб ўтилган асосий назариялар янада ривожлантирилди. Чунончи, россиялик олимлардан В.Н.Журавлёв, С.Д.Окороков, М.И.Стрелков, Г.Н.Сиверцев ва бошқалар боғловчи моддалар қотишининг коллоид-кимёвий назариясини такомиллаштиришди.

С.Д.Окороков боғловчи моддаларнинг қотишини ўрганиб, коллоидланиш босқичи бўлиши шарт ва бу босқичда қоритқи сув таъсирида қаттиқ модданинг дисперсланиш жараёни содир бўлади, деган хулосага келди. В.Н.Журавлёв фикрича, кристаллнинг тўр толали юзаси сувни цеолит сингари сингдирлиши натижасида боғловчи минераллар гидратланади. Доналар сиртида тўпланган гидратланган қобиклар аста-секин емирилиб, гидратнинг кўплаб майда кристаллари тарзида қоритқи сувига ўтади, шу вақтда таранг ҳамда деформацияланган кристалл тўр барқарор нотаранг тўрга айланади. Бунда гипснинг қотиш жараёнида гелнинг кристалл пайвандланиши тарзидаги қайта кристалланиши туфайли унинг мустаҳкамлиги ортади.

М.И.Стрелков маълумотига биноан, ярим молекула сувли гипс зарраларига дастлаб сув текканда, у аввал нотўғри шакли майда зарралар тарзидаги қисман гидратланган ярим гидратга айланади. Таркибий тузилишида нуқсонлар мавжудлиги боис бундай зарралар осон эрийди ва аввал пластинкасимон ҳамда игнасимон кристалларга айланади, кейин икки гидратнинг яхлит пайвандланган, чирмашган кристаллари ҳосил бўлади.

В.В.Константинов ва Н.В.Топчиева гипснинг қотиш жараёнини микроскоп остида ўрганиш асосида ярим молекула сувли гипс қаттиқ фазасида сув билан бевосита бирикиш йўли билан гидратланади, деган фикрга келишди. Тадқиқотчи Эйпельтауэр ўтказган тажрибалар ҳам ярим молекула сувли гипс сувда эримай туриб, тўғридан-тўғри сув билан бирикиши мумкинлигини кўрсатди.

П.А.Ребиндер, Е.Е.Сегалова, В.Б.Ратинов, О.В.Кунцевич ва бошқалар Ле Шателье фикрининг тўғри эканлигини исботлашди. Жумладан, П.А.Ребиндер ва Е.Е.Сегалова ўз изланишларида ярим молекула сувли гипс Ле Шателье схемаси бўйича гидратланиб, кристалланган таркибий тузилиш ҳосил қилишини кўрсатиб беришди. Улар мустаҳкамлик ортиб боришининг тўхташини, ҳатто унинг ярим молекула сувли гипс бутунлай икки молекула сувли гипсга айлангунига қадар пайишини аниқладилар. Тадқиқотчилар фикрича, бу ҳодиса қотган жисмнинг яхлит кристалланиш таркибий тузилишини ҳосил қилувчи битишув чокларида кристалларнинг муайян йўналишда ўсишидан юзага келадиган ички кучланишлар

таъсирида қисман бузилиш содир бўлиши билан изоҳланади. Гипс сувга қорилганидан 30—40 минут ўтгач, яъни боғловчи модданинг гидратланиш жараёни тугаши олдидан унинг нам ҳолатдаги энг юқори мустаҳкамлиги таъминланади. Мустаҳкамликнинг бундан кейинги ортиб бориши гидратланишнинг эмас, балки сув бугланиши ва материал қуришининг самарасидир. Кристаллар юзасини намлаб турувчи сувнинг йўқолиши (бугланиб кетиши), биринчидан, мустаҳкамликнинг ортишига олиб келади, иккинчидан эса, кристалларнинг бир-бирига нисбатан сирғалишини йўқотади ва оғирлик остида силжиш деформациясини кескин камайтиради.

П.А.Ребиндер ва Е.Е.Сегалова бир гуруҳ илмий ходимлар билан олиб борган тадқиқотлари натижасида қуймаларнинг мустаҳкамлиги кристалларнинг катта-кичиклигига ва улар ўртасидаги туташув майдонларининг нисбатига боғлиқдир, шу нисбатни ўзгартириш йўли билан гипснинг қайта кристалланиши вақтида унинг мустаҳкамлигини пасайтириш мумкин, деган хулосага келишди. Улар гипснинг қотиш тезлигини сусайтириш орқали мустаҳкамликни энг паст даражагача тушириш мумкинлигини таъкидлайдилар.

О.В.Кузнецович, Я.Л.Забезинский, В.Б.Ратинов ва бошқаларнинг тадқиқотларида гетероген тизимларда фазовий ўзгаришлар ҳақидаги маълумотлар асосида қотишнинг кристалланиш механизмига доир назария янада ривожлантирилди. Масалан, В.Б.Ратинов ва бошқалар гидрат янги ҳосилаларининг кристаллга айланиш жараёни сифатида гидратланиш кинетикасига миқдорий тавсиф беришди: гидратланиш реакциясининг давомийлиги ярим молекула сувли гипс суспензияларида вужудга келадиган тўйиниш миқдори билан белгиланади; турли қўшилмаларнинг қотиш жараёнига тезлатувчи ва секинлатувчи таъсири ярим гидрат ҳамда икки гидратнинг эриш тезлигига боғлиқ.

Бунда ярим гидратнинг ҳосил бўлаётган икки гидратга нисбатан тўйиниш даражаси ( $C_p/C_o$ ) билан узвий равишда кристалланиш жараёни жадаллашуви ёки секинлашуви мумкин.  $C_p/C_o$  нинг ортиши кристалланишни тезлаштиради ва аксинча, унинг камайиши жараённи сусайтиради. Демак, эримайдиган ангидритда боғловчилик хоссалари деярли йўқлигини,  $\alpha$ -ва  $\beta$ -  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  га нисбатан анча тўйинган эритмалар

ҳосил қиладиган эрувчан ангидрит ҳамда сувсизлантирилган ярим гидратнинг қотиш тезлиги икки гидратга нисбатан юқори эканлигини шу билан изоҳлаш мумкин.

А.В.Волженский фикрича, гидрат бирикмаларининг ҳосил бўлиш механизми дастлабки моддаларнинг хоссаларига ва улар билан сув ўртасида реакция юз берадиган шароитларга боғлиқ. Бунда боғловчи моддаларнинг, айниқса, полиминерал моддаларнинг ўзаро таъсири икки ёқлама бўлиши уларнинг сув муҳити орқали эриши, яъни Ле Шателье схемасига мувофиқ ҳамда сувнинг дастлабки материалга тўғридан-тўғри бирикиши натижасида, яъни Михаэлис ва А.А.Байков схемаси бўйича юз бериши мумкин.

Сув билан ўзаро таъсир этишувда боғловчи моддалар реакцияга қанчалик мойил ва ундаги заррачаларнинг ташқи ва ички юзалари нечоғлиқ катта, шунингдек, боғловчи моддали қоришмада қанчалик сув кам ва қоришма ҳарорати юқори бўлса, сувнинг қаттиқ фаза билан тўғридан-тўғри бирикиши учун имконият ҳам шунча қулай ҳисобланади.

А.В.Волженский фикрига қараганда, қотиш жараёнини текшириш фақат гидратланиш механизмини аниқлашдангина иборат бўлмаслиги керак. Сувнинг бирикиш жараёнининг ўзи эмас, балки унинг гидратланиш маҳсулоти хусусиятига таъсири, ҳосил бўладиган гидрат заррачаларининг когезион хоссалари, дисперслиги ва шакллари билан боғлиқ гидратланиш маҳсулотларининг боғловчилик хусусиятлари ва техникавий хоссалари катта аҳамиятга эга. Олимлар фикрича, янги вужудга келган ҳосилаларнинг заррачалари қанчалик дисперс бўлса, уларнинг боғловчилик қобилияти ҳам шу қадар юқори бўлади.

Таъкидлаб ўтиш керакки, гидратларнинг ҳосил бўлиш механизмига қараганда қотган тош таркибий тузилишининг шаклланиш жараёни ҳақидаги фикрлар бир-биридан кескин фарқ қилади.

П.А.Ребиндер, Е.Е.Сегалова ва А.Ф.Полак наздида, икки гидрат кристаллга айланишда таркибий тузилишнинг ҳосил бўлиши икки босқичда юз беради. Биринчи босқичда кристалловчи таркибий тузилиш синчлари шаклланиб, янги ҳосил кристаллчалари билан кристалларнинг эҳтимолий ўсиши ўртасида бирикув (контакт) содир бўлади. Иккинчи босқичда эса янги кристалланиш бирикувлари вужудга келмайди, балки мавжуд синчлар атрофи қоплана боради, яъни уни ташкил этувчи кристаллчаларнинг ўсиши кузатилади. Бунда таркибий

тузилиш мустаҳкамлиги ортиши ёки кристалларнинг муайян йўналишда ўсиши натижасида вужудга келадиган ички чўзувчи кучланишлар ҳисобига мустаҳкамлик камайиши ҳам мумкин. Қотишнинг пировард мустаҳкамлиги кўп жиҳатдан қотаётган суспензиянинг суяқ фазасидаги тўйиниш даражаси ва кинетикаси билан белгиланади, бу эса бирламчи боғловчи модда эрувчанлигига ва эришнинг умумий тезлигига боғлиқ. Кристалларнинг ўсиши учун қанчалик қулай шароит яратилса (тўйиниш ва реакция умумий тезлиги кам бўлса), таркибий тузилиш мустаҳкамлигини пасайтирувчи кучланишлар шу қадар кўп бўлади. Аксинча, кристаллчаларнинг янги муртаклари ва улар ўртасида туташув ҳосил бўлиши учун қулай шароит вужудга келиши (юқори даражада тўйиниш, эришнинг умумий жадал тезлиги) кучланишнинг пасайишига сабаб бўлади. Бироқ қотишдаги таркибий тузилишни ташкил этувчи кристаллчаларнинг жуда майдалиги мустаҳкамликни сусайтиради. Мутахассислар фикрича, таркибий тузилишнинг пишиқлиги энг юқори даражада бўлиши учун гидратланиш жараёни оптимал шароитларда ўтишига эришиш лозим. Бундай шароитлар паст кучланишларда етарли катталиқдаги янги ҳосила кристаллчалари вужудга келишини таъминлаши натижасида кристалланишдаги таркибий тузилишнинг шаклланиши ва ривожланиши руй беради. Е.Стоклос олиб борган тадқиқотлар кўрсатишича, қотишдаги таркибий тузилишларнинг ҳақиқий мустаҳкамлиги, айтилганлардан ташқари, узун кристаллчаларнинг бирикув жойларида вужудга келадиган боғламлардаги алоқадорлик билан ҳам белгиланадики, бу *шартли-коагуляция* боғлиқлик деб юритилади. Материал қуриганида намоеън бўладиган бундай муносабат коагуляция боғлиқликка нисбатан анча мустаҳкамдир. Бироқ материал намланганда бу мустаҳкамлик коагуляция алоқалар даражасига тушиб қолади, навбатдаги тўлиқ қуриш натижасида эса у яна тикланиши мумкин.

Шундай қилиб, таркибий тузилишнинг мустаҳкамлиги тўйинган эритмалардан иборат гидрат бирикмаларнинг кристалланиши билан таъминланади. А.А.Байков фикрича, юқорида айтилганидек, янги ҳосила зарраларининг қайта кристалланиши ҳисобига қотаётган тизимнинг мустаҳкамлиги янада ортади. Майда кристаллчаларнинг айнан кимёвий ва модификация таркибига эга йирик кристаллчаларга нисбатан юқори эрувчанлиги қайта кристалланиш имконини беради. Бу ўринда кристалланиш кристаллар кимёвий таркибининг ёки

таркибий тузилишининг ўзгаришига боғлиқ бўлганлигидан бир хил кристаллар йириклашади. Қайта кристалланиш термодинамик жиҳатдан муқаррар жараён: майда кристаллчалар ортиқча эркин сирт энергиясига (шунга мувофиқ тарзда катта эрувчанликка) эга, кристаллар йириклашуви билан баравар равишда бу энергия ҳам камай боради.

Қайта кристалланиш ва кристалларнинг йириклашуви (жумладан, А.А.Байков тахмин қилганидек), одатда, материалнинг мустаҳкамлиги ортишига эмас, балки камайишига олиб келади, майда кристалл таркибий тузилишининг мустаҳкамлиги эса юқори бўлади. Шунга мувофиқ равишда, А.В.Волженский бетоннинг физик ва физик-механик хоссаларига янги ҳосилалар таркибий тузилишининг таъсири ҳақидаги тахминини илгари суради. Унинг асосини янги ҳосилалар дисперс заррачаларнинг аҳамияти ҳамда боғловчи хусусиятини белгилловчи сирт энергиясининг потенциалидир, деган фикр ташкил этади. Уриниш нуқталари кўп бўлганда, боғловчилик хусусияти Ван-дер-Ваальс кучларининг ишқаланиши, шунингдек, кимёвий боғламларнинг ривожланиши туфайли юзага чиқади.

Шундай қилиб, янги ҳосилалар заррачаларининг максимал солиштирма сирти тизимига эришилганда, энг юқори мустаҳкамлик таъминланади. Бироқ, А.В.Волженский фикрича, янги ҳосилалар заррачаларининг боғловчи хусусиятга эга бўлишига фақат уларнинг дисперслиги эмас, балки когезия шакли ҳамда ўзига хос хоссалари ҳам таъсир кўрсатиши керак.

Гидрат янги ҳосилалари зарраларининг юқори даражада дисперслиги, айниқса, юқори дисперс заррачаларнинг сув шимишга — адсорбцияга мойиллиги уларнинг қотган тизимларида сирғанувчанликка, пластик деформациясига мойилликни ҳам оширади.

Умуман, А.В.Волженский тахминига кўра, цементловчи моддаларнинг ҳосил бўлиш механизмида муайян мустаҳкамликка эришиш қуйидагича намоён бўлади. Боғловчи модда қотишининг бошланғич босқичида геллар хусусиятига эга юқори даражадаги дисперс зарралар тарзида гидрат бирикмалари ҳосил бўлади. Бунда тизим мустаҳкамлиги, биринчи навбатда, юқори дисперс зарралар концентрациясининг кўпайиши ҳисобига ортади. Шу билан бир вақтда, илгари ҳосил бўлган заррачаларнинг йириклашув ҳамда солиштирма юзаси ва боғлаш хусусияти камайиш жараёни ҳам содир бўлади. Қотиш вақтида янги ҳосилалар заррачаларининг умумий юза-

си маълум даражагача кенгайди. Кейинчалик унинг барқарорлашуви ёки экран пардаси вужудга келиб, тизимда дастлабки таркибий қисмлар миқдори камайиши эҳтимол. Шунингдек, қулай шароитда заррачаларнинг йириклашув жараёни давом этиши сабабли боғловчи модданинг сув билан ўзаро таъсир этишуви тўхташи ва реакция ҳам сусайиб кетиши мумкин. Бу жараён тизим мустаҳкамлигига салбий таъсир этади, унинг мустаҳкамлиги, янги ҳосилалар заррачаларининг солишгирма юзаси сингари, қотишнинг сўнгги босқичида энг юқори даражага кўтарилади. Унинг бошланиши эса боғловчи моддаларнинг ҳосилалари ҳамда қотиш шароити билан белгиланади.

Гипснинг қотиш жараёнига янги ҳосилалар солишгирма юзасининг таъсирини бир қанча олимлар текширганлар. Чунончи, тадқиқотчилар Швитте ва Кнауф янги ҳосилалар солишгирма юзасини ВЕТ (азотнинг шимувчанлиги — адсорбциясини ўлчаш) усулида, ярим гидратнинг сув билан ўзаро таъсирида аниқлаганлар. Бунда гипс билан сув ўртасидаги оралик реакция метанол намунасида ишлов бериш воситасида белгиланган вақтда тўхтатилади. Олинган маълумотларга кўра, гипс намунаси солишгирма юзасининг максимал катталиги ( $12—27 \text{ м}^2/\text{г}$ ) қорилганидан 3—8 минут вақт ўтгач қайд қилинди. Намуналардан бирида тақрибан 10 минутдан кейин  $7—7,5 \text{ м}^2/\text{г}$  даражада, бошқасида эса  $6—7 \text{ м}^2/\text{г}$  даражада солишгирма юза кўрсаткичлари барқарор ҳолга келди. Ушбу намуналарда бириккан гидрат суви миқдорини аниқлаш борасида параллел олиб борилган тажрибаларда унинг миқдори энг юқори даражага етгунча 8—15 минут давомида бирор кескин сакрашсиз текис кўпайиб борганлиги аниқланди.

Маълум бўлишича, ярим молекула сувли гипс қотиши жараёнида ҳосилалар кристаллари катталашади, бу эса уларнинг боғловчи хусусиятига салбий таъсир кўрсатади. Лекин қўшимча миқдорда юқори дисперс янги ҳосилалар вужудга келиши ҳисобига дастлабки даврда мустаҳкамликнинг ошиши давом этади. Аммо маълум вақтга келиб, кристаллар ўсишининг салбий таъсири гидратланиш маҳсулотининг миқдорий кўпайишидан устунлик қила бошлайди, шунда алоқалар камайиши ҳамда сирт энергияси потенциалининг пасайиши натижасида тизимнинг мустаҳкамлиги сусаяди.

Демак, бошқа барча тенг шароитларда қотган гипснинг мустаҳкамлиги янги ҳосилаларнинг дисперслигига боғлиқлиги маълум бўлади.

## 7. Қўшилмаларнинг гипс боғловчи қотишига таъсири

Қотиш хусусиятига кўра, гипс боғловчилари иккига бўлинади: тез қотувчи (қурилиш, ўта мустаҳкам, қолипбоп ва тиббиёт гипслари); секин қотувчи (ангидритли цемент ва юқори даражада куйдирилган гипс) гипс боғловчилари.

Гипснинг тишлашиш ва қотиш вақтлари хом ашёнинг хосаси, уни тайёрлаш шароити, сақлаш муддати ва шароитига, қўшиладиган сув миқдори (сув билан гипс нисбати — С/Г) боғловчи модда ва сувнинг ҳарорати, аралаштиришлиш шароитларига ва улар таркибида муайян қўшилмалар мавжудлигига боғлиқ.

Тадқиқотчи Роланднинг фикрича, гипс таркибида унинг эрувчанлигини кучайтириш ёки секинлатиш имконини берадиган моддалар мавжудлиги гидратланишнинг тезлашуви ёки сусайиши учун шароит яратади. Олимнинг таъкидлашига қараганда, гидратланиш тезлиги эриган модда табиатига ҳамда унинг эритмадаги бойиганлик даражасига — концентрациясига боғлиқ. Гипснинг (ярим гидратнинг) эрувчанлигини кучайтирувчи моддалар — тезлатгичлар, эрувчанлигини сусайтирувчи моддалар — секинлатгичлар ҳисобланади.

Ноорганик ва органик бирикмалар қўшилмаси гипснинг эрувчанлиги ва тишлашув вақтига, қурилиш гипсининг мустаҳкамлигига кўрсатадиган таъсирини ўрганган Риддель ҳам шундай хулосага келган. Масалан,  $\text{NaCl}$  тузи ярим молекула сувли гипс ва эстрих-гипс гидратациясининг тезлатгичи бўлиб, ангидритга таъсир этмайди.  $\text{CaCl}_2$  эса ярим молекула сувли гипсга таъсир қилмаган ҳолда эстрих-гипс ва ангидрит гидратланишини секинлаштиради.  $\text{MgCl}_2$  тузи ярим молекула сувли гипс гидратланишини тезлаштиради, эстрих-гипс ва ангидритнинг гидратланишини эса сустлаштиради.

Тишлашувини секинлатгич ва тезлатгичлар гипс буюмларининг пировард мустаҳкамлигига салбий таъсир кўрсатади. Бироқ айрим сирт-фаол моддалардан ўртача миқдорда (0,1—0,3%) қўшилганда буюмлар мустаҳкамлиги сув-гипс нисбатининг камайиши ҳисобигагина эмас, балки ҳосил бўлаётган икки гидрат кристалларининг шимувчанлик — адсорбцион модификацияси эвазига ҳам ортади. Шунингдек, гипснинг доимий сарфи ўзгармаган шароитда сирт-фаол қўшилмалар ёрдамида бетон аралашмасининг ҳаракатчанлигини ошириш мумкин.

Кейинги пайтларда қотиш жараёнини вақт давомида меъёрига келтириш мақсадида баъзан сирт-фаол ҳамда барқа-

рорлаштирувчи моддалар билан биргаликда турли полимер моддалар ҳам ишлатилмоқда. Масалан, Ж.П.Докукина ярим гидратнинг тишлашиш тезлигини сусайтириш учун дикарбон кислоталарнинг сополимерларидан фойдаланишни тавсия этди. Улар сирт-фаол модда бўлиб, фақат тишлашиш жараёнини секинлатибгина қолмасдан, полимерлангандан кейин қотаётган гипснинг физик-механик хоссаларига ижобий таъсир кўрсатувчи турли таркибий тузилмаларнинг ҳосил бўлишига ҳам имкон беради.

Кўпгина қўшилмалар, масалан, сульфит-спирт бардаси ва айниқса, натрий абиетат ҳаво тортувчи моддалар ҳисобланиб. бетонга қўшилганда бетон аралашмасида бир текис тарқалган ҳаво пуфакчаларининг сони ортади. Бундай қўшилмалардан фойдаланиш бетоннинг совуққа чидамлилигини оширади. Шунинг ҳам айтиб ўтиш муҳимки, гипс хаамири эластик ҳолатда бўлиб, ҳали қаттиқ таркибий тузилишли синчлари вужудга келмаган дастлабки даврда бетоннинг асосан контракция, яъни киришиш, тортишиш ва седиментация, яъни чўкиш ҳисобига реакцияга киришуви кузатилади. Ҳосил бўлаётган икки гидратнинг шундан кейинги шиддатли кристалланиши даврида қотаётган тизим кенгай бошлайди. Органик секинлаткичлар, одатда, қотиш вақтида гипснинг қисқаришига олиб келади, қаттиқ таркибий тузилишли синчни эрта ҳосил қилувчи тезлаткичлар эса, аксинча, гипснинг кенгайишига шароит яратади.

Гипсга қўшилма сифатида секинлаткич ва тезлаткичлардан фойдаланиш, таркибий қисмнинг хоссаларидан фойдаланишга имкон беради. Шундай қилиб, қўшилмаларнинг таъсир қилиш хусусиятини билган ҳолда қотаётган гипснинг ҳажмий деформацияси миқдорини керакли йўналишда муътадиллаштириб туриш мумкин.

Гипснинг тишлашиш тезлигини пасайтириш ва буюмлар мустаҳкамлигини ошириш учун олим Шассевен сув-гипс қоришмаси ҳароратини  $80^{\circ}\text{C}$ дан юқори даражада сақлаб туришни тавсия этади. Бунда у ярим гидрат билан тўйинган ва икки гидратга нисбатан ўта тўйинган қоришмада ҳарорат қанча юқори бўлса, ундаги гипс шунчалик узоқ вақт кристалланмай туришига асосланган. Ярим гидрат билан тўйинган қоришма ҳароратининг пасайиши гипснинг кристалланиши тезлаштиради. Шассевеннинг кўрсатишича,  $80^{\circ}\text{C}$  да қоришмада икки гидратнинг кристалланиш тезлиги  $16^{\circ}\text{C}$  дагига нисбатан 30 марта пастдир.  $70\text{--}88^{\circ}\text{C}$  дан юқори ҳароратга қиз-

дирилган гипс аралашмаси. (агар ҳарорат керакли режимда тутиб турилса) бир неча соат давомида ҳаракатчанлигини сақлаб қолади. Бунда гипс совитилганида унинг мустаҳкамлиги камаймай, нормал тишлашуви кузатилади. Шассевен ўтказган тажрибаларнинг натижалари амалий аҳамиятга эга, чунки бу ҳолда қорилган ёки қолиповчи агрегатда турган гипсининг тишлашувини маълум вақт кечиктириш ҳамда кўплаб миқдорда гипс ва гипс-бетон аралашмалари тайёрлаш имкони туғилади. Шунингдек, қоришма тайёрлашда сувни ҳам кам ишлатиш мумкин бўлади, бунинг натижасида эса буюмларнинг мустаҳкамлиги ортади.

Қотиш жараёнида гипсининг ҳажми тахминан 1 % га кенгаяди. Бу эса, гипсдан меъморчилик буюмлари тайёрлашда, ёриқларни беркитишда ва бошқа мақсадларда фойдаланишга қулайлик яратади. Давлат стандартларида кўрсатилишича, қурилиш гипсининг тишлашуви 4 минутдан кейин бошланиб, якуний қисми 6 минутдан 30 минутгача давом этади. Демак, қурилиш гипси тез тишлашадиган ва тез қотадиган боғловчи моддадир. Бу бир қанча ноқулайликлар билан боғлиқ, чунки қорилган гипсни тишлашиб қолмасидан илгари ишлатишга тўғри келади. Агар тишлашув жараёни бузилса, ҳосил бўлаётган кристалл ўсимталари парчаланиб кетиб, маҳсулот мустаҳкамлиги кескин камаяди. Шу сабабли гипсни тишлашгунга қадар ишлатиб тугатиш учун ё оз миқдорда қориш ёхуд унга тишлашиш жараёнини сусайтирувчи моддалар қўшиш керак бўлади.

Суюқ елими, казеин, желатин, глицерин, магний, кальций тузлари коллоид эритма ҳосил қилувчи ҳамда ярим сувли гипсининг (зичлиги 2500—2800 кг/м<sup>3</sup>, уюм тарзидаги ҳажмий массаси 800—1100 кг/м<sup>3</sup>, зичлаштирилган ҳолдаги ҳажмий массаси 1250—1450 кг/м<sup>3</sup>) эриш тезлигини сусайтирувчи ва бунинг натижасида икки молекула сувли гипсининг кристалланишини кечиктирувчи махсус материалларга мисол бўлади. 60°С гача иситилган сув ҳам бу жараён вақтини узайтиришга хизмат қилади.

Гипсдан бинокорлик буюмлари тайёрлаш ва совуқ шароитда уларни тезда қотириш учун қурилиш гипсининг тишлашувини жаддалаштириш талаб этилади. Шу мақсадда унга икки сувли гипс, ош тузи, калий сульфат, сульфат кислота, ишқорлар, кремний-фторидли калий ва бошқа бир қанча моддалар қўшилади.

Ҳавода қотадиган боғловчи модда бўлган қурилиш гипси-

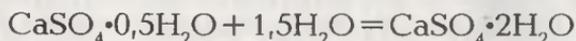
дан сув ичида бунёд этиладиган иншоотларда фойдаланиб бўлмайди, чунки бу ҳолда қотиш вақтида ҳосил бўладиган икки сувли гипс эриб, кристалл ўсимталари парчаланиб кетади ва мустаҳкамликка путур етади.

Гипс қуритилганда унинг мустаҳкамлиги қайта тикланади. Ундан тайёрланган маҳсулотнинг сувга бу қадар чидамсизлигига асосий сабаб шундаки, сув гипсдаги пардалари қотиб улгурган кристалл тузилмаларининг айрим унсурларини ажратиб, парчаловчи таъсир кўрсатади. Ёгингарчилик ва намликдан ҳимоя қилинган гипс маҳсулоти узоққа чидайди. Нам муҳитда тайёрланган гипсли буюмлар ўз мустаҳкамлигини 50 % гача йўқотади. Гипсдан ишланган буюм ва қисмларнинг сувда чидамлилиқ хусусиятини ошириш учун уларга сув таъсир этмайдиган моддалар шимдирилиб, сирти бўялади ёки гипсга сўнмаган оҳак, цемент, тошқол, тош уни, кул ёхуд туйилган домна тошқоли каби моддалар қўшилади. Майда туйилган қурилиш гипсидан гоят майин ва тез тишлашувчи қолипбоп гипс ҳосил бўлади.

Ўз сифатига кўра, қурилиш гипси икки навга бўлинади. Гипснинг' чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси 40x40x160 мм ўлчамли қолипга қуйиб тайёрланган намуналарда аниқланади.

Стандарт талабларига жавоб берадиган гипс қоришмасини тайёрлаш учун сув миқдорига катта аҳамият бериш керак. Сув билан қориштирилганидан 1,5 соат вақт ўтганда 1-нав қурилиш гипсининг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси камида 4,5 МПа, 2-нав гипсники эса 3,5 МПа бўлиши лозим.

Гипснинг қотиши. Бу жараён гипснинг гидратланиши билан бошланади, яъни бунда ярим молекула сувли гипс қайтадан кристалл ҳолатдаги икки молекула сувли гипсга айланади:



Амалда гипснинг қотиши кам сувни талаб қилса ҳам, унинг қоришмасини ишлатиш қулай бўлиши учун сув кўпроқ қуйилади. Гипсдан ясалган буюмнинг мустаҳкамлигини оширишга ундаги ортиқча сувни қуритиш йўли билан эришилади.

Академик А.А.Байков назариясига кўра, гипс қотаётганида асосан қуйидаги физик-кимёвий жараёнлар рўй беради. Ярим молекула сувли гипс сувда қисман эриб, икки молекула сувли қийин эрувчан гипс ҳосил қилади. Гипс заррачалари *гель*

деб аталувчи елимсимон ҳолатга айланади, бу эса *гипснинг гидратланиши* ҳисобланади. Натижада коллоид ҳолатидаги жуда майда заррачалардан ташкил топган гипс хаамири ҳосил бўлади ва у тезда кристаллана бошлайди. Икки сувли гипс заррачаларида ўсаётган игнасимон кристаллар ўзаро зичлашиб, мустаҳкам туташган кристаллга айланади. Коллоид эритманинг ҳосил бўлиш ва кристалланиш жараёни ярим молекула сувли гипснинг икки молекула сувли гипсга тўла айланишига қадар давом этади. Буюм қуритилганида унда эритма ҳолида қолган ярим сувли гипс коллоид хамирга айланиб, икки молекула сувли гипс кристаллари ажралиб чиқиши ҳисобига буюмнинг мустаҳкамлиги янада ортади. Шунинг учун гипсдан ишланган буюмлар махсус қуритиш камераларида 70°C гача ҳароратда қуритилади.

Қурилиш гипсидан асосан сувоқ ишлари учун оҳак-гипс қоришмаси тайёрлашда ва бинокорлик деталлари ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Уни ҳеч қандай қўшимчасиз соф ҳолида ҳам ишлатиш мумкин, чунки қуриганда ёрилиб кетмайди. Оҳак-гипс сувоқ қоришмаларида гипсга 1:5 нисбатда оҳак қўшилади, натижада қоришманинг тишлашуви секинлашиб, эластиклиги ортади.

Боғловчи моддани тежаш ва оҳакнинг дарз кетишига йўл қўймаслик учун гипс-оҳак аралашмасига 1:3 ҳажмда қум ёки унинг ўрнини босувчи бошқа модда (тошқол, пемза, ёғоч кипиғи ва қириндиси сингари моддалар) қўшилади. Сувоқ қоришмаси тайёрлашда қурилиш гипсига оҳак қўшмаси ҳам бўлади, бироқ бу ҳолда унинг тишлашувини сусайтирувчи бошқа бирор қўшимча модда аралаштиришга тўғри келади.

Оҳак-гипс қоришмалари соф оҳак қоришмасидан тез қотиши ва анча мустаҳкамлиги билан, гипс қоришмасидан эса, эластиклиги ҳамда секин тишлашуви билан фарқ қилади. Гипс қоришмасини тайёрлашда гил ҳам ишлатилади.

Юқорида айтиб ўтилганидек, сувоқчиликда оҳак ва гипсдан иборат бинокорлик қоришмалари ишлатилади. Оҳак одатда хамир кўринишида ишлатилади, бунинг учун у сўндирилади. Оҳакни сўндириш *экзотермик жараён* бўлиб, бунда маълум миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. *Эндотермик жараён* бўлган гипсни куйдиришда эса, сув ажралиб чиқиб, иссиқлик ютилади. Тадқиқотчи Мак-Энелли гипсдан ажралиб чиқадиган намдан оҳакни гидратлашда, оҳакнинг гидратланишдаги иссиқлигидан эса гипсни куйдиришда жуда ўринли фойдаланган.

Қурилиш гипсидан турли гипс ва гипс-бетон маҳсулотлари: куруқ сувоқ, девор плиталари ва панеллар, қаватлар орасига қўйиладиган деталлар, архитектура-бинокорлик маҳсулотлари, вентиляция қутилари, термоизоляция плиталари ва бошқалар тайёрланади.

Ранги оқлигидан у сунъий мрамор ва баъзи бўёқлар ҳамда бўр тайёрлашда ҳам энг яхши хом ашёдир. Қулолчиликда ундан қолиплар ясашда фойдаланилади. Гипс, шунингдек, кўзгу ва оптик шишалар ишлаб чиқаришда, унинг асбест ва бошқа материаллар билан аралашмаси эса иссиқликни ўтказмайдиган буюмлар тайёрлашда ишлатилади.

Бундан ташқари, қурилиш гипси биноларнинг ички деворларини суваш, наққошлик ва безаклар тайёрлаш ишларида кенг қўлланилади. Унинг ўтга чидамлик хусусияти биноларни шамоллатувчи қурилмалар, лифт катаклари ва бошқа буюмлар тайёрлашда қўл келади.

**Гипсни ташиш ва сақлаш.** Гипсли боғловчиларни ташиш ва сақлашда нам таъсиридан ҳимоялаш лозим. Очиқ жойда бир ойдан ортиқ турган гипс мустаҳкамлигини 20 % гача йўқотади. Бу материал сақланадиган омборларнинг поллари ёғочдан бўлиши керак.

**Юқори мустаҳкамликка эга гипс.** Икки молекула сувли табиий гипс-тош  $750\text{--}800^\circ\text{C}$  да пиширилиб, сўнгра туйилиши ва натрий сульфат, алюминий ва бошқа тузлар қўшилиши натижасида мустаҳкамлиги юксак, секин қотувчи, сиқилишдаги мустаҳкамлиги 30 МПа гача бўлган оқ рангли гипс олинади.

Юқори сифатли гипс олишнинг иккинчи усули уни юқори босимли (0,13—0,2 МПа) бугда  $125^\circ\text{C}$  ҳароратда пиширишдан иборат. Профессор Б.Г.Скрамтаев ва Г.Г.Буличев ишлаб чиққан бу усулга биноан, гипс-тош герметик ёпиқ қозонга солиниб, тўйинган буг ёрдамида 0,13 МПа босим остида пиширилгандан кейин кукун қилиб туйилади. Олинган гипсни яхши қотириш учун унинг таркибидаги сув миқдори 40—50 % бўлиши керак. Бундай гипснинг 7 кундан кейинги мустаҳкамлиги 15—40 МПа га етади ва у жуда муҳим иншоотлар қуришда, шунингдек, металлургия саноатида қолиплар тайёрлашда яхши иш беради.

**Ангидрит цемент.** Табиий гипс-тош ёки ангидрит  $600\text{--}750^\circ\text{C}$  да пиширилиб, сўнг туйилиб, ҳавода қотадиган боғловчи

модда — ангидрит цемент олинади. Цемент фаоллигини ошириш мақсадида унга катализатор сифатидаги қўшилмалардан оҳак, пиширилган доломит, домна тошқоли ва ёнувчи сланец кули қўшилади. Бу цементни академик П.П.Будников ихтиро этган.

Секин тишлашувчи боғловчи бўлган ангидрит цементнинг тишлашуви 1—1,5 соатдан кейин бошланади, охири эса 24 соатгача давом этади, сувга чидамликда гипсдан устун туради. Сиқилишга бўлган мустаҳкамлигига қараб 50, 100, 150 ва 200 маркаларга бўлинади. Зичлиги 2800—2900 кг/м<sup>3</sup>, уюм тарзидаги ҳажмий массаси 850—1100 кг/м<sup>3</sup>, зичлантирилгандаги ҳажмий массаси 1200—1500 кг/м<sup>3</sup>.

Кам куйдириладиган гипсли боғловчи моддалардан фарқли ўлароқ ангидритли цемент қотаётганда ҳажман кенгаймайди, гидравлик хусусиятларга эга эмас. Нам ҳавода жуда тез қотади. Намликда дастлабки қотишдан кейин қуруқ муҳитда янада мустаҳкамлана боради. Қотган ангидрит цемент сувда узоқ вақт туриб қолса, мустаҳкамлик даражаси пасаяди, кейин қуруқ шароитда мустаҳкамлиги янада ошади. Фаоллаштирувчи модда сифатида домна тошқоли қўшилган ангидрит цементнинг сувга чидамлиги анча юксак.

Цементнинг бу навидан тайёрланган бинокорлик қоришмалари 15 мартагача музлаб-эриган ҳолда ҳам ўз хусусиятини сезиларли даражада йўқотмайди. Уйнинг чоксиз тўшالمаси, линолеум ости тушالمасини ҳосил қилишда, турли хил сувоқ ва оралиқ қоришмалар, органик, аорганик тўлдиргичли енгил бетонлар, оғир бетонлар ишлаб чиқаришда, шунингдек, сунъий мрамар тайёрлашда ангидрит цементдан фойдаланилади. Ундан ишланган конструкция ва буюмларни ҳаво намлиги 60—70 % дан юқори бўлган жойларда қўлланиб бўлмайди.

Ангидрит цемент қоришма сифатида гишт теришда, сувоқчиликда, изоляция материаллари ишлаб чиқаришда ва бетон сифатида иншоотларнинг сув таъсир этмайдиган қисмларини бунёд этишда қўлланилади.

Пардозбоп гипс (цемент). Зарарли аралашмалардан тозаланган гипс-тошни 550—700°С да пишириб, кейин туйиш жараёнида унга алюминийли аччиқтош қўшиш йўли билан пардозбоп гипс (цемент) олинади. Оқ рангли бу гипснинг нур қайтариш коэффициенти 90 % дан кам бўлмаслиги керак. Тишлашуви 1 соатдан кейин бошланиб, охири 12 соатгача да-

вом этади. 100 дан 400 гача бўлган маркаларда чиқарилади. Қурилишда пардозбоп қоришма сифатида сунъий мраммар тошлар, меъморчилик ва безак буюмлари тайёрлашда ишлатилади.

Юқори ҳароратда ( 800—1100°C) пиширилиб, сўнгра майда туйилган табиий гипс, гипс-тош ёки ангидрит боғловчилар жумласига киради. Гипс-тош пиширилиши жараёнида  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ўз таркибидаги бор сувни йўқотади,  $\text{CaSO}_4$  эса қисман парчаланаяди ва гипсда фаол  $\text{CaO}$  ҳосил бўлады. Бу боғловчига катализаторларсиз қотиш хусусиятини бағишлайди.

Юқори ҳароратда пиширилган гипс 100, 150 ва 200 маркаларда ишлаб чиқарилади. Унинг солишгирма массаси 2,8—2,9 г/см<sup>3</sup>, ҳажмий массаси 900—1100 кг/м<sup>3</sup>. Бу гипс секин тишлашувчан, бошқа гипсларга нисбатан сувга чидамли. У қурилишда гишт териш, сувоқчилик ишларида, бетон буюмлари ҳамда сунъий мраммар тошлар тайёрлашда ишлатилади.

Археологларнинг гувоҳлик беришларича, Ўзбекистонда гипсли боғловчи моддалардан кенг фойдаланиш VII-X ва X-XIII асрларга тўғри келади. Ўша даврларда гипс асосан гишт теришда, муҳташам кошона деворларига ўйма гуллар солишда кўп ишлатилган. Бинокорлар ҳавода қотадиган гипсли боғловчиларнинг об-ҳаво, сув-нам таъсирига чидамлигини ва мустаҳкамлигини ошириш мақсадида унга ўсимлик кули, туйилган писта кўмир, гишт кукуни, оҳак ва бошқа фаол қўшилмалар қўшиб, тажрибалар ўтказишган. Масалан, гипс қоришмасининг пластиклиги, ёпишувчанлигини, ундан ясалган буюмнинг пишиқлигини оширишда махсус ўсимлик елими ишлатилган.

Ўзбекистон юқори сифатли гипс боғловчилари ишлаб чиқаришга имкон берадиган хом ашё захираларига бой. Икки сувли табиий гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ва ганч, шунингдек, табиий ангидрит  $\text{CaSO}_4$  конлари, айниқса, кўп.

Соғ тупроқнинг икки сувли табиий гипс аралашувидан ташкил топган ганч билан арзиқ таркибан бир-бирига ўхшаш жинслардир. Фарқи фақат шундаки, ганч табиатда тош кўринишида, арзиқ эса тупроқ ҳолатида учрайди.

Ҳозир республикада умумий ҳажми 12 млн тоннага яқин 25 хил гипсбоп хом ашё захиралари топилган. Минералогик таркибига кўра, бу хом ашё кимёвий тоза табиий гипс-

тошга яқиндир. Кимёвий тоза гипсда СаО миқдори 32—56 % ва SO<sub>3</sub> 46—51 % бўлса, Фарғона, Сўх, Қувасой, Шўрсув, Қамишбоши конларидан олинадиган табиий гипсда ўрта ҳисобда СаО миқдори 32,9 % ни, SO<sub>3</sub> эса 45,2 % ни ташкил этади.

Ўзбекистонда ишлатиладиган барча гипсли боғловчиларнинг 60—70 % ини қурилиш гипси ташкил этади. Уларнинг кўпгина турлари тез қотувчан, тишлашувининг бошланиши 4—5 минут, охири эса 7—8 минутта тенг.

Йирик ўлчамдаги гипс-бетон буюмларини тайёрлашда қоришманинг тишлашувини секинлаштириш катта аҳамиятга эга. Шу мақсадда қоришма тайёрланаётганда унга 0,25 % миқдорида суяк елими қўшилади. Натижада, материалнинг тишлашуви ўрта ҳисобда 5—6 марта секинлашиб, пластиклиги ортади, буюмнинг мустаҳкамлиги эса 20—24 % гача кучаяди. Гипсдан ишланган намунанинг сув шимувчанлиги 26 % бўлса, суяк елими қўшилгандан сўнг бу кўрсаткич 6—9 % га камаяди.

Марказий Осиёда кўп тарқалган ганч ҳавода қотадиган боғловчи модда бўлиб, у таркибидаги тупроқнинг кўплиги (20—40 %) билан оддий қурилиш гипсидан фарқ қилади. Бу материалларнинг ҳар иккаласи ҳам 170—180°С да пишириб олинади, яъни ундаги икки молекула сувли гипс ярим молекулали ҳолга келтирилади. Ганчнинг сифати асосан хом ашё таркибидаги икки молекулали гипс миқдorigа боғлиқ: бу миқдор ортишига қараб ганчнинг сифати ҳам яхшиланади. Ҳозир республикада туртта корхонада гипс, ганч ишлаб чиқарилмоқда.

Табиий ангидрит цемент. Республикамиз юқори сифатли табиий ангидрит захираларига бойлиги ҳавода қотадиган боғловчи ангидрит цементни (пиширилган ва пиширилмаган хилларини) кўп миқдорда ишлаб чиқариш имконини беради. Таркибида фаол моддалар кўплиги боис уни умуман пиширмай, фақат механик усулда қайта ишлаш йўли билан мустаҳкамлиги талаб даражасида бўлган боғловчи модда олиш мумкинлиги аниқланди. Бу сифати билан қурилиш гипсидан устун турадиган ангидрит цементга оҳак кукуни, портландцемент ва шу каби фаол моддалар қўшилса, унинг сиқилишдаги мустаҳкамлиги 19,8—20,5 МПа гача етади.

Пиширилмасдан тайёрланадиган ва зарур мустаҳкамликка эга ангидрит цементни кўплаб ишлаб чиқариш катта иқтисодий самара беради.

## 8. Ўта юқори ҳароратда куйдириладиган гипс (эстрих-гипс)

Икки молекула сувли гипс ёки ангидрит  $800\text{—}1000^\circ\text{C}$  да куйдирилиб олинган маҳсулот туйилганида эстрих-гипс ҳосил бўлади.

Ўта юқори ҳароратда куйдирилган гипс катализаторсиз ҳам қотиш хусусияти билан ангидрит цементдан фарқ қилади. Чунки бу ҳолда гипсда  $\text{CaSO}_4$  қисман парчаланаяди, яъни  $\text{CaO}$  эркин ёки  $m\text{CaSO}_4 \cdot n\text{CaO}$  типда кальций сульфатнинг асосий бирикмалари тарзида ажралиб чиқаяди. Айни ана шу бирикмалар катализаторлар сифатида ишқорий муҳитни вужудга келтиради. Натижада юксак ҳароратда куйдирилган гипснинг эрувчанлиги янада ошиб, икки молекула сувли гипснинг ҳосил бўлиш жараёни тезлашади. Унинг кристаллари вужудга келиши эса асосий қотиш жараёни ҳисобланади.

Тайёрлаш технологияси. Ўта юқори ҳароратда куйдирилган гипсни тайёрлаш технологияси ангидрит цемент технологиясига деярли ўхшаш, катализатор қўшилмаслиги жиҳати билан нисбатан соддароқ. Гипс-тошни майдалаш, куйдириш ва куйдирилган маҳсулотни кукун ҳолигача (асосан шарли тегирмонларда) туйиш муҳим ишлаб чиқариш жараёнларидир.

Ангидрит цемент кўпинча ним газ ўтхонали шахта печларда куйдирилади. Бундай ҳолларда кальций сульфиди ҳосил бўлмаслиги учун печда оксидлантириш муҳитини яратмоқ лозим. Чунки боғловчи таркибида 0,1 % дан зиёдроқ кальций сульфиди бўлса, боғловчи қотаётганида ҳажман нотекис ўзгариш натижасида маҳсулотнинг мустаҳкамлиги пасаяди. Шахта печларда куйдириш учун тайёр маҳсулот оғирлигининг 10—15 % миқдорида шартли ёқилғи сарфланади. Куйдириш режими ва ишланаётган боғловчининг хоссалари кўп жиҳатдан хом ашё таркибига боғлиқ. Гипс-тошда доломит ва оҳактош қўшилмаларининг бўлиши куйдириш жараёнида эркин кальций ва магний оксидларини вужудга келтиради. Уларнинг миқдори 5—7 % бўлиши фойдали ҳисобланади.

Куйдириш вақтида гипснинг қумтупроқ, гилтупроқ ва темир оксидлари каби аралашмалари бўлган кальций сульфати ва кальций карбонатлари қўшилмалари билан ўзаро таъсир этишуvidан бирламчи кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари ҳосил бўлади. Улар кальций сульфатнинг парчаланаш ҳароратини пасайтиради.

Хоссалари ва ишлатилиши. Юқори ҳароратда куйдирилган гипсга нисбатан белгиланган техник шартлар (ТШ) га кўра, бундай гипслар кумсиз пластик хамир (1:0) дан ишланган 28 кунлик намуналарнинг энг паст — минимал мустаҳкамлигига қараб аниқланадиган уч хил, яъни 100, 150 ва 200 марқада чиқарилади.

Гипснинг бу хили қурилишбоп гипсга қараганда анча мустаҳкам бўлишининг асосий сабаби шуки, хом ашё жуда майда туйилади ва уни қоришда оз миқдорда (нормал қуюқ хамир ҳосил қилиш учун 25—35 % атрофида) сув қўшилади. Шиббалаб қолипланган гипснинг мустаҳкамлиги шиббаланмасдан қолипланган гипсникига қараганда 25 % юксакдир.

Қанчалик майда туйилгани 1 см<sup>2</sup> юзасида 100 та кўзи бўлган элақда кўпи билан 2 %, 900 та кўзли элақда 10 % дан ошмаган қолдик қолганлигига қараб аниқланади.

Ута юқори ҳароратда куйдирилган гипс қотаётганида қурилишбоп гипсга қараганда, бир оз бўлса ҳам, ҳажман кичраяди. Ундан ишланган буюмлар сувга ва совуққа кўпроқ чидамли эканлиги билан ҳам фарқланади. Ишқаланишга катта қаршилиқ кўрсатиши билан ҳам у бошқа хил гипслардан ажралиб туради. Масалан, ишқаланишга қаршилиги полга ишлатиладиган сопол плиталарникидан уч марта юқоридир.

Ангидрит цемент қайси соҳаларда ишлатилса, жуда юқори ҳароратда куйдирилган гипс ҳам худди шу мақсадларда қўлланилади, яъни ундан чоксиз полларни қошлашда, дераза пештахталари, зиналари ва манзарали плиталар тайёрлашда фойдаланса бўлади.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Қурилиш гипси қандай хом ашёлардан олинади?
2. Гипс-тошнинг хоссаларини айтиб беринг.
3. Гипс-тош қиздирилганда қандай жараёнлар кечади?
4. Қурилиш гипси деб қандай маҳсулотга айтилади?
5. Қурилиш гипсини ишлаб чиқариш усуллари ҳақида гапириб беринг.
6. Қурилиш гипсини олишнинг қандай усули кенг тарқалган?
7. Альфа-ярим гидратли гипс қандай олинади?
8. Альфа-ярим гидратини олишда гипс-тошдан ташқари яна қандай хом ашёлардан фойдаланилади?
9. Кальций сульфатнинг қандай модификацияларини биласиз?
10. Альфа-ярим гидрат ва бета-ярим гидрат қандай тишлашади ва уларнинг фарқи борми?

11. Гипснинг қотишига доир назариялар ҳақида маълумот беринг.
12. Гипс боғловчилар қотишига қўшимчалар қандай таъсир қилади?
13. Қотганда гипснинг ҳажми кенгайдими?
14. Гипснинг гидратланиши деганда нимани тушунасиз?
15. Юқори мустаҳкамликка эга гипс қурилиш гипсидан қандай фарқланади?
16. Ангидрит цемент хусусиятларини таърифлаб беринг.
17. Пардозбop цемент қандай олинади?
18. Табиий ангидрит цементни олиш усуллари, унинг афзалликлари ва камчиликлари нималардан иборат?
19. Эстрих-гипс қандай модда, уни тайёрлаш технологиясининг фарқли жиҳатлари.

### III боб. ФОСФОГИПСНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ ХОССАЛАРИ, УНДАН ФОЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ

#### 9. Фосфогилснинг таркиби, тузилиши ва хоссаларини тадқиқ этиш

Турли конлардаги фосфор рудалари минералогик ҳамда аралашмалар таркиби, миқдори, тузилиши, физик ва кимёвий хоссалари жиҳатидан бир-биридан фарқ қилиб, апатит ҳамда фосфорит каби асосий турларга бўлинади.

Апатит рудалари асосан кальций-фторapatит  $3\text{Ca}(\text{PO}_4) \cdot \text{CaF}_2$ , гидроксилapatит  $3\text{Ca}(\text{PO}_4) \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$  дан таркиб топган. Улар таркибида апатитдан ташқари нефелин  $(\text{Na}, \text{K}) \text{AlSiO}_4 \cdot n\text{SiO}_2$  аралашмалари, эгирин  $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2$ , титаномангнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeTiO}_3 \cdot \text{TiO}_2$ , ильменит  $\text{FeTiO}_3$ , сфен  $\text{CaTiSiO}_5$ , дала шпатлари ва бошқалар бор. Фосфоритларга майда кристалли тузилма, юқори дисперслик ва заррачалар ғоваклиги хосдир.

Фосфат-карбонат, фосфат-кремнийли фосфор рудалари кенг тарқалган бўлиб, улар ягона фосфоритли муҳитда мавжуддир. Минералогик жиҳатдан ғоят хилма-хил бу рудалар асосан қумтупроқ (кремнезем) фосфати, алюмосиликатлар ва темирли миңерал аралашмалари бўлган карбонатлардан таркиб топган. Масалан, модда таркиби ва тузилиши турлича бўлган Қоратов фосфорити магнийга бойлиги билан ажралиб туради.

Фосфор кислотаси — мураккаб концентрацияланган фосфор ўғитлар ва бошқа фосфорли бирикмаларни ишлаб чиқаришда асосий ярим маҳсулот бўлиб хизмат қилади. Олтингургурт кислотаси ёрдамида (экстракцион усулда) ажратиб олиш уни ҳосил қилишнинг кенг ёйилган усулидир. Бунда табиий фосфатлар олтингургурт кислота таъсирида парчаланиб, фосфор кислота эритмасидан ҳосил бўладиган қаттиқ ҳолатдаги кальций сульфат ажратиб олинади.

Экстракциянинг технологик кўрсаткичларига асосан ҳароратта ва фосфат кислота концентрациясига боғлиқ равишда кальций сульфатнинг турли кристалл гидратлари: дигидрат, ярим гидрат ва ангидрит чўкиндига тушиши мумкин. Шунга мувофиқ фосфат кислота ишлаб чиқаришнинг дигидрат, ярим

гидрат ва ангидрит усуллари фарқланади. Улардан ҳар бирининг моҳияти фосфат етарли даражада парчаланиши натижасида ҳосил бўладиган пульпанинг ажратилишидан ва чўкиндидан фосфат кислотасининг ювиб олинишидан иборат.

Қоратов фосфоритлари денгиз сувидан оқиб чиқиб, чўкиши натижасида вужудга келган ва таркибида кальций фосфатдан ташқари глауконит, лимонит, кальцит, доломит, магнийли силикатлар, алюмосиликатлар, каолин, дала шпатлари, кварц, гранит ва органик моддалар мужассам бўлган жинслардир. Фосфоритларнинг петрографик таҳлили шуни кўрсатадики, аксарият қисми майда кристалли мўрт (аморф) фосфатлардан иборат бу жинслар таркибида оз даражада аралашмалар ҳам мавжуд.

Бу кон фосфоритларининг кимёвий таркибини қуруқ мода тарзида таҳлил қилганда, фоиз ҳисобида қуйидагича кўрсаткичга эга бўламиз:

эримайдиган қолдиқ — 10 — 18 %

$P_2O_5$  — 24-26

$CaO$  — 35-42

$MgO$  — 0,5-50

$Fe_2O_5$  — 1,3

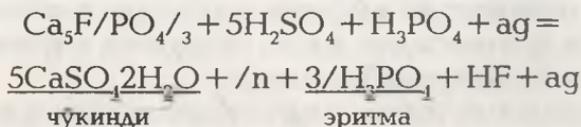
$Al_2O_3$  — 1,3

F - 2,1—2,8

$CO_2$  — 3,1

Олмаликдаги «Аммофос» корхонасида Қоратов фосфорит унига олтингугурт кислотаси таъсир эттирилиб, парчаланиши ва кальций сульфатнинг дигидрат кўринишида чўкиши орқали фосфор кислота ажратиб олинади. Олтингугурт кислотанинг фосфорит унига аралаштирилишидан фосфор кислота ҳосил бўлади ва кальций сульфат дигидрат чўкиндисига тушади (пульпа-суспензия).

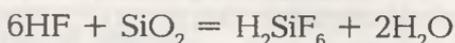
Фосфорит унининг парчаланиши қуйидаги тенглама бўйича юз беради:



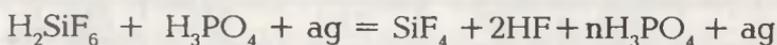
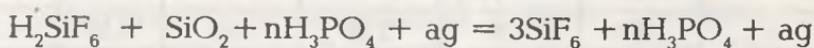
Чўкинди, асосан, икки молекулали сувли кальций сульфат ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) дан иборат бўлиб, парчаланмай қолган фосфат, нордон фосфор тузлари ва силикатлар аралашмасидан таркиб

топган. Аралашмаларнинг миқдорий таркиби дастлабки хом ашёнинг минералогик таркиби, ишлаб чиқаришнинг қай даражада йўлга қўйилганлиги, асбоб-ускуналарнинг созлиги, технология интизомига риоя этилиши ва ҳоказо омилларга боғлиқ. Силикатлар кислота таъсирида осон парчаланиб, эритмага Na, K, Al ионлари ва кремний кислотасини ажратиб чиқаради.

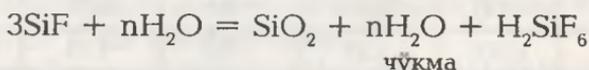
Кремний кислота фторли водород билан ўзаро реакцияга киришади:



Ҳарорат ва  $\text{H}_3\text{PO}_4$  концентрациясининг кўтарилиши билан фтор кислота эритмаси устида  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  бугларнинг қайишқоқлиги (упругость) ортиб боради. Бунинг натижасида фосфат кислота ишлаб чиқаришнинг турли шароитларида юз берадиган фосфатлар парчаланишида ажралиб чиқаётган фторли газлар миқдори бир хил бўлмайди:



Фосфор кислота ишлаб чиқариш шароитларида  $\text{SiF}_4$  HF га нисбатан катта қайишқоқликка эга, шу сабабли чиқаётган фторли кремний кислота чўкиндиси ва газларда  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  эритмаси ҳосил бўлади.



Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, фосфогипсдаги фтор таркиби 0,1—0,4 % дан ошмайди. Фосфогипснинг намлиги айланма — карусель вакуумфилтрнинг иш сифатига боғлиқ бўлиб, 30 % дан 40 % гача ўзгариб туради.

Фосфогипснинг нам ва юмшоқ ҳолатдаги ҳажм оғирлигида 0,531 дан 0,581 т/м<sup>3</sup> гача ўзгариш юз беради ва ўртача 0,556 т/м<sup>3</sup> ни ташкил этади; доимий оғирликкача қуритилган юмшоқ ҳолатидаги ҳажмий массаси — 0,508 дан 0,526т/м<sup>3</sup> гача, ўртача — 0,517 т/м<sup>3</sup> гача этади. «Аммофос» корхонасининг фосфогипси ташқи кўринишидан кулранг, ипаксимон товланиб турувчи материалдир. У ўзига хос ҳидига, юмшоқ тузилиши-

га эга, тартибсиз текстурали, таркибий тузилиши битта минералдан таркиб тошган, сал намроқ материал орасида юмшоқ массадан шакланган гувалалардан иборат. Куритилган ҳолатда эса майда дисперс кукундир. (3-жадвалда фосфогипснинг донадорлик ўлчов таркиби берилган).

3-жадвал

Фосфогипснинг донадорлик (гранулометрик) таркиби  
(техника фанлари номзоди М.А. Аҳмедов маълумотларига  
асосан тайёрланган)

Элаклар тавсифи		Элакдаги қолдиқ, %					Воскресенск фосфогипси
		Олмалиқ фосфогипси					
Элак (тўр)лар №	Ғовак элак кўзлари сони*	синов намунаси № 1	синов намунаси № 2	синов намунаси № 3	Уртача	Уртача	
2,5	11,2	5,56	5,15	6,04	5,58	0,23	
1,6	23,8	8,85	9,11	8,92	8,96	1,19	
0,4	331	37,66	36,50	37,36	36,17	1,68	
0315	494	2,06	2,10	1,92	2,03	1,68	
016	1480	9,96	9,85	9,05	9,62	9,81	
01	3400	28,10	28,01	27,73	27,94	—	
0063	8270	5,40	5,95	6,03	5,79	37,73	
005	13900	1,25	2,00	1,73	1,66	5,75	
Элакдан ўтказилди, г/см <sup>2</sup>	13900	1,16	1,33	1,22	1,23	42,58	
	Жами	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

\* Элакнинг 1 см<sup>2</sup> тўридаги кўзлар сони.

Элакдан ўтказишга доир таҳлилий маълумотларга қараганда, фосфогипснинг энг кўп фракцияси 1,6—0,4 ва 0,16—0,1 мм ўлчамдаги заррачалардан иборат. Фракция таркибида 50 мк. дан кам бўлганлари 2—3 % ни ташкил этади. Табиий шароитларда куритилган фосфогипснинг солиштирма оғирлиги та-

бий икки молекулали сувли гипсникига ўхшайди — 2,34—2,36 г/см<sup>3</sup>. Ҳаво ўтказиш усули билан аниқланган солишпирма юзаси 3100—3500 см<sup>2</sup>/г оралиғида ўзгариб туради.

"Аммофос" корхонаси фосфогипсидан цемент саноатида фойдаланиш мақсадида турли жойлардан фосфогипснинг олти синов намунаси тадқиқот учун танлаб олинди. Фосфогипс таркиби, тузилиши ва хоссалари турлича усуллар ёрдамида ҳар томонлама ўрганилди.

Танлаб олинган намуналар намлигини йўқотиш учун улар уч кеча-кундуз давомида эксикаторда концентранланган олтин-гургурт кислотаси устида тутиб турилди. Кейин яхшилаб майдаланиб, кимёвий, рентгенографик, петрографик ва термографик таҳлил қилинди.

Фосфогипснинг кимёвий таркиби (4-жадвал) доимий бўлиб, асосан икки молекулали сувли гипс билан қумтупроқ (кремнезем) аралашмаси ҳамда оз миқдордаги  $P_2O_5$ ,  $R_2O_3$  дан таркиб топган. Гигроскопик намлиги 30,87—33,05 %, гидрат суви 18,1—19,8 % оралиғида ўзгариб турди. Икки молекулали сувли гипснинг ҳисобланган миқдори 88—95 %.

Цементнинг қотиш жараёнида, айниқса, дастлабки босқичида сувда эрийдиган  $P_2O_5$ нинг аҳамияти катта. Тўпланган маълумотлар шуни кўрсатмоқдаки, цементга фосфогипс билан қўшиладиган сувда эрийдиган  $P_2O_5$  0,1 фоиздан ошмаслиги керак.

Олмалиқ фосфогипсидаги сувда эрувчан  $P_2O_5$  миқдори 0,36—0,95 % оралиғида. Фосфогипсдан тишлашиш муддатларининг ростлагичи сифатида фойдаланилганда икки молекулали сувли гипс (3—7 %) ўрнига цементдаги сувда эрувчан  $P_2O_5$  миқдори 0,011—0,066 % ни ташкил этади.

Рентгенограммалар таҳлили маълумотларидан турли вақтларда ҳар хил жойлардан олинган фосфогипс синов намуналарининг кристалл таркибий тузилиши бир-бирига яқинлигини кўриш мумкин. Кварц асосан икки молекулали сувли гипс ва аралашмалар массасининг иккинчи асосий таркибий қисми эканлиги кузатилди.

Фосфогипс қиздирилган вақтда кристаллик сувини йўқота бошлайди. 150°C ҳароратгача қиздирилганда икки молекулали сувли гипс дифракцион максимумларининг жадаллиги камаяди, ярим сувли кальций сульфатга жавоб берадиган янги чизиқлар: 5,96; 2,97; 2,78; 1,83; 1,65; Å пайдо бўлади. 200°C да фосфогипс таркибидаги икки молекулали сувли гипс ярим

сувли гипсга ва қисман ангидритга айланади. 250°C ва ундан юқори ҳароратда икки молекулали сувли гипс чизиқларининг жадаллиги кескин камаяди. Ҳарорат 400°C гача кўтарилганда ангидритнинг янада жадалроқ чизиқлари пайдо бўлади. 1250°C ва ундан юқори ҳароратда кварц чизиқлари йўқолади, бу SiO<sub>2</sub> билан СаО нинг ўзаро таъсир этишуви натижасида кальций силикати ҳосил бўлганлигидан далолат беради. Ҳарорат 1300 ва 1400°C гача кўтарилганида ангидритдан ташқари қаттиқ силикофосфат кальций эритмасига туғри келадиган 2,68 Å чизиғи кузатилади.

4-жадвал

Фосфогипс турлича синов намуналарининг  
кимёвий таҳлили, фоиз ҳисобида

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Қ.П.Й.* 550°C	Сувда эрий- диган P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Жами
Олмалик кимё заводи											
10,12	0,68	0,83	34,78	куч- сиз	41,24	1,33	0,40	0,33	7,85	0,48	97,56
13,75	0,58	0,68	31,33	куч- сиз	44,43	2,00	0,25	0,14	6,50	0,95	99,56
10,17	0,84	0,30	33,16	0,44	46,24	1,84	0,15	0,17	6,85	0,62	100,16
10,39	0,75	0,60	33,66	0,20	48,19	1,04	0,15	0,17	5,00	0,36	100,15
8,50	0,96	0,64	31,89	0,51	44,32	2,23	0,16	0,12	10,47	0,52	99,80
10,16	1,05	куч- сиз	32,44	куч- сиз	45,28	1,91	0,21	0,24	6,25	0,53	97,54
Воскресенск кимё заводи											
0,23	0,31	0,21	31,35	0,28	45,34	1,50	0,14	0,03	19,50	0,48	98,98

\* Қ.П.Й. — қиздириш пайтидаги йўқотиш.

Фосфогипснинг дифференциал термик таҳлили (Д.Т.Т.) кўрсатишича, эгри чизиқлари 100—180°C оралигида пайдо бўладиган икки молекулали сувли гипснинг ёрқин намоён бўладиган дегидратланиши икки эндотермик эффеқта эга.

Гипснинг биринчи эндотермик эффекти бошланишидан ( $110^{\circ}\text{C}$  ҳароратда) фарқли равишда, фосфогипсда бу жараён  $100^{\circ}\text{C}$  да пайдо бўлади. Фаол дегидратланиш нисбатан паст ҳароратда юзага келади. Биринчи эндотермик эффектнинг бошланиши, ҳароратнинг пасайиши, фосфогипс таркибидаги аралашмалар билан боғлиқ бўлиши мумкин. Улар механик қўшимчалар сифатида берилиши, шунингдек, кальций сульфат кристалл панжарасига кириши (масалан,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ёки муайян хоссаларга эга мустақил тизимлар ҳосил қилиши мумкин. Айни шу кальций сульфатнинг икки ўрин олган қаттиқ эритмалари фосфогипснинг ўзига хос хоссаларини белгилаб беради, бу, хусусан, унинг дегидратланиш ҳарорати пасайишида намоён бўлади. Фосфогипс таркибидаги сувда эрувчи фосфатлар ҳам сезиларли даражада унинг дегидратланиш ҳароратини пасайтиради. Катта бўлмаган эндотермик эффектлар ҳарорат  $540\text{—}550^{\circ}\text{C}$  га етганида кварц мавжудлигидан далолат беради.

Ҳарорат  $670\text{—}780^{\circ}\text{C}$  бўлганида фосфогипс таркибидаги мавжуд карбонатлар парчаланиш реакциясига учраб, эндоэффектлар ҳосил бўлади.  $985\text{—}1100^{\circ}\text{C}$  ҳароратдаги экзоэффектлар фосфогипс таркибида зарур миқдордаги  $\text{CaO}$  аралашмаси сифатида мавжуд кварцнинг реакцияга киришувидан икки кальцийли силикат ҳосил бўлиши билан боғлиқдир.  $1150\text{—}1160^{\circ}\text{C}$  ҳароратда эндоэффектлар кальций сульфатнинг парчаланишига тўғри келади ва  $1215^{\circ}\text{C}$  да ангидрит полиморф ўзгаришлари юз беради.

Фосфогипснинг петрографик тадқиқотлари унинг асосан таблеткасимон, призма ва габитус шаклидаги гипс кристаллчаларидан иборат эканлигини кўрсатди. Уларнинг ўлчамлари  $0,1\text{—}0,5$  мм оралиғида ўзгариб туради,  $0,1$  ва  $0,4$  мм катталиқдагилари ҳам кўп учрайди.

Кристаллари рангсиз, сувдек шаффоф, ичидаги майда холхолчанг заррачалари кўзга ташланиб туради. Айрим кристалларда гипс заррачалари мавжудлиги ҳам кузатилади. Минерал юмшоқ бўлиб, осон эзилади. Нур синдириш кўрсаткичлари:  $N_g\text{-}1,527$ ;  $N_p\text{-}1,524$ ;  $N_g\text{-}N_p = 0,003$ .

Синов намунасида гипсдан ташқари нур синдириш кўрсаткичи  $> 1,620$  га тенг рангсиз, эпидот гуруҳига мансублиги эҳтимол бўлган доначалар ва яхши ёритилмайдиган  $0,15$  мм ўлчамдаги гил бўлакчалар ҳам мавжуд.

## Фосфогипсларнинг кимёвий таркиби, % ҳисобида

Синов намунаси	Олмалик фосфогипси	Воскресенск фосфогипси
Қ.П.Й (П.п.п.)	0,08	3,55
SiO <sub>2</sub>	95,50	33,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,54	0,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,52	23,80
CaO	0,28	8,56
MgO	—	0,24
SO <sub>3</sub>	0,12	3,50
TiO <sub>2</sub>	—	22,20
Na <sub>2</sub> O	0,22	3,72
K <sub>2</sub> O	0,76	0,14
	100,02	99,53

Сувда эримайдиган қолдиқнинг кимёвий таркибини аниқлаш учун фосфогипсга 2 NHCl билан ишлов берилганида у 9,2 % ни ташкил этиб, асосан (95,50 %) қумтупроқдан иборат бўлди. Оксидлар ичида R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> кўп учрайди.

Рентгенографик таҳлил асосий аралашмани ҳам кўрсатди: *a*-кварц; *d* = 4,24; 3,34; 2,44; 2,28; 2,22; 1,97; 1,82 Å ва ҳ.к.

Олмалик фосфогипсининг эримайдиган қолдиғини петрографик таҳлил қилиш натижасида унинг 93—97 фоизини *a*-кварц ташкил этиши аниқланди. Кварцнинг 50% дан ортиқ қисмини таркибида темир бўлган руда аралашмалари ташкил этса керак, руда (балки, лимонит) қўшилмалари миқдори 3—7 %; гематитнинг айрим кристаллари ҳам учрайди. Шундай қилиб, кимёвий, рентгенографик, петрографик ва дифференциал-термик таҳлил усуллари билан ўтказилган тадқиқотлар асосида Олмалик фосфогипсининг асосий минерал таркиби икки молекулали сувли гипсдан (88—95 %) иборат эканлиги маълум бўлди. У Воскресенск (Россия) кимё заводи фосфогипсига нисбатан анча дағал дисперсли ва ифлослангандир. Олмалик фосфогипсининг асосий аралашмасида кварц (7—13 %), Воскресенск заводи фосфогипсида эса темир ва алюминий аралашмалари мавжуд. Сувда эрийдиган фосфор бирикмалари

Воскресенск фосфогипсидагига (0,48 %) нисбатан Олмалик фосфогипсида кўпроқ (0,65 %).

Хибин кони апатитларини қайта ишлашда олинадиган фосфогипс асосан Россия кимё заводларида қайта ишланади. Шу жумладан, Воскресенск кимё заводи бу хом ашёни кўп миқдорда ишлатади. Корхонанинг Хибин кони апатитларига олтингугурт кислотаси билан ишлов бериш натижасида ҳосил бўлган чиқиндиларидан иборат фосфогипси ўзининг кимёвий-минералогик таркиби, дисперслиги жиҳатидан Олмаликдаги «Аммофос» корхонаси фосфогипсидан фарқ қилади. Кола ярим оролининг апатит рудалари асосан кальцийфторapatит  $3\text{Ca}_3/\text{PO}_4/\cdot\text{CaF}_2$ , оз миқдордаги гидроксилapatит  $3\text{Ca}_3/\text{PO}_4/\cdot\text{Ca}/\text{OH}/_2$  ва бошқа изоморф ўрин алмашган шакллардан иборат. Апатит рудаси таркибида минерал аралашмалардан нефелин (Na, K)  $\text{AlSiO}_4\cdot\text{SiO}_2$ , эгирин  $\text{NaFe}/\text{SiO}_3/$ , титаномангнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4\cdot\text{FeTiO}_2\cdot\text{TiO}_2$ , ильменит  $\text{FeTiO}_3$ , сфен  $\text{CaTiSiO}_5$ , дала шпатлари мавжуд.

Хибин апатитларининг кимёвий таркиби Қоратов фосфоритиникидан кескин фарқ қилади, уларнинг қуруқ модда таркиби % ҳисобида қуйидагича: эримайдиган қолдиқ — 0,2—15;  $\text{MgO}$  — 0,1—0,2; F — 2,8—3,1;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 39—40;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,1—0,3;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 0,5—0,9.

Воскресенск заводи фосфогипси юқори дисперсли икки молекулали сувли кальций сульфатдан (98—99 %) ҳамда фосфор ва фтор бирикмалари аралашмасидан иборат. Олмалик фосфогипсиникидан анча кам миқдордаги аралашмалари асосан парчаланмаган апатитнинг яшил-кўк кучсиз плеохроирловчи доначаларидан иборат.

Кўринишидан оқиш-кулранг уваланувчи материал бўлган Воскресенск фосфогипсининг зичланмаган ҳолатдаги уюм-ҳажм массаси — 0,45; зичланган ҳолатда — 0,83 т/м<sup>3</sup>. Сув ўтказувчанлик усули билан (ПСХ асбобида) аниқланган солишгирма юзаси 3800 см<sup>2</sup>/г га тенг. Солишгирма оғирлиги 2,35—2,40 г/см<sup>3</sup>. Хом ашёнинг донадорлик таркиби юқори дисперслиги билан ажралиб туради — 50 мк. дан кам фракцияси 42,80 % га тенг (Олмалик фосфогипсида бу кўрсаткич — 2—3 %ни ташкил қилади). Доначалар таркибидаги энг кўп (80—85 %) фракцияси — 100 мк. дан кам. Эримайдиган қолдиқ таркибини  $\text{SO}_2$ , бир ярим оксидлар ва ишқорлар, яъни оз миқдордаги  $\text{CaO}$  ва  $\text{SO}_3$  лар асосий қисмини ташкил этади ва  $\text{CaO}$  ва  $\text{SO}_3$  нинг нисбати гипсникига яқин — 97—98 %. Шундай қилиб, Воскресенск

фосфогипси Олмалик фосфогипсига нисбатан анча тоза эканлиги маълум бўлади.

УРС — 50 ИМ қурилмасида ўтказилган рентгеноструктурвий таҳлил кимёвий таҳлил маълумотларини тўлиқ тасдиқлади. Рентгенограммаларда асосан икки молекулали сувли гипсининг текисликлараро чизиқлари қайд этилган бўлиб, бошқа минералларга тегишли чизиқлар ўз аксини топмаган.

Воскресенск фосфогипсининг термограммаси ҳам гипс термограммасидан фарқ қилмайди; биринчи эндотермик эффекти  $110^{\circ}\text{C}$  ҳароратда пайдо бўлади,  $130^{\circ}\text{C}$  да максимум даражага етади ва бу гипсининг табиий турларига хосдир.

Иккинчи эндотермик эффект  $155\text{—}170^{\circ}\text{C}$  ҳарорат оралигида пайдо бўлади ва ярим гидрат ярим молекула сувини йўқотишидан дарак беради. Дастлабки хом ашё каби, Воскресенск фосфогипсидан ҳосил бўлган ярим гидрат  $170^{\circ}\text{C}$  да, Олмалик фосфогипси ярим гидрати эса —  $175\text{—}180^{\circ}\text{C}$  ҳароратда сувини йўқотади.

Воскресенск фосфогипсининг петрографик синов намунасида друзалар (1,0 мм. гача), таблеткасимон ва призма шаклидаги кристаллчалар ўсимталаридан (0,2 мм.гача) иборат. Кристаллчалари рангсиз, сувдек тиниқ ёки тарқоқ ҳолдаги майда чанг заррачалари ҳамда сиртидаги суртмалар ҳисобига ним қўнғир рангда кўринади. Оптик константалари ( $N_g - 1,530$ ;  $N_p - 1,520$ ;  $N_g - N_p = 0,010$ ;  $N_g = 45\text{—}48^{\circ}$ ) кальций сульфат дигидратига хосдир.

Деярли барча кристаллчалар таркибида кўп сонли холсимон минерал заррачалар мавжуд. Рангсиз, ним яшил-кўк, 0,01 мм ўлчамдаги думалоқ ёки чўзинчоқ шаклдаги доначалар кўзга ташланади. Уларнинг нур синдириш кўрсаткичи — 1,600—1,605; изотроп. Бундан ташқари, тахминан шунча миқдордаги майда (0,005—0,01мм), куб сингонияли изотроп ҳосилалар кўринишидаги холланмалар мавжуд. Нур синдириш кўрсаткичи 1,450 га яқин. Воскресенск фосфогипси эримайдиган қолдигининг таҳлили шуни кўрсатадики, унинг асосий таркиби  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}_3$  ва  $\text{TiO}_2$  бўлиб, Олмалик фосфогипси 96 % эримайдиган қолдиги таркиби  $\text{SiO}_2$  дан иборат.

Петрографик таҳлил натижасида шу нарса аниқландики, эримайдиган қолдиқ таркибида тахминан 60 % авгит (юқори қўш нур синдириш кўрсаткичига эга бўлган яшил-кўк кристаллар), 10—15 % эпидот (кристаллари кулранг, ним яшил-кўк, юқори қўш нур синдириш хусусиятига эга, кесишган ни-

коллари камалаксимон), доизит (кристаллари кулранг ёки рангсиз бўлиб, қўш нур синдириш кўрсаткичи паст) ва 15 % руда минераллари бор. Эримайдиган қолдиқнинг рентгенографик таҳлили петрографик тадқиқот натижаларини тасдиқлайди.

## 10. Фосфогипсдан фойдаланиш имкониятлари

Фосфогипс хом ашёсини ҳар жиҳатдан қайта ишлаш борасида анчагина муваффақиятларга эришилган бўлса-да, ундан фойдаланиш муаммоси аввалгидек долзарб бўлиб қолмоқда. Жаҳонда 100 млн тонналаб тўпланиб қолган фосфогипсни мутлақо кераксиз нарса деб ҳисоблаш ўринсиз эканлиги равшан. Бундан ташқари асосий маҳсулот билан биргаликда кўплаб фосфогипс чиқиндиси олиниши ҳали узоқ давом этади, шу боис, ундан кенг фойдаланишни йўлга қўйиш олимлар, соҳа мутахассислари ва иқтисодчилардан катта эътибор талаб қиладиган муҳим муаммодир.

Ишлаб чиқарилаётган асосий маҳсулот билан биргаликда вужудга келадиган фосфогипс миқдори қайта ишланаётган ҳар тонна фосфорит ёки апатит ҳисобига 1,4—1,6 тоннани ташкил қилади. Бошқача айтганда, фосфат хом ашёсини қайта ишлайдиган завод бир вагон фосфорит ёки апатит олиб, ўз ҳудудидан 1,5 вагон фосфогипсни бирор жойга чиқариб ташлаб, номаълум муддат сақлаши керак бўлади, бу эса кўплаб маблағ сарфлашни тақозо этади. Бундан ташқари, мазкур ишлаб чиқариш муносабати билан санитария талабларига бинотан атроф-муҳит тозалигини назорат қилиб туриш, тирик мавжудот ҳаётини муҳофаза қилиш, чиқинди сувларни бир жойга тўплаб, улар таркибидаги фосфогипс, фтор бирикмалари, ювилмай қолган сульфат, фосфор кислоталарини зарарсизлантириш ҳам кам маблағ талаб қилмайди.

Фосфогипсдаги гипс кристаллари бир хил бўлмайди, баъзи бирларининг панжараларида  $\text{SO}_4^{2-}$  иони,  $\text{SiO}_4^{2-}$  ва  $\text{PO}_4^{3-}$  ионларига, кальций иони эса  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ва сийрак ер элементларига алмашган бўлади. Шунинг учун бундай сунъий гипс фосфогипс деб аталади. Бу ҳолат оддий технология асосида фосфогипсдан олинадиган гипс боғловчи моддалар хоссасини ёмонлаштиради. Бироқ махсус ишлаб чиқилган ва қуйида санаб ўтиладиган усуллар асосида сувсизлантириш йўли билан фосфогипсдан шундай боғловчи модда ҳосил қилиш мумкинки, у сифати жиҳатидан бошқа табиий хом ашёлардан

ҳосил қилинувчи моддалардан асло қолишмайди. Бу усуллар жумласига қуйидагилар киради:

1. Сувда ювиш орқали  $P_2O_5$  нинг эрийдиган шаклини йўқотиш.

2. Эркин фосфор кислотани оҳак билан нейтраллаш.

3. Фтор ёки хлор апатит тарзида  $H_3PO_4$  ни чўктириш учун оҳак сутига фтор ёки хлор қўшиб фосфогипсга ишлов бериш.

4. Фосфогипсга  $120—150^{\circ}C$  ҳароратда термик ишлов бериб, сўнгра уни сульфат ва фосфор кислоталар аралашмасида сувсизлантириш.

Натижада бу кислоталар аралашмасида  $H_2SO_4$  концентрацияси 0,5 % ортади, оғирлик массасининг нисбати  $H_3PO_4:H_2SO_4$  бирдан кам. Ҳосил бўлган маҳсулотда фосфор кислота миқдори 0,3 фоизгача,  $CaF_2$  миқдори эса 0,02 фоизгача камаяди. Шу йўсинда олинган гипс табиий гипс хоссаларига яқинлашади.

5. Бирмунча қолдиқ кислотаси ва қўшимчалари бўлган фосфогипсда гипс рН ни 7 дан ошириш учун етарли миқдорда оҳак ёки кальций гидроксиди қўшилади. Кейин рН 7 га қадар камайтириш учун куйдирилиб, алюминий сульфат билан ишлов берилади.

6. Фосфогипс иссиқлик таъсирида ишланади. Натижада кальций сульфат оралиқ шаклга ўтади. Иссиқлик таъсирида ишлов берилган маҳсулот ё оҳак, ё оҳакли цемент, ё уч валентли темир сульфати ёки уларнинг аралашмаси бўлган сув билан қориштирилади.

Шундан кейин кальций сульфат икки сувли бўлгунига қадар гидратлантирилади, аралашмалар эса сувда эримайдиган шаклга киради. Иссиқлик таъсирида яна ишлов берилса, ярим сувли кальций сульфат ҳосил бўлади.

7. Фосфогипсни  $60—90^{\circ}C$  да бир ёки кўп босқичли гидро-сепарация жараёни ёрдамида тозалаш оқибатида соф  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  кристаллари вужудга келади.

Юқорида санаб ўтилган усуллардан бири воситасида фосфогипсга ишлов берилганидан кейин бинокорлик гипси, ўта мустаҳкам гипс, оҳак гипсли боғловчи модда, фосфоангидрит цемент ва ҳавода қотадиган бошқа боғловчи материаллар ҳосил бўлади.

Бундан ташқари, ишлов берилган фосфогипсдан сифатли табиий икки сувли гипс ўрнида ҳам фойдаланса бўлади.

## 11. Фосфогипсдан ҳавода қотадиган материаллар олиш

Юқорида айтиб ўтилганидек, табиий гипсдан олинадиган барча турдаги ҳавода қотувчи боғловчи материалларни замонавий усуллардан фойдаланган ҳолда қайта ишланган фосфогипсдан ҳам тайёрлаш мумкин бўлади.

Фосфогипсни қайта ишлаш натижасида шундай материалларни олиш борасидаги илк лаборатория тадқиқотлари 1933—1935 йилларда ўтказилган. Уша пайтда П.П.Будников, М.И.Гершман ва С.М.Рояк каби тадқиқотчилар ундан қурилиш гипси ҳосил қилишган, лекин икки сабабга кўра бундай гипсни санот миқёсида ишлаб чиқариш мақсадга мувофиқ эмас, деган фикрга келинган: биринчидан, фосфогипс таркибидаги фосфат кислота тайёр маҳсулотнинг тишлаб қолиш муддатини қисқартиради, иккинчидан, қурилиш фосфогипсининг механик хусусиятлари ғоят паст даражада бўлиб, уни фақат қурилиш гипсига қўшимча сифатидагина қўлланиш мумкин, дейилган.

Биз эндиликда бу фикрлар фосфогипснинг экстракция жараёнида кристалланиши учун зарур оптимал шароитлар масаласи ҳали ҳал қилинмаган ва фосфогипсдан сувда эрувчан фосфат кислотасини ювиб чиқариш анча мушкул бўлган бир пайтда, яъни сульфат кислота билан фосфоритларнинг парчаланиш жараёнини ўрганишнинг дастлабки даврида олинган фосфогипс намуналарида ўтказилган тадқиқотлар асосида чиқарилганлигини ҳисобга олишимиз лозим.

Маълумки, қурилиш гипсига фосфат кислота тарзида 0,63 фоиз  $P_2O_5$  қўшилса, боғловчи модда қотаётганидаги чўзилиш ва сиқилишга бўлган мустаҳкамлик чегарасини мувофиқ тарзда 23 дан 15 гача ва 100 дан 33 кг/см<sup>2</sup> гача камайтиради. Бу ҳол фосфогипс куйдирилгунига қадар унинг таркибидаги сувда эрийдиган фосфат кислотанинг кўп қисмини йўқотиш кераклигидан далолат беради. Америка патентларида кўрсатилишича, ҳатто сувда эрийдиган  $P_2O_5$  нинг 0,1 % тайёр маҳсулот мустаҳкамлигини анча камайтиради, кўп миқдордаги фосфат кислота эса гидратланишда кристалланиш жараёнини шу қадар бузадик, натижада куйдирилган гипс яроқсиз ҳолга келиб қолади.

Ўғитлар ва инсектицидлар илмий-тадқиқот институтида экстракция жараёнини ўзлаштириш ҳамда яхши кристалл таркибий тузилишли фосфогипс олиш давомида фосфат кислотани йўқотишнинг икки оддий усули синаб кўрилди:

а) фосфогипсни тўғридан-тўғри сув билан ювиш;

б) сувда эрийдиган кислотани оҳак сути билан нейтраллаш.

Ҳавода қуритилган муайян миқдордаги фосфогипс уй ҳароратидаги сувга солиниб, филтрланиб ювилганда, сувда эрийдиган фосфат кислотадан осонгина халос бўлади. Агар фосфогипс таркибида 2 %  $P_2O_5$  бўлса, уни ювиб тозалаш учун ҳавода қуритилган бир килограмм фосфогипсга 2—2,2 литр сув kifоя қилади.

Сувда эрийдиган  $P_2O_5$  ни оҳак сути билан нейтраллаш учун таркибида 10 %  $Ca(OH)_2$  бўлган оҳак сути ҳисоб-китоб асосида фосфогипс пульпасига қўшилиб, 2 соат мобайнида қориштирилади. Нейтраллаш реакциясининг тугаши фенолфталеин бўйича кузатиб турилади. Сувда эрийдиган  $P_2O_5$  дан шу тарзда ювиб тозаланган фосфогипсдан боғловчи олиш мумкин бўлади. Бундай боғловчи модданинг сифати — механик мустақамлиги ҳамда тишлашиш муддатлари жиҳатидан Давлат сандртлари талабларига мувофиқ келади.

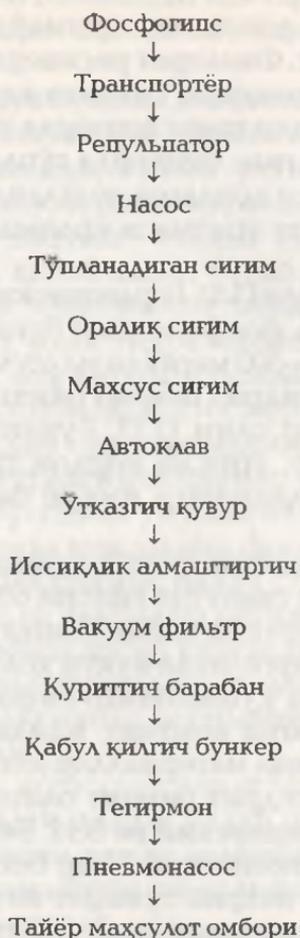
Фосфогипснинг хосса ва хусусиятлари, қўлланиш жабҳалари табиий гипсники билан айнан бир хилдир (гипсга оид бобга қаралсин).

Асосан ярим сувли гипсдан ва гипс-тошдан термик ишлаш йўли билан тайёрланадиган қурилиш гипсини фосфогипсдан ҳам олиш мумкин. Ярм сувли гипс таркибида 38,63%  $CaO$ , 55,16%  $SO_3$  ва 6,21%  $H_2O$  бор.

МДХ, мамлакатларидаги кўпгина илмий-тадқиқот муассасалари фосфогипс чиқиндиларидан фойдаланиш борасида изланишлар олиб боришмоқда. Ўз вақтида Арманистон ФА Умумий анорганик кимё институти билан собиқ Бутуниттифоқ қурилиш материаллари илмий-текшириш институти ҳамкорликда фосфогипсдан техникавий гипс ишлаб чиқариш усулига асос солган. Фосфогипсни суюқ муҳитларда босим остида дигидратлашга асосланган бу технологияга биноан, олинган  $\alpha$ —ярим молекула сувли гипс филтрланади ва иссиқ сувда чайиб қуритилади (57-бетдаги чизмага қаранг).

Тавсия этилган чизмага кўра, фосфогипс тасмали транспортёр ёрдамида пульпа тайёрлаш учун "чан"га (сигимга) узатилади. Пульпада суюқ ва қаттиқ фазалар нисбати (С:Қ) = 4:1 га тенг. Тайёр пульпа марказдан қочирма насос орқали қуюлтиргичга юборилади. Оқова сувлар канализацияга туширилади, қуюлтирилган пульпа (С:Қ = 1:1) эса ўша насос ёрдамида репульпатор орқали қабул қилгичга узатилади. Кристалланиш

## Фосфогипсni $\alpha$ — ярим гидратта айлантириш чизмаси



жараёнини нормал ҳолга келтириш мақсадида калий ёки барий малеинат ёхуд дастлабки фосфогипс массасининг 0,1 % миқдориди ҳар икки модда аралашмасидан фойдаланиш тавсия этилади. Қабул қилгичдаги қуюқ пульпа репульпатор орқали насос воситасида ҳам пульпа сигимиға ҳайдалади. Қуюқ ва ҳам пульпа аралашмаси бу ерда вентиль ростлагич ва насос ёрдамида кетма-кет ўрнатилган автоклавлар орқали ўтказилишида гипснинг дегидратланиши юз беради.  $\alpha$  — ярим гидратли қайноқ пульпа игнали ростлагич ҳамда иссиқлик алмаштиргич орқали ўтиб, қабул қилувчи идишда тўпланади. Идиш

бугдан исийдиган тўлқинсимон найча — "змеевик" билан таъминланган.

Ҳарорати 90—95°С дан пастга тушмайдиган пульпа тасма филтрдан ўтказилади. Филтрат ресивердан идишга юборилади, у ердан насос ёрдамида сизимга қайтарилади. Қаттиқ фаза (яъни гипс) тасмали транспортёрда қуригич барабанига узатилади. Қуриган гипс бункерда тўпланади. Шу йўсинда ҳосил бўлган гипс қоғоз қоғларга жойланади. Чиқадиган газлар натрий метасиликат эритмаси ёрдамида ювилиб, фторли газлардан тозаланади.

Россиялик олимлардан П.Ф. Гордашевский ва В.В. Иваницкий маълумотига қараганда, фосфогипсдан бундай усулда  $\alpha$  — ярим гидрат тайёрлашда 300—500 маркали маҳсулот ҳосил бўлади.

Фосфогипсдан ангидрит цемент олиш. Бундан элик беш йил муқаддам кимёгар олим П.П. Будников оз миқдордаги ишқорлар, кислоталар, ўрта ва нордон тузлар эримайдиган ангидритнинг гидратланишига имкон беришини кўрсатиб ўтган эди.

Ангидрит цемент асосан сувсиз кальций сульфатдан таркиб топган табиий ёки синтетик гипсни 600—700°С ҳароратда куйдиришдан олинadиган ва кейин бошқа турли қўшилма-катализаторлар билан биргаликда кукун ҳолигача майдаланadиган маҳсулотдир. Унга қўшилмалар сифатида оҳак, ҳар хил сульфатлар, куйдирилган доломит, майдаланган домна тошқоли ва бошқа бир қанча материаллар ишлатилади.

Фосфогипсдан ангидрит цемент олиш борасида Р.Э. Симоновская, П.Ф. Гордашевский ва В.И. Березовский (Россия) махсус тадқиқотлар ўтказишган. Улар боғловчи модда бўлган фосфогипс қотишида натрий сульфат ва натрий биосульфат сингари моддалардан катализаторлар сифатида фойдаланишди.

Одатда, ангидрит цементга фаоллаштирувчи моддалар ангидритни майдалаш вақтида қўшилади, сувда яхши эрийдиганларини эса ангидрит цементни сувда қориш жараёнида аралаштириш мумкин. Бу боғловчи модданинг қотиши қўшигидрат ҳосил бўлиши туфайли рўй беради.

Ангидрит цементнинг сувга бўлган талаби ва сув сингдириш хусусияти асосан унинг қай даражада майдаланганлигига боғлиқ, меъёрдагидек қуюқ қоришма ҳосил қилиш учун одатда, 30—35 % сув қўшилади.

Ундан тайёрланган ангидрит цемент хоссалари табиий гипсдан олинган ангидрит цементникига ўхшашдир.

Оҳақ-фосфогипс боғловчи материаллар. 1940 йили тадқиқотчилар Мак-Энелли томонидан тавсифлаб берилган гипс ва оҳақдан куйдирмасдан боғловчи моддалар олиш усулини қўладилар.

Умуман олганда, сувоқчиликда оҳақ ва сувоқ гипсидан иборат бинокорлик қоришмалари ишлатилади. Оҳақ, одатда, ҳамир тарзида қўлланилади, бунинг учун эса у сўндирилади. Оҳақни сўндириш экзотермик жараён бўлиб, бунда муайян даражада иссиқлик ажралиб чиқади. Гипсни куйдириш эса *эндотермик* жараён ҳисобланиб, бунда сув ажралиб чиқади ва иссиқлик ютилади. Мак-Энелли гипсдан чиқадиган намдан оҳақни гидратлашда, оҳақ гидратланиши иссиқлигидан эса гипсни куйдиришда жуда ўринли фойдаланган.

Тадқиқотчи Р.Э.Симоновская мазкур усулда фосфогипс ва сўндирилмаган оҳақдан сувоқ қоришмаси олишга муваффақ бўлди. Бундай икки турдаги фосфогипс таркибида 0,4 ва 0,2 % сувда эрувчан  $P_2O_5$  бўлган ва умумий намлиги 45 %ни ташкил этадиган ювилган ҳамда ювилмаган фосфогипс қўлланилади. Тажриба давомида фосфогипс билан сўндирилмаган оҳақни қўшиб аралаштириш ва кукунлаш натижасида мақбул сифатга эга сувоқ қоришмаси ҳосил қилиш мумкинлиги аниқланди. Очиқ ҳавода етти кун сақланганидан кейин бу қоришма чўзилиш мустаҳкамлигининг чегаравий кўрсаткичи 0,6—0,7 МПа ни ташкил этади.

Фосфогипс сувоқ қоришмасининг таркибий қисмларидан бири сифатида ишлатилганда, ундан фосфор кислотасини ювиб чиқариб ташлашга ҳожат қолмайди. Фосфогипсда гигроскопик намнинг камайиши тайёр маҳсулот мустаҳкамлигининг ортишига олиб келади.

Сувоқ учун ишлатиладиган аралашма фосфогипс билан оҳақни қурилмали агрегатларда бир вақтда қориш ва кукунлаш йўли билан тайёрланади. Асос қилиб олинган материалларнинг хусусиятларига кўра, гипс-оҳақ боғловчи моддаларнинг нисбий миқдори 50—70 % фосфогипс ва 30—50 % оҳақдан иборат. Ҳосил бўлган маҳсулотни барча жараёнлар тўлиқ кечиб бўлиши учун маълум вақтгача тиндириб қўйиш лозим.

Фосфогипсдан ҳавода қотадиган боғловчи материаллар олиш имкониятлари кенглигига қарамай, уларни ишлатиш қўлами чекланган. Бундай материаллар ва улардан тайёрланган маҳсулотлар қурилишда фақат ички пардозлаш ишларида

қўлланилади, шунинг учун фосфогипсни қайта ишланнинг юқорида санаб ўтилган усули бундай моддадан етарлича миқдорда фойдаланишни таъминлай олмайди.

## 12. Боғловчи модда олиш технологиясини тадқиқ этиш ва ишлаб чиқиш

Тадқиқот ўтказиш учун Олмалиқдаги «Аммофос» корхонаси ва Воскресенск кимё комбинатларидан фосфогипс синов намуналари олинди, уларнинг кимёвий таркиби жадвалда (6-жадвал, % ҳисобида) кўрсатилган\*.

6-жадвал

Синов учун олинган фосфогипсларнинг кимёвий таркиби

Оксидлар	Воскресенск фосфогипси	Олмалиқ фосфогипси
H <sub>2</sub> O (400°C)	20,0	17,9
SiO <sub>2</sub>	0,9	9,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,12
CaO	31,7	29,5
MgO	0,18	Кучсиз
SO <sub>3</sub>	45,1	40,5
Na <sub>2</sub> O	0,1	0,24
K <sub>2</sub> O	0,08	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> умум	1,27	2,10
Кту*	0,73	0,13
CaSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	96,96	87,07
	100,84	100,51

\* К.т.у — камёб тупроқ унсурлари

Намуналарни кимёвий таҳлил қилиш натижаларини солиштириб кўриб, қайд этиш мумкинки, Олмалиқ фосфогипси ўз таркибида SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ва ишқорий моддаларнинг кўплиги ҳамда

\* Ушбу бўлимнинг гажриба қисмига оид материаллар техника фанлари номзоди М.А. Ахмедов томонидан тупланган.

$\text{SO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  ва камёб тупроқ унсурларининг камлиги билан Воскресенск фосфогипсидан фарқ қилади. Энг мақбул (оптимал) шаклдаги кальций сульфат ярим гидрат кристалларини олиш учун Воскресенск кимё комбинати фосфогипси пульпасига гидротермал ишлов беришдан олдин сульфано́л НП-3 ва айрим эрувчан анорганик бирикмалар каби ярим гидрат кристалланиш бошқаргичлари (НКБ) — ростлагичлар киритилади.

Олмалиқ фосфогипси кимёвий, рентгено-таркибий тузилиш ва петрографик усуллар билан таҳлил қилинди.  $\text{P}_2\text{O}_5$ , шу жумладан сувда эрийдиган фосфор оксиди кўплиги фосфогипс водород кўрсаткичининг қиймати паст бўлишига ( $\text{pH} = 0,7$ ) сабабдир.

Фосфогипсга лаборатория шароитларида фақат табиий ҳолатда автоклавда гидротермал ишлов берилибгина қолмасдан, у кислота билан турли даражада  $\text{pH} = 1,5$  ва  $4,5$  гача ювилади, чунки нордон муҳитда ишлов бериладиган фосфогипс учун энг мақбул нордонлик айна мана шунча бўлиши шарт.

Ушбу моддани кристалланиш бошқаргич (ростлагич)ларисиз сувли муҳитда сувсизлантириш  $\alpha$ —ярим гидратнинг игнасимон кристаллари ҳосил бўлишига олиб келади, бу кўп сув талаб қиладиган боғловчи моддалар учун мақбул эмас, баъзан эса масса аралаштириб бўлмайдиган ҳолатта келиб қолиши сабабли жараён умуман амалга ошмай қолади.

Бироқ лабораторияда ўтказилган тажрибалар жараёнининг ўзидаёқ даврий равишда таъсир кўрсатиладиган автоклавда хом ашё сувсизлантирилган вақтда фосфоритли фосфогипсга ярим гидрат кристалланиш бошқаргичлари (НКБ)ни киритишнинг ҳожати йўқлиги аниқланди, чунки уларсиз ҳам керакли ўлчамдаги кальций сульфат ярим гидрат кристаллари ҳосил бўлар экан. Бу фаол кремний II оксиди ва натрий бирикмаларининг катта миқдорда (9,7 %) бўлиши билан изоҳланади. Демакки, фосфогипсда  $\alpha$ —ярим гидрат кристалларини бошқариш учун қулай шарт-шароитлар ярата оладиган аралашмалар мавжуд.

Лаборатория шароитларида фосфат кислотасини турли даражада ювиш орқали олинган боғловчи моддаларни синаш натижалари фосфогипс таркибидаги фосфор, фтор ва ҳоказо эрувчан бирикмаларни ювиш зарур эканлигини кўрсатади (7-жадвал).

Бу ҳолда пульпада фосфогипс  $\text{pH} = 1—1,5$  дан ортиқ бўлга-

## Ювилмаган ва ювилган фосфогипснинг қурилиш-техник хусусиятлари

Тавсифи (хусусиятлари)	Ювилмасдан рН = 0,7	рН = 1,5 гача ювилганида	рН = 4,5 гача ювилганида
1	2	3	4
Сувга талабчанлиги, %	30	31	33
Тишлашиш муддатлари: соат, мин —	—	—	—
бошланиши	13—10	9—20	5—50
тугаши	22—30	14—50	8—20
Этилишга мустаҳкамлиги: МПа —			
1,5 соатдан кейин	1,1	2,4	3,7
1 суткадан кейин	2,3	3,4	4,8
қурилганлари	3,7	4,8	6,9
Сиқишга чидамлиги: МПа —			
1,5 соатдан кейин	2,3	3,6	6,9
1 суткадан кейин	4,4	7,4	12,0
қурилганлари	9,8	21,0	32,0

нида — маркази 200 бўлган техник гипс, рН = 4,5 бўлганида эса, М = 300 техник гипс олиниши мумкин.

Боғловчи моддалар фаоллигини ошириш ва дондорлик гра- нулометриқ таркибини яхшилаш мақсадида улар тажриба си- новидан олдин титратма тегирмончада мақбул солиштирма юза 3,5—4 см<sup>2</sup>/гр ҳосил бўлгунича майдаланган. Лаборатория- да ва саноат корхоналарида ўтказилган тажриба тадқиқотла- ри Олмалиқ фосфогипсидан мустаҳкамлиги юқори бўлган боғловчи моддалар, яъни пишиқ, мустаҳкам гипс олиш мум- кинлигини кўрсатди.

Сульфат кальций ярим гидрат кристалланишини қўшимча НКБни киритмай туриб, фосфогипс таркибидаги мавжуд ара- лашмалар ҳисобига амалга ошириш мумкинлиги аниқланди. Ҳосил қилинган боғловчи модда таркибида нордон фосфат тузлари мавжудлигидан унинг тишлашиш муддатлари анча қисқа бўлади. Фосфорит фосфогипсидан олинган боғловчи модда гипс таркибли чиқиндилардан гипсли боғловчи модда- лар учун қўйиладиган ТШ 21-31-75 талабларига жавоб беради.

Сульфат кальций  $\alpha$  — ярим гидратининг тажриба ўтказиш учун мулжалланган намуналари кимёвий таркиби қуйидагилардан иборат, фоиз ҳисобида:

Қ.п.й. = 6,64	$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,40$	$\text{Na}_2\text{O} = 0,03$
$\text{SiO}_2 = 6,46$	$\text{CaO} = 35,44$	$\text{K}_2\text{O} = 0,07$
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,32$	$\text{SO}_4 = 49,56$	$\text{P}_2\text{O}_5 = 1,72 = 100,64$

Кальций сульфат  $\alpha$  — ярим гидрат рентгенограммасида ярим молекула сувли гипсининг 5,98; 3,44; 2,99; 2,79; 2,12; 1,84; 1,68 Å га тенг масофа  $d$  ораллигида бўлган текисликлар ўртасида жуда катта чизиқлари ҳамда кварцнинг  $d$ -3,33 ва 2,45 Å ўзига хос чизиқлари бор. Ярим саноат қурилмасида ҳосил қилинган  $\alpha$  — ярим гидратнинг синов натижалари қуйидагича бўлди: сув талабчанлиги — 31%, тишлашиш муддати (бошланиши) — 10 мин, (охири) — 15 мин, эгилишга чидамлилиги 1,5 соатдан кейин 2,6, бир суткадан кейин — 3,9, қурилганлариники — 5,1 МПа, сиқилишга чидамлилиги 1,5 соатдан кейин 4,7, бир суткадан кейин — 8,9, қурилганлариники — 28,0 МПа.

Шундай қилиб, тадқиқот ва ярим саноат синови натижалари Олмалиқ фосфогипсида 200 ва 300 русумли (маркали) юқори мустаҳкамликка эга гипс боғловчи моддаларини олиш мумкинлигини тасдиқлади.

Ҳавода қотадиган фосфогипсли боғловчи модда ҳисобланган ангидрит цемент ишлаб чиқариш учун текшириб кўрилди. Унинг асосий таркибий қисми сувсиз кальций сульфат ( $\text{CaSO}_4$ ) дан иборат бўлиб, табиий гипс-тошни  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  600—750°C ҳароратда куйдириш йўли билан олинади. Ангидрит цемент ишлаб чиқариш учун таркибида гипс бўлган турли кимёвий чиқиндилардан фойдаланиш мумкин.

Қуйидаги кимёвий таркибли фосфогипсдан ишлов бермасдан фойдаланилди:

Қ.п.й. = 20,90	$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,53$	$\text{Na}_2\text{O} = 0,15$	$\text{MgO} = 0,12$
$\text{SiO}_2 = 9,00$	$\text{CaO} = 27,60$	$\text{K}_2\text{O} = 0,17$	
$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,32$	$\text{SO}_4 = 39,70$	$\text{P}_2\text{O}_5 = 1,72$	

Қуйдириш жараёни муфель печкасида 600—750°C да ҳар 50° С дан кейин 2 ва 4 соат тутиб туриб бажарилди. Қуйдирилган маҳсулотлар кимёвий таҳлил қилинганида натижалар уларнинг кимёвий таркибида сезиларли фарқларни кўрсатмади.

Рентгенограммаларда текисликлараро масофалари  $d = 3,49$ ;

2,83; 2,45; 2,32; 2,19; 2,08; 1,86; 1,74; 1,64 Å такрорланадиган ангидритнинг кучли чизиклари қайд этилди.

Куйдирилган материаллар физик-механик синовлар ўтказиш учун 008 рақамли элақда 8—10 % қолдиқ қолғунига қадар эланди.

Сув билан боғловчи нисбати нормал қуюқлашувни мувофиқ равишда шакллантириш учун қабул қилинди. Котиш катализаторлари сифатида оҳак (1—5 %),  $\text{CuSO}_4$  (0,8 %) мис ишлаб чиқариш корхонасининг чиқиндиси сишгоф (10 % гача), домна тошқоли (10 % гача)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,6 %) +  $\text{CuSO}_4$  (0,8 %) нордон, нейтрал ва реактив глинозем (1,5 %) олинди.

Фосфоангидридли боғловчи асосида 1:3 боғловчи : қум массаси таркибли қоришма бўйича стандарт 4x4x16 см таёқча намуналари етти суткадан кейин синалади. Тишлашиш муддатлари Давлат стандартлари талабларига тўла жавоб бериши аниқланди.

Катализатор қўшимчасиз 600—700°C ҳароратда турли муддатда куйдирилганида фосфогипс ҳеч қандай мустаҳкамлик бермади.  $\text{CuSO}_4$  катализаторининг қўшимчаси қўшилган намуналарни қолиплардан ажратиб олиб бўлмасди, чунки мис сульфати қолип мойлари билан реакцияга киришиб кетган эди.

Сишгоф, домна тошқоли, реактив глинозем қўшилганида намуналар мустаҳкамлигини йўқотиб, сочилиб кетар эди. 2—5 % оҳак катализатори 650°C ҳароратда куйдирилган фосфогипсга қўшилганида ҳосил бўлган боғловчи энг яхши физик-механик тавсифларга эга бўлди. Ушбу маълумотлар 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

Намуналар мустаҳкамлигининг (МПа) ҳарорат (°C) ўзгаришига қараб фарқланиши

Катализатор, %	600		650		700		750	
	эгла	сиқга	эгла	сиқга	эгла	сиқга	эгла	сиқга
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$0,6\text{Na}_2\text{SO}_4 + 0,8\text{CuSO}_4$	0	2,3	2,5	8,6	1,5	2,9	0,9	4,8
Нордон глинозем	0,7	8	2,7	8,8	1,5	5,1	0,9	3,5
Нейтрал глинозем	0,7	4	2,1	2,2	1,6	5,7	1,1	4,5
Оҳак — 1,0	0	0	0,6	2,5	0	0	0,5	2,1
Оҳак — 2,0	1	3,9	2,7	11	1,8	6,7	1,3	6,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оҳак — 3,0	2,1	7,4	3,0	11,6	1,7	6,5	2,0	8,8
Оҳак — 4,0	2,4	7,7	2,8	11,5	1,0	2,8	2,2	8,9
Оҳак — 5,0	4,1	13,1	4,6	17,5	2,0	7,3	2,1	7,6

Шундай қилиб, юқори ҳароратда куйдирилган ангидрид-ли боғловчи олиш учун ўтказилган тадқиқотлар мустаҳкамлиги табиий ангидритдан ҳосил қилинган цементдан қолишмайдиган боғловчи олиш имконияти мавжудлигини кўрсатди.

### 13. Магнезиал боғловчилар

Магний хлорид ( $MgCl_2$ )нинг сувли эритмаларига қориладиган ва майда туйилган каустик магнезит ёки каустик доломит кукунларидан иборат ҳавода қотадиган боғловчи моддалар *магнезиал боғловчи материаллар* деб юритилади.

Каустик магнезит кукуни билан магний хлорид эритмасининг ҳавода тез қотадиган хамирсимон аралашмаси баъзан ихтирочининг номи билан *Сорель цементи* деб аталади.

Каустик магнезит ва магнезиал цементнинг кимёвий таркиби туфайли органик тўлдиргич (ёғоч қипиғи, қириндиси ва бошқа)дарнинг бирикиши-ёпишиши учун қулай шароит туғилди. Улар магнезиал боғловчилар муҳотида чиримайди ва парчаланмайди. Бундай боғловчилар билан асбест ва бошқа толасимон тўлдиргичлар ишлатиш ҳам анча фойдали.

Каустик магнезит табиий магнезитни  $750-850^\circ C$  ҳароратда куйдириб, сўнгра пишган маҳсулотни кукунсимон ҳолгача туйиш йўли билан олинади. Магний карбонат ( $MgCO_3$ ) тузидан иборат магнезит табиатда икки хил, яъни аморф ва кристалл кўринишида учрайди.

Кристалл магнезит (таркибидаги қўшилмаларга қараб) кулранг, оқ, баъзан сариқ ва ҳатто жигарранг тусдаги аниқ кристалл тузилишида ва шишадек ялтироқ бўлади. Унинг таркибида  $CaCO_3$  ва  $FeCO_3$  кўринишидаги қўшилмалар мавжуд. Аммо соф ҳолида ҳам учрайди.

Магнезитнинг кимёвий таркиби куйидагича: 47,82 %  $MgO$  ва 52,18 %  $CO_2$ .

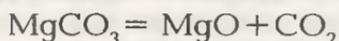
Каустик доломит табиий доломит ( $MgCO_3 \cdot CaCO_3$ )ни куйдириш натижасида олинади. У кальций ва магнийнинг қўш

тузидан иборат бўлиб, қуйидаги кимёвий таркибга эга: 54,2 %  $\text{CaCO}_3$  ва 45,8 %  $\text{MgCO}_3$ .

Каустик магнезит ишлаб чиқариш, тайёрлаш (хом ашёни қазиб олиш, саралаш, майдалаш) жараёнлари ҳамда асосий (куйдириш ва туйиш) жараёнларидан иборат.

Хом ашёни майдалаш ишлаб чиқариш чизмасига мувофиқ бажарилади. Масалан, шахта печлар учун йирик, айланма печлар учун майдароқ материал зарур.

Магнезитни куйдириш учун печларнинг барча турларидан (хумдондан тортиб махсус конструкциядаги механик печларгача) фойдаланиш мумкин, аммо кўпинча ўтхонаси ташқарида жойлашган шахта печларда куйдирилади. Бу жараёнда магнезит парчаланиб, қуйидаги реакция бўйича магний оксиди билан ангидрит газига ажралади:



Магний карбонатнинг парчаланиш реакцияси эндотермик реакция ҳисобланади, яъни унинг содир бўлиши учун талайгина миқдорда иссиқлик (1кг  $\text{MgCO}_3$  га 344 ккал) сарфлаш талаб қилинади. Магний карбонат  $500^\circ\text{C}$  да парчаланган бошлайди, дейиш мумкин, лекин  $600\text{—}650^\circ\text{C}$  да бу жараён талаб даражасида тез содир бўлади. Завод шароитида магнезит нисбатан анча юқори, тахминан  $800^\circ\text{C}$  гача, айланма печларда эса  $1000^\circ\text{C}$  гача ҳароратда куйдирилади.

Умуман олганда, магний карбонатнинг парчаланиш реакцияси қайтарма реакциядир. Реакция талабдагидек йўналишда бўлиши учун унинг маҳсулотларидан бири, яъни  $\text{CO}_2$  табиий ёки сунъий йўл билан чиқариб ташланади, шунингдек, куйдириш ҳарорати назарий зарур даражадан оширилади. Бироқ ҳаддан ташқари юқори ҳароратдан фойда йўқ, чунки бу ҳолда  $\text{MgO}$  нинг боғловчилик хоссалари ёмонлашади.

Магнезитни  $1300^\circ\text{C}$  дан ортиқ ҳароратда куйдириш натижасида "ўта пишган" магнезит ҳосил бўлади. Бундай магнезит туйилган боғловчи модда бўлмай қолади. Яъни ўтга чидамли магнезит буюмлар ишлаб чиқариш учун хом ашё сифатида ишлатишга ярайди, холос. Демак,  $\text{CO}_2$  батамом ажралиб чиққанида куйдириш ҳарорати (руҳсат этиладиган чегаралар)да қанчалик паст бўлса, каустик магнезит шунчалик сифатли чиқади.

Унинг яхши пиширилганини солишгирма оғирлигига қараб аниқлаш мумкин. Стандартга биноан, бу кўрсаткичи 3,1—3,4

г/см<sub>2</sub> бўлиши керак. Куйдирилмаган магnezитнинг солиштирма оғирлиги ўрта ҳисобда — 3, «ўта куйдирилган» магnezитники эса — 3,7 г/см<sup>3</sup>. Демак, чала куйдирилганда магnezитнинг солиштирма оғирлиги 3,1 дан паст, ўта пишириб юборилганда 3,4 г/см<sup>2</sup> дан ортиқ бўлади.

Доломитлар кескин ўзгарувчан таркибли бирикмалар бўлганлигидан каустик доломит ишлаб чиқаришда табиий доломит кимёвий таркибини билишга катта эътибор бериш лозим. Бунинг учун қонда унинг ўртача намуналарини танлаб олиб, кимёвий таҳлил қилиб кўриш зарур. Табиий доломит тахминан 650—750°C да (чала) куйдирилганда каустик доломит ҳосил бўлади.

Доломит каустик магnezит ишлаб чиқарилаётгандагидек, шахта ва айланма печларда чала куйдирилиши мумкин. Бунда MgCO<sub>3</sub> карбонсизлашади ва MgOга айланади. CaCO<sub>3</sub>нинг асосий қисми парчаланмай қолади, чунки унинг парчаланиш ҳароратидан юқори иссиқликда чала куйдирилиши натижа-сида таркибида магний оксиди, оҳактош ва оз миқдорда оҳак бўлган маҳсулот вужудга келади.

Ҳарорат 800—1000°C гача кўтарилганда куйдирилган маҳсулот таркибидаги мавжуд анчагина миқдордаги сўна оладиган кальций оксидли доломит оҳак вужудга келади. 1300°C дан юқори ҳароратда «ўта пишган» доломит ҳосил бўлади. «ўта пишган» магnezит сингари у ҳам ўта чидамли буюмлар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

Қоритқилар. Магnezиял боғловчи моддалар учун магний хлориднинг сувли эритмалари, шунингдек, магний сульфати, темир сульфатининг эритмалари ва бошқа тузлар қоритқи бўлиши мумкин. Каустик магnezит сув билан қорилганда қотган цемент-тош унчалик мустаҳкам бўлмайди. Хлорид ёки магний сульфати билан қорилганда эса юқори мустаҳкамлик касб этади.

Таркибида магний хлорид сувли эритмаси бўлган кўллар саноат миқёсида магний тузлар қазиб олиш манбалари ҳисобланади. Магний хлорид маълум миқдордаги сувли эритма ҳолида қоритқи сифатида ишлатилади. Одатда, унинг солиштирма оғирлиги 1,09—1,26 г/см<sup>3</sup> гача бўлади. Магnezиял цемент компонентларининг ўртача улуши фаол магний оксиди (каустик магnezит умумий оғирлигининг тахминан 85 % ни ташкил этади) ва қаттиқ (қуюқ) олти молекула сувли магний хлоридга нисбатан ҳисоблаганда (оғирлиги жиҳатидан) 67—62 % MgO ва 33—38 % MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>Oдан иборат.

Сульфат кислотани магний оксиди билан нейтраллаб магний сульфати олиш мумкин. Магний сульфатидан фойдаланишда уни сувсизлантирилган  $MgSO_4$ га ҳисобланганда 80—84 % магний оксиди ва 20—16 % магний сульфати нисбатида улушланади,  $MgSO_4$ ли қоришмадан тайёрланган цемент тош  $MgCl_2$ ли қоришмадан ишланганига қараганда унчалик мустаҳкам бўлмайди. Бироқ магний сульфатли қоришмадан тайёрланган цемент-тошнинг гигроскопиклиги магний хлоридли қоришмадан ишланган цемент-тошникига нисбатан анча пастдир.

Тайёр буюмларнинг гидроскопиклигини камайтириш ва уларнинг сувга чидамлилигини ошириш мақсадида каустик магнезитга қоритқи сифатида темир купоросининг ўзи ёки магний хлориди билан қўшиб ишлатилади. Темир купоросини қўшиш магнезиал цементнинг тишлашувини тезлаштиради ва буюмларда шўрланган доғларни камайтиради.

**Хоссалари ва ишлатилиши.** Каустик магнезит ҳамда каустик доломитнинг қотиш жараёнини, А.А. Байков назариясига кўра, уч даврга ажратиш мумкин.

**Биринчи даврга** магний оксидининг гидратланиши хосдир. Бу жараён давомида қўшалок бирикма  $MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$  ҳосил бўлади (агар қоритқи сифатида  $MgCl_2$  олинган бўлса). Гидратланиш ва қўшалок тузнинг ҳосил бўлиш реакциялари деярли қорилиши биланоқ бошланади.

**Иккинчи давр** — модданинг тишлашуви ёки коллоидланиши. Реакциялар натижасида ҳосил бўлган бирикмалар ўта тўйинган эритма ҳосил қилади ва гель (ивик) шаклида ажралиб чиқади; тишлашуви тез бошланиб, тез тугайди, қотган масанинг коллоид ҳолати эса узоқ вақт давом этади.

**Учинчи давр** давомида коллоид масса совуқ ҳолатида қайта кристаллашув йўли билан кристалл ўсимтага айланади. Кристаллар ҳосил бўлса-да, улар жуда ҳам майда, коллоид яқин ўлчамларда бўлади.

Магнезит хом ашёни 800—850°C да куйдириб, сўнгра майдалаб тайёрланадиган каустик магнезитнинг солишгирма оғирлиги, стандартга кўра, 3,1—3,45 г/см<sup>3</sup>, ҳажм оғирлиги — 0,65 дан 0,85 т/м<sup>3</sup> гача бўлиши керак. 21-рақамли элақда кўпи билан 5 % материал қолиши, 0085-рақамли элақдан материалнинг камида 75 % ўтиши керак.

Каустик магнезитнинг кимёвий таркибини 9-жадвалда келтирилган маълумотлардан билиб олиш мумкин.

## Каустик магнезитнинг кимёвий таркиби

Компонентлар	Магнезит таркибида оғирлиқ бўйича, % ҳисобида	
	2-класс	3-класс
Магний оксиди, (MgO) камида	83	75
Кальций оксиди, (CaO) кўпи билан	2,5	4,5
Хлорид кислотада эримайдиган қолдиқ, кўпи билан	2,5	4
Бир ярим миқдорли оксидлар $Al_2O_3 + Fe_2O_3$	нормаланмайди	
110°С даги намлиги, кўпи билан	1,5	1,5

Каустик магнезит тишлашуви камида 20 минутдан кейин бошланиши, кечи билан 6 соатда (қорилган вақтдан ҳисоблаганда) тугаши керак. Каустик магнезитни нормал шароитларда синаётганда ҳажман бир текис ўзгарадиган бўлиши зарур.

Бир сутка ўтгач, чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси камида 1,5 МПа бўлиши керак (тузли эритмада қорилган каустик магнезит билан ёғоч қипиқлари аралашмаси синалаётганда қипиқсиз тайёрланса, бир суткадан кейин мустаҳкамлик чегараси чўзилишда 5,0—10,0 МПа га, сиқилишда эса — 30,0—40,0 МПа га етади).

Доломит хом ашёнинг магний карбонатнинг парчаланиш ҳароратидан юқори, бироқ кальций карбонатникидан кам (700°С га яқин) ҳароратда чала куйдирилиб тайёрланадиган ярим пишиқ доломитнинг солишгирма оғирлиги 2,87—2,85 г/см<sup>3</sup> атрофида, ҳажм оғирлиги эса 1,08 дан 1,11 т/м<sup>3</sup> гача бўлиши керак. Ярим пишиқ доломит каустик магнезитга нисбатан қўйиладиган талабларга мос равишда майда туйилган бўлиши керак.

Каустик магнезит намуналарининг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси (3,7 ва 28 сутка тутилган) тегишлича камида 1,0, 1,6 ва 2,5 МПа бўлиши лозим. Оғирлигига кўра, намуналар 9 қисм каустик магнезит ва 1 қисм қипиқ аралашмасидан ясалади.

Магнезиал боғловчи чоксиз ксилолит пол қошлашда ишлатилади. Бундай полларда асосий тўлдиргич сифатида ёғоч қипиқларидан фойдаланилади. Ксилолит поллар гигиена та-

лабларига мослиги ва кўпга чидаши билан эътиборга молик-дир. Иссиқни кам ўтказувчанлиги жиҳатидан эман паркетта ўхшайди. Кўпчилик фойдаланадиган жойлар (вокзал, клуб, савдо дўкони, касалхона ва бошқалар)га, турар жой биноларининг ёрдамчи хоналари (дахлиз, ошхона, зинапоя майдончалари ва ҳоказалар)га, шунингдек, режими қуруқ фабрика ва завод биноларига шундай пол ётқизилади.

Ёғоч қипиғи, уни ва магнезиал цементдан полга ишлатиладиган прессланган тахталар ясалади.

Магнезиал боғловчилар хоналар ичини сувашда ҳам ишлатилади. Бундай ҳолларда тўлдиригич сифатида одатдаги дарё ёки сой қумидан фойдаланилса, сувоқ ниҳоятда мустаҳкам бўлишидан ташқари цементни кам талаб қилади ва бинони тезроқ фойдаланишга топшириш имкони туғилади.

Турли қурилиш анжомлари (дераза пештахталари, зинапоялар, яхлит том, томга ёпиладиган плиталар ва бошқалар), фибролит плиталар ва иссиқ ўтказмайдиган турли материаллар тайёрлашда ҳам ана шу боғловчилардан фойдаланилади.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Фосфогипс қандай материал, унинг хусусиятлари ҳақида нималарни биласиз?
2. Фосфогипс саноатнинг қайси соҳаси чиқиндиси ҳисобланади?
3. Фосфогипснинг таркиби, тузилиши ва хоссалари нимага боғлиқ?
4. Фосфогипс қиздирилганда юз берган жараёнлар ҳақида ҳикоя қилинг.
5. Фосфогипсга қандай қўшимчалар аралашган бўлади?
6. Фосфогипснинг гипсдан фарқи нимада?
7. Ўзбекистонда ҳозирги кунда қанча миқдорда фосфогипс тўпланиб қолган?
8. Фосфогипс хоссаларини яхшилаш учун уни аралашмалардан тозалаш ҳақида гапириб беринг.
9. Фосфогипсдан қандай қурилиш материаллари яратиш мумкин?
10. Фосфогипсдан қурилиш гипсини олиш мумкинми?
11. Гипс қайта қурилганда унинг мустаҳкамлиги яна тикланадими?
12. Фосфогипсдан ангидрит цемент олиш мумкинми?
13. Оҳак-фосфогипсли боғловчилар қандай тайёрланади?
14. Фосфогипсдан альфа - ярим гидрат олса бўладими?
15. Магнезиал боғловчилар қандай олинади?
16. Магнезиал боғловчиларнинг қандай хоссаларини биласиз?

## IV боб. ОҲАК ТЕХНОЛОГИЯСИ

### 14. Ҳавода қотадиган оҳак

Ҳавода қотадиган оҳак деб, таркибида 8 % гача гил қўшилмалар бўлган ва эриганда ёпишиб қолмайдиган қилиб бир меъёрда куйдирилган оҳактошларни майда туйиш натижасида ҳосил бўладиган ҳавода қотувчан боғловчи моддаларга айтилади. Ҳали туйилмаган куйдириш маҳсулоти сўндирилмаган кесак-оҳак (қайнама) деб аталади. Шу ҳолича у боғловчи модда ҳисобланмайди ва қоришма ҳамда бетон тайёрлашда ишлатишга ярамайди. Боғловчи бўлиши учун кесак-оҳак майда туйилиши зарур.

Кесак-оҳакни майдалашнинг икки усули қўлланилади:

— механик усул — шарли тегирмон ёки бошқа тегирмонларда туйилади;

— сўндириш усули — оҳак бўлақларига сув билан таъсир қилинади, бунда оҳак ўз-ўзидан майда заррачаларга парчаланadi (диспергирланади).

Кесак-оҳак қандай усулда майдаланганига қараб, ҳавода қотадиган товар оҳакнинг қуйидаги турлари ҳосил бўлади:

— сўндирилмаган туйилган оҳак — кесак-оҳак (қайнама) механик усулда майдалаб тайёрланади. Таркибига кўра асосан кальций оксидидан ташкил топади;

— сўндирилган гидрат оҳак (кукун-пушонка) — кесак-оҳак (қайнама)ни маълум миқдордаги сув билан (кукунсимон ҳолатга келгунича) сўндириб тайёрланади. Кимёвий таркиби жиҳатидан у кальций гидрати  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  дан иборат;

— оҳак хамири — кесак-оҳак (қайнама)ни ортиқча сув ҳисобига сўндириш натижасида ҳосил бўладиган, асосан гидрат оксиди ва сувдан иборат маҳсулот.

Кесак-оҳакни сўндириб ёки туйиб майдалаш жараёнида унга фаол ёки гидравлик минерал қўшилмалар (домна ва ёқилги тошқоли, кул, вулқон кули, пемза, туф, кварц кум, цемянка, трепел ва гипс-тош) қўшиш мумкин. Оҳакка қанча минерал қўшилма қўшиш мумкинлиги оҳакнинг фаоллиги ( $\% \text{CaO} + \% \text{MgO}$ )

билан белгиланади. Аммо бу қўшилма 12-жадвалда кўрсатилган миқдордан кам бўлмаслиги керак.

Оҳактошлар оҳак ишлаб чиқаришда асосий хом ашё ҳисобланади. Улар таркибида кальций карбонатдан ташқари муайян миқдорда магний карбонат ҳам мавжуддир. Оҳактош куйдирилаётганда карбонат тузлари қаттиқ  $\text{CaO}$  ва  $\text{MgO}$  оксидлари ҳамда газсимон маҳсулот —  $\text{CO}_2$ га парчланади. Газсимон маҳсулот чиқариб ташланади, қолган қаттиқ оксидлар эса ҳавода қотадиган сўндирилмаган оҳак таркибига киради. Бундай оҳак қанча магний оксидли эканлигига қараб кам магнезиалли (5 % гача магний оксидли), магнезиалли (5 — 20 % магний оксидли) ва доломитли (20 — 41 % магний оксидли) оҳакларга бўлинади.

Оҳакда магний оксиди ва гил аралашмалар бўлиши унинг хоссаларига, жумладан, сўниш тезлигига\* қатта таъсир кўрсатади. Сўниш жараёнининг қанча давом этишига қараб ҳавода қотадиган оҳак икки хилга бўлинади: тез сўнувчан оҳак — 20 минут давомида, аста сўнувчан оҳак эса 20 минутдан ортиқ муддатда сўнади.

Қайнама-оҳакни сўндираётганда оҳак хамирининг ҳарорати ҳар хил бўлиши мумкин. Хусусиятига қараб ҳавода қотадиган оҳак шартли равишда иккига бўлинади: паст экзотермик оҳак (сўндирилаётган вақтдаги энг юқори ҳарорати  $70^\circ\text{C}$  дан паст) ва юксак экзотермик оҳак (сўндирилаётган вақтдаги энг юқори ҳарорати  $70^\circ\text{C}$  дан юқори).

## 15. Сўндирилмаган кесак-оҳак

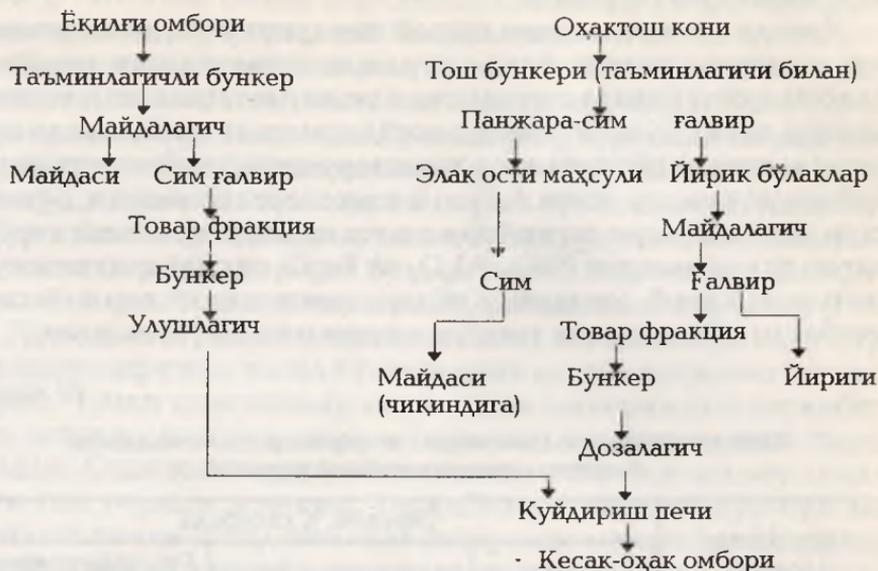
73-бетда келтирилган чизмадан кўриниб турибдики, сўндирилмаган кесак-оҳак ишлаб чиқаришнинг технодогик жараёни асосан оҳактош қазиб олиш, уни тайёрлаш ва куйдиришдан иборат. Сўндирилмаган кесак-оҳак ишлаб чиқаришда кальций карбонатга бой тоғ жинслари (оҳактошлар) ишлатилади.

Оҳактошлар чўкинди тоғ жинслари бўлиб, кимёвий таркиби ва физикавий хоссалари жиҳатидан хилма-хил турларга бўлинади. Асосий қисми кальций карбонатдан иборат. Оҳак-

---

\* Стандарт лаборатория синови вақтидаги сўниш тезлиги деганда, кесак-оҳакни сув билан қорган вақтдан унинг хаимири максимал ҳароратга қадар кизиганча ўтган муддат тушунилади.

## Сундирилмаган кесак-оҳак ишлаб чиқариш технологияси чизмаси



тошлар таркибида бошқа моддалар (яъни магний карбонат, гил ва ҳар хил оксидлар) бўлишига сабаб шуки, оҳактошлар чўкинди ҳолда ҳосил бўлади: карбонатлар чўкканида бу моддалар ҳам чўккан.

Аралашмалар миқдорига қараб оқ рангдан қора ранггача оҳактошлар учрайди. Битум ва кўмир моддалар қўшилгани қорамтир, темир ва марганец аралашмалари таъсирида сариқ, қўнғир, кулранг тусда, кимёвий жиҳатдан соф кальций карбонат эса оппоқ рангда бўлади.

Одатда, оҳактошларга гил аралашмалари қўшилган бўлади. Шунга кўра оҳактошнинг қуйидаги турлари мавжуд: соф оҳактош (таркибида 5 % гача гил); мергель (гилли оҳактош — таркибида 5—10 % гил); оҳак-карбонат мергель (таркибида 10 — 30 % гил) ва мергель (30—50% гил заррачалари бўлган) оҳактош. Келтирилган таснифдан кўриниб турибдики, ҳавода қотадиган оҳак ишлаб чиқариш учун фақат соф оҳактош ва қисман мергель (гил) оҳактошгина ишлатилиши керак.

Ҳавода қотадиган оҳак хоссаларига катта таъсир этадиган иккинчи модда магний карбонатдир. Карбонатли тоғ жинслари таркибида қанча  $MgCO_3$  борлигига қараб, салгина доломит-



лашган оҳактош (таркибида 5—10 %  $MgCO_3$ ), оҳактош-доломит (таркибида 20—40 %  $MgCO_3$ ) ва доломит (таркибида 40—46 %  $MgCO_3$ )га бўлинади.

Ҳавода қотадиган оҳак ишлаб чиқариш учун доломитлашган оҳактошларнинг барча турлари ишлатилиши мумкин. Уларни куйдирганда тегишлича кам магнезиалли ва доломитли оҳак ҳосил бўлади. Ҳавода қотадиган оҳак тайёрлашда ишлатиладиган карбонатли тоғ жинсларининг ҳаммаси стандарт бўйича уч классга, яъни А, Б ва В классларга бўлинади. Бунинг учун тоғ жинслари таркибида қанча карбонат, магний карбонат ва гил аралашма ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  ва  $Fe_2O_3$  оксидлари) мавжудлиги асос қилиб олинган. Қуйида оҳактошнинг ҳар классига нисбатан қўйиладиган талаблар келтирилган (10-жадвал).

10-жадвал

Ҳавода қотадиган оҳак ишлаб чиқаришда ишлатиладиган оҳактошларнинг кимёвий таркиби

Оҳактошлар классси	Таркиби, % ҳисобида		
	$CaCO_3$	$MgCO_3$ кўпи билан	Гил аралашмалар, кўпи билан
А	95	2,5	2
Б	82	10	8
В	50	40	8

Оҳактошлар таркибий тузилиши жиҳатидан зич, бўш ва ғовак бўлиши мумкин. Шунга қараб, оҳактошлар қуйидаги турларга бўлинади:

- донатор-кристалл ёки мармар (майда кристалл таркибий тузилишли) оҳактош;
- зич-кристалл таркибий тузилишли оҳактош;
- зодирчалар тўпламидан иборат оолит оҳактош;
- оҳактош-туф (ғовак оҳактош);
- ўлган жонли организмлар косасидан иборат оҳактош — чиганок;
- юмшоқ-бўш тоғ жинси — бўр.

Шахта печларда куйдириб, ҳавода қотадиган оҳак ишлаб чиқариш учун таркибий тузилиши зич барча оҳактошлардан фойдаланса бўлади.

Оҳактош қазиб олиш. Оҳактош конлари кўп ҳолларда ер юзасида бўлиб, хом ашё очиқ усулда қазиб олинади: тоғ жинс-

лари портлатилиб, бир чўмичли экскаваторлар ёрдамида транспортга ортिलाди. Йирик харсанглар пневматик ёки электр болғалар билан парчаланadi. Баъзан кичик зарядлар ёрдамида такрор портлатиб майдаланади.

Оҳактошлар темир ёки тош йўлда қатновчи транспорт воситасида ёки кон яқинида, яъни 1 км. га яқин масофада бўлса, транспортёрлар билан ташилади. Транспортёр ёрдамида ташиниш энг қулай, унумли ва кам меҳнатталаб усулдир. Кон тахминан 3 км. масофада бўлганда эса, оҳактошларни кучли ағдарма машиналарда ташиган фойдалироқ, лекин бунинг учун қаттиқ қопламали, мустаҳкам йўллар керак бўлади. Кон 3 км. дан ортиқ масофада жойлашган бўлса, темир йўлдан фойдаланилгани маъқул.

Хом ашёни қазиб олишни ташкил қилаётганда оҳактош чўкинди сифатида ҳосил бўлганлигига алоҳида аҳамият бериш керак. Чунки оҳактошлар кимёвий ва минералогик таркиби, кон сатҳи ва унинг қалинлиги (қуввати) жиҳатидан анча фарқ қилади. Оҳактош конида линзасимон уюм ёки қатлам ҳолидаги гил учраши мумкин. Таркибида аралашма кўп бўлган оҳактош ҳавода қотадиган оҳак тайёрлашга ярамайди. Шу боис кондан оҳактош қазиб олишга киришишдан олдин унинг барча жабҳаларини пухта текшириб чиқиш лозим.

Хом ашё муайян жой оҳактоши сифат жиҳатидан қанчалик бир хил эканлигига қараб, ёппасига ёки танлама усулда қазиб олинади. Унинг сифати айрим жойларда бир хил бўлган ёки кам фарқ қилган тақдирдагина ялпи (ёппасига) қазилади. Оҳактош сифати кескин фарқли бўлганида танлама усулда қазиб олиш амалга оширилади. Бунда, албатта, оҳакнинг таннархи қимматлашуви билан бирга хом ашё сифати ҳам унчалик ишончли бўлмай қолади. Аслида, қазиниш вақтида оҳактош сифатини ранги ва қаттиқлигига қараб аниқлаш мумкин. Бунинг учун эса катта тажриба керак. Демак, оҳактош тўпланган жойлар сифат жиҳатидан бир-биридан кескин фарқ қилган ҳолда оҳак заводи нисбатан яхшироқ кон қидириши керак бўлади.

Оҳактошни куйдиришга тайёрлаш. Оҳактош бўлаклари иложи борича бир хил катталиқда бўлиши оҳакнинг сифатли куйдирилишини таъминлайдиган муҳим шартлардандир. Бунга риоя қилиш лозимлигининг боиси шундаки, биринчидан, куйдириш муддати айни оҳактошларнинг йирик-майдалигига боғлиқ, иккинчидан, бир хил йирикликдаги оҳактош бўлаклари текис жойлашиб, ўзаро нисбатан анча катта бўшлиқ ҳосил қилиши натижасида шахта печларда чиқадиغان газларга қар-

шилиқ ҳам камаяди. Турли катталиқдаги оҳактош бўлақлари аралашига куйдирилганда оҳакнинг бир қисми чала қолса, бошқа қисми ўта пишиб кетади. Бунинг сабаби шундаки, печга ҳар хил оҳактош солинганда, йирик бўлақлар оғир бўлганлигидан печь чеккаси бўйлаб, майда бўлақлар эса ўрта (марказ)да тўпланиб қолади. Оҳактош бўлақлари қанчалик майда бўлса, тиғиз жойлашиб, шихта газларининг ўтишига шунчалик кўп қаршилиқ кўрсатади. Тутун-газлар ҳамда ёқилғининг ёниши ва оҳакнинг совиши учун зарур ҳаво эса айна қаршилиқ камроқ жойлардан ўтади. Натижада печь марказидаги хом ашё етарли даражада пишмай ва ёқилғининг талайгина қисми ёнмай қолиши мумкин.

Оҳактошларни куйдиришга уларни саралаш вақтидаёқ тегишлича тайёргарлик кўрилади. Бўлақлар жуда йирик, яъни 50—60 см. гача ва ундан ҳам катта ўлчамларда бўлса, одатда, саралаш пайтида майдалаб чиқилади. Бу ишлатиладиган печь типидан келиб чиққан ҳолда амалга оширилади. Шахта печда куйдирилганда, кўндалангига 20—40, 40—80 ва 80—120 мм келадиган оҳактошлар алоҳида-алоҳида пиширилади. 80—120 мм катталиқдаги бўлақлар фақатгина шу вақтгача ишлатиб келинаётган печларда куйдирилади. Чунки йириклиги сабабли уларни узоқ вақт куйдиришга тўғри келади. Янги печларни қураётганда 20—40 ва 40—80 мм ўлчамдаги оҳактошлардан фойдаланиш имкони бўлишини ҳисобга олиш зарур. Айланма печларда 5—20 ва 20—40 мм ўлчамдаги оҳактошлар куйдирилади.

Майдалаш жараёни ёпиқ ёки очиқ цикл бўйича олиб борилиши мумкин. Очиқ циклда материал майдалагич аппаратидан фақат бир марта ўтказилади. Ёпиқ циклда эса йирик бўлақлар қайтадан майдаланади. Очиқ циклда ишлашда майдаланган маҳсулот ҳар хил, яъни чанг-кукундан тортиб, майдалагичдаги чиқиш тешигининг эни барабар бўлақлар тарзида бўлади. Бундай хом ашёдаги товар фракция унчалик кўп эмас, одатда 50 % дан камроқни ташкил этади, қолган қисми эса чиқиндига чиқиб кетадиган қолдиқлардан иборат бўлади. Майдалашнинг ёпиқ цикли нисбатан кўпроқ — 60—70 % товар фракция олишга имкон беради. Шунинг учун бир хил фракция катталиқдаги маҳсулот олиш учун майдалашнинг ана шу усули қўл келади.

✓ Майдалаш-саралаш қурилмаси қуйидагича ишлайди. Кондан ташиб келтирилган оҳактош қабул қилувчи бункерга со-

линади, у ердан пластинкали таъминлагич ёрдамида бир текисда панжара-тўрга узатиб турилади. Унинг кўзларидан ўтган майда хом ашё саралагич — сим ғалвирга, йирик бўлақлар эса майдалагичга юборилади. Унда эзгиланган маҳсулот ҳам айланиб ғалвирга тушади. Саралагич — сим ғалвир, бўлак-парчалар ўлчамига қараб бир неча элақдан иборат бўлади. Юқориги элақдан ўтмаган йирик оҳактош бўлақлари яна майдалашга юборилади, ҳар қайси элақда ушлаб қолинган майда парчалар эса саралагич — сим ғалвир остига ўрнатилган бункернинг тегишли бўлимларига тўкилади.

Оҳактош бўлақларининг ўлчамлари ва фракциянинг талаб қилинаётган йириклигига қараб, бир ёки икки поғонали майдалаш чизмаси қўлланилади. Бир поғонали чизмага биноан материал бир майдалагичда майдаланади. Икки поғонали чизмага кўра, материал кетма-кетига икки майдалагичдан ўтади: биринчисининг чиқиш тешиги катта, иккинчисиники кичик бўлади. Майдаланган маҳсулот шу орада яна бир бор сараланиши мумкин.

Қандай типдаги майдалаш ускунаси танланиши хом ашё турига боғлиқ. Мисол учун, зич оҳактошлар жағли майдалагичларда майдаланади. Юмшоқ карбонат жинсларни ва асосан, бўрни майдалашда уларни ишлатиб бўлмайди. Чунки хом ашё майдалагичларга ёпишиб қолиши мумкин. Шунинг учун тишли вальцлар қўлланилади.

Зич оҳактошлар СМ-11 А ва СМ-16 А маркали майдалагичларда яхши майдаланади (11-жадвал).

11-жадвал

Жағли майдалагичларнинг техник тавсифи

Кўрсаткичлар	Майдалагич тури	
	СМ-11 А	СМ-16 А
Солиш тешигининг ўлчами, мм	400x600	600x900
Солинаётган материал бўлақларининг рухсат этиладиган энг йирик ўлчамлари, мм	350	500
Чиқиш тешигининг эни, мм	60 гача	150 гача
Ишлаб чиқариш унуми, м <sup>3</sup> /соат	12—15	70
Электрюрттичнинг белгиланган қуввати, кВт	23,5	80

Майдаланган маҳсулотда ўлчами ҳар хил доналар миқдори тахминан қанча бўлишини (майдалагич чиқиш тешигининг энига қараб) 12-жадвалда келтирилган маълумотлардан билиб олиш мумкин.

12-жадвал

Жағли майдалагичда майдаланган маҳсулотнинг дона таркиби

Доналар ўлчами, мм	Доналарнинг фоиз ҳисобидаги миқдори (майдалагич чиқиш тешигининг эни куйидагича бўлганида, мм)	
	60	100
0—5	5	3
5—20	17	11
20—40	30	16
40—80	48	46
80—120	—	24

Кўриниб турибдики, чиқиш тешиги товар фракциясининг энг катта ўлчамидан каттароқ майдалагич ишлатиш ҳамда ёпиқ чизмага биноан майдалаш мақсадга мувофиқдир. Бу ҳолда майда-чуйда чиқинди кам бўлади. Мисол учун, 40—80 мм ўлчамларда майдалаш учун чиқиш тешиги 60 мм. га барабар майдалагич ишлатиш керак бўлса, унда майдаланган маҳсулотда 48 % товар фракция, чиқиш тешиги 100 мм катталиқдаги майдалагичда тахминан  $46 + 24 \cdot 0,46 = 57$  % товар фракция ҳосил бўлади. Чунки 80 мм. дан йирик бўлакларни иккинчи марта майдалаш 9 % га яқин товар маҳсулот беради.

Майдаланган оҳактошни элаш учун ҳар хил саралагич — сим ғалвир, шу жумладан уч элакли эксцентрик саралагич ишлатилади (13-жадвал).

Элак тури оҳактош доналари қандай йирикликда бўлиши кераклигига қараб танланади. Бу ҳолда шуни назарда тутиш керакки, элак тешиклари майда бўлса, саралагич — сим ғалвирнинг унуми ҳам кескин камаяди. Шундан келиб чиқиб, элакларни алмаштиришда саралагич талаб даражасида унумли ишлатиладиган бўлишини тегишлича ҳисоблаб чиқиш лозим.

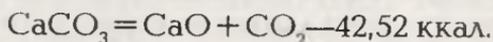
Оҳактошларни элаш учун ишлатиладиган саралагич —  
сим галвирнинг техник тавсифи

Кўрсаткичлар	Саралагич тури	
	СМ-96	СМ-61
Элак ўлчамлари, мм	750x2000	1230x3050
Элаклар сони, дона	3	3
Элак тешикларининг ўлчамлари, мм	60x60	32x32
Ишлаб чиқариш унуми, м <sup>3</sup> /соат	13—16	60
Электрюриттичнинг белгиланган қуввати, кВт	3,2	7,8

Оҳактош сифати унинг таркибий белгиларига қараб сараланади. Кўп гил ёки қум аралашмаси бўлган оҳактошларни ажратиб ташлаш керак, акс ҳолда куйдириш ҳароратида бундай оҳактош қисман эриб юмшайди ва йирик бўлақлар ҳосил қилиб, қотиб қолади ёки печь қопламасига ёпишиб, шихтанинг осилиб қолишига сабабчи бўлади. Оҳактошларни коннинг ўзида майдалаб, элаб ва саралаб олган маъқул. Бу ҳолда уни ташиш арзонга тушади, чиқиндиларини тўкишга жой ҳам излаш керак эмас.

Цехдаги сарфлаш бункерларида печнинг бутун бир ёки икки смена давомида (майдалагич-саралагич ускунанинг ишлаш режимига қараб) тўхтовсиз ишлаб туриши учун етарли миқдорда майда оҳак захираси сақланади. Завод хом ашё базасига яқин бўлган тақдирда омборда уч кунлик хом ашё захираси туриши керак. Ташиб келтириладиган хом ашё ҳисобига ишланса, бир ойлик оҳактош захираси сақланадиган омбор қурилади. Омборларга юклаш-ташиш ишларини механизмлар воситасида бажариш имконини берадиган тузилмалар ўрнатилади.

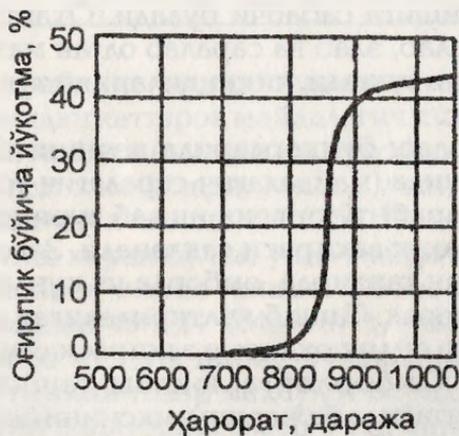
Оҳактош куйдириладиганда содир бўладиган жараёнлар. Оҳактошга юксак ҳарорат таъсир қилганида кальций карбонат қуйидаги формула бўйича парчланади:



Магний карбонати ҳам шу тариқа парчланади (III бобга қаранг).

Келтирилган тенглама шуни кўрсатадики, 1 грамм-молекула кальций карбонат парчаланиши учун 42,52 ккал, 1 кг  $\text{CaCO}_3$  парчаланиши учун эса  $\frac{42,52 \cdot 1000}{100} = 425,2$  ккал иссиқлик сарф қилинади, бу ерда 100 —  $\text{CaCO}_3$  нинг грамм ҳисобидаги молекуляр оғирлиғидир.

Кальций карбонатнинг парчаланиши назарий жиҳатдан  $600^\circ\text{C}$  да бошланади, бироқ  $850^\circ\text{C}$  гача жараён ниҳоятда суст ўтади. Ҳарорат янада ортиши билан парчаланиш жараёни кескин тезлашади (1-расм); ҳарорат  $850^\circ\text{C}$  дан  $900^\circ\text{C}$  гача кўтарилганида  $\text{CaCO}_3$  амалда тўла парчаланиб бўлади. Бу маълумотлар лабораторияда ўтказилган тадқиқотларга хосдир. Амалда эса (куйдириш жараёнини тезлаштириш мақсадида) куйдириш ҳарорати бирмунча юқори, яъни  $1000\text{—}1100^\circ\text{C}$  гача олинади.  $\text{CaCO}_3$  нинг парчаланиш реакцияси қайтар реакциядир. Унда ҳосил бўлган  $\text{CaO}$   $\text{CO}_2$  билан ўзаро таъсир этишиб, яна  $\text{CaCO}_3$  га айланиши мумкин.

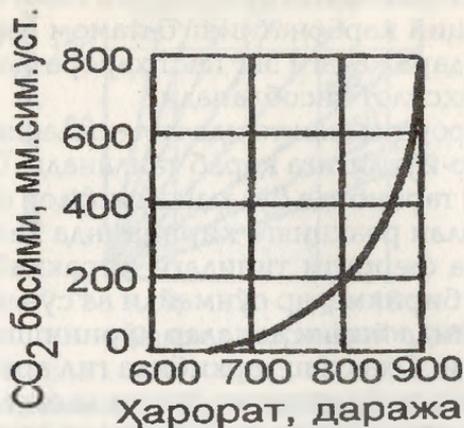


1-расм. Кальций карбонат парчаланишининг тезлиги.

Кальций оксиди тез ҳосил бўлиши учун парчаланишининг газсимон маҳсулотларини дарҳол чиқариб ташлаш керак. Бунинг учун, олдин эслатиб ўтганимиздек, печга мўри қурилади.

Кальций карбонатнинг парчаланишидан ҳосил бўлган карбонат ангидрид газининг парчаланиш таранглиги (парциал бо-

сими) ҳарорат ошиши билан кескин кучаяди ва  $900^{\circ}\text{C}$  да атмосфера босимидан устун бўлади (2-расм).



2-расм. CO<sub>2</sub> нинг кальций карбонат устидаги парциал босими.

Демак, тез куйдиришнинг асосий шарти юксак ҳарорат ҳосил қилиш ва куйдирилаётган материал массасидан CO<sub>2</sub> газининг интенсив ажралиб чиқишини (яъни печда ҳавонинг анча сийраклашувини) таъминлашдан иборат.

Куйдирилаётган оҳактош муҳим ўзгаришларга учрайди: карбонат ангидрид ажралиб чиқиши натижасида оғирлиги қамаяди; кимёвий соф кальций карбонатда 56 % CaO ва 44 % CO<sub>2</sub> бўлиб, куйдириш давомида у ажралиб чиқади. Куйдирилаётган материал оғирлигининг камайиши унинг ташқи ўлчамлари кичрайишига олиб келмайди. Нормал куйдирилган оҳактош бўлаги ҳажман кўпи билан 20 % кичраяди. Оғирлигининг камайиши ҳажман камайишига тўғри келмаслиги шуни кўрсатадики, кесак-оҳак куйдирилгандан кейин говак материалга айланади.

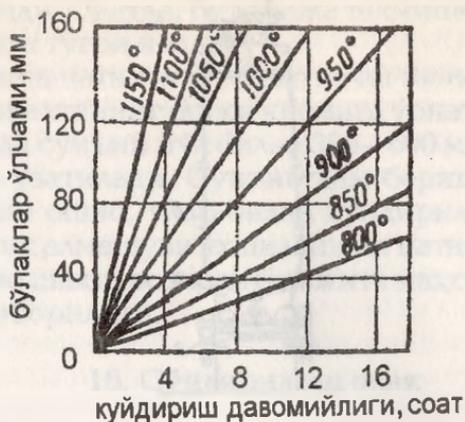
Оҳакнинг говаклиги уни сўндириш жараёнига яхши таъсир қилади: доналарнинг ички қатламларига сув бемалол кириб боради. Шунинг учун иложи борича говак оҳак олишга, яъни у куйдирилаётганда карбонат ангидрид батамом ажралиб чиқадиган бўлишига интилиш керак. Говаклик даражаси куйдириш ҳароратига ҳам боғлиқ. Иссиқлик кўтарилиши билан куйдирилган материалнинг бир қисми зичланади, говаклари тораяди, натижада оҳакни сўндириш шароити ёмонлашади. «Ўта куйган» деб ҳисобланувчи бундай оҳак жуда сушт

сўнади. Ҳатто қотиб қолган қурилиш қоришмасида ҳам бу жараён давом этиб, механик зўриқишлар пайдо бўлишига ва айрим ҳолларда материалнинг бузилишига олиб келиши эҳтимол. Демак, кальций карбонатнинг батамом парчаланishi таъминлайдиган даражадаги энг паст ҳароратда куйдирилган оҳак ғоят сара маҳсулот ҳисобланади.

Куйдириш ҳарорати оҳактошда гил аралашмалари ва магний карбонат бор-йўқлигига қараб танланади. Оҳак кўпинча гил аралашмалар таркибида бўладиган нордон оксидлар  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  билан реакцияга киришганда кальций силикати, алюминати ва феррити типдаги мураккаб бирикмалар ҳосил бўлади. Бу бирикмалар сўнмайди ва сўндирилган оҳакни тайёрлаш вақтида йирик доналар кўринишидаги чиқинди сифатида учрайди. Оҳактош таркибида гил аралашма ортиқча бўлган ва текис жойлашмаган ҳолларда ҳам оҳактош ҳаддан зиёд куйиб кетиши мумкин.  $\text{CaO}$  билан кислота оксидлари ўртасидаги реакция тезлиги эса иссиқлик кўтарилиши билан ортади. Шунинг учун гил аралашмалари кўп оҳактош соф оҳактошга қараганда анча паст ҳароратда куйдирилиши керак. 900—1000°C айна шундай ҳароратдир.

Хом ашё таркибида магний карбонат бўлиши ҳам уни куйдириш ҳароратини танлашга таъсир қилади. Чунки иссиқлик 600—700°C дан ошиши туфайли ҳосил бўлган магнезия ўзининг боғловчилик хоссалари ва сўнувчанлик хусусиятини йўқота боради. Шу сабабли таркибида кўп миқдорда магний карбонат бўлган оҳактошларни иложи борица паст ҳароратда куйдириш лозим бўлади.

Куйдириш муддати кўп жиҳатдан маҳсулот бўлақларининг ўлчамига боғлиқ бўлиб (3-расм), бу энг майда бўлақларни ишлатиш қулайлигини кўрсатади. Чунки бу ҳолда майда бўлақлар бутун қалинлиги барабар  $\text{CaCO}_3$  нинг парчаланish ҳароратигача тез қизиб, куйдириш тезлиги ва печнинг ишлаб чиқариш унуми анча ошади. Йирик бўлақни қиздириш учун эса кўп вақт талаб қилинади. Зеро, бу вақтда марказий қисмни бевосита юксак иссиқлик таъсирига учраётган чекка қисмдан ажратиб турган материал қатлами қалинлашади. Оқибатда материал ё ўта пишиб кетади ёки чала пишади. Яъни куйдириш жараёнини тезлатиш мақсадида ҳароратни кўтаришга тўғри келганда, оҳактошнинг ташқи қаватлари ҳаддан ташқари куйиб кетиб, ички қисмларда кальций карбонат тўла парчаланмай қолиши натижасида чала куйиш юз беради, яъни



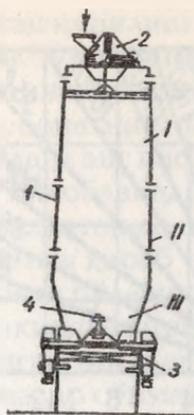
3-рассм. Оҳактошни куйдириш муддатининг ҳарорат ва б'яклари ўлчамига боғлиқлиги.

балласт ҳосил бўлади. Бундай оҳак паст сифатли бўлиб, секин сўнади, сўнмаган доналари ҳам кўп қолади.

**Оҳак куйдириш печлари.** Оҳактошларни ҳар хил, яъни хумдон, ҳалқасимон, шахта ва айланма печларда куйдириш мумкин. Ҳозирги вақтда уларни муаллақ ҳолатда ёки қайноқ қатлам ҳолида куйдириш агрегатларини саноат миқёсида ўзлаштириш ишлари олиб борилмоқда.

Хумдон ва ҳалқасимон печлар кам унумли, сермеҳнат ва ёқилгини кўп талаб қилади. Шунинг учун ишлаб чиқариш ҳажми кичик заводлардагина бундай печлардан фойдаланилади. 300 мм. гача йирикликдаги оҳактош б'яклари ишлатиладиган бу печларда материал солиш ва уни олиш ишларини механизациялаштириб бўлмайди. Буларнинг барчаси печларнинг иш сифатига салбий таъсир қилади. Шу боисдан янги қурилаётган заводларда бундай печлардан фойдаланилмайди.

**Шахта печлар.** Шахта печнинг (4-рассм) ишлаш тарзи куйидагича. Материаллар кетма-кет ёки вақти-вақти билан солиш механизми (2) ёрдамида печь (1) шахтасига бир хил миқдорда солиб турилади. Пишган материал шахта остидан махсус бўшатиш механизми (3) воситасида пешма-пеш олинверади. Материал шахта тубидан тароқ (4) орқали келадиган ҳаво билан совитилади. Куйдириладиган материал шахтада юқоридан пастта, ҳаво ҳаракатига қарама-қарши йўналишда тинимсиз суръатда сурила боради:



4-расм. Шахта печнинг чизма тасвири.

- аввало қизитиш зонаси (I) га ўтади; бу ерда куйдириш зонасидан келаётган қизиган газлар таъсирида қуриydi, сўнгра куйдириш ҳароратига қадар қизиши натижасида ундаги органик аралашмалар куйиб кетади;

- куйдириш зонаси (II) га келади; бу ерда кальций карбонатнинг парчаланиш маҳсулотлари чиқариб ташланади; совитиш зонаси (III) га ўтади; бу ерда куйдирилганда қизиб кетган материал печга юборилаётган совуқ ҳаво таъсирида совийди.

Иссиқ газлар ва материалнинг қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилиши чиқиб кетаётган газлар иссиғидан печь ичига тушиб келаётган хом ашёни иситишда, куйдирилган материалнинг юқори ҳароратидан эса, куйдириш зонасига келаётган ҳавони қиздиришда фойдаланиш имконини беради. Шу туфайли шахта печларда маҳсулотни куйдиришга кам ёқилғи сарфланади.

Печнинг куйдириш канали узра материалларнинг сурилиши учун жуда кам энергия талаб қилинади (у ўз оғирлиги таъсирида жилиб боради), печга материал солиш ва уни олиш ишларини тула механизациялашга имкон туғилади. Мана шу афзалликларнинг барчаси шахта печлар қимматини оширади.

Печдаги газсимон маҳсулотларни чиқариб юбориш ва шахтада ҳаво ҳамда газ бемалол ҳаракат қила олиши учун мўри ёрдамида зарур сийракланиш («дам») ҳосил қилинади. Унинг даражаси материалнинг дон таркибига ва бўлақлар ҳажмига боғлиқ. Йирик ва майда бўлақлар аралаш бўлган тақдирда сий-

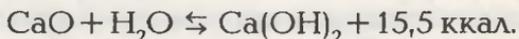
ракланиш ортади. Одатда, бу даража тахминан 60—200 мм сув устуни ўлчовига тўғри келади.

Сийракланиш натижасида ҳаво печга ташқаридан сўрилиш ҳисобига ёки шахтанинг остки қисмига ўрнатиладиган вентилятор ёрдамида сунъий йўл билан 300—600 мм сув устунигача босим остида узатилади. Сунъий дам беришида газларнинг ҳаракат тезлиги ошиб, улар билан куйдириладиган материал орасидаги иссиқ алмашуви яхшиланиши натижасида печь унуми ошади. Ҳаво шахта остидан бевосита маҳсулот олиш тузилмаси тагига юборилади.

## 16. Сўндирилган оҳак

Оҳакни сўндириш жараёни. Оҳакни сўндиришдан мақсад туйилган оҳак олишдир. Майда оҳакнинг ярим фабрикат, яъни ярим маҳсулот ҳисобланадиган кесакнинг қайнама-оҳакдан фарқи шундаки, у боғловчи сифатида ишлатилиши мумкин. Қайнама-оҳак сув таъсир қилганда ўз-ўзидан парчаланиб, кукунга айланади.

Ниҳоятда майда маҳсулот олишга кам куч сарфланиши ва сўндириш қурилмаси оддийлиги боис оҳак майдалашнинг бир неча минг йиллардан буён маълум бу усули кенг қўлланиб келинмоқда. Қанча сув ишлатилиши билан боғлиқ равишда оҳакни жуда майда қуруқ кукун ва оҳак хамир ҳолатида сўндириш усуллари мавжуд. Оҳакни сўндириш жараёни қуйидаги реакция натижасида содир бўлади:



Ўндан чапга йўналиш кўрсаткичи реакция қайтар реакция эканлигини англатади, яъни тегишли шароитларда аввалига ҳосил бўлган кальций оксиди гидрати  $\text{Ca(OH)}_2$  кальций оксиди ( $\text{CaO}$ ) ва сув ( $\text{H}_2\text{O}$ )га парчаланиши мумкин. Оҳакни сўндиришда жуда кўп, яъни 1 грамм-молекула оҳакка 15,5 ккал ёки 1 кг. га 277 ккал иссиқ ажралади. Сўндириладиган маҳсулот ҳарорати беҳад кўтарилиб кетиши натижасида  $\text{Ca(OH)}_2$  дегидратланиши мумкин. Лекин  $547^\circ\text{C}$  да, яъни сув буғлари  $\text{Ca(OH)}_2$  устидаги парциал босим атмосфера босими билан бараварлашгандагина батамом дегидратланиш юз беради. Бу ҳодиса анча паст, яъни қарийб  $300^\circ\text{C}$  ҳароратда ҳам қисман сезиларли бўлиши мумкин.

Муҳит етарли даражада нам бўлса ва ҳарорат ҳаддан зиёд ошиб кетишига йўл қўйилмаса, жараён талаб қилинган йўналишда ўтади ва қайтар реакция содир бўлмайди. Оҳакни сўндиришда шу ҳолатлар ҳисобга олинади.

Сўндириш вақтида ҳосил бўладиган сув бугларининг диспергирлаш, яъни парчалаб бўлиб юбориш таъсирида кесак-оҳак заррачалари ўртача 0,01 мм. дан ошмайдиган ниҳоятда майда кукунга айланади. Заррачаларнинг ич-ичига сингиб кетган нам билан СаО нинг ўзаро кимёвий таъсир этишуви вақтида ажралиб чиққан иссиқлик сувни бугга айлантиради. Буг ҳажми суяқ фаза ҳажмига қараганда кескин кенгайиши натижасида заррачаларида ички чўзувчи зўриқишлар пайдо бўлган оҳак майдаланиб кетади. Сўндириш маҳсулоти (кукун оҳак) янада говаклашади ва унинг ташқи ҳажми сўндирилмаган оҳак ҳажмига нисбатан кенгайди. Ҳажмининг тахминан 2—3,5 барабар кенгайиши оҳак сифатига боғлиқ (1-нав оз магнезиалли оҳак ҳажми бошқаларига қараганда кўпроқ кенгайди).

Оҳак кукун, яъни майда заррачали куруқ пўк кукун ҳолигача сўндирилаётганда, назарий жиҳатдан ҳисоблаганда, сўндирилмаган оҳак оғирлигининг тахминан 32,1% миқдоридан сув талаб қилинади. Бироқ, сув кўп бугланиб кетишини ҳисобга олиб, унинг миқдори оҳак таркибидаги кальций оксид миқдорига қараб 2—2,5 барабар кўпайтирилади, яъни ўрта ҳисобда қайнама-оҳак оғирлигининг 60—75 % гача сув қўшилади. Таркибида салмоқли миқдорда кальций оксиди бўлган оҳаклар магнезиал ё доломит оҳакларга нисбатан кўп сув талаб қилади.

Сўндирилаётган оҳакдаги ортиқча сув ажралиб чиққан иссиқ таъсирида бугланиб кетади ва натижада маҳсулот куруқ кукундан иборат бўлиб қолади. Хом ашёни ҳамир ҳолатига қадар сўндиришда кукун-оҳак ҳолигача сўндирилаётгандагига қараганда анча кўп сув солинади. Лекин бу ҳолда ҳам оҳак таркибидаги СаО ва магний оксиди ҳамда гил аралашмалари миқдоридан келиб чиқиб иш тугилади. Ўрта ҳисобда 1 ҳисса оғирлик қайнамага 2—3 ҳисса оғирлик сув сарфланади.

Оҳакни сўндириш тезлиги ва натижалари эса унинг кимёвий таркиби, куйдириш ҳарорати ва режимига, қанча сақлангани ва сўндириш учун қанча сув қўйилганига боғлиқ.

Ҳавода қотадиган оҳакнинг асосий қисмини кальций оксиди ташкил қилади. Бироқ, юқорида айтиб ўтилганидек, оҳакда СаО дан ташқари озми-кўпми магний оксиди ва гил ара-

лашмалари бўлади. Уларнинг маълум қисми СаО билан кимёвий бирикма ҳосил қилса, қолган қисми эркин ҳолда қолади. MgO ва гил аралашмалар мавжудлиги сабабли сўниш жараёни сустлашади ва сўндирилган оҳак сифати ёмонлашади. Шу моддаларнинг миқдорий нисбатига қараб, кучли экзотермияга эга, тез сўнадиган ва пластик, майда дисперс (ушлаб кўрган да ёғли) хамир ҳосил қиладиган оҳак ёки суст сўниши билан бирга бу жараёнда кам иссиқ чиқарадиган ва сўниш маҳсулоотида парчаланмаган йирик заррачалар кўп учрайдиган ширасиз оҳак олиниши мумкин. Шуни назарда тутиш керакки, қурилишбоп қоришмалар тайёрлаётганда ширасиз оҳакка қараганда ширали оҳак кам талаб қилинади.

Магний оксиди 5 % дан ортиқ бўлса, оҳак сезиларли даражада ширасизланиб қолади. Гил аралашма 3—4 % дан ортиқ бўлса ҳам оҳак анча ширасизланади. Унинг магний оксиди туфайли ширасизланишига сабаб шуки, куйдириш ҳарорати ошиши билан секин сўнувчан MgO моддасининг сўниш жараёни янада сустлашади.

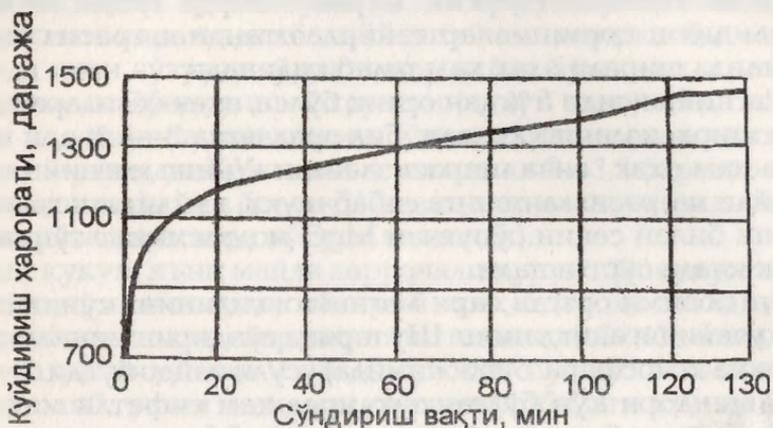
Буг босими ортган сари магний оксидининг сўниши кескин кучайиши аниқланган. Шу тариқа сўндиришнинг автоклав (ортиқча атмосфера буг босимида) усули пайдо бўлди. Бу усул MgO миқдори кўп бўлган тақдирда ҳам сифатли маҳсулот олишга имкон беради.

Оҳакнинг сўниш тезлиги сув ҳароратига ҳам боғлиқ. Чунки бу жараёнда пайдо бўладиган иссиқнинг анчагина қисми оҳак бўлакларини майдаловчи бугни ҳосил қилишга эмас, балки ишлатилган совуқ сувни иситишга сарф бўлади. Буг ҳосил бўлишининг секинлашуви вужудга келган кальций гидрат оксиди оҳакнинг гидратланмаган заррачалари юзасида қатламланиб қолишига сабабчи бўлади. Натижада сувнинг янги заррачалар юзасига ўтиши қийинлашиб, сўндириш жараёни секинлашади. Оҳак аралаштириб турилса, жараён маромида давом этади, чунки бу ҳолда Са(ОН)<sub>2</sub> пардаси бузилиб, сув янги заррачаларга бемалол ўтаверади бўлади.

Амалда сўндириш жараёнини тезлатиш учун 40—50°C гача иситилган сув ишлатилади ва оҳак яхшилаб аралаштириб турилади. Сувга баъзи хлорли тузлар, яъни СаCl<sub>2</sub>·NaCl солинганда ҳам сўниш жараёни сезиларли даражада тезлашади. Чунки улар таъсирида оҳак анча эрувчан бўлиб қолади. Сульфат кислота ёки унинг тузлари қўшилса, аксинча, сўниш жараёни секинлашади: улар оҳак билан реакцияга киришиб, қийин

эрувчан кальций сульфатини ҳосил қилади. Оҳак заррачалари устида кальций сульфатининг пайдо бўлиши улар ичига сув киришига тўсқинлик қилади.

5-расмда кўриниб турибдики, куйдириш ҳарорати қанчалик юқори бўлса, оҳак шунча секин сўнади. Чунки иссиқлик оширилганда куйдирилган оҳактош анча зичлашиб, говаклиги камаяди, тораяди. Бундай шароитда сув яхши ўта олмайди ва сўниш жараёни секинлашади.



5-расм. Оҳакни сўндириш муддатининг оҳактошни куйдириш ҳароратига боғлиқлиги.

Узоқ вақт сақланган оҳакнинг сўнувчанлиги сустрлашади. Чунки оҳак ҳаводаги нам ва карбонат ангидридни ўзига тортиб олиб, унинг заррачалари юзасида сувнинг ўтишига тўсқинлик қиладиган ва осонликча эримайдиган кальций карбонат ҳосил бўлади. Янги куйдирилган оҳак жуда тез сўнади ва ундан анча ширали оҳак хаамири ҳосил бўлади.

Оҳакни сўндиришда ишлатилган сув керагидан ортиқ бўлса, (хамир ҳолатигача сўндиришда) сув кам вақтдаги (кукун оҳак ҳолигача сўндириш)га қараганда оз дисперс оҳак ҳосил бўлади. Сув етишмаслиги натижасида оҳак «куйиши», яъни ҳозиргина куйдирилган заррачалар юзасида қалин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  пардаси ҳосил бўлиши мумкин. Пардадаги сув унга тегиб турган кальций оксиди қатламларининг гидратланишига сарф бўлиб, парда янада қалинлашади.

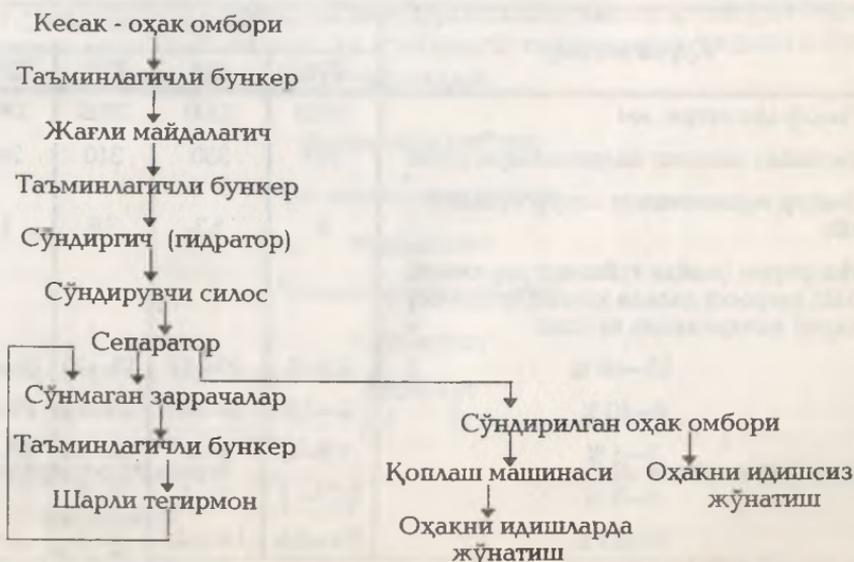
Оҳак заррачаларининг майда-йириклиги ҳам сезиларли даражада таъсир қилади: улар қанчалик майда бўлса,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  заррачаларини шунчалик тез ва тўла ҳосил қилади. Шунинг учун кесак-оҳак аввалига 5—10 мм ўлчамда майдаланилади. Мисол учун, силикат автоклав буюмлар ишлаб чиқаришда оҳак майдаланиб, кукунсимон ҳолатида сўндирилади.

## 17. Гидрат-кукун оҳак

Оҳак оз-оздан, яъни одатда қурилиш майдонлари шароитида ишлатилаётганда, оддий усулда сўндирилади. Бу ҳолда қайнама 20 см. гача қалинликда ёйилади ва ҳар қайси ёйма устига сув сепилади. 1—1,5 м баландликдаги оҳак уюмига камида 10 мм қалинликда қум сепилади (сув буғланмаслиги учун) ва майин кукун ҳосил бўлгунича шу ҳолда қолдирилади. Сўнмаган заррачаларни ажратиб ташлаш учун кукун ишлатишдан олдин эланади. Сўнмаган заррачалар иккинчи марта узоқроқ сўндириб кўрилади ёки чиқиндига ташланади.

Оддий усулда сўндирилган оҳакнинг сифати паст, чиқиндиси кўп бўлади. Шунинг учун қурилиш буюмлари ишлаб чиқаришда зарур оҳак механизациялашган усулда сўндирилади.

### Кукун-оҳак тайёрлаш технологик чизмаси



Қайнама кесак-оҳак омбордан майдалашга юборилиб, 5—10 мм ўлчамда майдаланади. Майдаланиш даражаси оҳак таркибидаги MgO миқдорига боғлиқ. Магнезиал ва доломит оҳак 3—5 мм ўлчамда майдаланади.

Зич оҳактошларни куйдириш натижасида ҳосил бўлган оҳак жағли майдалагичларда, нисбатан юмшоқ оҳак эса валли майдалагичларда янчилади. Болғачали майдалагичлар ишлатса ҳам бўлади.

Майдаланган маҳсулотлар вақти-вақти билан ёки узлуксиз ишлайдиган сўндиргич — гидраторларга юборилади: биринчисига маълум миқдорда оҳак солиниб, сўндирилган маҳсулот пешма-пеш олиб турилади.

Вақти-вақти билан ишлайдиган сўндиргич — гидраторда оҳакни батамом сўндириб бўлмайди. Шунинг учун у силосга юборилиб, 1—2 сутка сақланади, у ердан оҳак таъминлагич ёрдамида доимий олиб турилади. Силосга қанча оҳак солиниши заводнинг ишлаб чиқариш унумига ва оҳакни сўндириш вақтига боғлиқ. Сўнмаган заррачаларини ажратиш ташлаш учун кукун-оҳак силослардан сепараторга юборилади.

14-жадвал

Ҳаво сепараторларининг техник тавсифи

Кўрсаткичлар	Сепаратор тип			
	379	268	2701	2702
Ғилоф диаметри, мм	1800	2500	2800	3700
Вертикал валнинг айланишлари сони	375	350	310	240
Электр юритгичнинг зарур куввати, кВт	4	5,3	7,6	11
Иш унуми (майда туйилиш даражаси 0085 рақамли элақда қолган қолдиққа қараб аниқланади), т/соат				
15—18 %	2,5—3	10—12	18—20	32—35
8—10 %	2—2,5	8—10	12—15	21—26
3—5 %	1,5—2	6—8	10—12	18—21
1—2 %	0,75—1	3—4	5—6	9—11
0—0,5 %	0,4—0,6	1,8—2,4	3—4	5—7

Оз магнезиалли оҳақ узлуксиз ишлайдиган парракли гидраторда батамом сўнади, шунинг учун у элаб ажратишгача силосда тутиб турилмайди. Бироқ магнезиал ва доломит оҳақни бу гидраторда ҳам батамом сўндириш қийинлигидан уларни бир оз силосда сўндириб олиш керак.

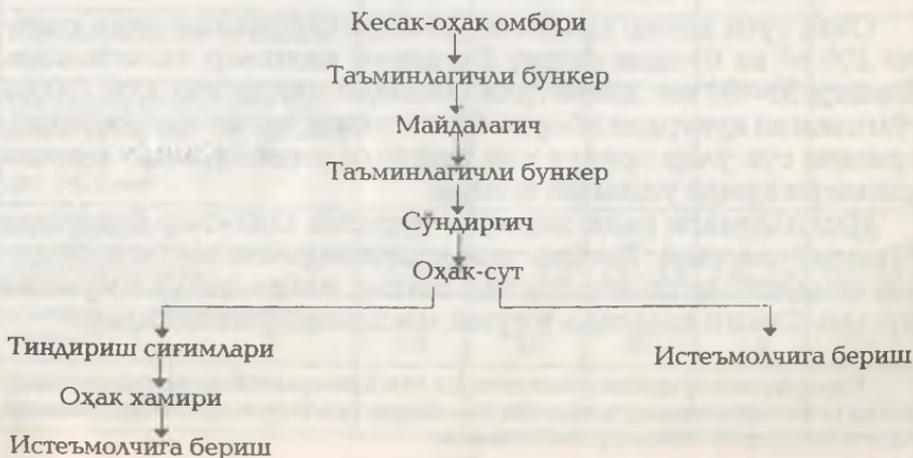
Майда кукун сепаратордан тайёр маҳсулот омборига юборилади, сўнмаган йирик доналар эса бир ёки икки камерали шарли тегирмонда механик усулда майдаланади ва иккинчи бор сўндириш учун яна силосга солинади. 14-жадвалда айрим сепараторлар ишини кўрсатиб берадиган маълумотлар келтирилган.

Сўндирилган кукун-оҳақ истеъмолчиларга қоғоз қопларда ёки идишсиз контейнерларда, ёхуд махсус жиҳозланган транспорт воситасида юборилади.

## 18. Оҳақ хаамири

Оҳақ хаамири тайёрлаш учун хом ашёни қўлда ёки механизациялашган усулда сўндириш мумкин. Қурилиш майдонларида оҳақ оз-оздан ишлатилиши керак бўлган вақтларда биринчи усулдан фойдаланилади. Бунинг учун кесак-оҳақ қориладиган сиғимга солиниб, кўп сув таъсирида оҳақ-сутта айлантирилади. Сўнгра тиниши ва сувсизланиши учун чуқурлиги 1,5—2 м. ли қориш ўрасига қуйилади. Ўра ёғоч тахта ёки бошқа материал билан ўралганлигидан сув ерга шимилади.

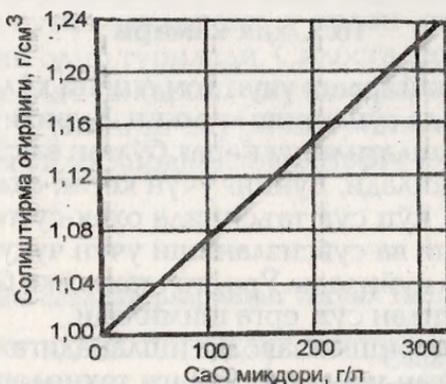
Қурилишбоп қоришма заводда ишланадиган ҳолларда оҳақ механизациялашган усулда қуйидаги технологик чизмага биноан оҳақ хаамирига айлантирилади:



Ўрага солинган оҳакнинг остки қатламларида сўнмаган йирик доналар сақланиб қолади. Шунинг учун қоришманинг пастки қатламини фойдаланиш учун олишдан аввал шу доналарни ажратиб ташлаш керак. Ҳозирги пайтда оҳак айрим ҳоллардагина оддий қўлбола усулда сўндирилади. Оз миқдорда бўлса-да, оҳак хамири ишлаб чиқариш жараёнлари механизациялаштирилган заводлардан марказлашган тартибда олиб келинади.

5—10 мм ўлчамда бир сидра майдалаб олинган кесак-оҳак сўндиргич — гидраторга солиниб, сут ҳолигача сўндирилади, сўнгра махсус сиғимларда талабдагидек хамир ҳосил бўлганича сувсизлантирилади.

Сўндиргич ишлаётганда СаО камайгани ёки кўпайганини билиб бориш учун оҳак сутининг солиштирма оғирлигини текшириб туриш лозим (6-расм).



6-расм. Оҳак сути солиштирма оғирлигининг СаО миқдорига боғлиқлиги.

Оҳак сути хамир ҳолигача сувсизлантирилиши учун сиғими 100 м<sup>3</sup> ва бундан ортиқ филтрли идишлар ишлатилади. Филтр 50—60 мм диаметрли бошдан охиригача қум билан тўлғазилган қувурдан иборат. Филтрнинг тешикчалари бўлиб, ортиқча сув улар орқали сув йиғичга оқиб тушишида оҳак доналари қумда ушланиб қолади.

Идишлардаги оҳак хамири титратма насослар ёрдамида бўшатиб олинади. Титраш таъсирида оқувчан массага айланган моддани насос воситасида бошқа жойга ҳайдаш мумкин бўлади. Сокин ҳолатида у қуюқ массанинг ўзгинасидир\*.

\* Коллоид тизимларнинг силкитганда ёки қимирлатиб турганда суюладиган ва сокин ҳолатида қуюладиган хоссалари тиксотроп хоссалар, тизимлари эса тиксотроп тизимлар деб аталади.

Сўндирилган оҳақ қоришма тайёрлаш заводларида ҳамир ва сут ҳолида ишлатилиши мумкин. Бунда оҳақ сути сувсизлан-тирилмасдан, тўғридан-тўғри қоришма қорғичга узатилади.

### 19. Сўндирилмаган туйилган оҳақ

Сўндирилмаган туйилган оҳақ таркибида сўнмаган зарра-чалар ҳолидаги чиқинди қолмайди (оддий усулда сўндирилган-да 20 % ва ундан ортиқ сўнмаган заррача бўлади). Майда туйил-ган кальций силикатлари ва алюминатлари, ҳатто оҳақ сифа-тини анча яхшилашга ва унинг сувга чидамлилигини оширишга хизмат қилади.

Кесак-оҳақ омбордан майдалашга узатилиб, тегирмонда яхши туйилиши учун 15—20 мм ўлчамда майдаланади.

Бир камерали шарли тегирмонлар СМ-15 ва СМ-174 ҳамда икки камерали СМ-14 типидagi тегирмон туювчи агрегатлар сифатида ишлатилади. Айрим ҳолларда А ва В типидagi аэро-биль тегирмон қўлланилиши мумкин (15-жадвал).

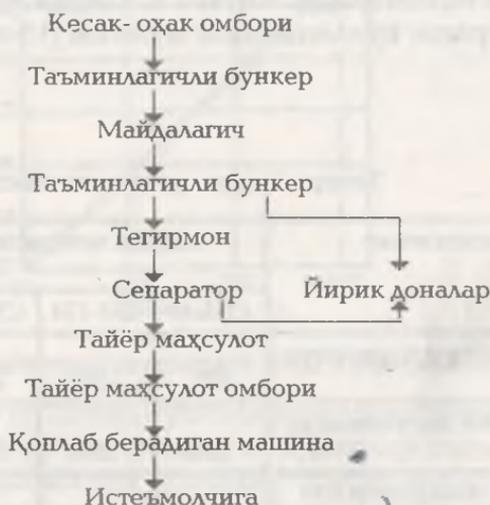
15-жадвал

Тегирмонларнинг техник тавсифи

Кўрсаткичлар	Шарли тегирмон			Аэробиль тегирмон	
	СМ-15	СМ-174	СМ-14	А	В
Барабаннинг ички диаметри, мм	900	1500	1500	—	—
Барабаннинг иш узунлиги, мм	1800	1500	5700	—	—
Иш унуми (майдалиги 009 рақамли элақда 15 % қолдиқ қолишига қараб аниқланади), м/соат:					
оҳақ бўйича	0,8	2	5,1	2,3	4,6
оҳақтош бўйича	0,7—1	1,6—2,4	1,8—2,8	1,8—2,8	3,6—5,6
донадор домна тошқоли бўйича	0,5	1,1	2,8	1,3	2,6
Электр юритичнинг қуввати, кВт	19,7	55	130	50	90

Оҳакни ниҳоятда майда (майин) куқунлаш учун титратма тегирмонлар ишга солинади. Кесак-оҳакда ўта куйган донлар жуда кўп (3—5 % дан ортиқ) бўлганида ана шундай майдаланади. Титратма тегирмонга солишдан олдин оҳак кўпи билан 2 мм ўлчамгача шарли ёки болғачали тегирмонларда майдалаб олинади.

Ёпиқ циклда туйиб майдаланган маҳсулот сепараторда эланади. Йирик донлари сепараторда қайтадан майдалашга, куқуни эса тайёр маҳсулот омборига юборилади. Шунинг назарда тутиш керакки, сўндирилмаган туйилган оҳак ишлаб чиқариш учун анча кўп, яъни 1 т оҳакка 30—40 кВт-соат ва бундан ҳам ортиқ электр энергияси сарфланади. Ҳолбуки, сўндирилган оҳак ишлаб чиқариш учун атига 4—5 кВт-соат электр энергия талаб қилинади. Сўндирилмаган туйилган оҳак қуйидаги чизма бўйича ишланади:



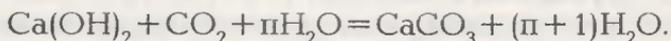
Сўндирилмаган туйилган оҳак истеъмолчиларга усти ёпиқ металл контейнерларда ёки битумлаштирилган қоғоз қошларда жўнатилади. Чунки туйилган қайнама-оҳак ҳаводаги салгина нам таъсирида сўнади, кесаклашиб, ҳажман кенгайиб кетади ва идишни ёриб юборади. Бевақт гидратланиши сабабли у куйдирилгандан кейин 30 суткадан ортиқ сақланмаслиги керак. Битумлаштирилган қоғоз қошларда ҳам магнезиалли оҳак 10 суткадан, доломит оҳак 20 суткадан ортиқ турмаслиги зарур.

## 20. Ҳавода қотадиған оҳакнинг қотиши, хоссалари ва ишлатилиши

Оҳакнинг қотишида рўй берадиган жараёнлар. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, сўндирилган оҳак қотаётганида қурилишбоп қоришма таркибига кирадиган оҳак хамирининг пластик ҳолатдан қаттиқ (хамир ҳолатидан тошдек қаттиқ) ҳолатга ўтиши жуда секин, шу билан бирга фақат тегишли қуруқ ҳаво шароитларида рўй беради.

Оҳак хамири бир қанча омиллар, чунончи, сувнинг буғланиши ва кальций гидроксидининг кристалланиши натижасида қотади. Нами қочган кальций гидроксидининг майда заррачалари ўзаро яқинлашади ва қўшилиб, кристаллар ҳосил қилади. Суви буғланган сари кристаллар тобора кўпая боради ва ўзаро чатишиб, оҳак хамири массасига санчилган мустаҳкам кристалл ўсимтага айланади.

Карбонлашиш ҳам оҳак хамирининг мустаҳкамланишига ёрдам беради. Нам оҳак ҳаводаги карбонат ангидридни ўзига тартади ва қуйидаги реакция бўйича кальций карбонатга айланади:



Оҳак қоришмалар одатда унчалик чуқур карбонлашмайди: бир неча ойда кўпи билан 5—7 мм. га боради. Бунга сабаб шуки, оҳак хамири юзасида ҳосил бўладиган  $\text{CaCO}_3$  пардаси карбонат ангидрид газининг кальций гидроксидига сингиб боришига кўпроқ тўсқинлик қила бошлайди. Шундан хулоса қилиш мумкинки, карбонлашиш оҳак хамири эндигина қота бошлаган даврда қуриш жараёнига қараганда мустаҳкамликка кам таъсир кўрсатади. Шунинг учун ҳам оҳак хамирдан ишланган буюмларнинг қотиши қулай очик, қуруқ ҳаво шароити (мусбат ҳарорат ва намроқ муҳит) бўлиши керак.

Оҳак қоришма юзасида кальций карбонат ангидрид пардаси ҳосил бўлади, шунга асосан буюмларнинг сувга чидамлилиги янада ошади. Кальций гидроксиди сувда ниҳоятда яхши (1 литрда 1,3 граммгача) эрийди, ҳолбуки кальций карбонат ангидриднинг эрувчанлиги буңдан 40 баравар кам, яъни 1 литр сувда кўпи билан 0,03 г эрийди.

Сўндирилмаган туйилган оҳак сўндирилган оҳакка қараганда бирмунча бошқача тартибда қотади. Унинг кукуни сув-

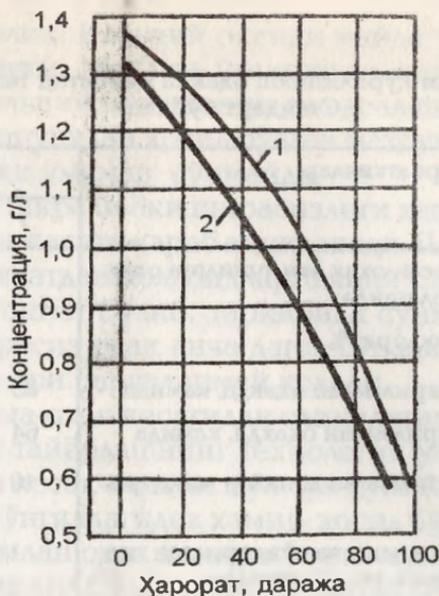
да қорилганида нисбатан тез қуюқлашиб, тез қотадиган пластик оҳак хаамири ҳосил бўлади. Бу жараёнлар физик-кимёвий табиати билан гидравлик ва гипс боғловчи моддалар қотаётганда руй берадиган жараёнларга ўхшаб кетади. Академик А.А. Байков таълимотига кўра, бу жараёнлар қуйидаги чизма бўйича давом этади: эрийди-коллоидланади-кристалланади.

Кальций оксидига сув тегиши билан эриб, тўйинган эритма ҳосил қилади ва гидратланади. Тўйинган  $\text{CaO}$  эритмасига қараганда кам эрувчан бўлган  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  дарҳол ўта тўйиниб қолади. Ана шундай ўта тўйинган эритмадан одатдаги шароитларда  $\text{CaO}$  нинг тўйинган эритмага мос концентрацияси ҳосил бўлгунича қаттиқ модда ажралиб чиқа бошлайди.

Кальций гидроксиди тўйинган эритмадан майда-майда коллоид заррачалар кўринишида ажралиб чиқади. Улар пластик хоссалар туфайли аралашма заррачалари орасидаги ишқаланишни камайтириб, оҳак хаамири (ёки қоришмабоп аралашма) нинг ниҳоятда пластик бўлиб қолишига ёрдам беради.

Оҳакнинг гидратланувчи янги заррачалари сувни шимиб олиши ва хаамир ҳароратининг кўтарилиши натижасида тезда ўта тўйинган эритма ҳосил бўлади. Иссиқлик ошиши билан оҳакнинг эрувчанлиги камаёди (*7-расм*). Ҳолбуки, кўпгина бошқа боғловчи моддаларнинг эрувчанлиги, аксинча, ортади. Оҳак хаамири  $\text{CaO}$  гидратланаётганида ажралиб чиқадиган иссиқ ҳисобига қизийди. Гидратланаётган оҳак заррачалари сувни шимиши аралашманинг тезда ва тобора кўпроқ зичлашувига ёрдам беради. Сўндирилган оҳак қотаётганда эса бундай ҳодиса содир бўлмайди. Чунки ниҳоятда серсув бўлган хаамирнинг суви фақат буғланиш ҳисобигагина ажралиб чиқади.

Шундай қилиб, сўндирилмаган туйилган оҳак хоссалари туфайли қоришма тезда сувсизланади (қотади). Кейинчалик унинг қотиш жараёни сўндирилган оҳакнинг қотиш жараёнидек давом этади. Шуни таъкидлаш керакки, сўндирилмаган туйилган оҳакдан фойдаланаётганда сув-оҳак нисбати, яъни оҳак ёки қоришма тайёрлаш учун олинган оҳак миқдорига нисбатан қанча сув фоиз ҳисобида (ёки улушда) қуйилиши алоҳида аҳамиятга эгадир. Сув миқдори аниқ белгилаб олинган тақдирдагина туйилган қайнама гидратланиб қотишининг ижобий хоссаларидан яхши фойдаланиш мумкин бўлади. Оҳак хаамири ҳосил қилишда етарлича сув қуйилса, қоришма тез сувсизланмайди ва мустаҳкамланмайди; заррачалари ора-



7-расм.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ва  $\text{CaO}$  ларнинг ҳароратта қараб эрувчанлиги:  
1 —  $\text{CaO}$ ; 2 —  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

сидаги сув шу қадар кўплигидан, заррачалар кристалл ўсимталарга айлангунига қадар анча вақт ўтади.  $\text{CaO}$  гидратланиши учун зарур миқдордан 1,5—2 баравар (мисол учун, оҳак оғирлигидан 60—70 %) кўп сув солинса, оҳак хамир ўта қизиқ кетиб, обдан буғлана бошлайди; ажралиб чиқаётган буғ жадал зичлашаётган аралашмани бузади.

Таҷриба шуни кўрсатадики, сув - оҳак нисбати 100—150 % атрофида бўлганда гидратацион қотиш энг юксак самара билан намоён бўлади (оҳак сифатига қараб). Магнезиал ва доломитли оҳак ёки таркибида гил аралашмалари кўпи билан 3 % бўлган оҳактошлардан олинган оҳак кам, ширалиси эса кўп миқдорда сув талаб қилади. Биринчисининг миқдори 100 % атрофида бўлса, иккинчисиники 150 % ни ташкил қилади.

**Физик-механик хоссалари.** Ҳавода қотадиган оҳакка маълум сифат кўрсаткичлари хосдир. Ана шу кўрсаткичларига кўра, улар уч навга бўлинади (16-жадвал).

1 кг кесак (сўндирилмаган) оҳакдан олинган хамир ҳажмига (л ҳисобида) хамирнинг чиқиши дейилади. Бу оҳакнинг ишлаб чиқаришдаги энг муҳим таърифи ҳисобланади. Оҳак хамир қоришмада боғловчилик вазифасини ўтайди. У қум

Ҳавода қотадиган қурилишбоп оҳаққа нисбатан техник талаблар  
(Стандарт бўйича)

Кўрсаткичлар	Нави		
	1	2	3
А. Сўндирилмаган кесак-оҳақ ёки туйилган оҳақ, қуруқ моддага ҳисоблаганда: фаол $\text{CaO} + \text{MgO}$ миқдори, %			
а) қўшилмасиз сўндирилмаган оҳақда, камида	85	70	60
б) қўшилмали сўндирилмаган оҳақда, камида	64	52	—
Кесак-оҳақда сўндирилмаган доналар миқдори, кўпи билан %	10	20	25
Б. Кукун — порошок ҳолигача сўндирилган гидрат оҳақ, қуруқ моддага ҳисоблаганда: фаол $\text{CaO} + \text{MgO}$ миқдори, %			
а) қўшилмасиз гидрат оҳақда, камида	67	55	50
б) қўшилмали гидрат оҳақда, камида	50	40	30
Гидрат оҳақнинг намлиги (нам моддага ҳисоблаганда), кўпи билан %	5	5	5
Туйиш даражаси, %			
063-рақамли элақдаги қолдиқ, кўпи билан	2	2	2
009-рақамли элақдаги қолдиқ, кўпи билан	10	10	10

зарраларини сунъий тош қилиб бириктиради ва қоришмабоп аралашманинг кўнгилдагидек ёйилувчан бўлишини таъминлайди. Бошқа бир хил шароитларда қоришманинг ёйилувчанлиги қоришма таркибидаги оҳақ миқдорига боғлиқ бўлади. Демак, оҳақ хамири қанча кўп ҳосил бўлса, шунча кам қайнама-оҳақ талаб қилинади.

Оҳақ хамирининг кўп-оз бўлиши қанча фаол  $\text{CaO} + \text{MgO}$ , сўнмаган доналар ва кальций оксиди борлигига боғлиқ. Таркибида  $\text{CaO}$  кам бўлган магнезиал ва доломит оҳақдан оз магнезиалли (таркибида  $\text{CaO}$  кўп) оҳаққа қараганда кам оҳақ хамири ҳосил бўлади. Қанча оҳақ хамири ҳосил бўлиши асосан заррачаларнинг сўндиргандан кейинги дисперс (майдалик) да-

ражасига боғлиқ. Кальций оксиди майда заррачаларгача тез сўнади. Ҳолбуки, MgO ва ўта куйган зарралар унчалик тез сўнмайди. Кальций оксидининг гил аралашмалари билан ўзаро таъсир этишувидан ҳосил бўлган маҳсулотлар эса жуда секин сўнади ёки умуман сўнмайди.

Оҳакнинг ширали ёки ширасизлиги ҳам заррачаларининг майдалик даражасига қараб аниқланади. Ширали оҳак асосан майдалиги жиҳатдан коллоидларга яқин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  заррачалардан ташкил топган бўлиб, таркибида сўнмаган доналар кам учрайди. Ширасиз оҳак анча дағал сўнади ва сўнишида талайгина доналари парчаланмай қолади.

1 кг қайнама-оҳак кесагидан олинадиган оҳак хамирининг ҳажми хамир тайёрлашнинг технологик усулларига ҳам боғлиқ. Бевосита кесак-оҳакни мўл сув қуйиб сўндириш ёки кукун - оҳакка кўнгилдагидек хамир ҳосил бўлгунича сув қуйиб туриш йўли билан оҳак хабири олиш мумкин. Таркибан иккаласи ҳам бир хил бўлади. Бироқ одатда кесак-оҳакни сўндиришда кукун-оҳакни сўндиргандагига қараганда анча кўп оҳак хабири ҳосил бўлади. Бошқа бир хил шароитларда бу ҳажмлар нисбати 5:3 га тенгдир. Гап шундаки, мўл сув билан сўндирганда заррачаларнинг майдаланиш даражаси бир мунча юқори бўлади. Чунончи, ўртача ўлчами 6—10 мк бўлган кукун-оҳак зарраси сут ҳолатигача сўндирилганда 1 мк. га тушади. Оз сув қуйганда, афтидан, сўндириш маҳсулоти бир оз куйдириб юборилади\*.

Қайнама-оҳак кесаги бўлақларининг ўлчами кўпинча оҳак хамирининг миқдори (шунингдек, сўниш тезлиги)га катта таъсир кўрсатади. Қайнама доналари анча майда бўлса, сўндирилганда нисбатан дисперс маҳсулот ҳосил бўлиб, жараён тезлашади. Доналари 10 мм. гача йирикликдаги сўндирилмаган оҳакдан кўпроқ ва юқори сифатли оҳак хабири чиқади.

Пластиклиги. Оҳак қоришмабоп аралашмаларни ниҳоятда пластик (бирикувчан ва ёйилувчан) қилади. Бу унинг энг муҳим хоссаларидан ҳисобланади.

Оҳак хамирининг ниҳоятда пластик бўлишига сабаб шуки, оҳак доналари ўз юзасида сув қатламини шимиб — адсорбци-

---

\* Лекин оҳак кукун ҳолигача яхши ва соф сўндирилган оҳак бир неча кун сувда бўлса, деярли кесак-оҳак ишлаптанидек оҳак хабири олинishi мумкин.

он ушлаб туради. Натижада улар гидродинамик мойланиб, ўзаро ишқаланиш камаяди. Доналар қанчалик майда бўлса, уларнинг солиштирма сирти шунчалик катта, ҳосил бўлган боғловчи эса пластик бўлади. Оҳак хамирининг бу хоссалари ундан пластификатор сифатида фойдаланишга ва қоришма тайёрлаш учун ишлатиладиган цементни тежашга имкон беради.

Аралаш қоришмаларда портландцементга қўшиладиган оҳакнинг йўл қўйиладиган миқдори ҳар хил бўлиши мумкин. Масалан, қуруқ шароитларда фойдаланишда I ва II класс бинолар учун қўшилма ва цементнинг энг кўп вазн нисбати 3:1 гача бўлиши мумкин  $[Ca(OH)_2]$  га ҳисоблаганда. III класс бинолар учун зарур марқадаги қоришмага етарли миқдордагина бўлади. Нам шароитларда бино қураётганда оҳак-цемент нисбати бинолар классига қараб тегишлича 0,6:1 ва 0,75:1дан ошмаслиги керак. Оҳак шу миқдордан ошса, бетон конструкциясининг сувга чидамлилиги ва барқарорлигига путур етиши мумкин.

**Чўкиши.** Оҳак қотаётганда заррачалари орасидаги сув камайиб, уларнинг бир-бирига яқинлашуви ва қотаётган оҳак хамирининг чўкиши юз беради.

Сув маҳсулот кесими бўйича бир хилда буғланмайди. Юза қатламлар тезроқ қуриydi ва чўкиш ҳодисалари туфайли ҳали намиқмаган ички ўзакни сиқа бошлайди. Оқибатда устки қатламларда ички чўзувчи зўриқишлар пайдо бўлиб, буюм дарз кетади.

Камроқ чўкиши ва дарз кетмаслиги учун оҳак хабири "соф" ҳолда эмас, балки минерал тўлдиргичлар қўшилган қоришма ва бетон тарзида ишлатилади. Тўлдиргичлар аралашмада чўкишга тўсқинлик қилувчи мустаҳкам синч ҳосил қиладди. Ширали оҳак чўкувчанроқ бўлади. Шунинг учун ҳам у тўлдиргичлар билан иложи борича яхшироқ суюлтирилиши зарур.

Тўлдиргич ишлатиш техник, шу билан бирга иқтисодий аҳамиятга эга оҳакни тежашга имкон беради, қоришма ва бетон таннархи арзонлашади.

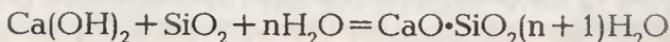
Қоришмага қанча оҳак сарфлаш кўп жиҳатдан тўлдиргичларнинг донадорлик таркибига, яъни доналарининг майда-йириклигига ва улар орасидаги бўшлиқлар ҳажмига боғлиқ. Қоришмада оҳакнинг роли кум зарралари орасидаги барча

бўшлиқларни тўлдириш ва уларни юпқа хамир қатлами билан қамраб олишдан иборат. Оҳак керагидан ортиқча солинса, чўкиш дарзлари ҳосил бўлиши мумкин, кам солинса, қоришма ёйилувчанликда ва мустаҳкамликда ютқзадади.

Тўлдиргичларнинг ковакланувчанлиги ундаги йирик ва майда доналар нисбати билан белгиланади. Энг мақбул таркибдаги қум зарралари орасидаги коваклар оҳак зарраларидан бир неча бор катта бўлади. Шунинг учун қулай жойланувчан қоришма тайёрлашда оҳак сарфлашга тўғри келади. Унинг сарфини камайтириш мақсадида тўлдирувчи қўшилмалар солинади. Оҳак зарраларига қараганда дисперслиги кам бўлган қўшилмалар тўлдиргич орасидаги йирик ковакларни қоплайди.

Айниқса, туйилган оҳактош бу жиҳатдан яхши натижа беради. У оҳак билан реакцияга киришиб,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  комплекс бирикма ҳосил қилади ва шу билан қоришма мустаҳкамлиги камайишига йўл қўймайди. Оҳактош қотаётган маҳсулотда  $\text{CaCO}_3$  кристалларининг ҳосил бўлиш жараёнини тезлаштиради:  $\text{CaCO}_3$ нинг майда заррачалари кристалланиш марказлари, куртаклари ҳисобланади. Оҳак билан оҳактош аралашмасини майда туйишдан ҳосил бўлган маҳсулот карбонат оҳак деб юритилади. Унда  $\text{CaCO}_3$  вазни 40—60 % бўлиши мумкин. Аслида қанча бўлиши кераклиги карбонат оҳакда фаол  $\text{CaO} + \text{MgO}$  қуруқ моддага ҳисоблаганда камида 30 % бўлиши лозим, деган шартта асосан белгиланади. Давлат стандартлари оддий оҳакни майда туйиш даражаси ва унинг сўниш тезлигига нисбатан қандай талаблар қўйса, карбонат оҳакка нисбатан ҳам худди шундай талаблар қўяди.

Тўлдиргичларга ёпишиши. Кальций гидрат оксидининг заррачалари тўлдиргичлар юзасида етарлича мустаҳкам тура олади. Оҳак қоришма кўпинча бирикиш натижасида эмас, балки бевосита қотган оҳак хамири сабабли емирилади. Карбонатлашиш ва  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нинг тўлдиргичлар билан кимёвий таъсир этишуви ҳисобига у янада яхшироқ ёпишади. Оҳак билан тўлдиргичлар таркибидаги аморф қумтупроқнинг қуйидаги тарзда ўзаро таъсир этишуви ана шундай реакциялардан ҳисобланади:



Реакция натижасида сувга чидамли ва мустаҳкам кальций гидросиликат ҳосил бўлади. Оддий шароитларда  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  кремний оксиди билан жуда сустр реакцияга киришади. Ҳарорат ошиши билан (айни вақтда нам муҳит шароити яратилса) гидросиликат ҳосил бўлиш жараёни анча тезлашади. Юксак иссиқликнинг оҳак билан қум-кремний оксиди орасидаги реакцияга ана шундай таъсиридан силикат буюмлар ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Бундай буюмлар автоклавларда 8 ати (ортиқча атмосфера) босим ва  $174^\circ\text{C}$  тўйинган сув буғида буғланади.

Оҳакнинг тўлдиргичлар билан бирикиш даражаси қум заррачаларининг юзаси қандай эканлигига ҳам боғлиқ. Силлиқ юзали, юмалоқроқ қум заррачаларига қараганда юзаси гадир-будур заррачалар мустаҳкам ёпишади. Шунинг назарда тутиб, силикат буюмлар ишлаб чиқаришда қум дезинтеграторларда майдаланиб, дағаллаштирилади. Бундан ташқари, қум зарраларининг у қадар фаол бўлмаган юқориги юза пардаси шилиб ташланиб, оҳакка нисбатан фаолроқ қатламлари яланғочланади.

Сўндирилмаган туйилган оҳак тайёрлаш учун таркибида 8 дан 20 % гача гил бўлган гил-оҳактошлар ҳам хом ашё сифатида ишлатилиши мумкин. Бу оҳактошлар гидравлик оҳак тайёрлашда, айниқса, қўл келади. Туйилган сўндирилмаган оҳакнинг сифати навидан қатъи назар, қўшимча равишда майда туйилиш даражаси билан боғлиқ. Туйилган сўндирилмаган оҳак кукуни, стандартга кўра эланганда 063-рақамли (тешиги 0,63 мм) элакда кўпи билан 2 %, 009-рақамли (тешиги 0,09 мм) элакда кўпи билан 10 % қолдиқ қолиши керак. Сўнмаган оҳакнинг 0,2—0,3 мм. дан йирик доналари қотган оҳак қоришмаларининг дарз кетишига сабабчи бўлиши мумкин, деб ҳисобланади. Бу туйилган сўндирилмаган оҳакда ана шундай ўлчамдаги доналар бўлмаслиги кераклигини кўрсатади.

**Мустаҳкамлиги.** Туйилган сўндирилмаган оҳак мустаҳкамлик кўрсаткичларига кўра 4, 10, 25 ва 50 маркаларга бўлинади. Бунда "нормал" (доналари стандарт таркибли) қум қўшиб 1:3 нисбатда пластик қоришмадан тайёрланган ва 28 суткада синналган намуналарининг сиқувдаги мустаҳкамлик чегараси асос қилиб олинган.

Туйилган сўндирилмаган оҳакдан тайёрланган қоришмалар ҳавода қотадиган сўндирилган оҳакдан тайёрланган маҳ-

сулотта қараганда мустаҳкамроқ ва сувга чидамлироқ бўлади. Бунга сабаб шуки, сўндирилмаган туйилган оҳак кам сув билан қорилади: ортиқча сув (кимёвий реакция учун керак бўладиганидан зиёди) камаяди, бу эса анча зич ва мустаҳкам қоришма тайёрлашга имкон беради. Сувнинг СаО билан кимёвий реакцияга киришиш учун ютилиши ҳам суяқ фазанинг қисқаришига олиб келади. Ҳолбуки, сўндирилган оҳак ишлатганда ана шундай имкон бўлмайди: унинг гидратлардан иборат барча зарралари сувни кимёвий йўл билан ютишга қодир эмас.

Қотаётганида ҳажман текис ўзгариши. Туйилган сўндирилмаган оҳакка нисбатан қўйиладиган техник талабга кўра, оҳак қотаётганида ҳажман текис ўзгарадиган бўлиши керак. Туйилган қайнама-оҳакни қоришга қанча сув етарли бўлишини аниқлаш (хамир нормал қуюқ бўлиши) учун сув-оҳак нисбати ҳар хил оҳак хамиридан шиша устида диаметри 7—8 мм, қалинлиги 1 см. га яқин кулчалар тайёрланади. Бир сутка ўтгач, улар ташқи томондан текшириб кўрилади. Оҳак хамири дарз кетмайдиган оптимал миқдорда сув қуйиб тайёрлангандагина кулчалар нормал қаттиқликда бўлади, ҳажман текис ўзгаради.

Ҳажмининг текис ўзгариш шароитлари ушбу оҳакда асосан сўндирилган оҳакдагига қараганда анча юқори техник хоссаларга эга бўлган фойдаланиш имкониятларини очиб беради.

Оҳак ҳажмининг нотекис ўзгариши бир қатор омилларга боғлиқ. Масалан, куйдириш режими бузилса, айрим доналари нотекис сўнади: ўта пишган зарраларнинг сўниши нормал куйганларникига қараганда суст бўлади. Муътадил пишган қисмларининг тез сўниши ва кристалланиши натижасида ўта пишган доналари қотиб улгурган хамирда ҳам сўнишда давом этади, натижада дарз-ёриқлар ҳосил бўлади.

Оҳакни янада майда туйиш йўли билан нотекис куйдиришнинг зарарли таъсирини анча камайтириш мумкин: ўта пишган жуда майда заррачалар ҳажми мутлақ кам кенгаяди ва улардаги ички чўзувчи зўриқишлар ҳам кучсизроқ бўлади. Бундай ҳолларда оҳакни «вибротуйиш», яъни титратма усулда туйиш тавсия қилинади.

Сифатли куйдирилган оҳак ҳажмининг нотекис ўзгаришига кальций оксидининг Са(ОН)<sub>2</sub> га айланиши ва қайта крис-

талланиши ҳам сабабчи бўлиши мумкин. СаО тез гидратланиши ва талайгина иссиқ ажралиб чиқиши натижасида шундай ўзгариш содир бўлади. Бунинг олдини олиш учун иложи борича иссиқликни бартараф қилиш керак. Қиш шароитида туйилган сўндирилмаган оҳак ишлатиш анча сифатли қоришмалар тайёрлашга имкон беради. Қайта кристалланиш қотаётган тизим таркибий тузилишига зарарли таъсир қилмаслигини кўзлаб, материалнинг ортиқча кенгайишига йўл қўймайдиган қолиплар ишлатилади.

Оҳакнинг гидратланишини секинлаштирадиган қўшилмалар қўшиш яхши натижалар беради. СаО сув билан бутун вақт давомида текис реакцияга киришади, содир бўлаётган структуравий жараёнлар бир меъёردа ривожлана боради. Сульфит-спирт барда (вазн бўйича) 0,15—0,3 миқдорда қўшилади ва сульфатлар (типс, магний сульфати ва бошқалар) ана шундай қўшимчалардан ҳисобланади. Сульфатлар оҳак оғирлигининг 3—5 % гача миқдорида алоҳида ёки барда билан бирга қўшилади.

Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, сўндирилмаган оҳакдан тайёрланган қоришмалар қотаётганида талайгина иссиқ ажралиб чиқиши салбий ҳодисагина бўлиб қолмай, қишда ишлатилаётганда яхши фойда ҳам бериши мумкин. Чунки, юқорида таъкидлаб ўтилганидек, бундай қоришмалар сўндирилмаган оҳак ниҳоятда экзотермик бўлгани (кўп иссиқ чиқариши) сабабли музлаб қолмайди ва жадалроқ қуриydi.

Оҳак қоришмалар ва бетонларнинг кўпга чидаши. Сунъий тош материалларнинг емирилишига кўпинча қотиб қолган боғловчида ташқи муҳитнинг салбий таъсирида коррозияланиш (емирилиш) жараёнларининг ривожланиши сабабчи бўлади.

Оҳак қоришмалар ҳаво таъсирига яхши чидаш берадиган материаллардан ҳисобланади. Қуруқ ҳаво шароитида қоришмалар мустаҳкамланиши учун қулай имконият туғилади. Чунки бу ҳолда карбонлаш жараёни ривожланиши натижасида нами қочган оҳак хамири мустаҳкамлана бошлайди. Нам шароитларда оҳак қоришмалар намиқишидан уларнинг мустаҳкамлиги бўшашади ёки бутунлай бузилади.

Батамом қотган оҳак қоришмалар нисбатан совуққа чидамли бўлади. Шундай хоссали қоришма билан сувалган бинолар пештоқининг узоқ вақт яхши сақланиши бунга яққол далил-

дир. Оҳақ қоришмаларнинг сув ва совуқ таъсирига чидамлиги уларнинг сув музлаганда, муз ҳажми кенгайганида ҳам бузилмайдиган таркибий тузилишига боғлиқ.

Ҳавода қотадиган оҳақ ишлатиладиган соҳалар. Энг муҳим боғловчи моддалардан ҳисобланган ҳавода қотадиган оҳақнинг юқорида кўрсатиб ўтилган хоссалари амалда уни асосан қайси соҳаларда ишлатиш кераклигини белгилаб беради. Бу қуйидагилардир:

- қуруқ ҳаво шароитида ер устида бино қуриш учун зарур қурилишбоп қоришмалар тайёрлаш;

- худди шундай мақсадда ишлатиладиган сувоқбоп қоришмалар;

- гидравлик боғловчи, яъни оҳақ-тошқол ва оҳақ-пуццолан цементлар;

- гипс-оҳақ боғловчилар (бирга туйиб) тайёрлаш;

- силикат (автоклав) буюмлар ишлаш;

- ташқи ҳавоси паст шароитларда тўлдирма девор қураётганда ишлатиладиган тошқол бетон (туйилган сўндирилган оҳақ);

- қуруқ ҳаво шароитида ишлатиладиган конструкциялар учун паст маркали бетон тайёрлаш;

- енгил бетон-тош (цемент ёки қўшилмалар билан аралаштириб) ишлаш;

- тузли эритмалар билан қориб (сўндирилган доломит оҳақ), иссиқни изоляциялайдиган ва бошқа материаллар тайёрлаш.

Рангли оҳақ аралашмалар тайёрлаш. Ҳавода қотадиган оҳақ ишлаб чиқаришни йўлга қўйишда у маҳаллий боғловчи модда эканлиги назарда тутилади. Уни тайёрлашга керакли хом ашё материаллар ва ёқилги деярли ҳамма жойда топилади. Бундан ташқари, унчалик мураккаб бўлмаган ускуналар ва кам маблағ талаб қилинади. Шунга кўра, оҳақ нисбатан унчалик қимматга тушмайди. Механизациялашган ва катта қувватга эга (йилига 100 минг т. дан ортиқ оҳақ ишлаб чиқарадиган) корхоналарда маҳсулот таннарни янада камаяди.

Ҳавода қотадиган оҳақ ишлаб чиқаришни тобора ривожлантириш шунинг учун ҳам мақсадга мувофиқ ва зарурдирки, у мустақкам ва сара қурилиш буюмлари тайёрланишига асос бўлиши, шунингдек, бошқа қимматли боғловчи моддалар ўрнида ишлатилиши мумкин. Бу эса иқтисодий жиҳатдан ҳар томонлама фойдалидир.

## HAZOPAT CAVOLLARI

1. Куйдирилган сундирилмаган кесак-оҳак яна қандай номланади?
2. Кесак-оҳакни майдалашнинг усуллари хусусида гапириб беринг.
3. Ҳавода қотадиган товар оҳакнинг қандай турлари мавжуд?
4. Сундирилмаган кесак-оҳак ишлаб чиқариш жараёни қандай технологик чизма билан ифодаланади?
5. Ҳавода қотадиган оҳак ишлаб чиқаришда ишлатиладиган оҳактошларга нисбатан қўйиладиган талабалар.
6. Куйдириладиган оҳактош қандай ишланиши керак?
7. Оҳактошлар ишлаб чиқариладиган печларга таъриф беринг.
8. Майдалаш аппаратлари хом ашё турига боғлиқми?
9. Оҳактошни куйдиришда қандай жараёнлар содир бўлади?
10. Кальций карбонатнинг парчаланиш тезлиги қандай кечади?
11. Оҳакнинг говаклиги уни сундириш жараёнига таъсир кўрсатадими?
12. «Ўта куйган» оҳак қандай сўнади?
13. Нордон оксидлар  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оҳактош таркибида бўлганда қиздириш даврида ҳосил бўладиган бирикмалар тўғрисида сўзлаб беринг.
14. Оҳактош таркибидаги магний карбонат оҳак сифатига қандай таъсир қилади?
15. Оҳактошни куйдириш муддати ҳароратга ва оҳактош бўлаклари ҳажмига боғлиқми ёки йўқми?
16. Оҳакни сундириш жараёнларида юз берадиган реакциялар.
17. Оҳактош қандай печларда куйдирилади?
18. Нега оҳак сундирилганда сув 2—2,5 баравар кўпайтирилади?
19. Оҳакнинг сўниш тезлиги сув ҳароратига боғлиқми?
20. Оҳак сўнишига турли туз эритмалари қандай таъсир кўрсатади?
21. Оҳакни сундириш муддати оҳактошни куйдириш ҳароратига боғлиқми?
22. Гидрат-кукун оҳак нима?
23. Сундирилмаган туйилган оҳак қандай афзалликларга эга?
24. Оҳак хаамири қандай тайёрланади?
25. Сундирилмаган туйилган оҳак қандай агрегатларда тайёрланади?
26. Оҳак ҳавода қотганда қандай жараёнлар рўй беради?
27. Сундирилмаган туйилган оҳак қотганда содир бўладиган жараёнлардан сўзлаб беринг.
28. Оҳак қандай физик-механик хоссаларга эга?
29. Оҳак хаамирининг чиқиши деб нимага айтилади?
30. Оҳакнинг тўлдиригичлар билан бирикиш даражаси нимага боғлиқ?

31. Қотан оҳак мустаҳкамлигини белгиловчи омиллар.
32. Қотаётган оҳак ҳажман текис ўзгарадими ёки йўқми?
33. Оҳак қоришмалар ва бетонларнинг кўпга чидамлилиги қандай?
34. Ҳавода қотадиган оҳак ишлатиладиган соҳаларни айтиб беринг.
35. Рангли оҳак аралашмалари қандай тайёрланади?

## ГИДРАВЛИК БОҒЛОВЧИ МОДДАЛАР

### I боб. ГИДРАВЛИК ОҶАК ВА РОМАНЦЕМЕНТ

#### 1. Гидравлик оҶак

Одатда, таркибида 6 % дан 20 % гача гил аралашмаси бўлган мергель оҶактошларни эриб, бир-бирига ёпишиб қолмайдиган даражада куйдириб, кейин майда туйилганда ҳосил бўладиган боғловчи моддага гидравлик оҶак дейилади. Гидравлик оҶак туйилган сўндирилмаган ва кукун ҳолигача сўндирилган (майда туйилган сўнмаган заррачалар аралашмаси билан) оҶак ҳолида ишлаб чиқарилади. Қотиш тезлигига ва механик жиҳатдан қанчалик мустаҳкамланишига қараб гидравлик оҶак иккига бўлинади: кучли гидравлик оҶак ва кучсиз гидравлик оҶак.

ОҶакнинг гидравлик даражаси гидравлик (асосий) модуль ( $m$ ) миқдори билан аниқланади. Гидравлик модуль оҶак (хом ашё) таркибидаги кальций оксидининг кислота оксидлари йиғиндисига фоиз ҳисобидаги нисбати билан ифодаланади:

$$m = \frac{\text{CaO}}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

ОҶакда ҳавода қотадиган СаО қанча кўп, яъни асосий модуль қанча катта бўлса, унинг гидравлик хоссалари шунча паст бўлади. Чунки СаО кўплиги сабабли, ана шундай хоссали бошқа моддалар (кальций силикат, алюминат ва ферритлар) кам бўлади. Гидравлик оҶак гидравлик модулининг миқдори 1,7—9 га тенг. Гидравлик модули 1,7—4,5 га тенг оҶак кучли гидравлик оҶак, модули 4,5—9 гача бўлган оҶак кучсиз гидравлик оҶак ҳисобланади. Гидравлик модуль 9 дан ортиқ бўлса, оҶак амалда гидравлик хоссаларга эга бўлмайди ва у ҳавода қотадиган оҶак ҳисобланади.

Икки кальцийли силикат ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), икки кальцийли феррит ( $2\text{CaO}\cdot\text{FeO}_2$ ) ва бир кальцийли алюминат ( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) куйдириляётганда ҳосил бўладиган ва куйдириш маҳсулотини гидравлик хоссали қиладиган бирикмалардан ҳисобланади.

СаОнинг  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ларни кўрсатилган бирикмалар тарзида боғлай оладиган энг кўп миқдори 1,7—1,8 оғирлик қисмини ташкил қилади. Гидравлик оҳакнинг асосий модули, одатда, бир оз юқори — 9 гача, кўпинча 3—5 бўлади, яъни гидравлик оҳакда СаОнинг 9 оғирлик қисмига 1 оғирлик қисм кислота оксидлари тўғри келади. Шундай қилиб, гидравлик оҳак таркибида гидравлик бирикмалар — кальций силикатлар, алюминатлар ва ферритлар билан биргаликда озми-кўпми эркин СаО ҳам бўлиши мумкин. Шунга кўра, гидравлик оҳакни ишлаб чиқариш хусусиятлари, унинг хоссалари ва ишлатилиш соҳалари ҳам ҳар хил.

Технологик схема. Мергель оҳактош портлатиш йўли билан казиб олинади, майдаланади, сараланади ва куйдирилади.

Шахта печь ёки айланма печлардан оҳак куйдирувчи агрегат сифатида фойдаланилади. Шахта печларда камида 20—40 мм ўлчамда бўлган оҳактош, айланма печларда эса 15—20 мм ўлчамли оҳактошлар куйдирилади.

Мергель оҳактошларни куйдираётганда кальций оксиди ҳосил бўлади. Унинг гил аралашмалар таркибидаги кислота оксидлари билан ўзаро таъсир этишуvidан кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари ҳосил бўлади. Бу ўзаро таъсир суюқ фаза эритма ҳосил бўлмасидан илгари, қаттиқ фазаларда юз беради. Шунинг учун ҳам куйдирилган материал кесакланиб қолмайди.

Гидравлик оҳак амалда 800—900°C дан 1000°C гача ҳароратда куйдирилади. Шундан юқори ҳарорат тавсия этилмайди, чунки иссиқлик кўтарилса, маҳсулот сўниш хусусиятини йўқотади.

Гидравлик оҳак ишлаб чиқариш учун доломитлашмаган ҳамда доломитлашган оҳактошлар қўлланилади. Долomitлашган оҳактошларда  $\text{MgCO}_3$  миқдори 20 % гача боради. Бундай оҳактошларни куйдиришда талайгина магний оксиди ҳосил бўлади. Бу модда эса куйдириш ҳарорати 800—900°C дан ортиши билан сувга нисбатан фаоллигини тобора камайтира боради. Бундай магнезия секин сўнади ва қотиб қолган бетонда ҳам сўнишни давом эттириши мумкин. Натижада бетоннинг ёрилиб кетиш эҳтимоли сақланиб қолади. Шунинг учун доломитлашган мергель оҳактошларни, юқорида кўрсатилгани каби, 800—900°C дан ошмайдиган ҳароратда шахта печь ёки айланма печларда куйдириш лозим.

Шахта печь тури унда куйдириладиган оҳактошларнинг

кимёвий таркибига қараб танланади. Оҳактошлар доломитлашмаган бўлса, хом ашё билан ёқилғи аралаш солинадиган печлар ишлатилади. Долomitлашган оҳактошлар эса ёқилғи ба-  
тамом ёниб бўлганидан кейин ва ўтхонаси ташқарига чиқарилган печларда ёки анча тежамли ним газ печларда куйдирилгани маъқул. Акс ҳолда, магний оксиди куйиб кетади. Туйилган сўндирилмаган оҳак доломитлашмаган оҳактошлар хом ашё билан ёқилғи аралаш солинган печларда куйдирилгани мақсадга мувофиқдир. Чунки майда туйилган ҳолдаги ёқилғи кули оҳакнинг гидравлик хоссаларини оширади.

Айланма печлар оҳактош куйдириш соҳасида кам ишлатилади. Чунки ёқилғи сифатида кўмир чангини тайёрлаш ва ишлатиш учун катта маблағ сарфлашга, шунингдек, куйдиришда анча кўп, яъни шахта печларида куйдиришдаги 12—15 % ўрнига оҳак оғирилигига нисбатан 20 % гача шартли ёқилғи сарфлашга тўғри келади. Шунга қарамасдан, бошқа бир қатор кўрсаткичлари, жумладан, сермеҳнатлиги жиҳатидан шахта печларга қараганда анча тежамли қисқа айланма печлар ишлатилади.

Гидравлик оҳак куйдиришда шахта ва айланма печлар тахминан ҳавода қотадиган оҳакни куйдирувчи печлар сингари иш унумига эга бўлади.

Печдан куйдириб олинаётган маҳсулот (сўндирилмаган гидравлик кесак-оҳак деб юритилади) ҳали боғловчи материал ҳисобланмайди ва қоришма ҳамда бетон тайёрлашда ундан фойдаланиб бўлмайди. Боғловчи модда ҳосил қилиш учун сўндирилмаган кесак-оҳак бўлаклари майда туйилиши керак.

Гидравлик кесак-оҳак икки усулда, яъни механик йўл билан шарли тегирмонларда ва сўндириш йўли билан туйилиши мумкин. Биринчи усулда туйганда сўндирилмаган туйилган гидравлик оҳак (амалдаги стандартга биноан, туйилган сўндирилмаган оҳак деб аталади), иккинчи усулда туйилганда эса кукун ҳолигача сўндирилган гидравлик оҳак олинади.

10—20 мм. гача бир сидра майдалаб олинган куйдирилган кесак-оҳак шар тегирмонларининг сарфлаш бункерига узатилади. У ерда таъминлагич ёрдамида шарли тегирмонга керагича солиб турилади. Майдаланган маҳсулотнинг йирик доналарини ажратиб ташлаш учун сепараторга юборилади. Шундан кейин йирик доналар қайта туйишга, майда (товар) доналар эса тайёр маҳсулот омборига юборилади. Туйилган сўндирилмаган гидравлик оҳак герметик берк металл контейнерларда ёки битумлаштирилган қоғоз қоқларда ташилади.

Идишсиз жўнатишда эса махсус жиҳозланган цемент ташувчи машиналардан фойдаланилади. Кўриниб турибдики, кукун ҳолигача сўндирилган гидравлик оҳак тайёрлаш технологияси юқорида баён этилган технологиядан тубдан фарқ қилади.

Гидравлик оҳак ҳам ҳавода қотадиган оҳак сингари муҳим хоссага эга: унга сув таъсир қилганида, механик усулда жуда майдалаб туйилганда ҳам қийинчилик билан эришиладиган даражадаги ниҳоятда майда кукунга айланади. Бироқ гидравлик оҳак таркибига кирган эркин кальций оксидигина сўниш хусусиятига эга бўлади. Унинг гил оксидлари билан ўзаро таъсир этишув маҳсулотлари, яъни кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари сўниш хусусиятига эга бўлмайди.

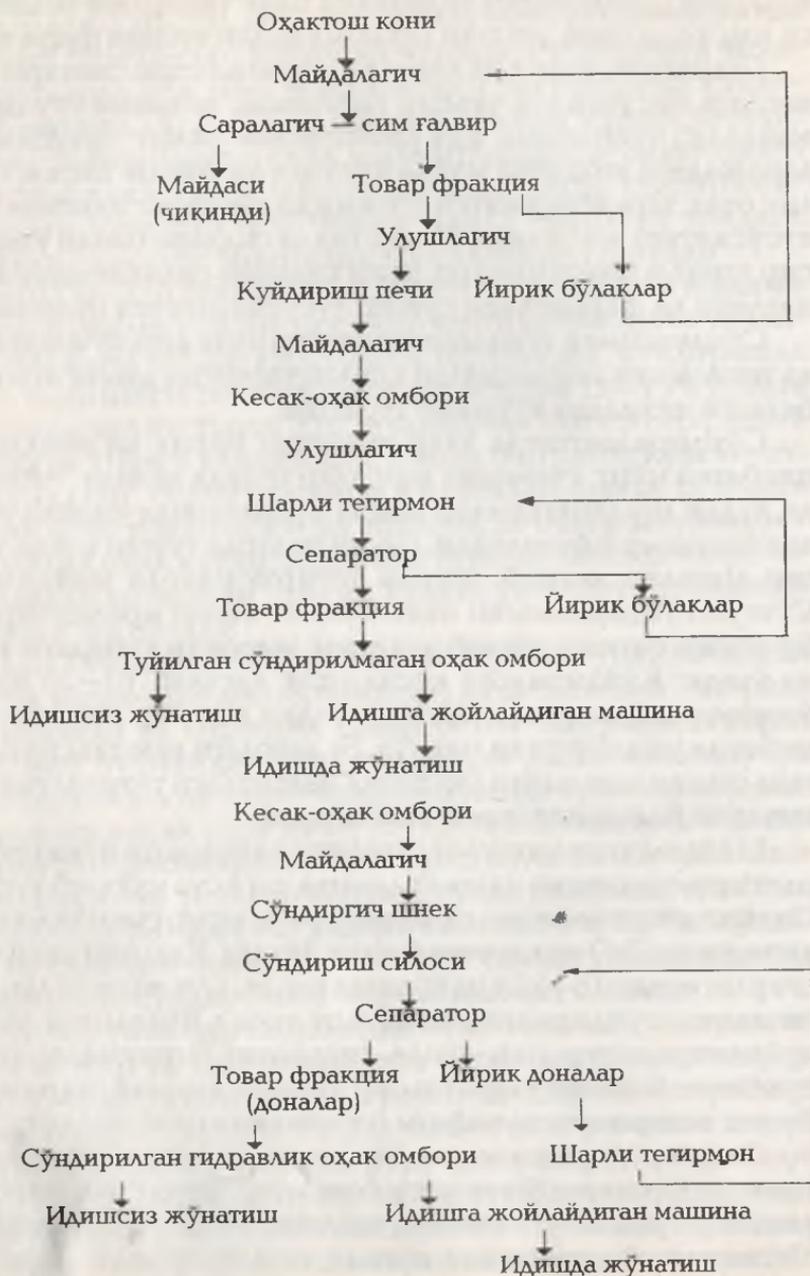
Сўндирилмай туйилган гидравлик оҳак ишлаб чиқараётганда технологик операциялар қандай тартибда давом этиши 112-бетдаги чизмадан кўриниб турибди.

Сўндирилаётганда улар нисбатан йирик ва амалда сувга нисбатан мўрт, сўнмаган зарралар ҳолида қолади. Айни вақтда худди шу бирикмалар майда туйилганида оҳакка гидравлик хоссалар бағишлайди. Шуни назарда тутган ҳолда, сўнмаган доналар эланиб, шарли тегирмонларда майдаланади. Сўнгра сўндирилмаган оҳак кукуни билан аралаштирилади. Бу усулга биноан, ишлаб чиқариш жараёни қуйидаги тартибда ўтади: Куйдирилган кесак-оҳак дастлаб 10—20 мм. гача ўлчамда майдаланади. Шундан олдин уни бир неча (3—5) кун омборда ушлаб турган маъқул. Бу ҳаводаги нам таъсирида қисман сўнган хом ашёга нисбатан навбатдаги технологик жараёнларни бажаришни осонлаштиради.

Майдаланган маҳсулот сўндиргич аппаратга йўналтирилиб, одатдаги сўндиргич шнек ёрдамида унга сув юбориб турилади. Оҳакни кукун ҳолигача сўндириш учун зарур сув миқдори оҳакдаги эркин СаО миқдорига боғлиқ бўлади. Кальций оксиди оҳак оғирлигининг 15—25 %ча бўлиши керак. Сув энг кам даражадаги намли сўндирилган маҳсулот ҳосил бўладиган меъёрга қуйилиши зарур. Акс ҳолда, гидравлик бирикмалар ортиқча сув билан барвақт ўзаро таъсир этишиб, қисман гидратланади, бу эса материалнинг сифати пасайишига олиб келади.

Секин сўнадиган модда бўлган гидравлик оҳак сўндиргич шнеқда батамом сўнмаслиги боис сўндиргич силосларга юборилиб, у ерда 10—15 кунгача сақланиб, батамом сўндирилади. Иссиқ сув сўндириш жараёнини анча яхшилайтиди. Сўндиргич шнеқда оҳак буг билан намланади. Силосдаги массанинг иси-

## Сўндирилмай тўйилган гидравлик оҳакни сўндириш



шига оҳақ гидратланишида ажралиб чиқадиган иссиқ ҳам яхши ёрдам беради. Сўндирилган оҳақ силосдан бир оз сўнмаган йирик доналар аралашган кукун ҳолида чиқади. Сўнмаган доналарни ажратиб олиш учун оҳақ сепараторга юборилади. 0,2—0,25 мм ўлчамдаги майда товар фракция омборга жойлаштирилади, сўнмаган йирик доналар эса шарли тегирмонларга юборилиб янчилади, сўнгра яна сўндиргич силосга олиб келинади.

Бундай технология ёрдамида бир йўла икки хил маҳсулот — кучли ва кучсиз гидравлик оҳақ олиш мумкин. Таркибидаги талайгина гидравлик бирикмали майда туйилган сўнмаган доналар бутун оҳақ массасига аралаштириб юборилмасдан, тайёр маҳсулот сифатида ишлатилса, бу кучли гидравлик оҳақ бўлади. Сепаратордан олинган майда фракциядаги гидравлик бирикмалар нисбатан кам ва хоссалари жиҳатидан кучсиз гидравлик оҳақ ҳисобланади. Таркибида гил аралашмалар кўп бўлган (гидравлик модули кўпи билан 4—5 га тенг) оҳақтошлардан бир йўла икки хил оҳақ ишлаб чиқарилади.

Оҳақнинг қотиши, хоссалари ва ишлатилиши. Гидравлик оҳақ таркибидаги кальций оксиди асида ҳавода қотадиган оҳақнинг ўзгинаси. Шунинг учун ҳам бу компонент қотаётганида содир бўладиган жараёнлар ҳавода қотадиган оҳақ қотаётганида рўй берадиган жараёнларга ўхшашдир. Кальций оксиди сув иштирокида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  гача гидратланади. Оҳақ хамиридаги сувнинг буғланиши  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ нинг кристалланишига ва қоришма ёки бетоннинг секин-аста мустаҳкамланишига ёрдам беради. Карбонлашган  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ янада мустаҳкамлана боради. Қоришма юзасида кальций карбонатнинг ҳосил бўлиши оҳақ буюмлар мустаҳкамлигини ва сувга чидамлигини бирмунча оширади.

Оҳақнинг иккинчи компоненти — гидравлик моддалар (кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари) ўзгача қотади (V бобда бу ҳақида батафсил тўхтаб ўтилади). Кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари сув билан ўзаро таъсир этишганида тегишли моддаларнинг гидратларини ҳосил қилган ҳолда гидратланади:  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$  ва  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Гидратлар коллоид, ёпишқоқ кўринишда ва шу билан бирга пластик масса ҳолида ҳосил бўлади. Оҳақ хамирининг суви буғланади ёки гидратландиган моддалар шимилганида коллоид массалар зичланади (коагуляцияланади). Коллоид массаларнинг янада мустаҳкамланиши уларнинг кристалланишига боғлиқ.

Гидравлик оҳак қотаётганида, аввало, ҳавода қотиш, сўнгра гидравлик қотиш жараёнлари рўй беради. Шу сабабли гидравлик оҳак қотиши учун аввалига, қуруқ ҳаво шароити, сўнгра (кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари гидратланиши учун) нам шароитлар яратиш талаб қилинади. Оҳак таркибида гидравлик моддалар қанчалик кўп бўлса, қотишининг биринчи даври (қуруқ ҳаво шароитида) шунчалик қисқа бўлади.

Гидравлик моддаларнинг гидратланиши ва шунга яраша қотиши узоқ вақт давом этиши мумкин. Шунинг учун ҳам нам шароит гидравлик оҳак асосида тайёрланган қоришмалар (бетонлар) нинг янада яхшироқ қотиши учун жуда қулайдир.

Гидравлик оҳак хоссалари. Бу оҳакнинг мустаҳкамлиги ҳажман текис ўзгариши ва майда туйилиш даражаси билан тавсифланиб, тахминан қуйидаги кўрсаткичлар билан ифодаланади (17-жадвал).

Оғирлигига\* кўра 1:3 таркибда тайёрланган қаттиқ қоришмадан шиббалаб ясалган, қирраси 7,07 см кублар ва саккизликлар кўринишидаги намуналар синалади. 17-жадвалдан кўриниб турибдики, кучли ва кучсиз гидравлик оҳаклар нормал қотиши учун турли шароитлар талаб қилинади. Кучсиз гидравлик оҳакни сувга солгунча 21 сутка, кучли гидравлик оҳакни эса атиги 7 сутка давомида ҳавода сақлаш керак.

17-жадвал

Гидравлик оҳакнинг механик мустаҳкамлиги

Оҳак турлари	Сақлаш шартлари		Сиқилишга мустаҳкамлик чегара **, МПа*	Чузилишга мустаҳкамлик чегараси, МПа
	Нам ҳавода	Сувда		
	Неча сутка			
Кучсиз гидравлик	21	7	0,6	0,2
	21	35	0,8	0,33
Кучли гидравлик	7	21	2,0	0,5
	7	49	3,0 <sup>3</sup>	0,7

\* 91-79-77 Давлат стандартларида 28 кеча-кундузда ҳар хил шароитда (7 сутка нам ҳавода ва 21 сутка сувда) сақланган намуналарнинг сиқилишга мустаҳкамлик чегараси камида 2,0 МПа бўлиши талаб қилинади.

\*\* Қурилиш нормалари ва қоидалари 28 суткалигида сиқилишга мустаҳкамлик чегараси 5,0 МПа гача бўлган гидравлик оҳак ишлаб чиқариш ҳам кўзда тутилган (М., Стройиздат, 1977, 1-қисм).

Гидравлик оҳак қотаётганида ҳажман қанчалик текис ўзгариши оҳак хаширидан тайёрланган кулча намуналарини синаш йўли билан аниқланган. Намуналар нам ҳаво шароитида 7 сутка сақлангандан кейин сувга солиб қўйилади. 10 сутка мобайнида сувда сақланган кулчалар дарз кетмаса ва қийшаймаса, гидравлик оҳак ҳажман текис ўзгариши жиҳатидан синовдан яхши ўтган ҳисобланади. Бу синовга бардош бермаган оҳакни ишлатиб бўлмайди, чунки ундан тайёрланган қоришма қотганидан кейин ҳам бузилиши мумкин.

Сўнмаган йирик оҳак доналари ҳажман нотекис ўзгаради. Чунки уларда эркин СаО, шунингдек, ўта пишган магний оксиди (доломитлашган оҳактош ишлатганда) бўлади.

Майдалиги. Гидравлик оҳак қанчалик майда туйилганининг 105—110°C ҳароратда қуритилган кукунини квадрат тешигининг бир тарафи 0,09 мм бўлган 009-рақамли элақда элаш билан текшириб кўрилади. Элақанда 10 % дан ортиқ қолдиқ қолмаслиги керак.

Ишлатиш соҳалари. Гидравлик оҳак ҳавода қотадиган оҳак қатори ишлатилади. Лекин ундан анча мустаҳкам ва сувга чидамли қоришма ҳамда бетон тайёрланади. Гидравлик оҳак сувда ҳам қотиши билан ҳавода қотадиган оҳакдан катта фарқ қилади. Шунинг учун у тобора кенг қўлланилмоқда. Биноларнинг нам шароитларда ишлатиладиган қисмлари, яъни асоси, пойдевори, шунингдек, суғориш шаҳобчалари ва унчалик катта бўлмаган бошқа гидротехник иншоотларини қуришда шу оҳакдан фойдаланилмоқда.

Гидравлик оҳак асосан қуруқ ва нам шароитларда ишлатиладиган бино деворини қуриш ва сувашда кўп қўлланилади. Ундан паст марка бетон ва бир қатор оҳак-тошқол, оҳак-пуццолан, яъни цемент ишлаб чиқаришда фойдаланишга рухсат этилади.

Йиғма темир-бетон буюмлари ишлаб чиқаришда, кам қаватли бинолар учун деворбоп материаллар тайёрлашда ҳам гидравлик оҳак ишлатилади.

## 2. Романцемент

Эриб, бир-бирига ёпишиб қолмайдиган даражада пишган оҳактош ёки магнезиал мергелларни майда туйиш натижасида ҳосил бўлган маҳсулот *романцемент* номини олган. Бундай

боғловчи ишлаб чиқариш учун оҳактош ва гилнинг сунъий аралашмасидан фойдаланиш ҳам мумкин. Тишлашиш муддати-ни керагича ўзгартириш мақсадида романцементга 5 % гача гипс, 15 % гача (оғирлиги бўйича) гидравлик қўшилмалар қўшиб туйишга йўл қўйилади. Шунда цементнинг сувга чидамлилиги янада ошади (шунингдек, иқтисодий жиҳатдан ҳам фойдалироқ бўлади).

Кальций карбонат ва гилнинг табиий аралашмасидан иборат мергеллар таркибида 25—60 % гача гил бўлиши мумкин. Романцемент ишлаб чиқариш учун эса таркибидаги гил аралашма 25—30 % атрофида бўладиган мергеллар ишлатиш яхшидир.

Гидравлик оҳак ишлаб чиқариш учун 20% гача гил аралашган оҳактошлар ишлатилишини, ҳосил бўлган маҳсулотнинг гидравлик модули эса 1,7—9 га тенг эканлигини эсласак, романцементнинг гидравлик модули 1,7 дан кам бўлишининг маъносини тушунамиз. Дарҳақиқат, одатда, у 1,1—1,7 атрофида бўлади. Демак, гил аралашмалар куйдириш вақтида ҳосил бўлган  $\text{CaO}$ ни батамом боғлай оладиган миқдорда ёки уни кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари ҳолида боғлаш учун керагидан ортиқроқ миқдорда бўлади. Гидравлик модуль 1,3 ёки ундан кам бўлганида гил аралашмалар оҳак билан боғланмаган, эркин ҳолича қолади.

Шундай қилиб, гидравлик оҳакдан фарқли ўлароқ, романцементда эркин  $\text{CaO}$  бўлмаслиги керак. Ундаги бутун оҳак гидравлик қота оладиган моддалар, яъни кальций силикатлари ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), кальций алюминатлари ( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ҳамда кальций ферритлари ( $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ҳолида боғланган.

Романцемент таркибида эркин кальций оксиди йўқлиги ва талайгина гидравлик моддалар мавжудлиги жиҳатидан гидравлик оҳакдан тубдан фарқ қилади: у сўнмайди, лекин ундан тайёрланган қоришма ва бетонлар анча мустаҳкам ва сувга чидамли бўлади.

Ишлаб чиқариш технологияси. Мергеллардан ташқари оҳактошлар билан гилнинг сунъий аралашмалари ҳам романцемент учун хом ашё бўла олади. Шу билан технологик жараёнда тегишлича ўзгариш содир бўлади.

Мергеллардан фойдаланишда романцемент ишлаб чиқариш йўсини кўп жиҳатдан сўндирилмаган туйилган гидравлик оҳак тайёрлашга ўхшаб кетади. Шахта печлар ишлатилаёт-

ганда 40 дан 120 мм. гача ўлчамда, айланма печларда 15 дан 20 мм. гача ўлчамда бир сидра майдалаб олинган мергель куйдирилади. Куйдириш ҳарорати мергель турига боғлиқ бўлиб, оҳактош мергель 1100°C да, магнезиал, яъни таркибида магний карбонат кўп бўлган мергель, магнезияни куйдириб юбормаслик учун пастроқ — тахминан 900°C да куйдирилади; романцемент таркибида ўта куйган MgO бўлиши гидравлик оҳакдагига қараганда анча хавфлидир.

Гидравлик оҳак бир сидра сўндириб олиниши туфайли MgOнинг зарарли таъсири (ҳажман нотекис ўзгариши) бирмунча камаяди.

Мергеллардан фойдаланишда гил аралашмаларнинг қанчалик текис жойлашгани ва нечоғлиқ дисперслиги катта аҳамиятга эгадир. Оҳактошда гил йирик аралашмалар ёки майда-майда заррачалар ҳолида бўлиши мумкин. Агар у майда заррачалар тарзида бўлса, оҳактошда текис жойлашади, йирик кесак ҳолида бўлса, романцементнинг сифатини пасайтиради. Бу ҳолда оҳак билан гил фақат кесаклар юзасидагина ўзаро таъсир этишади. Гидравлик модули анча паст бўлса ҳам, романцементда талайгина миқдорда эркин оҳак қолиши мумкин. Кейинчалик цемент қотаётганда у ҳажман нотекис ўзгаришга сабабчи бўлиши эҳтимол. Гилнинг бир қисми эса кераксиз нарса — балласт ҳолида қолаверади. Шунинг учун ҳам мергель сифатини аниқлашда ундаги гил заррачалар йигиндиси (гидравлик модуль миқдори)нигина эмас, балки дисперслик даражасини ҳам ҳисобга олиш керак бўлади.

Мергелни куйдиришда айланма ва шахта печлардан фойдаланилади. Оҳактош мергелларини куйдиришда хом ашё билан ёқилғи аралаш солинадиган шахта печлардан, магнезиал мергелларга эса ўтхонаси ташқарига чиқарилган шахта печлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Чунки шахта печларда куйдиришнинг белгиланган режимига аниқ риоя қилиш ва паст ҳароратда куйдириш мумкин.

Ҳар қандай мергелни куйдиришда ишлатиш мумкин бўлган айланма печлар, юқорида кўрсатиб ўтилган сабабларга кўра, яъни уни қуриш учун катта маблағ талаб қилиниши, ёқилғи кўп сарф бўлиши сабабли романцемент ишлаб чиқаришда унчалик кўп қўлланилмайди. Романцементни хом ашё билан ёқилғи аралаш солинадиган шахта печларда куйдириш учун тахминан куйдирилган маҳсулот оғирлигининг 12—14 % миқдориди, ўтхонаси ташқарига чиқарилган печларда 14—16 %, ай-

ланма печларда эса 16—20 % ва шундан кўпроқ шартли ёқилғи сарфланади.

Куйдирилган мергелни туйишдан олдин маълум вақт (3—5 кун) омборда сақлаб турган маъқул. Шу вақт мобайнида эркин оҳақ ҳаво нами таъсирида қисман сўниши мумкин. Натижада романцементнинг сифати яхшиланибгина қолмасдан, уни туйиш ҳам осонлашади. Сўндирилаётган оҳақ ҳажман кенгайиши туфайли куйдирилган мергель бир оз юмшайди. Романцементни майдалаш учун шарли тегирмон ишлатилади. Гипс ёки гидравлик қўшилмалар куйдирилган мергель билан биргаликда майдаланади. Бу бир хил жинсли маҳсулот ҳосил бўлишига олиб келади.

Туйишдан олдин қўшилмалар қуриштиш барабанларида қуриштиб олинади: гипснинг намлиги 10 % гача, гидравлик қўшилмалар — 2 % гача бўлади. Романцемент икки хил усулда, яъни майдаланган материал эланмасдан (очиқ цикл) ва эланиб (ёпиқ цикл) туйилади. Элаганда ажралиб чиққан йирик доналар қайта туйишга юборилади. Шу билан маҳсулотнинг сифати анча яхшиланиб, тутовчи агрегатларнинг иш унуми эса ошади; элаш сепараторларда бажарилади.

Романцемент ишлаб чиқариш учун оҳактош билан гилнинг сунъий аралашмасидан фойдаланишда улар хом ашёда текис жойлашуви учун шарли тегирмонларда қўшиб туйилади. Хом ашё аралашмаси шахта ёки айланма печларда куйдирилиши мумкин. Хом ашё билан ёқилғи аралаш солинадиган шахта печларда куйдирилса ҳам бўлади, аммо ёқилғини аралашмада «кумалоқ» (дона)лар тайёрлашдан олдин бевосита хом ашё аралашмасининг ўзига қўшган яхши. Шунда куйдириш шароитлари яхшиланади.

Хом ашё айланма печларда ҳам аралашма кумалоқлар ҳолида куйдирилади, лекин бирмунча кичик, яъни 20—30 мм. гача ўлчамда бўлади. Ёқилғи прессланмайди, балки чанг-ҳаво аралашмаси ҳолича бевосита печга узатилади. Куйдирилган маҳсулот шарли тегирмонларда гипс ва гидравлик қўшилмалар билан ёки уларсиз туйилади. Кўриниб турибдики, сунъий йўл билан ҳосил қилинган аралашмадан романцемент ишлаб чиқариш технологияси табиий мергеллардан фойдаланиш технологиясига қараганда бирмунча мураккаб. Бундан ташқари, худди шунча маблағ сарфлаш ва шу ускуналарнинг ўзидан фойдаланиш билан нисбатан анча сифатли боғловчи олиш мумкин. Бу усул асосан маҳаллий ёқилғи (ўтин, торф, паст

калорияли кўмир ва сланец) дан фойдаланилган тақдирдаги-на ўзини оқлайди.

Романцементнинг қотиши, хоссалари ва ишлатилиши. Гидравлик оҳак таркибидаги гидравлик компонентлар қотаётганда қандай жараёнлар рўй берса, романцемент қотаётганида ҳам худди шундай жараёнлар содир бўлади. Романцемент кукуни сув билан қорилганда кальций силикатлари, алюминатлари ва ферритлари гидратланади ва кальций гидросиликатлар, гидроалюминатлар ва гидроферритларни ҳосил қилади. Гидратлар жуда ҳам майда коллоид заррачалар кўринишида ажралиб чиқиб, ёпишқоқ, ёйилувчан массани вужудга келтиради. Улар цемент зарралари орасидаги ишқаланишни камайтириш билан цемент хамирини пластик қилади. Маълум вақтдан кейин хамир қуюқлашиб, мустаҳкамлана бошлайди, тишлашиш жараёни ривожланади. Цемент хамири эркин сувини йўқотиши натижасида коллоид массалар зичлашиши — коагуляцияланиши туфайли хамир мустаҳкамланади.

Цемент хамири янада зичлашганидан кейин бутунлай но plastik бўлиб қолади ва берилган шаклни сақлайдиган каттиқ жисмга айланади. Бироқ у ҳали нисбатан мустаҳкам бўлмайди (цемент хамирининг бундай ҳолатига *тишлашишнинг охири* дейилади). Коллоид массалар янада мустаҳкамланиши ва қисман кристалланиши натижасида цемент-тош каттиқ бўлиб қолади.

Гидравлик қўшилмалар ва гипс иштирок этган ҳолда кўшимча жараёнлар юз беради. Гипс портландцемент таркибида қандай аҳамиятга эга бўлса, бу ерда ҳам муҳим ўрнини сақлаб қолади, яъни у тишлашиш жараёнини секинлаштирувчи вазифасини ўтайди. Гипс цементнинг асосий компоненти, яъни нисбатан осон эрийдиган кальций алюминатлари билан ўзаро таъсир этишиб, уларни қийин эрийдиган моддаларга айлантиради, натижада тишлашиш жараёни секинлашади.

Гипсдан қанча қўшиш кераклиги романцемент таркибидаги алюминатлар миқдорига боғлиқ: одатда қўшилаётган гипс 5 % дан ошмайди. Баъзан цемент мустаҳкамлигини ошириш мақсадида гипсдан кўпроқ қўшилади. Энг кўпи билан қанча қўшиш кераклиги ҳар қайси айрим ҳолатда лабораторияларда ўтказилган синовларга асосланиб белгиланиши керак.

Гидравлик қўшилмаларга келганда, романцементда маълум миқдорда эркин оҳак бўлган ёки у қотаётган вақтда оз миқдорда сув ажралиб чиқадиган ҳолларда гидравлик қўшилма-

ларнинг оҳак қотишидаги роли намоён бўла бошлайди. Гидравлик қўшилманинг қумтупроғи ( $\text{SiO}_2$ ) сувда оҳак билан ўзаро таъсир этишиб, кальций гидросиликатлари ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) ни ҳосил қилади.

**Мустаҳкамлиги.** Романцемент секин қотадиган, мустаҳкамлиги (28 кунлик) нисбатан паст маркали боғловчи модда ҳисобланади. Бу унинг таркибидан маълум: асосан секин қотадиган минерал — икки кальций силикатдан иборат (аммо узоқ сақланган икки кальций силикат анча мустаҳкам бўлиши мумкин). Романцемент аввалига жуда секин қотиши сабабли ундан тайёрланган бетонни қотишнинг дастлабки 5—7 суткасида бевосита сув таъсирига учратиб бўлмайди.

Бироқ қуруқ ҳаво шароити қотиши ҳамда мустаҳкамлигига салбий таъсир қилади: сув ҳаддан ташқари кўп буғланса, гидратланиш жараёнлари секинлашади ёки бутунлай тўхтайдди. Нам ҳаво романцементнинг дастлабки даврда (7 кунгача) қотиши учун энг қулай шароитдир. Унинг қотиш ва мустаҳкамланиш тарзига атрофдаги муҳит ҳарорати ҳам таъсир кўрсатади. Иссиқликнинг ошиши ниҳоятда ижобий, пасайиши эса салбий роль ўйнайди. 5—10°C да романцемент амалда қотишдан бутунлай тўхтайдди.

Романцемент 1:3 таркибли қаттиқ қоришмадан ишланган ва 28 кунлигида сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасига қараб (стандартга кўра) уч, яъни 25, 50 ва 100-маркага бўлинади. 7 кунлик намуналарининг сиқилишдаги ва чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси қуйидагича бўлиши керак (18-жадвал).

18-жадвал

Романцементнинг механик мустаҳкамлиги

Цемент маркаси	Мустаҳкамлик чегараси, МПа	
	Сиқилишда	Чўзилишда
25	1,0	0,3
50	2,5	0,5
100	5,0	0,8

**Майда туйилиши.** Романцемент иложи борича майда туйилиши керак, чунки у қанчалик майда бўлса, мустаҳкамлиги ҳам шунча юксақдир. Стандартда романцементнинг майдалик даражаси қуйидагича белгиланган: 021-рақамли элақда кўпи билан 5% ва 009-рақамли элақда 25% ошмайдиган (огирлик ҳисо-

бида) қолдиқ қолиши керак. Лекин бу дағал туйиш ҳисобланади. Янада майдароқ, масалан, 009-рақамли элақда 10-15% қолдиқ қоладиган даражада туйилса, цемент маркасини 1,5 - 2 баравар ошириш мумкин бўлади. Албатта, бир қатор ҳолларда цементни янада майдалаш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас.

**Тишлашиш муддатлари.** Романцемент сув билан қорилган пайтдан камида 15 мин ўтгандан кейин тишлаша бошлайди, кечи билан 24 соатда бутунлай тишлашиб бўлиши керак.

Романцемент қотаётганида ҳажман қанчалик текис ўзгариши жиҳатдан синаб кўрилиши лозим. Стандартта кўра, асосан цемент хабиридан кулча шаклида ясалган намуналар синалади. Нам ҳаво шароитида 7 кун сақланган намуналар қайнатилганида ва сув буғида ёрилмаслиги зарур.

**Романцементнинг ишлатилиши.** Ер усти ва остида зўриқиши кам конструкциялар учун бетон тайёрлаш ва девор қуриш ҳамда суваш ишларида ишлатилади. Романцементни сув таъсирида хизмат қиладиган конструкциялар қуришда ҳам фойдаланишга руҳсат этилади. Аммо бунинг учун ҳеч бўлмаганда дастлабки 7 кун мобайнида сув таъсиридан сақлаш керак бўлади.

Унчалик мустаҳкам бўлмаганлиги учун романцемент темир-бетон конструкцияларда ишлатилмайди. Йиғма қурилишда романцементдан II ва III класс бинолари учун деворбоп бетон-тошлар тайёрлашда фойдаланиш мумкин. Романцемент асосан маҳаллий қурилишларга мўлжалланган. У гидравлик боғловчи моддалар хилини кўпайтиришга ёрдам беради ва бир қатор бетон конструкциялар ишлаб чиқаришда портландцемент ўрнида ишлатилади.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Гидравлик оҳак олишда ишлатиладиган хом ашёлар.
2. Гидравлик оҳакларнинг қандай турларини биласиз?
3. Гидравлик модуль нима?
4. Гидравлик оҳак олиш усули.
5. Гидравлик оҳак қандай печларда куйдирилади?
6. Гидравлик оҳакнинг қотиш жараёнини тушунтириб беринг.
7. Гидравлик оҳакнинг хоссалари ва ишлатилиш соҳалари.
8. Романцементта хом ашё бўладиган тоғ жинслари.
9. Романцемент қандай олинади?
10. Романцемент куйдириладиган печлар ҳақида маълумотлар беринг.

11. Романцементни туйишда қўшилмалар қўшиладими ёки йўқми?
12. Романцемент кукуни сув билан қорилганда қандай бирикмалар ҳосил бўлади?
13. Романцементнинг мустаҳкамлик жиҳатлари.
14. Романцемент сувда ҳам қотадами?
15. Романцементнинг тишлашиш муддатларини маромга солиш учун нима қилиш керак?
16. Романцемент қаерларда ишлатилади?

## И б о б. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

### 3. Таркиби ва таснифи

Эриб қовушиб қолгунча куйдирилган клинкерни гипс, баъзи ҳолларда эса махсус қўшимчалар билан биргалиқда туйишдан ҳосил бўлган гидравлик боғловчи модда *портландцемент* деб аталади. Куйдириш маҳсулотида кальций силикатлар кўп (70—80 %) бўлади. Қисман эриш натижасида қовушиб қотиб қолган майда-йирик тош бўлақлар *клинкер* дейилади. Клинкер таркибига мос келадиган маҳсулотнинг хом ашё аралашмасини тўла эритиш йўли билан ҳам портландцемент олиш мумкин.

26798.0—26798.2-85 Давлат стандартларига кўра, портландцемент хоссаларини ўзгартириб туриш, шунингдек, унинг таннархини камайтириш мақсадида клинкерга фаол (гидравлик) ва инерт минерал қўшимчалар қўшишга йўл қўйилади. Инерт қўшимчалар (оҳактош, доломит, кварц қум ва бошқалар) миқдори 10 % дан, фаол қўшимчалар (трепел, диатомит, трасс ва бошқалар) миқдори эса 15 % дан ошмаслиги керак. Бироқ гидравлик қўшимчалар 20 % ва ундан ҳам ортиқ бўлиши мумкин. Майдаланган маҳсулотга нима қўшилганига қараб, бошқа қўшилма сифатида, масалан, донадор домна тошқоли ишлатилса, *шлакпортландцемент* деб, табиий гидравлик қўшилмалар ишлатилса, *пуццолан портландцемент* деб юритилади.

Клинкерни туйиш унга, одатда, кўпи билан 3 % гипс (сульфат кислота ангидридига нисбатан ҳисоблаганда) қўшилади. Бу билан цементнинг хоссаларига яхши таъсир этилиб, тишлашиш муддати узайтирилади.

Шундай қилиб, портландцемент клинкер, гидравлик (ёки инерт) қўшилма ва гипс аралашмасидан иборат бўлади. Бундан ташқари, унинг таркибида оз миқдорда (1 % гача) бошқа моддалар, масалан, цемент сифатини бузмайдиган, лекин унинг яхшироқ майдаланишига ёрдам берадиган тезлаттичлар — интенсификаторлар (қурум, кўмир) ҳам бўлиши мумкин.

Замонавий қурилишда портландцемент ва унинг турлари асосий материал ҳисобланади, ундан турли бино ва иншоотларни бунёд этиш учун зарур бетон ва темир-бетон конструкциялар ясалмоқда.

Цемент сифати борган сари яхшиланиб, унинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари юксалмоқда. Портландцементнинг ўртача маркаси 500 дан (310—85 Давлат стандартлари) ошди, цемент турлари ҳам кўпайиб, бир қатор махсус цементлар чиқарилаётир.

#### 4. Клинкер ва унинг кимёвий ҳамда минералогик таркиби

Шуни назарда тутиш керакки, барча қўшилмалар портландцемент хоссаларини қисман ўзгартиради. Унинг асосий сифат кўрсаткичлари (мустаҳкамлиги, чидамлилиги, мустаҳкамланиш тезлиги) асосан клинкер сифатига боғлиқ. Портландцемент клинкери бўлақларининг қовушиб пишган ҳолдаги ўлчамлари 10—20 мм. дан 50—60 мм. гача майда ва йирик доналар (кесак ёки бўлақлар) кўринишида олинади.

Қовушиб пишган клинкер ўзининг микротаркибий тузилишига кўра, мураккаб заррачасимон турли кристаллар ва қисман шишасимон маҳсулотлар аралашмасидан иборат. Клинкер сифати асосий оксидлар миқдори (кимёвий таркиби бўйича), минералогик таркиби ва асосий оксидларнинг ўзаро нисбатига қараб баҳоланади.

**Кимёвий таркиби.** Клинкернинг кимёвий таркиби катта чегарада ўзгариб туради. Портландцемент клинкерини ишлаб чиқаришда гил ва оҳактош жинслар хом ашё материаллари сифатида ишлатилади. Гил жинслар турли моддалар (минераллар) дан ташкил топган. Уларда асосан 3 та оксид:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  мавжуд. Оҳактошлар асосан кальций карбонатдан иборат. Кальций карбонат эса икки оксид —  $\text{CaO}$  ва  $\text{CO}_2$  ни ўз ичига олади. Клинкер куйдирилганда  $\text{CO}_2$  гази ажралади;  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  асосий оксидлар ва асосий клинкер минералларини ҳосил қилади.

Клинкер таркибида бу асосий оксидлар билан бир қаторда цемент сифатига маълум даражада таъсир кўрсатувчи оксидлар ҳам бўлиши мумкин. Одатда, булар магний оксид ( $\text{MgO}$ ), ишқорлар ( $\text{Na}_2\text{O}$  ва  $\text{K}_2\text{O}$ ), титан икки оксид ( $\text{TiO}_2$ ), фосфор ангидрид ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) ва сульфат кислота ангидриди ( $\text{SO}_3$ ) дир.

Портландцемент таркибидаги асосий ва қўшимча оксидлар миқдори куйидагича бўлади:

$\text{CaO}$ —63—67 %;  $\text{SiO}_2$ —21—24 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —4—8 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ —2—4 %;  $\text{MgO}$ —0,5—5 %;  $\text{SO}_3$ —0,3—1 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  ва  $\text{K}_2\text{O}$ —0,4—1 %;  $\text{TiO}_2$  ва  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ —0,2—0,5 %;  $\text{P}_2\text{O}_5$ —0,1—0,3 %.

Клинкернинг кимёвий таркиби 5382—65 Давлат стандартларида берилган усул билан аниқланади.

1500°С ҳароратда куйдирилган эркин магний оксид сув таъсирида сўниш қобилиятини бутунлай йўқотмаса ҳам, ҳар ҳолда жуда суств сўнади. Унинг сўниш жараёни қотиб қолган цемент-тошда ҳам давом этиши натижасида қоришма ва бетонда ёрилиш юз беради. Бундай хавфли ҳолнинг (цемент ҳажми нотекис ўзгаришининг) олдини олиш учун портландцемент таркибидаги эркин магний оксид миқдори стандарт томонидан чегараланади ва у 4,5 % дан ошмаслиги зарур\*.

Портландцементда калий ва натрий оксидлар бўлмагани маъқул, чунки улар портландцементнинг тишлашиш муддатига таъсир қилади. Шунингдек, ишқорлар бетонда тўлдиргичлар билан (тўлдиргич таркибида аморф қумтупроқ бўлса) ўзаро кимёвий таъсир этишуви мумкин. Натижада, қотган бетоннинг дарз кетишига сабабчи бўладиган натрий ва калий силикатлар вужудга келади. Атроф-муҳит етарлича нам бўлса, бу реакция жуда тез кетади. Шу сабабли гидротехник бетонлар учун цемент ва тўлдиргичлар танланаётганда цемент таркибида қанча ишқор борлиги ҳисобга олиниши лозим. Шунингдек, тўлдиргичлар ҳамда аморф қумтупроқ (опал, кремний, сланец ва бошқалар) миқдори аниқланади. Портландцемент таркибида ишқорий металл оксидлар кўпроқ бўлса, бетон юзасида шўр доғлар ҳосил бўлиши мумкин.

Стандартга кўра, портландцемент таркибида исталган миқдорда ишқор бўлишига йўл қўйилади, аммо гидротехник бетонлар учун 0,6 % дан, ер усти конструкцияларини қуришда ишлатиладиган қоришма ва бетонлар учун эса 1 % дан ортиқ ишқори бўлган портландцемент ишлатиш тавсия этилмайди. Цементда 4 % гача титан икки оксид бўлса, у цемент сифатига салбий таъсир қилмайди. Аммо  $\text{TiO}_2$  жуда кўпайиб кетса, цементнинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари пасаяди.

---

\* Айрим корхоналарда ишлаб чиқарилаётган портландцемент таркибида магний оксид миқдори 6 % гача бўлишига рухсат этилади. Аммо бундай портландцемент автоклавда 2,0 МПа буг босими остида қотаётгандаги ҳажмий текис ўзгариши, албатта, синаб қурилиши лозим.

Фосфор ангидрид 1,5—2 % дан ошса, портландцементнинг қотиш жараёни секинлашади (қуйида сульфат кислота ангидриди портландцементнинг техник хоссаларига қандай таъсир қилиши ҳақида сўз юритилади).

**Минералогик таркиби.** Юқорида кўрсатиб ўтилган тўрт оксид ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) портландцемент клинкерида бирикиб, кальций силикат, кальций алюминат ва кальций алюмоферритларини ҳосил қилади. Цемент клинкерининг шлифи микроскоп орқали кўрилганда, у асосан кристаллик тузилишли кальций силикатлардан иборат эканлиги маълум бўлади. Кальций силикатлар орасида *шишасимон аморф оралик моддалар* деб аталувчи алюминат ва *алюмоферритлар* жойлашади. Портландцемент хоссалари ана шу минераллар миқдориға боғлиқ.

Портландцемент клинкерининг асосий минераллари қуйидагилардир:

уч кальций силикат (алит) —  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  ёки  $\text{C}_3\text{S}$ ;

икки кальций силикат (белит) —  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  ёки  $\text{C}_2\text{S}$ ;

уч кальций алюминат —  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  ёки  $\text{C}_3\text{A}$ ;

тўрт кальций алюмоферрит (целит) —  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  ёки  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Нормал таркибли портландцемент клинкерида асосий минералларнинг фоиз миқдори қуйидагича бўлиши мумкин:

$\text{C}_3\text{S}$  - 45—60 %;  $\text{C}_2\text{S}$  - 15—37 %;  $\text{C}_3\text{A}$  - 7—15 %;  $\text{C}_4\text{AF}$  - 10—18 %.

Ишлаб чиқариш шароитларида  $\text{CaO}$  ни юқорида кўрсатиб ўтилган минераллар кўринишида батамом бириктириш қийин. Шунинг учун клинкер таркибида эркин, бирикмаган ҳолда бир оз  $\text{CaO}$  қолиши мумкин. Клинкер таркибидаги бу эркин модда портландцемент хоссаларига магний оксидга қараганда хавфлироқ таъсир кўрсатади яъни у ҳажман жуда нотекис ўзгаради. Эркин  $\text{CaO}$  цемент-тошни бузиб юбормаслиги учун туйишдан олдин клинкер эркин  $\text{CaO}$  ҳаводаги нам таъсиридан сўниб улгурадиган қилиб, маълум вақт омборларда етилтирилади. Шунда клинкер бирмунча юмшайди ва уни туйиш осонлашади. Ҳозирги вақтда ишлаб чиқариш автоматлаштирилиб, анча мукамал ташкил этилганлиги муносабати билан клинкер етилтириб ўтирилмайди. Портландцементнинг асосий техник хоссалари клинкер таркибидаги муҳим минераллар ҳиссасига боғлиқ. Клинкернинг минералогик таркибига қараб, портландцемент қуйидаги турларга бўлинади:

алит портландцемент — таркибидаги уч кальций силикат 60 % дан ортиқ,  $C_3S$ :  $C_2S$  нисбат эса 4 дан катта;

белит портландцемент — таркибида 37 % дан ортиқ икки кальций силикат мавжуд,  $C_3S$ : $C_2S$  нисбат 1 дан кам;

алюминат портландцемент — таркибида уч кальций алюминат 15 % дан ортиқ. Таркибида  $C_3A$  миқдорига қараб цементлар оз алюминатли ( $C_3A$  5 % гача), ўртача алюминатли ( $C_3A$  5—9 %) ва кўп алюминатли ( $C_3A$  9 % дан ортиқ) цементларга бўлинади;

алюмоферрит (целит) портландцемент — таркибидаги тўрт кальций алюмоферрит 18 % дан ортиқ.

Клинкер таркибида баъзан бир йўла икки хил минерал миқдори кўп бўлиши мумкин. Бундай портландцемент қўшном билан аталади: *алит-алюминат, алит-белит ёки белит-целит*.

Ҳар қайси клинкернинг минералогик хоссаларига, бетон ишлатиладиган шароитларга қараб, тегишли минералогик таркибли цемент танланади.

Алит — портландцементнинг юқори мустаҳкамлигини, тез қотувчанлиги ва бошқа қатор хоссаларини таъминловчи клинкернинг муҳим силикат минералидир. Унинг миқдори клинкер таркибида 45—80 % ни ташкил қилади. Ҳозирги кунда у уч кальций силикатнинг кам миқдордаги  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $Cr_2O_3$  ва бошқалар билан қаттиқ эритмаси деб ҳисобланади.  $C_3S$  таркибида кам миқдорда (2—4 %) бўлишига қарамай, улар бу модданинг таркибий тузилиши ва хоссаларига маълум даражада таъсир кўрсатади.

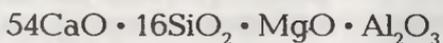
Шундай қилиб, лаборатория шароитида тоза кимёвий компонентлардан тайёрланган уч кальций силикат билан sanoat миқёсида ёки лаборатория шароитида табиий хом ашёлардан ҳосил бўлган цемент клинкеридаги алит фарқини, албатта, билиш керак.  $C_3S$  уч полиморф модификацияларда учрайди. Тоза  $C_3S$ , одатда, тириклин шаклида кристалланади, қўшимчалар эса уни моноклин, баъзан тириклин таркибий тузилишга (цементларда) ўтказилади.

Алит кристаллари, одатда, ольтиёқлик ёки тўғрибурчаклик шаклида бўлади. Унинг зичлиги  $3,15 \text{ г/см}^3$ . Тоза  $C_3S$  1200—1250°C дан 1900—2070°C гача ҳарорат оралигида барқарорлик касб этади. Бу ҳароратдан пастда  $C_3S$ - $C_2S$  ва  $CaO$  га парчланади. 2070°C дан юқорида эса у эрийди. Пастки ҳарорат чегараси амалий аҳамиятга эга, чунки клинкер sanoat печида со-

виш зонасига ўтиб совийтганда, бир оз муддат 1200—1250°C чегарада туриб қолади, бу эса  $C_3S$ нинг парчаланishiга ва, демак, клинкер сифатини пасайтиришга олиб келади. Одатдаги ҳароратда ўта совиб қотиши сабабли клинкер парчаланмайди.

Портландцементнинг мустаҳкамлигига ва бошқа хоссаларига клинкердаги алит кристалларининг шакли (ўлчами, турли ўлчамдаги кристалларнинг клинкер бўйлаб тақсимланиши, кристалланиш даражаси ва бошқалар) ҳам анча таъсир кўрсатади. Петрографик таҳлилларнинг кўрсатишича, 600—700 марказдаги портландцементни тайёрлаш учун клинкер таркибидаги турли ўлчамли алит кристаллари орасида асосан 3—20 мкм йирикликдаги кристаллар кўпроқ миқдорда ҳамда тўғри призматик ёки гексагонал шаклда бўлгани маъқул (Ю.М.Бутт, В.В.Тимашев назариясига кўра).

Хом ашё таркибидаги мавжуд ёки аралашмага махсус киритиладиган  $FeO$ ,  $MgO$ ,  $CaSO_4$ ,  $CaF_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3$  каби қўшилмалар портландцемент мустаҳкамлигига ижобий таъсир этиши аниқланган. Мазкур қўшилмалар куйдириладиган хом ашё аралашмалари таркибида 0,1—0,5% миқдорда бўлиши алитнинг кристалланишига легирловчи модда сифатида таъсир кўрсатади, бу эса цементлар фаоллигини оширишга имкон туғдиради. Бироқ ушбу қўшилмаларнинг таъсир қилиш механизми яхши аниқланмаган. М.М.Сичев, Ю.М.Бутт, В.В.Тимашев тахминича, бундай моддалар цемент клинкерини пиширишда алит кристалларининг жуда қулай таркибий тузилиш ва ўлчамларда ҳосил бўлишига имкон яратиб, мустаҳкамликка нафи кам бошқа минералларни ҳосил қилмайди. Портландцемент клинкерида вужудга келадиган алит таркибини қуйидаги формула билан ифодалаш мумкин:



Белит — портландцемент клинкерининг иккинчи асосий минералларидандир. У дастлабки кунларда секин қотиши билан алитдан фарқланади. У асосан бир йил атрофида касб этидиган мустаҳкамлиги жиҳатидан алитга яқин туради.

Икки кальций силикат алит сингари кам миқдордаги қўшимчалар (1—3%) билан қаттиқ эритма ҳосил қилиб, белитга айланади. Бундай қўшимчаларга  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  ва бошқалар киради. Икки кальций силикатнинг тўртта полиморф шакли борлиги аниқланган:  $\beta$  —  $C_2S$ ;  $\alpha$  —  $C_2S$ ;  $\alpha^1$  —  $C_2S$ ;  $\gamma$  —  $C_2S$ .

Н.А.Торопов фикрича, икки кальций силикатнинг яна бешинчи полиморф шакли  $\beta^1$  —  $C_2S$  ҳам мавжуд.

2130—1425°C эриш ҳарорати чегарасида  $\alpha$  — модификация барқарор бўлади, бу ҳароратдан пастда у  $\alpha^1$  — шаклга ўтади.  $\alpha$  — модификацияни барқарорлаштириш қийин бўлганлигидан саноат клинкерларида у кам учрайди,  $\alpha^1$  —  $C_2S$  1425—830°C да барқарордир. Бундан паст ҳароратда, секин совитилиш шароитида тоза  $\alpha^1$  —  $C_2S$  тури паст ҳароратда барқарор бўлган  $\gamma$  —  $C_2S$  шаклга ўтади.  $\alpha^1$  —  $C_2S$  тез совитилганда 670°C гача иссиқликда барқарор бўлмаган ва  $\gamma$  —  $C_2S$  га айланишга мойил  $\beta$  —  $C_2S$  шакли қабул қилади. Аммо бу жараённинг давом этишига  $\beta$  —  $C_2S$  кристаллик тўрига кам миқдорда (1—3 %) кириб қолган қўшимчалар ҳалал беради.  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  ва  $Cr_2O_3$  ва ҳоказо моддалар барқарорлаштирувчи қўшимчалар ролини бажаради. Шу билан бирга уни оддий (хона) ҳароратигача совитиш  $\beta$  —  $C_2S$  барқарорлигини оширувчи омил бўлиб хизмат қилади.

Шундай қилиб,  $C_3S$  ва  $C_2S$  оддий ҳароратда термодинамик нуқтаи назардан барқарор бўлмаган бирикмалардир. Н.А.Торопов, М.М.Сичев ва бошқалар наздида, ушбу моддаларнинг сув билан реакцияга киришиш фаоллиги ҳам шунга сабаб бўлади.

$\beta$  —  $C_2S$  шаклининг  $\gamma$  —  $C_2S$  га айланишида умумий ҳажми 10%га ортади. Шунинг учун материал доналарининг ёрилиши ва кукунга айланиши кузатилади,  $\gamma$  —  $C_2S$  100°C гача бўлган ҳарорат муҳитида сув билан деярли реакцияга киришмайди ва боғловчилик хусусиятларини намоён қилмайди. Фақат иссиқ нам шароитда ишлов берилгандагина (автоклавларда) унинг бу жиҳатлари сезилади.  $\beta$  —  $C_2S$  нинг зичлиги 3,28 га,  $\gamma$  —  $C_2S$  ники эса 2,97 г/см<sup>3</sup> га тенг.

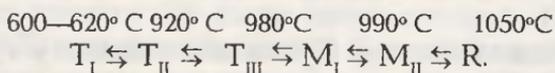
Белитнинг гидравлик фаоллиги алит каби кристалларнинг тузилишига, кристаллар ўлчами, зичлигига, ёриқлар ва қўшимчаларнинг таркибий тузилишига (кириб қолганлигига) боғлиқ. Тождор четли, думалоқ, зич таркибли, ўртача ўлчамлари 20—50 мкм бўлган белитли целитлар юқори мустаҳкамликка эга. Кристалларнинг тезда парчаланиши туфайли катта сатҳни ҳосил қилувчи тизимлар цементларнинг гидравлик фаоллигини оширади.

Оралик модда. Юқори ҳарорат таъсирида эриган ҳолдаги алюминат, алюмоферритлар ва бошқа иккинчи даражали минераллар оралик модда таркибига киради. Тўйиниш коэффи-

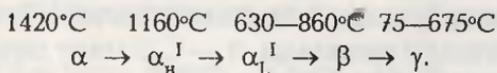
циенти (ТК) юқори бўлмаган ва одатдаги қумтупроқ модулли клинкерларда кальций алюминатларнинг  $C_{12}A_7$  ( $C_5A_3$ ) ва  $C_3A$  шакли учрайди. ТК юқори бўлган клинкерларда эса алюмоферритлар билан бирга фақат  $C_3S$  ҳосил бўлади. Клинкернинг алюмоферритли қисми ўзгарувчан  $C_2F$ ,  $C_{12}A_7$  ( $C_5A_3$ ) таркибда ва эркин  $CaO$  дан иборат қаттиқ эритма ҳолида бўлади.

Кальций алюмоферритларнинг қаттиқ эритмасида  $C_8A_3F$ ;  $C_6A_2F$ ;  $C_4AF$ ;  $C_8AF_2$  ва  $C_2F$  бирикмалари аниқланган. Клинкерларда кўп учрайдиган  $C_4AF$  модда қаттиқ эритмалардаги қатор бирикмаларнинг оралиқ моддаси ҳисобланади. Клинкерларда кам миқдорда  $MgO$ , ишқорлар ҳамда бошқа кристаллик ва аморф бирикмалар ҳам учрайди, аслида, иложи борича уларнинг бўлмагани маъқул.

$CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  тизимида фаза мувозанатларини текшириш давом этмоқда. Барча турдаги цементлар таркибини қамраб олган бу тизимда янги кимёвий бирикмалар йўқ, лекин маълум минералларда ҳароратнинг пасайиш жараёнида юз берадиган полиморфизмга доир анчагина янги маълумотлар аниқланди. Уч кальцийли силикатнинг полиморф қатори қуйидагичадир:

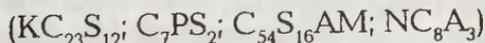


Клинкер алити  $MI, MII \rightarrow R$ , яъни анча қисқа тузилишга эга; икки кальцийли силикат;



клинкер белити эса  $-\alpha \rightarrow \alpha_{LH}^I \rightarrow \beta$ .

Соф  $C_3A$  ва  $C_4AF$  да полиморф модификациялар аниқланмаган. Клинкер минералларининг қаттиқ эритмаларини текшириш ишлари кенгайди ва чуқурлашди: барқарор қаттиқ эритмаларнинг



таркиблари тасдиқланди ва кўп сонли элементларнинг эриш чегаралари (аксарияти 0,4—6 %) аниқлаштирилди. Ушбу муаммо  $C_3A-Na_2O$  куб  $C_3A$  (1,9 % га қадар  $Na_2O$ )  $\rightarrow$  аралаш крис-

таллар  $C_3A$  (куб + орторомбик) (1,9—3,7 %  $Na_2O$ ) → орторомбик  $C_3A$  (3,7—4,6 %  $Na_2O$ ) → моноклин  $C_3A$  (4,6—5,7 %  $Na_2O$ ) →  $NC_8A_3$  (9 %  $Na_2O$ ) тизимида  $C_3A$  полиморфизми белгиланганлиги ўзига хос маълумот бўлди.

*Қабул қилинган белгилар:*  $T_I, T_{II}, T_{III}$  —  $C_3S$  нинг бир, икки, уч типли триклинли модификацияси;  $M_I, M_{II}$  —  $C_3S$  нинг биринчи ва иккинчи типли моноклин модификацияси;  $R$  —  $C_3S$  нинг ромбоэдрик модификацияси;  $(\alpha_n)^I$  —  $C_3S$  нинг юқори ҳароратли  $\alpha^I$  шакли;  $\alpha_L^I$  —  $C_2S$  нинг паст ҳароратли  $\alpha^I$  шакли.

Кейинги вақтларда хом ашё аралашмалари клинкерга айланишининг умумий кимёвий жараёнида қатъий равишда паст ҳароратли (эритмалар ҳосил бўлишига қадар) ва юқори ҳароратли (эритмалар ҳосил бўлгандан кейинги) босқичлар ажратилмоқда, чунки минерал ҳосил бўлиш жараёнлари ушбу босқичларда турлича ўтади.

Паст ҳароратли пишириш босқичида (1300°C гача) хом ашёдаги барча дастлабки таркибий қисмлар парчаланаяди, шу жараёнларнинг кечишида кристаллар бузилиб, минераллар «аморфланади». Кўпчилик гил минераллар «аморф ҳолати»-нинг ҳарорати 300—800°C га тенг.

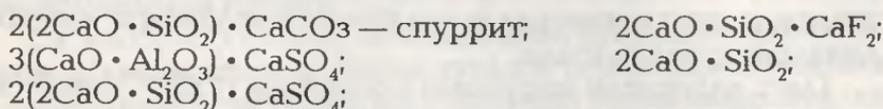
Қумтупроқли таркибий қисмнинг (кварцнинг) дисперселиги портландцемент хом ашё аралашмаларининг реакцияга киришув хусусиятининг энг муҳим параметридир. И.В.Кравченко маълумотларига кўра,  $SiO_2$  устунлик қилувчи улуши  $d < 15$  мкм шихта фракциясида бўлиши керак. Шихтанинг умумий солиштирма сатҳи тахминан 3000—4000 см<sup>2</sup>/г. га тенг бўлганда гил ва оҳактош зарралари солиштирма сатҳларининг оптимал нисбати 1,4—1,6 га тенгдир.

Реакцияга мойил  $CaCO_3$  да ва унинг доналарида  $CA, CS$  ҳамда бошқалардан иборат қобиклар ҳосил бўлиши мумкин, бу эса  $CO_2$  нинг ажралиб чиқишига ва тузнинг парчаланишига мойиллик қилади. Фақат қобиқ қайта кристаллангандан кейингина жараённинг кечиши янада тезлашади, яъни  $CaCO_3$  нинг парчаланиши икки босқичда юз бериши ва у  $CaO$  нинг қайта кристалланишига тўсқинлик қилиб, жараённинг кечишига ижобий таъсир қилиши мумкин, чунки бу ҳолда фаоллиги кам бўлган  $CaCO_3$  нинг бир босқичда парчаланиши кузатилади. Куйдирилаётган аралашмада дастлабки эритма 580—680°C да ҳосил бўлиб, қаттиқ фазали реакцияларнинг кечишини тезлаштиради. Бунда айрим минералларнинг ҳосил

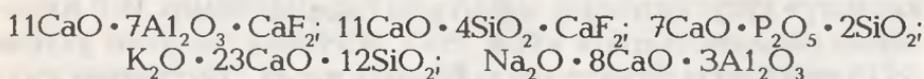
булиши икки босқичда ўтиши мумкин (М.Т.Власова, Н.В.Васильева, С.Хроми ва бошқаларнинг фикрича).

Масалан, йирик дисперсли шихталарда белит икки босқичда ҳосил бўлади: биринчиси 1115—1125°C да кузатилиб, бунда  $\text{SiO}_2$  доналарида  $\text{C}_2\text{S}$  дан иборат қобиқ ҳосил бўлади; иккинчиси 1150—1165°C ҳароратда рўй беради, бунда ана шу қобиқлар бузилиб,  $\text{C}_2\text{S}$  нинг янги кристаллари ҳосил бўлади. Белит кристаллари тупланган зоналарда оралиқ эритмаларнинг икки тури:  $\text{C}_2\text{S}$  дан иборат қобиқ билан  $\text{SiO}_2$  доналари ўртасида (нордон эритма) ҳамда  $\text{CaO}$  ва  $\text{C}_2\text{S}$  доналари туташган жойда (асосий, яъни ишқорий эритма) ҳосил бўлади.

Аралашмалар иштирокидаги паст ҳароратли босқичда қуйидаги оралиқ бирикмалар вужудга келади:



Бир қанча хромато-хромитлар ва кальций фосфатлар, шунингдек,  $\text{CaCO}_3$  нинг ишқор сульфатлари билан алоқалари туфайли иккиламчи тузлар ҳосил бўлади. Паст ҳароратда оралиқ бирикмалардан ташқари барқарор бирикмалар ҳам вужудга келиб, кейинчалик улар клинкер таркибида қолади, яъни:



Мураккаб таркибли оралиқ бирикмалар ҳосил бўлиши  $\text{CaCO}_3$  ва  $\text{SiO}_2$  нинг ўзаро таъсир кўрсатиш ҳароратини 38—80°C га пасайтириб юборади.

Юқори ҳароратли (1300°C дан юқори) босқичда нордон ва асосий ишқорий эритмалар қўшилиб кетади, бироқ клинкер доналарининг қизиб, зич ёпишган айрим қисмларида таркиби жиҳатидан фаркланадиган эритма томчилари мавжуд бўлиши эҳтимол (кинетик микроликвация).  $\text{C}_2\text{S}$  ва  $\text{CaO}$  дан иборат қобиқлар оралиғидаги эритмада  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг асосан  $[\text{SiO}_4]$  ионларига диффузияланиши йўли билан  $\text{C}_3\text{S}$  кристаллари ҳосил бўла бошлайди. Агар  $\text{C}_3\text{S}$  кристаллар ўсган зонага  $\text{Ca}^{2+}$  кира олмаса, бунда нордон эритма  $\text{C}_3\text{S}$  кристалларини  $\text{C}_2\text{S}$  ва  $\text{CaO}$  га қадар парчалаб емириши мумкин (бу жараён баъзан айланма печларнинг қовушиб пишиш зонасидаги клинкерда кузатилади). Клинкер зоналарида 1450°Cда

ҳосил бўлган эритма қуйидагича хоссаларга эга: қовушоқлиги  $0,1—0,3$  Па·с, сирт таранглиги  $350—480 \cdot 10^{-3}$  Н/м. У ҳолда кальций ионларининг диффузия коэффициенти  $DCa^{2+}-(5,3—8,6) \cdot 10^{-5}$ , темирники  $DFe^{2+}-(5,7—14,2) \cdot 10^{-6}$ , алюминийники  $DA1^{3+}-(2,3—7,1) \cdot 11^{-6}$  ва кремнийники  $DSi^{4+}-(4,7—15,8) \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/с.

Кўрсатиб ўтилган миқдорларнинг ўзгариб туришига Na, K, Sr, P, F аралашмалари сабабчидир. СаО доналарининг  $1450^{\circ}\text{C}$  даги эритмада эриш тезлиги  $(16—8) \cdot 10^{-6}$ ;  $C_2S$  доналарининг эриш тезлига эса  $(2—3) \cdot 10^{-6}$  см/с, яъни СаО нинг эриш тезлиги  $C_2S$  нинг эриш тезлигидан 3—4 марта юқори. Бироқ жараёнда эритмани микроликвацияга олиб келувчи кўплаб Na ва K иштираётган эҳтимол,  $C_2S$  нинг эриш тезлиги кескин ортиб, ҳатто  $C_2S$  нинг эриш тезлигидан бир неча марта жадаллашиб кетиши мумкин.

Оз миқдордаги фосфор, хром ва олтингугурт ( $0,1—0,3$  %) ҳамда анчагина миқдоридаги ( $1$  %дан ортиқроқ) барий, фтор, хлор, марганец муайян шароитларда клинкер ҳосил бўлиш жараёнига ижобий таъсир кўрсатади. Клинкер минераллари кристалларининг нуқсонлари кўпроқ: тузилманинг блоклилиги —  $0,1—0,5$  мкм, дислокациялар зичлиги  $(0,5—5) \cdot (10^8—10^9)$  см<sup>2</sup>. Бунда алит кристаллари майдароқ блоклардан ташкил топади ва нуқсонлари ҳам кўп бўлади. Аралашмалар иштирокида (қаттиқ эритмаларда) кристалларнинг нуқсонлари янада ортади.

$C_3S$ ,  $C_3A$ ,  $C_2S$  совиш жараёнида парчаланиши мумкин, парчаланишнинг қандай кечиши бир қанча омилларга: совиш тезлиги, аралашмаларнинг тури ва миқдори, газ атмосферасининг хусусияти ва бошқаларга боғлиқ. Эритма шиша сифатида қотаётганда ҳажман кичраяди. Mg, F, Sr иштирокида эса кристалланиш жараёнининг кечиши туфайли турли ҳарорат ораллигида белги ўзгартирувчи деформация кузатилади, ( $1350—1100^{\circ}\text{C}$  да ҳажм кичраяди,  $1100—900^{\circ}\text{C}$  да эса кенгайди).  $C_3S$ ,  $C_3A$  ва  $C_4AF$  минералларининг  $25—600^{\circ}\text{C}$  чизиқли термик кенгайиш коэффициенти  $(10—13) \cdot 10^{-6}$ .  $C_2S$  термик кенгайишининг чизиқли коэффициенти  $19,5 \cdot 10^{-6}$  град. га тенг, яъни  $C_2S$  нинг термик кенгайиш коэффициенти бошқа минерал кристаллариникига нисбатан тахминан икки марта катта, бинобарин, бу ҳол клинкер доналарида физик кучланишларга сабаб бўлиши мумкин.

Айланма печларда газ атмосферасининг қайтарилиш табиати туфайли клинкерни куйдириш жараёни осонлашади.

## 5. Клинкер тавсифи

Цемент клинкерининг сифати қуйидагилар билан ифодаланиши мумкин:

1. Алоҳида оксидларнинг миқдори (кимёвий таркиби).

2. Асосий оксидлар миқдорининг нисбатини ифодаловчи модуллар қиймати.

3. Асосий минераллар миқдори. Клинкернинг энг муҳим тавсифи алоҳида оксидларнинг ўзаро нисбати ва клинкер минералларининг миқдори билан берилади.

Демак, портландцемент сифатини ҳар қайси клинкер минералининг фоиз миқдорига қараб аниқлаш мумкин. Клинкернинг минералогик таркиби икки хил усулда: бевосита петрографик ёки рентгенографик таҳлил ёхуд бевосита ҳисоблаш усули орқали аниқланади. Заводларда қўпинча ҳисоблаб аниқлаш (асосий оксидларнинг фоиз нисбати орқали) усули қўлланилади. Муҳим оксидларнинг фоиз нисбати икки хил модуль (силикат ва кумтупроқ) ҳамда тўйиниш коэффициенти орқали ифодаланади. Бу модуллар ва коэффициент миқдори хом ашё аралашмаси учун ҳам, клинкер учун ҳам бир хил бўлиб, муҳим амалий аҳамиятта эгадир, чунки хом ашёнинг кимёвий таркибини тегишлича танлаш билан клинкернинг минералогик таркибини ўзгартириб туриш мумкин.

Силикат модуль. Кумтупроқ модуль деб ҳам аталувчи бу модуль (n) реакцияга киришган кремний икки оксид миқдорининг алюминий ва темир оксидлари миқдорига фоиз ҳисобдаги нисбатини кўрсатади:

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Клинкер таркибини ифодалашда илгари фақат гидравлик (бошқача асосли) модулдан фойдаланишган. Қуйидаги формулада кўрсатилганидек, у бириккан кальций оксид миқдорининг кислота оксидлар миқдорига нисбатини кўрсатади:

$$\text{БМ} = \frac{\text{CaO}_{\text{умум}} - \text{CaO}_{\text{эркин}}}{\text{SiO}_{2,\text{умум}} - \text{SiO}_{2,\text{эркин}} + \text{Al}_2\text{O}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Замонавий цемент клинкерларининг бош модули БМ-1,7 — 2,4. Бироқ гидравлик модуль клинкер сифатини тавсиф-

лаш учун етарли эмас эди. Шунинг учун яна иккита модуль: силикат (қумтупроқ) ва гилтупроқ (алюминат) лар модуллари жорий этилди. Силикат модуль (n) бошқа оксидлар билан реакцияга киришган кремний оксиднинг миқдорини ва клинкер таркибидаги алюминий ва темир оксидлар йиғиндисига нисбатини кўрсатади.

Хом ашё аралашмаси таркибидаги кремний икки оксид оҳак билан ҳамма вақт  $C_3S$  ва  $C_2S$  ҳолида бирикавермайди шу сабабли бириккан қумтупроқ миқдори кремний икки оксиднинг умумий миқдори  $SiO_2$  умумий ва эркин ҳолда қолган  $SiO_2$  эркин миқдори айирмаси билан ифодаланиши мумкин. Шунинг учун силикат модуль қуйидагича ёзилади:

$$n = \frac{\%SiO_2 \text{ умум} - SiO_2 \text{ эркин}}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

l цементдаги силикат минераллари билан эрувчан минераллар (клинкернинг алюмоферрит, алюминат қисмлари) ўртасидаги нисбатни аниқлайди. Оддий портландцементлар учун силикат модуль қиймати 1,7—3,5 га; сульфатга чидамли портландцемент учун эса 1,7—4 га тенг. Гилтупроқ (алюминат) модуль  $\rho$  алюминий оксид миқдорининг темир оксид миқдорига нисбатини фоиз ҳисобида ифодалайди:

$$\rho = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

$\rho$  клинкердаги уч кальций алюминатнинг темир оксидли бирикмаларга нисбатини ифодалайди.

Гилтупроқ модуль қиймати оддий портландцементлар учун 1—3 га барабар. Силикат модуль катта қийматга эга бўлганда ҳам хом ашё аралашмасини қовуштириб пишириш қийинлашади. Ҳосил бўлган цемент секин тишлашади ва узоқ қотади, бироқ кейинчалик унинг мустаҳкамлиги ошади. Алюминат модули кичик қийматга эга бўлганда, портландцементларнинг минераллашган тузлар таъсирига чидами юксалади.

$\rho$  катта қийматга эга бўлганда эса, цементлар тез тишлашади ва қотади, аммо охириги мустаҳкамлик кўрсаткичи пастдир.

Силикат модуль катта бўлса, клинкерда  $C_3A$  ва  $C_4AF$  кам, аммо  $C_3S$  ва  $C_2S$  кўп, гилтупроқ модуль катта бўлса, клинкерда  $C_3A$  жуда кўп, бироқ  $C_4AF$  кам бўлади.

Тўйиниш коэффициентини (ТК). Россиялик олимлар В.А.Кинд ва В.Н.Юнг томонидан аниқланган тўйиниш коэффициентини портландцемент клинкери минералогик таркибининг энг муҳим таъриф-тавсифидир. Клинкер минераллари орасида уч кальций силикат энг муҳим минерал ҳисобланади, портландцемент хоссалари кўп жиҳатдан ана шу силикатнинг фоиз миқдоридан келиб чиқади. Шу билан бирга, клинкер таркибидан уч кальций силикат олиш технологик жиҳатдан жуда мураккаб, қолган уч тур минерал эса осонгина ҳосил бўлади.

Шу нарса маълумки, оҳак керагидан кўп бўлса,  $C_2S$ ,  $C_3A$  ва  $C_4AF$  нинг вужудга келиш жараёни (шунингдек,  $CaO$  билан  $SO_3$  ўзаро таъсир этиши туфайли  $CaSO_4$  нинг ҳам) уч кальций силикат фақат анча ( $1300^\circ C$  дан) юқори ҳароратда ва қуйдирилаётган аралашмада суюқ фаза бўлгандагина икки кальций силикатнинг оҳак билан тўйиниши ҳисобига ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, портландцемент клинкер ишлаб чиқаришда  $2CaO \cdot SiO_2$  ни  $3CaO \cdot SiO_2$  га айлантириш ва клинкерда керакли миқдорда  $3CaO \cdot SiO_2$  ҳосил қилиш лозим. Аммо клинкерда эркин оҳак қолмаслиги керак, яъни  $CaO$  дан  $C_3S$ ,  $C_3A$  ва  $C_4AF$  ҳосил қилиш учун улар керакли миқдорда бўлиши лозим. Бу вазифа қанчалик аниқ бажарилаётгани тўйиниш коэффициентининг (ТК) қийматидан келиб чиқиб аниқланади.

Унда ютилган (алюминий оксиднинг уч кальций алюминатга, темир оксиднинг бир кальций ферритга\* ва сульфат кислота ангидридининг кальций сульфатга айлангунча тўйинишидан ортган) оҳак миқдорининг қумтупроқ уч кальций силикатгача оҳакка тўйиниши учун зарур бўлган оҳак миқдорига нисбати берилади.

Клинкер минераллари таркибига кирувчи оксидларнинг молекуляр оғирликларига қараб қумтупроқ  $2CaO \cdot SiO_2$  гача, гилтупроқ  $3CaO \cdot Al_2O_3$  гача, темир оксид  $CaO \cdot Fe_2O_3$  гача ва сульфат кислота ангидриди  $CaSO_4$  гача тўла тўйиниши учун талаб қилинадиган  $CaO$  миқдорини ҳисоблаш мумкин (бунда  $CaSO_4$  икки, яъни  $CaO$  ва  $SO_3$  оксидларидан иборат деб олинади).

---

\* Бу ерда тўрт кальций алюмоферрит ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4Fe_2O_3$ ) икки модда, яъни уч кальций алюминат ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ) ва бир кальций феррит ( $CaO \cdot Fe_2O_3$ ) йигиндиси сифатида олинади мумкин.

Уч кальций силикатда кальций оксиднинг оғирлиги жиҳатидан кремний оксидга нисбати  $3\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 168/60 = 2,8$  га тенг. Демак,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ҳосил бўлаётганда  $\text{SiO}_2$  нинг ҳар бир оғирлик қисми 2,8 оғирлик қисм  $\text{CaO}$  ни ютади.

Худди шундай йўл билан  $\text{Al}_2\text{O}_3$  нинг бир оғирлик қисми ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ҳосил бўлаётганда) 1,65 оғирлик қисм  $\text{CaO}$  ни ( $3\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 168/102 = 1,65$ ), бир оғирлик қисми  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  эса ( $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ҳосил бўлаётганда) 0,35 оғирлик қисм  $\text{CaO}$  ни ( $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 56/160 = 0,35$ ) ютади. Бир оғирлик қисм  $\text{SO}_3$  ( $\text{CaSO}_4$  ҳосил бўлаётганда) эса 0,7 оғирлик қисм  $\text{CaO}$  ни ( $\text{CaO}/\text{SO}_3 = 56/80 = 0,7$ ) ўзлаштиришини аниқлаш мумкин.

Клинкер минералларидаги оҳак ва кислота оксидларининг оғирлик нисбатлари маълум бўлса, қанча  $\text{CaO}$  кераклигини кислота оксидлари орқали ифодалаш мумкин.  $\text{C}_3\text{S}$  ҳосил бўлиши учун 2,8  $\text{SiO}_2$  ва  $\text{C}_3\text{A}$  га 1,65  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{CF}$  га 0,35  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ва  $\text{CaSO}_4$  га 0,7  $\text{SO}_3$  талаб қилинади. Тўйиниш коэффициенти формуласи қуйидагича:

$$\text{TK} = \frac{(\text{CaO}_{\text{умум}} - \text{CaO}_{\text{эркин}}) - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,7\text{SO}_3)}{2,8(\text{SiO}_2_{\text{умум}} - \text{SiO}_{\text{эркин}})}$$

Бу формуладан суратдаги  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ва  $\text{SO}_3$  лар  $\text{C}_3\text{A}$ ;  $\text{CF}$  ва  $\text{CaSO}_4$  гача тўйингандан кейин қолган оҳак миқдорини, маҳражи эса қумтупроқнинг  $\text{C}_3\text{S}$  гача тўйиниши учун зарур оҳак миқдорини ифодалайди. Сурат билан маҳраж тенг экан, тўйиниш коэффициенти 1 бўлади. Бундай клинкер таркибида икки кальций силикат бўлмайди. Қумтупроқнинг  $\text{C}_3\text{S}$  гача тўла тўйинишини қийинлаштирадиган бир қатор технологик омиллар туфайли қиймати 1 га тенг тўйиниш коэффициенти-га эришиш амалда жуда қийин. Шунинг учун тўйиниш коэффициенти одатда 1 дан кичик бўлади. Оддий портландцемент учун  $\text{TK} = 0,80 - 0,95$ . Демак, бундай портландцемент таркибида  $\text{C}_3\text{S}$  дан ташқари икки кальций силикат ҳам иштирок этади. Тўйиниш коэффициенти қанчалик кичик бўлса, клинкерда  $\text{C}_2\text{S}$  шунча кўп,  $\text{C}_3\text{S}$  эса камдир.

Шундай қилиб, тўйиниш коэффициенти қийматлари ва икки модулга қараб, портландцемент клинкерининг сифати ҳақида фикр юритиш мумкин.

Портландцемент клинкерининг минералогик таркибини аниқлаш. Клинкернинг минералогик таркиби кимёвий таҳлил

маълумотлари ва тўйиниш коэффициенти қийматига қараб аниқланади.

Кальций силикатлар  $C_3S$  ва  $C_2S$  миқдорини ҳисоблашда силикатлар *асослилик даражаси* (АД) деган тушунчадан фойдаланилади. АД деганда бир молекула  $SiO_2$  га тўғри келадиган  $CaO$  молекулалар сони тушунилади. Масалан,  $C_2S$  нинг асослилик даражаси 2 га,  $C_3S$  нинг асослилик даражаси эса 3 га тенг. Клинкердаги силикатларнинг асослилик даражаси 3 га тенг бўлган тақдирда ҳамма кремний икки оксид оҳак билан уч кальций силикат ҳолида АД 2 га тенг бўлса, икки кальций силикат ҳолида боғланган бўлади. АД нинг оралиқ қийматлари клинкерда  $C_3S$  дан ташқари  $C_2S$  ҳам борлигини кўрсатади. Модомики, тўйиниш коэффициенти 1 га тенг экан, ҳамма кремний икки оксид оҳак билан  $C_3S$  ҳолида боғлангандир. ТК 1 дан кичик бўлса, клинкерда  $C_2S$  мавжуддир. Ҳар қайси портландцемент клинкери учун силикатларнинг асослилик даражасини  $AD = 3TK$  тарзида белгилаш мумкин

Клинкердаги уч кальций силикатнинг фоиз миқдори қумтупроқ фоиз миқдорига қараб аниқланади. Чунки, юқорида айтилганидек, уч кальций силикатда ҳар 1%  $SiO_2$  га 2,8%  $CaO$  тўғри келади. Улар ўзаро таъсир кўрсатишиб, 3,8 %  $C_3S$  ҳосил бўлади. У вақтда клинкердаги  $C_3S$  нинг миқдорини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\%C_3S = 3,8 \cdot SiO_2 (AD - 2)$$

ёки

$$\% C_3S = 3,8 SiO_2 (3TK - 2).$$

Формуладан кўриниб турибдики, айирма  $(3TK - 2)$  1 га тенг келса ( $AD = 3$ ), клинкернинг бутун қумтупроғи  $C_3S$  ҳолида бириккан бўлади.

$C_2S$  нинг миқдорини аниқлаш формуласи қуйидагича:

$$\%C_2S = 2,87 \cdot SiO_2 (3 - AD)$$

ёки

$$\% C_2S = 2,87 SiO_2 (3 - 3TK).$$

Чунки икки кальций силикатда ҳар 1 %  $\text{SiO}_2$  га 1,87 %  $\text{CaO}$  тўғри келади. Улар ўзаро таъсир кўрсатишиб, 2,87 %  $\text{C}_2\text{S}$  ҳосил қилади. Иккинчи формула  $\text{AD}-3$  (ТК—1) бўлганда клинкердаги  $\text{C}_2\text{S}$  миқдори нолга тенглигини кўрсатади. Клинкердаги гилтупроқ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  $\text{C}_3\text{A}$  ва  $\text{C}_4\text{AF}$  ҳолида боғланган бўлади.  $\text{C}_4\text{AF}$  ҳолда бириккан гилтупроқнинг фоиз миқдори ҳар 1 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  нинг 0,64 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ни бириктиришига қараб аниқланиши мумкин:

$$\rho = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{102}{160} = 0,64$$

Клинкердаги қолган гилтупроқ  $\text{C}_3\text{A}$  ни ҳосил қилади. 1 % ортиб қолган  $\text{Al}_2\text{O}_3$  эса 1,65 %  $\text{CaO}$  билан ўзаро таъсир этишиб, 2,65 %  $\text{C}_3\text{A}$  ни беради. Бу шароитда уч кальций алюминат миқдори қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\% \text{C}_3\text{A} = 2,65 (\% \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,64\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Қавс ичидаги айирма  $\text{C}_4\text{AF}$  ҳосил бўлаётганда  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ютган гилтупроқ миқдорини ифодалайди. Илгари қабул қилинган шартта кўра, тўрт кальций алюмоферрит икки модда, яъни  $\text{C}_3\text{A}$  ва  $\text{CF}$  дан иборат деб қаралади. Ҳар 1 %  $\text{CaO}$  0,35 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  билан ўзаро таъсир кўрсатишиб, 1,35 %  $\text{CF}$  ҳосил қилиши ҳисобга олинса,  $\text{C}_4\text{AF}$  миқдори қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\% \text{C}_4\text{AF} = 2,65 \cdot 0,64\text{Fe}_2\text{O}_3 + 1,35\text{Fe}_2\text{O}_3$$

$2,65 \cdot 0,64 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  кўпайтма  $\text{C}_4\text{AF}$  таркибида  $\text{C}_3\text{A}$  ҳолида бириккан гилтупроқ миқдорини кўрсатади. 1 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  нинг 3,04 %  $\text{C}_4\text{AF}$  ҳосил қилиши ҳам аниқланган. У вақтда  $\text{C}_4\text{AF}$  фоиз миқдорини оддийроқ формула бўйича ҳисобласа бўлади:

$$\% \text{C}_4\text{AF} = 3,04 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Келтирилган формулалардан фойдаланиб, клинкернинг минералогик таркибини кимёвий таҳлил маълумотларига қараб аниқлаш мумкин. Формуладаги  $\text{SiO}_2$  ва  $\text{CaO}$  нинг фоиз миқдори уларнинг бириккан ҳолдаги миқдорига тенг. Бу миқдор шу оксидларнинг клинкердаги умумий миқдори билан эркин ҳолдаги миқдори айирмаси тариқасида аниқланади.

## 6. Клинкер таснифи ва портландцемент турлари

С.Д.Окороков клинкерлардаги асосий минераллар йиғиндисини  $C_3S + C_2S = 75\%$ ;  $C_3A + C_4AF = 25\%$  деб қабул қилиб, клинкерларнинг қуйидаги таснифини таклиф қилди (19-жадвал).

19-жадвал

Клинкерларнинг минералогик таркибига қараб номланиши

Клинкер	Тахминий миқдор, %			
	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
Алитли	кўпи билан 60	камида 15	—	—
Нормал (алит миқдорига кўра)	60 - 37,5	15 - 37,5	—	—
Белитли	камида 37,5	кўпи билан 37,5	—	—
Алюминатли	—	—	кўпи билан 15	камида 10
Нормал (алюминатли миқдорига кўра)	—	—	15—7	10—18
Целитли	—	—	камида 7	кўпи билан 18

Агар клинкер кўп миқдорда силикатли минераллар ёки эрувчан минераллар йиғиндисидан иборат бўлса, улар, мисол учун, алит-алюминатли, белит-алюминатли ва ҳоказо деб аталади. Клинкернинг минералогик таркибини ўзгартириш ва улар асосида турли қўшилмалар билан цемент ишлаб чиқариш орқали турли қурилиш хоссаларига эга гидравлик боғловчи моддаларни тайёрлаш мумкин.

Ҳозирги пайтда портландцементнинг қуйидаги асосий турлари ишлаб чиқарилмоқда:

1. Таркибида 30—70 % донадор домна тошқоли бўлган портландцемент.

2. Таркибида 20—45 % пуццолан қўшилмаси бўлган пуццолан портландцемент.

3. Тез қотувчан портландцемент.

4. Пластик ва гидрофоб портландцемент.

5. Таркибида кўпи билан 50 %  $C_3S$  ва 5 %  $C_3A$  бўлган сульфатга чидамли портландцемент.

6. Ўртача экзотермияли портландцемент.

7. Оқ ва рангли портландцемент.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Портландцемент қандай модда?
2. Клинкерга таъриф беринг.
3. Клинкернинг кимёвий ва минералогик таркиби хусусиятларини тушунтиринг.
4. Клинкернинг минералогик таркибига кўра, портландцемент неча турга бўлинади?
5. Қаттиқ эритма деб нимага айтилади?
6. Оралиқ модда таркибига қандай минераллар киради?
7. Цемент клинкерининг сифати нималар билан ифодаланади?
8. Силикат модуль ҳақида гапириб беринг.
9. Гилтупроқ модуль нима?
10. Тўйиниш коэффиценти деганда нимани тушунаси?
11. Портландцемент клинкерининг минералогик таркиби қандай аниқланади?
12. Ҳозирги кунда портландцементнинг қандай турлари ишлаб чиқарилмоқда?

### III боб. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ТЕХНОЛОГИЯСИ

#### 7. Хом ашё материаллари ва ёқилғи

Портландцемент клинкери ишлаб чиқаришда кальций карбонатга бой таркибли карбонат жинслар ва кремний оксид, алюминий оксид ҳамда темир оксидли гиллар, шунингдек, гил ва кальций карбонатнинг табиий аралашмалари хом ашё сифатида (мергеллар) ишлатилади. Кейинги йилларда портландцемент ишлаб чиқаришда гилни бутунлай ишлатмаслик ёки камроқ ишлатиш мақсадида нордон ва асосан домна тошқоллари, нефелин чиқиндиларидан фойдаланилмоқда. Шунингдек, гипс ёки ангидридни гил билан аралаштириб, портландцемент, сульфоцемент ва  $SO_2$  гази олишнинг комплекс технологияси ишлаб чиқилган. Бу технология сульфат кислота кам ишлаб чиқариладиган мамлакатларда йўлга қўйилган. ~

Нефелин шлами алюминий оксиди ишлаб чиқарувчи саноатда чиқинди сифатида ҳосил бўлади. Унинг таркибида 25—30 %  $SiO_2$ ; 2—5 %  $Al_2O_3$ ; 3—5 %  $Fe_2O_3$ ; 50—58 %  $CaO$  ва 3—8 % бошқа оксидлар, чунончи, 1,5—3 % ишқорлар иштирок этади. Таркибида шунча  $CaO$  бўлган материалга 15—20 % оҳактош қўшиб, портландцемент ишлаб чиқаришда керакли хом ашё аралашмасини тайёрлаш мумкин. Нефелин шлами ишлатиш печлар унумдорлигини 20—30 % га оширади ва ёқилғи сарфини 25 % га камайтиради. Таркибида 40—50 % гача кальций оксиди бўлган домна шлаклари ҳам портландцемент ишлаб чиқариш учун қимматли хом ашё ҳисобланади. Гарчи ҳозирча шлаклар кўп миқдорда ишлатилмаётган бўлса-да, лекин улар асосида йирик портландцемент ишлаб чиқариш корхоналарини ташкил қилиш мумкин.

Гил — сувда осонгина ивиб, бўшашиб кетадиган майда дисперс иккиламчи тоғ жинсларидан иборат. У битта коннинг ўзида минералогик ва гранулометрик (донадорлик) таркиби жиҳатдан хилма-хил бўлиши билан фарқ қилади. Гил таркибида кўпинча анча миқдорда тоғ жинслари, уларнинг синиқ парчалари — шағал, кум ва тош ҳолидаги дағал қўшилмалар

бўлади. Шунинг учун уларни олдиндан яхшилаб саралаб олиш зарур.

Гилнинг минералогик таркиби асосан сув, алюмосиликатлар ва кварцдан иборат. Гилнинг кимёвий таркибида асосан кремний оксид (60—80%), алюминий оксид (5—20%) ва темир оксид (3—15%) дан иборат уч оксид мавжуд. Унинг таркибида, шунингдек, оз миқдорда карбонат тузлари ҳолида кальций ва магний оксидлари учраши мумкин. Лекин гилларнинг баъзи турларида 25% гача кальций оксид, 3% гача магний бўлади (сланец, лёсслар бунга мисолдир).

Халқаро "лёсс" атамасида ифодаланувчи тоғ жинслари тузилиши жиҳатдан физик, механик, минералогик ва кимёвий таркибга эга. Тўртламчи даврда ер юзининг маълум ҳудудларида вужудга келган бу тоғ жинслари, геологларнинг текширишича, сайёрамизда кенг тарқалган бўлиб, Европа, Осиё ва Америка қитъаларида кўплаб учрайди. Лёсслар ўзига хос кимёвий ва физикавий хоссалари билан бошқа жинслардан фарқланиб туради (20-жадвал).

Гиллар таркибида  $SO_3$ ,  $Na_2O$ , ва  $K_2O$  каби эрувчан тузлар ҳам учрайдики, бу мақсадга мувофиқ эмас, клинкер ишлаб чиқариш учун фойдаланиладиган гилларда бу тузларнинг миқдори иложи борича кам бўлиши керак. Кальций карбонат жинслари табиатда оҳактош, бўр, оҳактош-чиганоқ ва мрамар ҳолида учрайди. Карбонат жинсларнинг мрамардан бошқа барча турлари портландцемент ишлаб чиқаришда ишлатилади. Гиллар сингари, чуқинди жинслар бўлган оҳактош ва

20-жадвал

Турли ҳудудлардаги лёссларнинг хосса ва хусусиятлари  
(М. Зокиров, Ҳ. Ҳасанова маълумотлари асосида тайёрланган)

Аниқлаш усуллари	Миқдори					
	Лёсс жинсларининг ҳудудлар бўйича тарқалганлиги					
	Тошкент шаҳри	Самарқанд шаҳри	Тошкент атрофи	Ангрен шаҳри	Қарши шаҳри	Гулистон шаҳри
1	2	3	4	5	6	7
1. Гранулометрик таркибли фракциялар (% ҳисобида):						
қум	14,00	8,31	11,06	9,00	11,40	8,2
чанг	73,0	79,82	49,12	79,00	74,00	80,2
гил	13,00	11,97	8,76	8,00	14,60	7,1

1	2	3	4	5	6	7
2. Минерал таркибли (% ҳисобида солиштирма оғирлиги 2750 кг/м <sup>3</sup> бўлганда) енгил фракция	87,00	88,61	93,74	95,70	98,00	94,26
шу жумладан:						
кварц	43,00	39,43	32,28	35,23	41,50	31,22
дала шпати	22,00	25,96	22,58	37,53	30,70	24,64
гил минераллари	22,0	23,22	28,88	22,94	15,80	29,38
3. Сувда эрувчан тузлар миқдори, мг/экв ҳисобида						
HCO <sub>3</sub>	35,80	17,90	3,20	10,20	0,50	40,00
Cl	8,0	1,90	5,93	4,19	4,20	—
SO <sub>4</sub>	11,00	30,20	44,31	35,80	11,39	10,00
4. Кимёвий таркибий миқдори (% ҳисобида)						
SiO <sub>2</sub>	33,20	52,60	59,27	49,00	57,01	56,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,40	10,94	15,00	14,00	14,37	13,31
CaO	13,60	11,79	11,00	10,00	9,81	5,51
CO <sub>2</sub>	8,80	9,32	9,50	5,20	4,90	3,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,70	3,24	3,20	2,30	3,1	1,75
MgO	0,55	3,19	4,10	5,00	4,8	8,00
5. Карбонат тузлар миқдори (% ҳисобида)	28,50	20,70	26,20	22,30	21,00	26,80
6. Гумус миқдори (% ҳисобида)	—	0,23	0,28	0,33	0,83	0,30
7. Намлиги (% ҳисобида)	10,51	6,30	8,61	8,40	6,00	18,45
Ҳажмий масса, кг/м <sup>3</sup>	1770	1420	1340	1470	1380	1550
8. Ҷоваклиги (% ҳисобида)	38,00	49,20	51,20	47,00	51,40	44,00

бўрнинг ҳам кимёвий таркиби ва физик хоссалари жуда хилма-хилдир.

Кимёвий соф кальций карбонат таркибида 56 % CaO ва 44 % CO<sub>2</sub> бўлади. Бироқ табиатда фақат кальций карбонатдан ибо-

рат соф оҳактошлар кам учрайди. Портландцемент ишлаб чиқаришда ишлатиладиган оҳактошлар таркибида СаО дан ташқари қумтупроқ (8 % гача), гилтупроқ (2 % гача), темир оксидлар (1 % гача), магний оксид (2 % гача) ва SO<sub>3</sub> (1 % гача) бўлиши мумкин. Кальций карбонат жинсларининг зичлиги ва мустақкамлиги кескин ўзгариб туради, яъни табиатда кристалл таркибий тузилишли, жуда зич оҳактошлар ва юмшоқ, пўк жинслар (бўр) ҳам учрайди. Портландцемент ишлаб чиқаришнинг технологик йўсини танланаётганда турли кальций карбонат жинсларининг физик хоссалари ҳисобга олинади.

Мергеллар гилсимон моддалар билан жуда майда кальций карбонат заррачаларининг табиий аралашмасидан иборат чўкинди тоғ жинси ҳисобланади. Мергеллар СаСО<sub>3</sub> ва гил миқдорига қараб, мергеллар, мергель оҳактош (90—95 % СаСО<sub>3</sub>), оҳактош карбонатли мергель (70—90 % СаСО<sub>3</sub>) ва мергель (50—70 % СаСО<sub>3</sub>) га бўлинади. Тахминан 65 % СаСО<sub>3</sub> ва 25 % гилдан ташкил топган мергеллар жуда қимматбаҳо хом ашё ҳисобланади. Куйдирилган мергель кимёвий таркиби жиҳатидан клинкерга ўхшаб кетади. Шунинг учун уни ишлатиш туфайли портландцемент ишлаб чиқариш йўсини анча соддалашади. Сунъий тайёрланган хом ашё аралашмасига мос келадиган мергеллар таркибидаги СаСО<sub>3</sub> миқдорига қараб цемент саноатида «асл» («натурал») деб аталади.

Кальций карбонат жинслар сингари мергеллар ҳам физик хоссалари жиҳатидан бир-биридан кескин фарқ қилиши мумкин. Баъзилари зич таркибий тузилишли ва мустақкам бўлса, бошқалари бўр сингари юмшоқ ва пўқдир.

Тўғриловчи қўшилмалар. Икки асосий таркибий модда бўлган оҳактош ва гил нисбатини ўзгартириш билан талаб қилинган кимёвий таркибдаги клинкер олиш ҳамма вақт қулай бўлавермайди. Шунинг учун хом ашё аралашмасига кўпинча учинчи, баъзан эса тўртинчи компонент таркибдаги клинкер оксидларидан миқдори кўп бўлган тўғриловчи қўшилмаларнинг бирини қўшишга тўғри келади.

Хом ашё аралашмаси таркибида SiO<sub>2</sub> қумтупроғи кўп бўлган моддалар (трепел, опока, диатомит) қўшиб кўнайтиради. Аралашма таркибида темир оксид етишмаса, колчедан куйиндиси қўшилади. Бу хом ашё республикамизга чет мамлакатлардан келтирилади. Гилга бой тупроқлар қўшиш натижасида клинкер таркибидаги гилтупроқ ҳам кўпаяди.

Карбонат жинслар, гил ва тўғриловчи қўшилмалар клинкер ишлаб чиқариш учун зарур хом ашё бўлиб хизмат қилади.

Портландцемент тайёрлашда эса, клинкер гипс ва фаол минерал (гидравлик) ёки инерт қўшилмалар билан бирга майдалаб туйилади. Гипс қўшилмаси сифатида икки молекула сувли гипс —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , яъни гипс-тош ишлатилади. Гипс-тош қурилиш гипсини тайёрлашда хом ашё ҳисобланади.

**Ёқилғи.** Хом ашё материалларни куйдиришда ёқилғининг қаттиқ, суюқ ва газсимон турлари ишлатилади. Кул ҳосил қилмаслиги уларнинг яхши жиҳатидир. Қаттиқ ёқилғининг кули клинкерга қўшилиб, фақат унинг кимёвий таркибини ўзгартирибгина қолмай, ундаги магний оксид ва  $\text{SO}_3$  миқдорини ҳам кўпайтириб юборади. Шунинг учун хом ашё аралашмасини ҳисоблаётганда ёқилғидан қанча кул ҳосил бўлиши ва кулнинг кимёвий таркиби ҳисобга олиниши керак. Газсимон ва суюқ энергия манбаи ишлатилса, ишлаб чиқариш анча соддалашади, куйдириш режими, клинкернинг сифат кўрсаткичлари қатъий барқарорлашади. Қаттиқ ёқилғи ишлатганда эса бунга эришиш қийин.

Айланма печлар билан жиҳозланган цемент заводларида 30—35°C дан паст ҳароратда қотиб қоладиган серпарафин мазут суюқ ёқилғи сифатида ишлатилади. Мазут печга 2,5 МПа гача босим остида форсункалар билан пуркаб узатилади. Мазут суюқлиги унчалик қовушқоқ бўлмаган тақдирдагина форсункада яхши пуркалади. Унинг қовушқоқлиги 60—80°C ҳароратгача қиздириш йўли билан камайтиради.

Цемент саноатида энг қулай ёқилғи сифатида табиий газ ишлатилади. Иссиқлик бериши гоят юқори бўлган бу арзон ва беминнат ёқилғини исталган жойга ва печга осонгина узатиш мумкин. Табиий газ ишлаб чиқариш ортиши билан кўплаб цемент корхоналари газсимон ёқилғида ишлашга ўтказилди. Бунинг самарасини печлар унумдорлигининг ошганлигида, ёқилғи сарфи 5 % гача, электр энергия сарфи эса 10 % гача камайиб, меҳнат унумдорлиги 7—10 % ошганлигида кўриш мумкин. Бироқ табиий газда ишлашга ҳамма ерда ҳам имкон бўлавермайди, суюқ ёқилғидан фойдаланиш эса қимматга тушади. Шунинг учун кўпгина корхоналарда қаттиқ ёқилғи қўлланилади.

Клинкер куйдиришда тошкўмир, антрацит, кўнғир кўмир ва сланец ёқилғиси ишлатилади. Қаттиқ ёқилғи айланма печга кукун ҳолида юборилади. Шу ҳолгача майдаланганда унинг ёниши тезлашади ва жуда майда дисперс кул ҳосил бўлади. Йирик зарралар эса батамом ёниб улгурмай, қисман чала ёнган ҳолда клинкер билан чиқиб кетади. Натижада куйдириш ҳарорати ҳам, печнинг фойдали иш коэффициентини ҳам пасайиб кетади.

Майда дисперс кул ҳосил қилиш яна шунинг учун зарурки, бу ҳолда клинкер уни батамом сингдириб олиши натижа-сида текис жойлашади. Ёқилғи 009-рақамли элақда 8—10 % қол-диқ қоладиган даражада майдалаб туйилиши керак. Кули кўп ёқилғи ниҳоятда майда туйилиши зарур. Заводга келган ёқилғи кўпинча анча нам бўлади. Шунинг учун у туйиш пайтида ёки шундан олдин қуритиб олинади. Бир йўла ҳам туйиб, ҳам қури-тиш энг фойдали ва унумли усулдир.

## 8. Портландцемент ишлаб чиқариш усуллари

Портландцемент ишлаб чиқариш икки мустақил жараён-га бўлинади:

1. Клинкер ишлаб чиқариш (портландцементнинг чала маҳ-сулоти тайёрланади).

2. Клинкерни қўшилмалар билан бирга туйиш (портланд-цемент олинади).

Биринчи жараён жуда мураккаб бўлиб, унинг бажарили-ши катта маблағ ва фойдаланиш харажатлари билан боғлиқ. Шунинг учун ҳамма вақт портландцемент асосини ташкил этувчи клинкерни тежаш муҳимдир. Чунки портландцемент ишлаб чиқариш учун сарфланадиган жами харажатларнинг кўп қисмини (70—80 %) клинкер қиймати ташкил этади.

Портландцемент клинкерини ишлаб чиқаришда қуйидаги асосий технологик амаллар бажарилади:

1. Оҳактош ва гил қазиб олинади.

2. Хом ашё материаллар тайёрланади ва майдаланади.

3. Ёқилғи тайёрланади.

4. Хом ашё материаллари куйдирилади.

Клинкерни туйиш ва портландцемент ишлаб чиқариш асо-сан қуйидаги асосий технологик жараёнларни ўз ичига олади:

— қўшилмалар тайёрланади;

— клинкер қўшилмалар билан бирга туйилади;

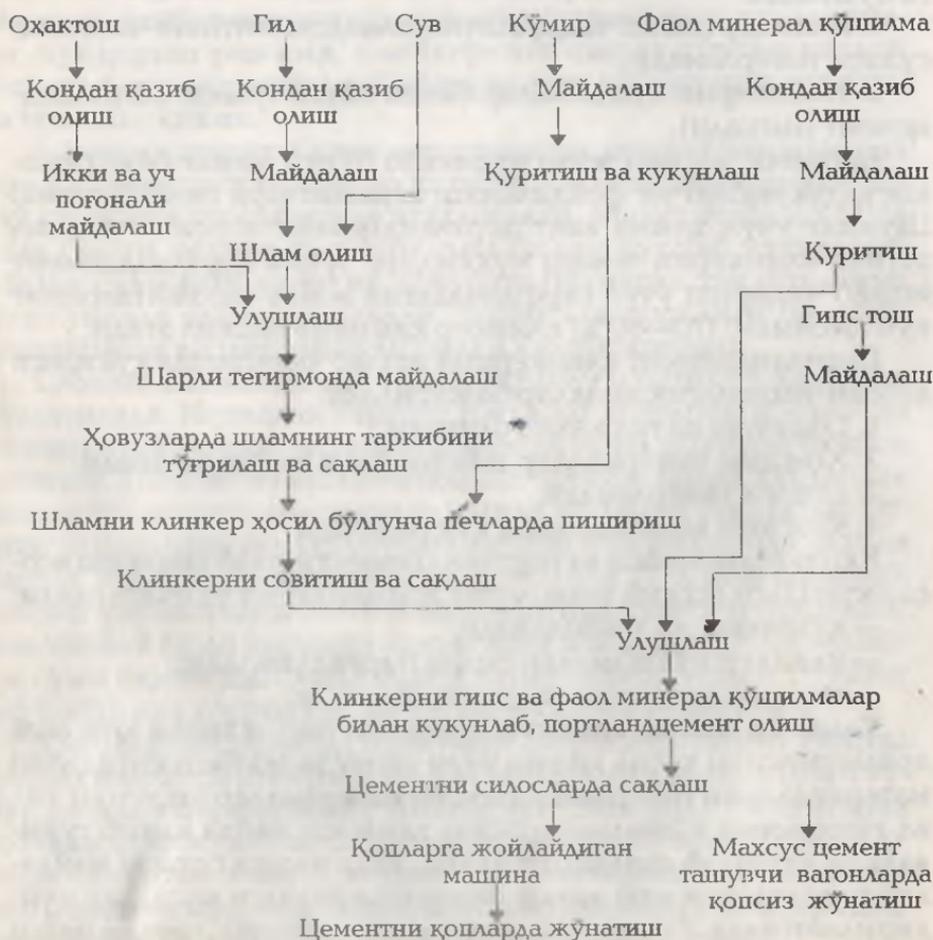
— портландцемент омборга жойланади.

Талаб қилинган кимёвий таркибли бир жинсли хом ашё аралашмасини ҳосил қилиш учун унинг таркибига кирадиган материалларни тайёрлаш лозим. Бу материаллар (оҳактош, гил ва тўғриловчи қўшилмалар)нинг ҳаммаси майда қилиб туйи-лади ва яхшилаб аралаштирилади. Улар иложи борича майда-лаб туйилса, хом ашё аралашмаси таркибидаги оксидлар куй-дирилаётганда ўзаро яхшироқ таъсир этишиб, четда қолган

моддалар деярли бутунлай учрамайди. Бу вақтда барча оксидлар минераллар ҳолида боғланган бўлади.

Майда туйилган материаллар қуруқлигича ёки сувда яхшилаб аралаштирилиши мумкин. Портландцемент ишлаб чиқаришда хом ашё материаллари сув иштирокида тайёрланса, «хўл усул» деб, қуруқлигича тайёрланса, «қуруқ усул» деб аталади. Улардан қайси бирининг танланиши технологик ва техник-иқтисодий характердаги бир қатор омиллар билан белгиланади (қуйидаги чизмага қаранг).

### Портландцементни «хўл усул»да ишлаб чиқаришда асосий технологик жараёнларни амалга ошириш тартиби



Гарчи техник-иқтисодий кўрсаткичлар жиҳатидан қуруқ усул афзалроқ бўлса ҳам, ҳозирги вақтда қатор мамлакатларда, шунингдек, Россия ва АҚШда ҳўл усулдан кенг фойдаланилади. Қуруқ усул эса Япония, Германия ва Италияда кенг тарқалган. Ҳозирги кунда мамлакатимизда ҳам бу усулни кўпроқ қўллашга мойиллик сезилмоқда.

## 9. Оҳактош ва гилни қазиб олиш, ташиш ҳамда хом ашё аралашмасини тайёрлаш

Оҳактош билан гил, одатда, цемент заводи яқинидаги конлардан қазиб олинади. Оҳактош портлатиш ёрдамида қазиб олиниб, вагонеткалар, платформалар, ағдарма машиналарда ташилади. Гилни қазиб олишда бир чўмичли (камдан-кам ҳолларда кўп чўмичли) экскаваторлар ишлатилади. Гил ҳам оҳактош сингари ташилади. Айрим ҳолларда бу мақсадлар учун гидротранспортдан фойдаланилади.

Юқорида кўрсатиб ўтилган транспорт турларидан ташқари, маҳаллий шароитларга қараб, тасмали транспортёрлар (кон 1 км. гача, баъзан эса 5—8 км. гача узоқда бўлса) ёки завод билан кон орасида паст-баландлик жойлар ёхуд бинолар кўп бўлса, осма арқон йўллардан ҳам фойдаланиш мумкин.

Қазиб одинадиган хом ашё нархи корхоналарда ўзаро фарқ қилади. Транспорт харажатлари эса хом ашё учун кетадиган умумий чиқимнинг 60 % ини ташкил этади.

Ноқулай об-ҳаво шароитида транспорт воситалари бузилган вақтларда иш тўхтаб қолмаслиги учун қўшимча юклаш ва ташиш ишлари бажарилиб, завод ҳовлисида оҳактош ҳамда гил захиралари яратилиши керак.

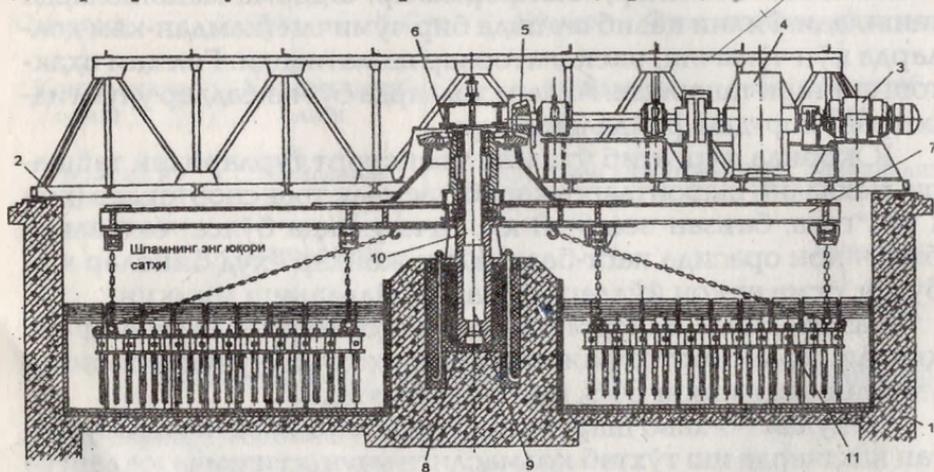
Оҳактош кондан 500—800 мм ва ундан катта ҳажмдаги харсанг бўлақлар тарзида олиб келинади. Уни битта ускуна ёрдамида талаб қилинган даражада майдалаб-туйиб бўлмайди. Шунинг учун у икки-уч марта майдаланади. Аввалига оҳактошнинг йирик бўлақлари жағли майдалагичларда 100—200 мм йирикликкача майдалаб олинади. Иккинчи марта болғачали ва конус майдалагичларда 10—30 мм ўлчамгача, сўнгра охириги марта суюқ лой билан шарли тегирмонларда майдалаш амалга оширилади.

Оҳактош қуруқ усулга нисбатан сувда яхши майдаланиб, бунда материалларнинг қаттиқлиги камаяди. У автоматик равишда бошқарилиб, узлуксиз ишлайдиган тарози ёки ҳажм

улушлагичлар — дозалагичлар ёрдамида тегирмонга узатилади. Бунинг учун жуда аниқ ишловчи улушлагичлар ўрнатилади, чунки оҳактош билан гил бирга туйилиши сабабли ҳар иккала таркибий модданинг ўзаро нисбати меъёрида бўлиши керак.

Тегирмонга гил суюқ лой ҳолида узатилади. Оҳактош билан гил бирга майдаланиши туфайли улар таркибига қўшилладиган материаллар яхши омехталик ҳосил қилади. Аралашмага кирган икки асосий материалнинг кимёвий таркиби талаб қилинган сифатли клинкер вужудга келишини таъминлай олмаслиги маълум бўлганида, тегирмонга узатиладиган ростловчи қўшилмалар ҳам шунга хизмат қилади.

Темир-бетон ҳовуздан иборат лой чайқаттичнинг туби ва деворларига чўян тахталар қопланган (8-расм).



8-расм. Лой чайқаттич:

- 1—темир-бетон сигими; 2—приводли тузилмага эга кўприк; 3—электр юриттич; 4—редуктор; 5—тишли узаттич; 6—стакан; 7—траверса; 8—марказий устун; 9—стакан; 10—ўқ; 11—алмаштириб туриладиган пўлат тишли сихмола — бороналар.

Тўсинромга занжирларда пўлат хаскашлар эркин ҳолда осиб қўйилган, майдалагичларда бир сидра майдалаб олинган гил (хаскашлар айланиб турганда) оз-оздан чайқаттичга узатилади. Ҳовузга гил билан бирга сув ҳам қуйилади. Электр юриттич воситасида ҳаракатта келтирилган хаскаш панжалари 3—5 мм. дан ошмайдиган йирикликда майдаланган гил кесакларини сувда ивитади. Шлам чиқиб кетадиган дарча йирик лой бўлақларини ушлаб қоладиган панжара билан беркитилган. Суюқ лой насослар воситасида таъминлагич идишларига

узатилади. Аралашма у ердан ўлчов идишлари орқали шарли тегирмонларга юборилади.

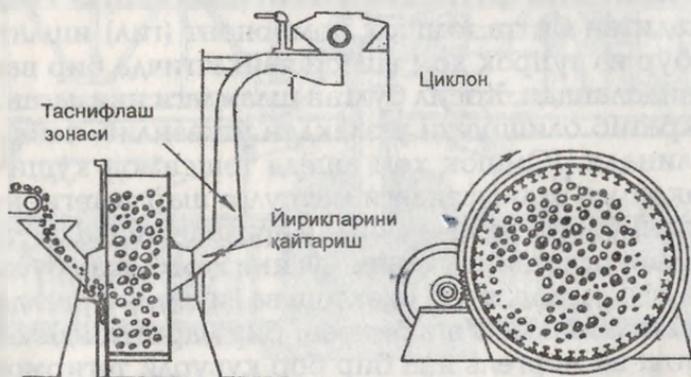
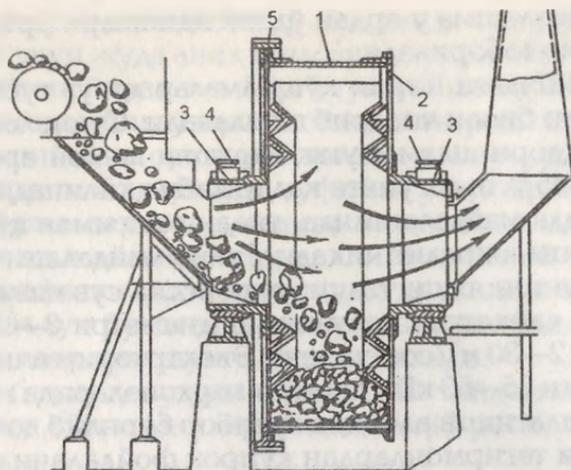
Лой таркибидаги йирик қўшилмалар ҳовуз тубига чўқади ва вақти-вақти билан чиқариб ташланади. Суюқ лой таркибидаги сув миқдори шлам (суюқ оҳактош ва лой аралашмаси) намлиги 34—45 % га еттунига қадар қабул қилинади. Лой (гил) чайқаттичларда майдаланганда, ундан тошсимон қўшилмалар ва қум осонгина ажралиб чиқади. Гилни майдалаш жараёнини тезлатиш ва унинг яхши ўтиши учун иссиқ сув ишлатилади.

Лой (гил) чайқаттич ҳовузининг диаметри 8—12 м, унумдорлиги эса 12—30 м<sup>3</sup>/соатта тенг. Электр юриттичнинг белгиланган қуввати 35—60 кВт. Цемент корхоналарида юмшоқ хом ашёларни ишлатишга алоҳида эътибор берилиб, юқори самарали роторли тегирмонлардан кўпроқ фойдаланилади.

Хом ашё аралашмасини ҳўл усудда тайёрлаш йўсинида хом ашё сифатида битта қаттиқ компонент (оҳактош) ва сувда осон ивиб кетадиган битта юмшоқ компонент (гил) ишлатилади. Юмшоқ бўр ва тупроқ хом ашёси чайқаттичда бир вақтнинг ўзида майдаланади. Ҳосил бўлган шламдаги ивимаган кесакларни ажратиб олиш учун у элакдан ўтказилиб, чайқаттичга қайта солинади. Юмшоқ хом ашёда тошсимон қўшилмалар бўлган тақдирда элак устидаги маҳсулот шарли тегирмонларда майдаланиб, сўнгра шлам билан аралаштирилади.

Шлам тайёрлашнинг учинчи йўсини ҳам бўлиб, бу хом ашё иккита қаттиқ модда, яъни оҳактош ва зич гил мергелдан иборат ҳолда ишлатилади. Унга биноан, бир марта майдалаб олинган оҳактош ва мергель яна бир бор қувурли тегирмонларда майдаланади. Кейинги пайтларда материалларни ўз-ўзича майдалашга асосланган, уларни жуда катта диаметрли айланувчи барабанда сув иштирокида поғонали шаршара кўринишида пастга ташлаб, яъни тўкиб юборувчи тегирмонлар ишлатила бошланди (9 ва 10-расмлар). Россиядаги Сизрань огир машинасозлик заводида тайёрланган «Гидрофол» деб аталувчи бундай тегирмоннинг 7 м. диаметрли барабани минутига 13 марта айланади. Унинг зирҳли тахталар билан қопланган ва материални сочишга мўлжалланган ички қисмида токчалар ўрнатилган. Барабан цилиндрик қисмининг узунлиги 2,3 м. Унга солинадиган материалнинг йириклиги 0,35—0,8 м. гача (бўр учун 0,5—0,8 м; оҳактош учун 0,35—0,45 м).

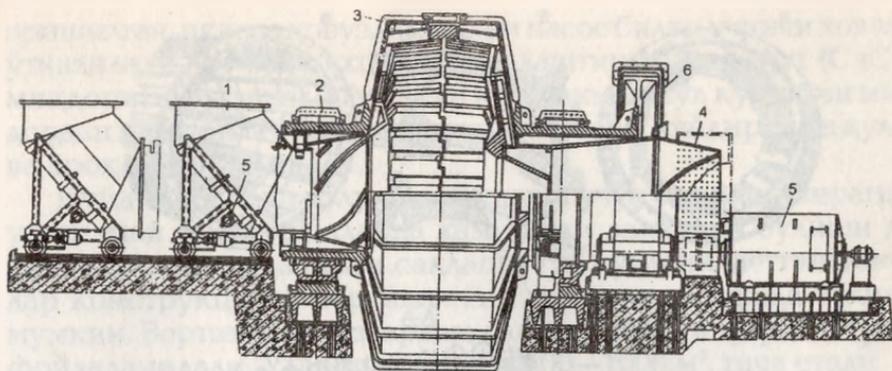
Лой чайқаттич ва шар тегирмонларга нисбатан анча самарали (11 ва 12-расмлар) бу тегирмоннинг ишлаб чиқариш унум-



9-расм. Майдаловчи жисмсиз барабан тегирмон:  
(юқорида — тегирмоннинг бўйлама кесими, пастда унга —  
кўндаланг кесими)

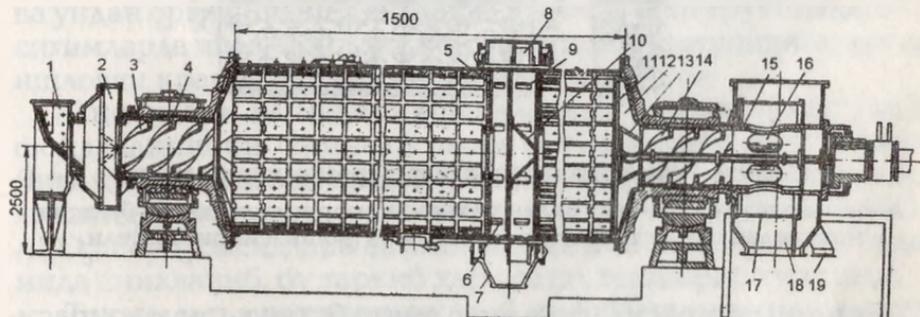
1—барабан; 2—қопқоқ; 3—цапфа; 4—подшипниклар; 5—тождор тишли гилдирак.

дорлиги 400—500 т/соатни ташкил этади. Ҳаракатта келтирувчи электр юриттичининг қуввати 1600 кВт. Тегирмондан чиққан аралашма сўнгра майин ҳолга келгунча шарли тегирмонда майдаланади. Хом ашё аралашмасини тайёрлашга оҳактош, гил ва қўшилмаларни майдалаш, улушлаш, компонентларни биргаликда майин қилиб кукунлаш ва аралаштириш, ҳосил бўлган аралашма таркибини тўғрилаш ва уни сақлаш ишлари киради.



10-расм. «Хўл усул»да ўз-ўзидан майдаловчи барабан тегирмон:

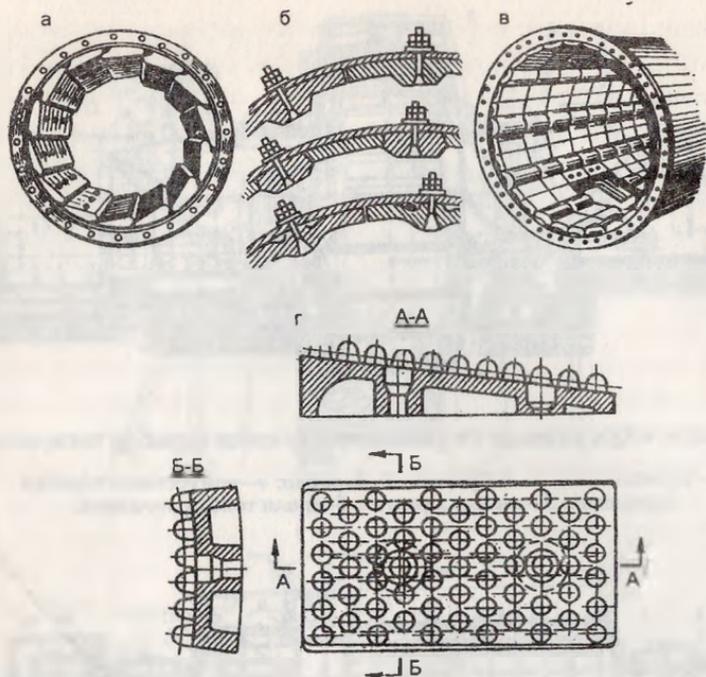
1—гаъминлагич; 2—тебраттич; 3—барабан; 4—конуссимон барабан саралагич; 5—электр лориттич; 6—тишли тождор филдирак.



11-расм. Икки камерали қувурсимон тегирмоннинг бўйлама кесими:

1—қабул қилғич воронка; 2—гаъминлагич; 3—қувуршнек; 4—қопқоқ;  
5—камералараро тўсиқ; 7—ийгич-филоф; 8—қабул қилғич патрубogi;  
6, 9—куракчалар; 10—конус; 11—гур; 12—радиал куракчалар; 13—конус;  
14—ичи бўш цапфа; 15—бушаттич патрубogi; 16—дарча; 17—элак; 18—майдаланган  
жисмлар учун мўлжалланган патрубok; 19—тайёр цемент учун мўлжалланган  
патрубok.

1 т портландцемент тайёрлаш учун 2,5—3 т хом ашё, кўмир ва клинкер майдалаш керак бўлади. Бу ишларга цемент ишлаб чиқаришдаги электр энергия сарфининг 60—80 % тўғри келади. Хом ашё аралашмаси шлам ҳовузларда аралаштирилади, лекин ундан шу заҳотиёқ зарур кимёвий таркибли модда олинмайди. Шлам таркиби тўғриланиб, маълум муддат сақлаб қўйилади.



12-расм. Тегирмоннинг зирҳли футеровкаги тахталари:

*а*—зинапоясимон; *б*—болт билан маҳкамланадиган тахтали; *в*—болтсиз маҳкамланадиган тахтали; *г*—зинасимон (пошнасимон) тахтали.

Бир кон чегарасидагина эмас, ҳатто бутун қатлам доирасида ҳам оҳақтош ва гил кимёвий таркиб жиҳатдан бир-биридан анча фарқ қилиши мумкин. Шунинг учун бир марта улуш-лашнинг ўзидаёқ хом ашё аралашмаси таркибий моддаларининг зарур нисбатда бўлишини таъминлаш қийин. Шламнинг кимёвий таркиби шлам ҳовузларда тегишлича тўғриланади ва сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштирилади.

Шлам таркиби қуйидаги тартибда тўғриланади. Шлам насослар ёрдамида шарли тегирмонлардан шлам ҳовузларнинг бирига ҳайдалади. Бошқа ҳовузга ҳам худди шундай йўл билан тайёрланган шлам узатилади. Бу шлам таркибида кальций карбонат миқдори кам ёки кўплиги билан аввалгисидан фарқ қилади. Модда яхшилаб аралаштириб бўлингач, ҳар қайси ҳовуздаги маҳсулотнинг кимёвий таркиби аниқланиб, зарур кимёвий таркибли клинкер олиш учун иккала шламдан қандай нисбатда олиш кераклиги белгиланади. Зарур нисбатта

эришилгач, иккала ҳовуздаги шлам насос билан учинчи ҳовузга ўтказилади. Бу ерда яхшилаб аралаштирилиб, титри ( $\text{CaCO}_3$  миқдори) аниқланади. Мазкур кўрсаткичи йўл қўйилган миқдордан кўпи билан 0,1 % фарқ қилган шлам куйдиришга қулай ва яроқли ҳисобланади.

Куйдириш печи узлуксиз ишлаши учун (хом ашё керагича узатилмай қолган ҳолларда ҳам) шлам захираси бўлиши керак. Корхоналарда шлам сақлаш учун қўлланилаётган ҳовузлар конструкцияси вертикал ёки горизонтал тарзда бўлиши мумкин. Вертикал ҳовузлардан, одатда, шламни тўғрилаш учун фойдаланилади. Уларнинг ҳажми 400—1000 м<sup>3</sup>. гача етади. Бу ҳовузларда хом ашё пневматик ёки пневмомеханик усулда аралаштирилиши мумкин.

Шлам захирасини сақлаш учун ҳар қайси 8000 м<sup>3</sup>. гача сизимли горизонтал шлам ҳовузлар қурилади. Думалоқ темир-бетон сизимдан иборат бундай ҳовузларнинг диаметри 25 м ва ундан ортиқ бўлиши мумкин. Энг янги конструкциядаги бу сизимларда пневмомеханик аралаштириш принципига асосан ишловчи кранли аралаштиргичлар ўрнатилган.

Пневматик ва механик усуллардан бир вақтнинг ўзида фойдаланиш бир жинсли шлам тайёрлашга имкон беради. Янги қурилган заводларда, жумладан, «Қизилқумцемент» корхонасида кукунлаштирилган хом ашё таркибидаги  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оксидлари автоматик рентгеноспектрометр ёрдамида аниқланиб, бу таркиб ҳар соатда текшириб турилади.

Таҳлил маълумотларига қараб, ҳисоблаш машиналари хом ашёлар нисбатини қайтадан ҳисоблайди, улушловчи машиналарга янги кўрсаткичларни бериб, хом ашё тегирмонларининг тўғри таъминланиши ва белгиланган таркибли шлам олиншини бошқариб туради.

Шлам ҳовузлардаги сатҳ ўлчагич сигнализатори, шунингдек, кузатиб турувчи-электроконтакт, мембран, радиофаол сатҳ ўлчагичлар шлам сарфини кўрсатади. Бу асбобларнинг энг аниқ ишлайдигани радиофаол сатҳ индикатори бўлиб, радиофаол изотопли (масалан, кобальт 60) қутича (контейнер) ва радиофаол нурланишлар ҳисоблагичи-счётчигидан иборат. Контейнер ва ҳисоблагич силоснинг қарама-қарши деворларига ўрнатилади. Изотопдан чиқаётган гамма нурлар силосдан ўтиб, ҳисоблагичга тегади. Силос бўш бўлганда, нурланишлар кўп, тўлалигида эса, кам бўлади.

Хом ашё аралашмаси (шлам) ни куйдириш. Шлам ҳўл ёки

қуруқ усулда тайёрланган бўлишидан қатъи назар, печларда куйдирилади. Ҳозирги бундай печлар пўлат тахталардан ясалган барабандан иборат. Металлни юқори ҳарорат таъсиридан сақлаш ва иссиқлик кам исроф бўлиши учун печнинг ички девори ўта чидамли материаллар билан қопланади (футеровка қилинади). Бу иссиқбардош материаллар ишлаш шароитига қараб танланади. Қоплама сифатида А ва Б классдаги шамот гишт, гилтупроқ ва ўтга чидамли магнезиал гишт қўлланилади. Ҳозирча фақат тажриба сифатида анча арзон, ўтга чидамли бетон ишлатиш ҳам синаб кўрилмақда.

Ҳозирги пайтда Ўзбекистон цемент корхоналарида клинкернинг асосий қисми 3x100, 4x150, 4,5x170, 5x60 ва 7x90 м ўлчамли печларда ишлаб чиқарилмоқда. Уларнинг бир суткалик ишлаб чиқариш унумдорлиги 400, 800, 1200 ва 1800 тонна клинкерни ташкил қилади. Солиштирма иссиқлик сарфи 5000—6700 кЖ/кг; ҳар бир печь учун солиштирма электр энергия сарфи 25—26 кВт.соат/тонна клинкерга тенг.

Печь уч хил тезликда — минутига 0,5; 0,75 ва 1 марта айланиши мумкин. Бу тезлик электр юриттичнинг айланишлар сонини ўзгартириш ҳисобига бошқарилади. Печь 4° қияликда ўрнатилган бўлиб, айланганида материал барабан ичида пастга сурилиб тушади. Печнинг кўтарилган қисми чанг ушлагич камерасига уланган. Ташқаридан ҳаво кирмаслиги учун чанг камераси билан барабан орасидаги тирқиш махсус тузилмалар билан зичланади. Шлам чўмичли таъминлагич ёрдамида идишдан қувур орқали печга оқиб келади.

Қарама-қарши томондан печга кўмир чанги, чанг-ҳаво ёки газ-ҳаво аралашмаси босим остида пуркалади. Кўмир ёки газ қизиб турган бўшлиққа тушиб, печь бошидан тахминан 10 м масофада ёниб кетади. Ҳосил бўлган иссиқ тутун газлари ўрнатилган вентилятор барабани ёрдамида печь охирига суриб ташланади. Куйдириладиган материал бу газларга қарши томонга ҳаракат қилади. Қизиган газлар совуқ материал билан учрашиб, унга ўз иссиқлигини бериш билан совий бошлайди. Натижада ташқи ҳаво ҳароратидаги суюқ шлам аста-секин эриб, қовушиб, пишиш ҳарорати (1450°С) гача етади. Қисман эриб қовушиб пишаётган клинкер, айниқса, печнинг айланма ҳаракати туфайли ҳосил бўлган думалоқ доналари зичлашиб, юқори мустаҳкамлик касб эта боради. Сўнгра шу усулда ҳосил бўлган клинкернинг думалоқ доналари печь бошидаги совуқ ҳаво оқимида дуч келиб, унга ўз иссигини беради ва қотиб қола-

ди. Исиган ҳаво кейин ёқилгининг ёниш зонасига келади, деярли 1000—1100°C гача совиган клинкер эса печь барабанидаги тешиқдан занжирли рекуператорли совиттич ёки панжарали совиттичларга тўкилади ва бу ерда клинкер 50—100°C гача совитилиб, сўнгра омборга жўнатилади.

Совиттичлар бир неча типда: барабанли (эндиликда улар эскириб қолган), рекуператорли, скребкали ва панжарали бўлиши мумкин. Ҳозирги печларда рекуператорли ёки панжарали совиттичлар ўрнатилмоқда. Рекуператорли совиттич бир неча пўлат барабанлардан (узунлиги 150 м печда 10 та барабан) иборат. Барабанлар печнинг совуқ тарафида печь айланмаси бўйлаб симметрик жойлаштирилиб, унинг корпусига маҳкамланган ва биридан иккинчисига дарча очилган. Клинкер дарчалар орқали печдан ана шу барабанга тўкилади. Барабанларнинг ички юзасида шопирувчи куракчалар бўлиб, печь айланаётганда улар клинкерни сидириб кўтара бошлайди. Қўқориги ҳолатга етгач, клинкер куракчалардан тўкилиб тушади, шу тариқа у барабанлар бўйлаб сурилаётган совуқ ҳаводан яхши совийди. Барабаннинг клинкер олинадиган қисмида тешиқ бўлиб, барабан четида ўрнатилган ён девор клинкернинг шу тешиқдан ўтишига ёрдам беради.

Узунлиги 185 м ва диаметри 5 м бўлган айланма печь йирик корхоналарда ўрнатиш учун қабул қилинган энг янги конструкциядир. Унга қўзғаладиган ва қўзғалмайдиган палетлардан иборат горизонтал итариб берувчи панжара — тўрли совиттич ўрнатилган. Қўзғаладиган палетларнинг қайтма-илгарилама ҳаракати вақтида клинкер тўр устидаги материал қатлами орасидан ўтаётган ҳаво билан совитилади. Совиттичга ўрнатилган болғачали майдалагич совиган клинкерларнинг йирик бўлақларини янчиб туради.

Ҳудудларнинг иқлим шароитларига қараб, клинкер очиқ ва ёпиқ омборларда сақланади. Кейинги йилларда шу мақсадда силослар ҳам ишлатилмоқда. Улар 3—5 суткада ишлаб чиқариладиган клинкерни сиғдиришга мўлжаллаб бунёд этилган.

Клинкер печь совиттичидан куракли транспортёрлар ёки вагонеткалар орқали омборларга жўнатилади. Клинкер омборларида грейфер кўприк кранлар бўлиб, улар фақат омбордаги юк ортиш, юк тушириш ва клинкерни туйиш бўлимининг транспорт воситаларига узатиш ишларини бажариб қолмасдан, айнаи вақтда клинкерга ташқаридан ҳаво яхшироқ теги-

ши учун уни аралаштириб ҳам туради. Омборларнинг ҳажми анча катта бўлиб, уларга 30 т ва ундан ортиқ маҳсулот жойлашади. Асосан клинкерни етилтиришга хизмат килувчи омборларда сақлаш давомида ундаги эркин оҳак ҳаво нами таъсирида сўнади. Шу тариқа таркибий тузилиши жиҳатидан ковак бўлиб қолган клинкер осонгина туйилади. Айрим вақтларда клинкерга сув ҳам сепиб турилади.

Етилтириш мuddати клинкерни куйдириш сифатига боғлиқ. Айланма печларда куйдирилган клинкерларни етилтирмаса ҳам бўлади. Бу эса корхонани автоматлаштиришда катта аҳамиятга эгадир. Иш унуми ҳамда 1 кг клинкерни куйдириш учун сарфланадиган иссиқлик айланма печлар ишининг асосий кўрсаткичларидан ҳисобланади. Шуни айтиб ўтиш керакки, портландцементни ҳўл усулда ишлаб чиқаришнинг муҳим камчилиги ҳам бор. Шламдаги намни қочиришга анчагина ёқилги (умумий сарфнинг 30 % гача) сарфлаш керак бўлади. Шунинг учун печнинг фойдали иш коэффициентини ошириш мақсадида иложи борича нами кам шлам ишлатиш зарур.

Печда иссиқдан унумли фойдаланиш учун куйдириладиган материал билан атроф-муҳит ўртасида иссиқлик алмашувини яхшилаш лозим. Биринчи тадбирни, яъни шлам намини қочиришни уч усулда амалга ошириш мумкин: шлам суюлтиргичлар ишлатилади, ортиқча сув механик усулда йўқотилади ва шлам нами буғлантирилади.

Шлам суюлтиргич сифатида турли моддалар — сода, суюқ шиша, торф ёки қўнғир кўмирнинг содали эритмаси, битум ва тор муми чиқиндиларидан бўлган ишқорий торф моддалари, уч полифосфат ( $\text{Na}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) ва бошқалар, кўпроқ сульфит-спирт бардаси ишлатилади. Озгина сульфит-спирт бардаси (куруқ аралашма оғирлигининг 0,15—0,3 %) қўшилганда шламнинг оқувчанлиги анча ортади. Бу эса шу оқувчанликни сақлаган ҳолда намни 2—3 % камайтиришга имкон беради. Натижада фақат ёқилги сарфи камайиб қолмасдан, шу билан бирга печь унумдорлиги ҳам ортади. Чунки бу ҳолда иссиқликнинг кўп қисми клинкерни куйдиришга сарфланади.

Шлам нами механик равишда қочириладиган иккинчи ва учинчи усулда қўлланиладиган турли механизм ва асбобларнинг тузилиши ҳамда ишлаши махсус курсларда мустақил ўрганилади. Материалнинг иссиқ ҳавога дуч келадиган сатҳини кенгайтириш йўли билан куйдириладиган материал ва газ оқими ўртасидаги иссиқлик алмашувини кучайтириш мумкин.

Бунинг учун печнинг совуқ тарафида 35—40 м (700—800) ма-софада занжирлар осилади. Шлам занжир ҳалқаларга ёпиша-ди, осиб қўйилган занжир тўр орасидан ўтаётган газ оқимиға тегадиган шламнинг юзаси кескин кенгаяди. Бундан ташқари, печь айланаётганда занжирлар материални яхшилаб ара-лаштириб туриши билан газларнинг яхши тегиб ўтишини таъ-минлайди. У печдан кам чанг чиқишиға ҳам ёрдам беради.

Занжирлар бир учидан ёки иккала учидан ўрам ҳолида ёхуд бир учидан тўп-тўп қилиб осилади. Занжирларни ўрам ҳоли-да, шунингдек, мураккаб шаклда бсиш ҳам яхши натижа бе-ради. Узун печларда занжирларнинг умумий узунлиги 2000 м ва ундан ортиқ бўлади, уларнинг юзаси эса тахминан 1500 м<sup>2</sup>. Занжир тўр-парда иссиқликни 10—15 % кам сарфлайди ва печь унумдорлигини шунча миқдорға оширади.

Занжир тўр орқасиға (анча юқори ҳарорат зоналарида) тур-ли конструкциядаги иссиқлик алмаштиргич ўрнатиш ҳам печ-да иссиқлик алмашинувини яхшилади. Ўтта чидамли пўлат-дан ишланган иссиқлик алмаштиргич 10—12 та бўлимға эга. Печь баравар жойлашган ҳар бир бўлимда олгитадан токча бўлиб, печнинг айланишида улар материални сидириб олиб, юқорига кўтаргач, тўкиб юборади. Шу туфайли материал ара-лашиб, иссиқлик алмашинуви яхшиланади.

Газ оқимининг ҳарорати 1100—1200°С бўлган зоналарда сопол иссиқлик алмаштиргичлар ўрнатилади. Осилган зан-жирлар каби улар ҳам катта самара беради, яъни клинкер-ни, куйдириш учун 10—15 % кам иссиқлик сарфланишиға олиб келади ва шунга мос равишда печнинг унумдорлиги ҳам ошади.

Печни аралашма билан икки томонлама таъминлаб туриш усули ҳам печь унумини ошириб, ёқилғи сарфини камайти-ради. Бунда печнинг совуқ тарафидан шлам узатилади, бош қисмидан эса майда туйилган куруқ домна тошқоли, иссиқ-лик электр станцияси кули пуркалади. Печни бу усулда таъ-минлаб туриш, унинг унумдорлигини 10—15 % ошириши би-лан бирға ёқилғи сарфини ҳам анча камайтиради.

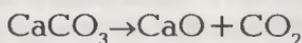
## 10. Клинкерни айланма печларда куйдиришда содир бўладиган жараёнлар

Хом ашё аралашмаси айланиб турувчи печларда куйдирил-ганда физик ва физик-кимёвий жараёнлар содир бўлиши на-

тижасида қовушиб пишган, 2—3 см дан иборат доналар шаклидаги  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$  ва шишасимон қисмдан таркиб топган клинкер ҳосил бўлади.

Ташқи ҳаво ҳарорати муҳтида бўлган шлам печга тушиши билан иссиғи  $700\text{--}800^\circ\text{C}$  гача етадиган чиқинди газларнинг кескин таъсирига учраб, тезда  $100^\circ\text{C}$  гача (сув қайнаш ҳароратигача) исийди, натижада таркибидаги сув шиддат билан буғланиб, модда аста-секин қуюқлаша боради, нами анча камайгандан кейин эса йирик кесаклар кўринишига келади. Улар кейинчалик майда парчаларга бўлиниб кетади, бу шламнинг намини йўқотган лой компоненти қовушоқлиги сусайиши сабабли юз беради. Механик равишда аралаштирилган намнинг буғланиш жараёни (шламнинг қуриши) тахминан  $200^\circ\text{C}$  гача давом этади, чунки майда коваклар ва капиллярлардаги нам секин буғланади. Шу ҳароратда шламда содир бўладиган жараёнлар характериға қараб, печнинг бу қисми *қуритиш зонаси* (1) деб аталиши мумкин.

Материал сурила бориб, янада юқорироқ ҳарорат зонасиға тушганида хом ашё аралашмасида кимёвий жараён ривожланади:  $200\text{--}300^\circ\text{C}$  дан ортиқ иссиқликда органик аралашмалар ёниб кетади ва каолин ҳамда лой таркибидаги бошқа сувли алюмосиликатлар дегидратлана бошлайди. Минераллари таркибидаги кимёвий боғланган сувни йўқотган (дегидратланган) шламнинг лой компоненти ўзининг боғловчилик хусусиятини ҳам батамом йўқотади ва унинг бўлаклари кукунга айланиб қолади. Бу жараён тахминан  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  гача давом этади.  $200\text{--}700^\circ\text{C}$  оралиғида ўтаётган жараёнлар моҳиятиға кўра печнинг бу қисми *дегидратланиш зонаси* деб юритилади. Иссиқлик  $800^\circ\text{C}$  га етганда шламнинг оҳактош компоненти қуйидаги реакция бўйича парчланади:



$800^\circ\text{C}$  да кальций карбонатнинг бу парчаланиш жараёни ниҳоятда сустлашади, сўнгра ҳарорат ортиши билан эса кескин кучаяди.  $\text{CaCO}_3$  амалда  $1000^\circ\text{C}$  да тез ва тўла парчланади.

Хом ашё аралашмаси  $700\text{--}1000^\circ\text{C}$  ҳарорат зонасида бўлиши натижасида кальций оксид ҳосил бўлади. Шунинг учун печнинг бу қисми *кальцийлашиш зонаси* деб аталади. Бу зона анча давомли бўлишиға қарамай, унда материал ҳарорати

нисбатан секин кўтарилади. Бунга сабаб шуки, иссиқлик асосан  $\text{CaCO}_3$  нинг парчаланишига сарфланади; 1 кг  $\text{CaCO}_3$  нинг  $\text{CaO}$  ва  $\text{CO}_2$  га парчаланиши учун эса 1780 кЖ иссиқлик сарфлаш талаб қилинади.

Хом ашё аралашмасида кальций оксиднинг пайдо бўлиши, жараёндаги юксак ҳарорат гил таркибидаги кремний, алюминий ва темир оксидларнинг кальций оксид билан ўзаро кимёвий таъсир этишувига олиб келади. Бу ўзаро таъсир қаттиқ ҳолат (қаттиқ фазалар)да руй бериши мумкин. Юқори иссиқликда модданинг кристалл туридаги атом ва молекулалар шундай куч билан тебрана бошлайдики, бунда уларнинг иккинчи модда атом ва молекулалари билан ўрин алмашуви мумкин бўлиб қолади. Шунинг учун моддаларнинг қаттиқ ҳолатида реакциялар содир бўлади. Икки модда юзасида ўтадиган бу реакциялар хом ашё компонентларини нима учун жуда майдалаб туйиш ва яхшилаб аралаштириш зарурлигини кўрсатади.

680—1000°C ҳароратда оралиқ бирикма  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{CaCO}_3$  («спуррит» минерали) ҳосил бўлади. Унинг парчаланиши паст ҳароратда  $\text{C}_2\text{S}$ нинг кристалланишига имкон беради.  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{CaCO}_3$  бирикмасини Эйтель, Коуртайл, Крёгар, Ильнер, Лугинина сингари тадқиқотчилар синтез қилганлар. Херр, Хенниг, Шольце кўп миқдордаги спуррит  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{KCl}_2$  иштирокида 750°C да ҳосил бўлишини, бу моддалар реакция жараёнига каталитик таъсир кўрсатишини аниқлашган.

800°C дан юқори иссиқликда спуррит парчаланиб, реакцияга киришишга ўта мойил  $\text{C}_2\text{S}$  ни ҳосил қилади. Ишқор ва фтор тузлари спуррит ҳосил бўлиш жараёнини тезлатиши аниқланган. Бу шароитда хом ашё таркибида  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2,5\text{CaCO}_3$  бирикмаси бўлиши ҳам кашф этилган. Спуррит 840—920°Cда кўп ҳолларда  $\text{C}_2\text{S}$  ва  $\text{CaO}$ га парчланади. Тадқиқотчи Курдовскийнинг кўрсатишича, спуррит  $\text{CaCO}_3$  га нисбатан юқори ҳарорат таъсирига чидамлироқ. Бу эса, ўз навбатида, спуррит таркибидаги  $\text{CaCO}_3$  нинг печь ичида парчаланишини кечиктиради.

Қаттиқ фазаларда реакциялар 1000—1350°C оралигида руй беради. Бу реакциялар экзотермик реакциялар бўлганлигидан печнинг ушбу қисми *экзотермик зона* (IV) деб аталади.

Куйдирилаётган аралашма экзотермик зонада бўлиши натижасида  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  ва  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  вужудга келади. Аммо бу билан нормал портландцемент клинкери

ҳосил бўлмайди, чунки ҳали унинг энг асосий таркибий моддаси — уч кальций силикат ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) йўқ. Мазкур минерал печнинг *пишириш зонаси* (V) деб юритиладиган кейинги қисмида (энг юқори ҳароратлар зонасида) ҳосил бўлади.

Қумтупроқ қаттиқ ҳолда икки молекуладан кўп оҳакни бириктира олмайди. Бироқ суюқ қумтупроқ оҳакка нисбатан жуда тез ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) тўйинади. Демак, уч кальций силикат олиш учун шихта икки кальций силикат оҳакни ютиб, юқори асосли  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  га айланадиган даражада қиздирилиши керак.

Анча осон эрувчан  $\text{C}_3\text{A}$  ва  $\text{C}_4\text{AF}$  минераллар пишириш зонасида эрийди.  $\text{C}_2\text{S}$  ҳосил бўлган суюқ фазада эриб,  $\text{C}_3\text{S}$  гача тўйинади. Уч кальций силикат эритмада икки кальций силикатга нисбатан анча кам эрийди. Шунинг учун  $\text{C}_3\text{S}$  ҳосил бўлиши билан эритма бу минералга ўта тўйиниб қолади ва уч кальций силикат эритмадан майда-майда қаттиқ кристаллар ҳолида ажралиб тушади. Кристаллар кейинчалик шу шароитда катталаша боради.

$\text{C}_2\text{S}$  нинг эриши ва оҳакнинг ютилиши бутун куйдирилаётган аралашма массасида эмас, балки унинг айрим улушларида рўй беради. Демак, оҳак икки кальций силикатни тўлиқ синдириб олиши учун материалларни маълум вақтгача пишириш ҳарорати ( $1350\text{—}1450^\circ\text{C}$ ) да тутиб туриш талаб қилинади. Улар бу зонада қанча кўп ушлаб турилса, оҳак шунча тўлиқ боғланиши билан бирга  $\text{C}_3\text{S}$  кристаллари ҳам йириклашади. Клинкерни пишириш ҳароратида кам вақт ушлаб туриш тавсия этилади, шундай қилинганда, портландцементнинг ( $\text{C}_3\text{S}$  да майда кристаллар кўринишига эга) физик-механик кўрсаткичлари юқори бўлади.

Клинкернинг ҳосил бўлиш жараёнини тезлаштириш, шунингдек, таркибида  $\text{C}_3\text{S}$  кўп бўлган клинкерлар тайёрлаш учун баъзи моддалар (кальций фторид  $\text{CaF}_2$ , темир оксид ва бошқалар) ишлатилади. Бу моддалар силикат аралашмаларнинг эриш ҳароратини пасайтиради. Суюқ фазанинг анча барвақт юз бериши клинкернинг ҳосил бўлиш жараёнини нисбатан юқори ҳароратлар соҳасига суради.

Клинкер пишириш зонасидан совитиш зонасига тушади. Бу ерда совуқ ҳаво оқими клинкер қаршисига йўналади. Баъзан пишириш зонасида аралашманинг бор оҳаги қумтупроққа бутунлай тўйиниб улгурмайди. Аралашмада оҳак ва  $\text{C}_2\text{S}$  камайи-

ши сабабли бу ўзлаштириш жараёни янада секинлашади. Натижада тўйиниш коэффициентлари юқори бўлган клинкерларда эркин оҳак доимо сақланиб қолади. Бундай клинкерларда оҳак  $C_3S$  ҳолида иложи борича кўпроқ ўзлаштириб олиниши керак. Клинкер таркибидаги эркин оҳак 1—2 % портландцемент сифатига салбий таъсир кўрсатмайди. Бироқ унинг миқдори кўп бўлса, портландцемент ҳажмининг нотекис ўзгаришига сабаб бўлади, шунинг учун клинкер таркибида оҳакнинг кўпайиб кетишига йўл қўймаслик керак.

Клинкер совитиш зонасига 1000—1100°C ҳароратда чиқади ва бутунлай совитиш учун печь совиттичига юборилади. Совиттичнинг қўлланилиши катта иқтисодий аҳамиятга эга. Клинкер совитилаётганда ундан ажратиб олинаётган иссиқлик яна печга қайтариледи. Демак, клинкер совиттичларда қанчалик яхши совитилса, ёқилгидан фойдаланиш самараси шунчалик юқори бўлиб, у кам сарфланади. Совиттич яхши ишлаганда совитилган клинкер ҳарорати 50°C дан юқори бўлмаслиги лозим.

Замонавий корхоналарда клинкернинг пишиш жараёни автоматик равишда кузатиб турилади. Бу эса клинкернинг ҳосил бўлиш жараёнларини бошқариш, унинг сифатини анча яхшилаш ва технологик режимнинг бузилишига йўл қўймаслик имконини беради. Натижада меҳнат унумдорлиги ошиб, маҳсулот ишлаб чиқариш кўпаяди. Бундан ташқари, клинкерни куйдириш сифатини автоматик текшириб, жараённи керак томонга ўзгартириб туриш шлам, ёқилги сарфини ҳамда печь барабаннинг айланиш, яъни материалнинг барабан бўйлаб ҳаракати тезлигини тегишлича ўзгартириш йўли билан печнинг ҳар бир зонасида зарур ҳаракат ва газ режимини сақлашга ёрдам беради. Айниқса, таркибида  $C_3S$  кўп бўлган клинкернинг ҳосил бўлишини тезлаштириш мақсадида махсус минерализатор қўшимчалар ( $CaF_2$ ,  $Na_2SiF_6$  ёки  $MgSiF_6$ ,  $Fe_2O_3$ , гипс ва фосфогипс) қўшилади. Минерализаторлар фақатгина пишириш ҳарорати ва эриган эритма қовушоқлигини камайтирмай,  $C_2S$  ва  $C_3S$  нинг ҳосил бўлишига ҳам каталитик таъсир кўрсатиб, уларнинг кристаллари шаклланишига жадаллик бағишлайди. Натижада ҳарорат 100—150°C гача пасаяди. Бундан ташқари, фторид хом ашё таркибидаги ишқорий унсурларни тутун газлари билан учириб юборишга ёрдам бериб, уларнинг клинкер таркибида қоладиган миқдорини анча камайтиради.) Бу ишқори кўп бўлган хом ашёлардан клинкер

олишда катта аҳамиятта эгадир (портландцемент таркибида қолган ишқорларнинг тишлашиш ва қотиш жараёнларига манфий таъсири қуйироқда кўриб чиқилади).

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг Умумий ва ноорганик кимё институтида амалга оширилган ишлар портландцемент клинкерини олишда сульфат тузларининг минераллаштирувчи таъсири катта эканлигини кўрсатди. Бу тузлар фторидлар билан биргаликда юксак иқтисодий фойда беради.

Минераллаштирувчи таъсирда кальций карбонат парчала-ниш — диссоциациясининг ҳарорати пасаяди, юқори иссиқ-ликда ҳосил бўлган суюқликнинг қовушоқлиги камаяди ва алитнинг кристалланиш жараёнига таъсири сезиларли дара-жада кучаяди. Шунингдек, у минераллаштирувчи клинкернинг таркибий қисмларига ҳам таъсир қилади:  $C_3A$  миқдори ка-майиб,  $C_{12}A_7$  ҳосил бўлади ва бунда  $CaO$  ажралиб чиқиши ҳисобига алитнинг миқдори ортади.

Мамлакатимизда илк бор Тошкентда янги бирикма  $3(CaO \cdot 3Al_2O_3) \cdot CaSO_4$  — юқори ҳароратда ҳосил бўлувчи каль-ций сульфoалюминат (Т.А.Рагозина) кашф этилди. Унинг тас-диқлашича, гипс ва фосфогипс минераллаштирувчи тарзида қўлланилганда оралиқ маҳсулот сифатида ҳосил бўлади, шу-нингдек, бу туз (гипс) иштирокида анча паст ҳароратда ҳам кўп миқдорда вужудга келади. Ҳосил бўлган  $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$  — комплекс бирикма эса  $C_3A$  нинг юзага келишига ҳалал беради. Бунда ажралиб чиққан кальций ок-сид  $C_2S$  нинг  $C_3S$  га қадар тўйиниши учун сарф бўлади, гипсли аралашмаларда мазкур модданинг кўплиги шу билан боғлиқ. Фаол бўлмаган  $C_3A$  ўрнини  $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$ , маълум қисм  $C_2S$  ўрнини  $C_3S$  эгаллайди. Натижада, цемент фeоллиги ҳам ортади.

С.Д.Окороков ва С.Л.Голинко-Вольфсон фикрича, фторид-ли аралашмада гипсни минерализатор сифатида ишлатиш яхши самара беради. Шу сабабли улар  $Al_2O_3$  нинг клинкерда-ги бир оғирлик бирлигига  $CaSO_4$  ва  $CaF_2$  дан 0,7 оғирлик бир-лиги қўшишни тавсия этдилар, бу эса куйдириш ҳароратини  $50—70^\circ C$  га камайтириш ҳамда цементнинг мустаҳкамлигини  $30—40\%$  ва ундан кўпга ошириш, шунингдек, ишқорларнинг зарарли таъсирини йўқотиш имконини берди.

Портландцемент хом ашё аралашмасини куйдириш жа-раёнида кимёвий реакцияларни тезлаштириш мақсадида ми-

нерализаторлар (катализаторлар) ва бошқа махсус (леги́рловчи) қўшилмалар ишлатилади. Фтор ва кремний-фтор тузлари, гипс, фосфогипс ва бошқалар минераллаштирувчилар қаторига киради. Фосфор, хром, титан оксидлари ва бошқалар кўпинча хом ашё материаллари таркибида бўлиб, *табиий леги́рловчи аралашмалар* деб юритилади, бундай аралашмалар билан хом ашё шихталарини сунъий бойитиш мумкин. Фосфогипсни ҳам минераллаштирувчи, ҳам леги́рловчи модда деб ҳисоблаш мумкин, унинг таркибида фтор, олтингугурт ҳамда фосфор аралашмалари мавжуд.

Леги́рловчи қўшилмалар цемент сифатини яхшиловчи клинкер минералларининг кристалланиш ва таркибий тузилишининг шаклланиш жараёнларига сезиларли таъсир кўрсатади. Бироқ уларнинг хом ашё шихталари таркибидаги зарурий миқдори ҳар бир заводда тажриба асосида белгиланиши ва муайян даражада чекланиши лозим. Воскресенскдаги (Москва вилояти) «Гигант» цемент комбинати шламидан клинкер ҳосил бўлиш жараёнига фосфогипснинг таъсирини ўрганган В.Д.Аникеев ва бошқаларнинг маълумотларига кўра, шламга 1100, 1200 ва 1300°С да турли меъёрларда фосфогипс аралаштирилса, бу клинкернинг ҳосил бўлиш ҳароратини пасайтиради ва оҳакнинг бирикиш тезлигини оширади. Тадқиқотчилар фосфогипснинг гипсга нисбатан анча фаол таъсир этишини кимёвий ва физик-кимёвий таҳлил усуллари билан кўрсатиб беришди.

П.П.Будников ва Л.А.Кройчук клинкер ҳосил бўлиши жараёнида фосфогипснинг минераллаштирувчи ролини исботлаб беришди. Уларнинг фикрича, бу ҳолда айланувчи печлар ичидаги ўтга чидамли қоплама (футеровка) да бир текис сувоқ қатлами ҳосил бўлиб, ундаги клинкер осонгина майдаланади, цемент маркаси эса 600 га қадар кўтарилади. Клинкер суyoқ фазасининг тузли эритма билан алмаштирилиши клинкер ҳосил бўлиш жараёнини анча тезлаштирувчи омиллардандир.

Тошкентдаги қурилиш материаллари ва лойиҳалаш илмий-тадқиқот институтида кальций хлорид тузли эритма иштирокида клинкер ҳосил бўлиш реакциялари механизми ва кинетикаси, шунингдек, паст ҳароратда ҳосил қилинган клинкер минералларининг таркибий тузилиши ва хусусиятлари борасидаги изланишлар самараси сифатида цемент клинкери ҳосил қилишнинг паст ҳароратли технологияси ишлаб чиқилди (техника фанлари доктори, профессор Б.И.Нудельман). Бу

технология айланувчи печларда портландцемент хом ашё аралашмасини кальций хлоридли тузли эритмада куйдириш шароитига мувофиқ термик парчалаш йўли билан ҳосил қилинган клинкерни тузсизлантириш жараёнини ўз ичига олади. Бундан ташқари, ушбу тадқиқотлар асосида олинган клинкернинг минералогик таркибини мақбуллаш, ишлаб чиқариш шароитларида паст ҳароратда клинкер олиш имконини аниқлаш, шу клинкер асосида цемент хусусиятларини ўрганиш ва ҳосил бўлган цементнинг гидратланиш жараёнларини ҳамда қурилиш учун зарур хусусиятларини белгилаш мумкин бўлди. Портландцемент клинкерини пишириш ҳарорати 300°C пасайди, печнинг ишлаб чиқариш унумдорлиги 50 % ошди. Печь футеровкаси устида барқарор қатлам ҳосил бўлди.

Кейинги йилларда портландцементни қуруқ усулда ишлаб чиқариш кенг ёйилмоқда. Бу усулда хом ашё дастлаб қуритилади, сўнгра қўшиладиган моддалари билан биргаликда туйиб майдаланади ёки бир вақтнинг ўзида ҳам қуритилади, ҳам кукунланади. Иккинчи йўл ҳозирги кунда кўпроқ қўлланилмоқда. Ҳосил бўлган кукунсимон хом ашё махсус силосларда сақланиб, яхшилаб аралаштириб турилади. Портландцементни қуруқ усулда ишлаб чиқариш кўп афзалликларга эга. Куйдириб клинкер олинганда кечадиган физик-кимёвий жараёнлар деярли ўзгармайди, фақат технологияда анча ўзгаришлар юз беради.

Юқорида айтиб ўтилганидек, ҳўл усулда портландцемент ишлаб чиқаришда хом ашё компонентлари яхши қоришади ва аралашма таркибини тўғрилаш осон бўлади. Шунинг учун бир қондан олинаётган хом ашё кимёвий таркиби жиҳатдан ниҳоятда хилма-хил бўлганда, ҳўл усулдан, хом ашё таркиби бир хил ва намлиги 10—15 % бўлганда эса, қуруқ усулдан фойдаланилгани маъқул, чунки иссиқлик-техникавий ва иқтисодий жиҳатдан кейинги усул афзалдир. Масалан, хом ашё айланма печларда қуруқ усулда куйдирилганда, ҳўл усулдагига нисбатан ёқилғи 20—30 % кам сарфланади. Қуруқ усул яна шу жиҳатдан афзалки, бунда анча тежамли печлар, масалан, циклонли иссиқлик алмаштиргичли айланма печларни ишлатиш мумкин.

Хом ашё таркибида тошсимон аралашмалар кўп бўлганда ҳам қуруқ усулдан фойдаланган маъқул, чунки ҳўл усулда хом ашёнинг анчагина қисмини шарли тегирмонларда майдалашга тўғри келади. Бироқ, хом ашё материалларини бойитиш зарур бўлса, ҳўл усулдан фойдаланиш яхшироқ. Масалан, гил

кварц қуми билан, оҳактош эса гил билан кўп ифлосланган бўлса, аралашма таркибидаги силикат ташкил этувчи қум доналари гил чайқатгичларда майдаланади ва ажратиб ташланади. Хом ашё сифатида сувда осон ивийдиган материаллар, масалан, бўр ва гил ишлатилса, ҳўл усул қулай ҳисобланади. Чайқатгичларда майдалашда шарли тегирмонларда майдалашга қараганда кам электр энергия сарфланади, бошқа чиқимлар ҳам бир неча марта кам бўлади.

Табиий нами кўп хом ашё материаллардан фойдаланилганда ишлаб чиқаришни ҳўл усулда ташкил этган маъқул. Портландцемент ишлаб чиқаришда қайси усулдан фойдаланишдан қатъи назар, унинг техникавий ва қурилишга хос хусусиятлари деярли бир хил. Келажакда цемент саноати футеровка мустаҳкамлигини ошириш, печларда иссиқликдан фойдаланишни яхшилаб, янада сифатлироқ майдаловчи жисмлар ишлатиш, печдан чиққан чангни зое кеткизмаслик, таъмирлаш хизмати ишининг сифатини яхшилаш ва таъмирлашга кетадиган вақтни қисқартириш, асбоб-ускуналарнинг нотекис унумдорлик билан ишлашига барҳам бериш, асосий фондлардан фойдаланиш кўрсаткичларини яхшилаш, капитал маблағлар самарадорлигини ошириш каби масалаларни ҳал қилмоғи лозим.

Куйдириш ҳароратини ошириш орқали клинкер ҳосил бўлиш жараёнини тезлаштириб, умуман печнинг нисбий иш унумдорлигини юксалтиришга эришиш мумкин. Бироқ айланувчи печларда ҳарорат кўтарилишига футеровканинг барқарорлиги, ҳалқа ва катта кесак ҳамда гуваласимон маҳсулотлар ҳосил бўлиш хавфи монелик қилади, айна пайтда иссиқликнинг кўтарилиши унинг нисбий сарфини оширади. Шунинг учун клинкерни юқори ҳароратда куйдириш имконини берувчи янги аппаратлар зарур.

Юқори ҳароратда клинкер олиш жараёни шу билан фарқланадигани, хом ашё аралашмаси 1800—2000°Сгача тез қиздирилганда карбонатлар ҳамда гилли минералларнинг парчаланishi даврлари оксидларнинг ўзаро таъсирлашув даврига мувофиқ келади.

Иссиқлик даражаси юксаклигида вужудга келадиган оксидлар ғоят фаоллиги туфайли ҳосил бўлиш вақтидаёқ дарҳол бир-бири билан ўзаро таъсирлашувга киришади. Бунда реакция оксидларнинг дастлабки ҳосил бўлиш давридагига нисбатан анча тез кечади.

Янги куйдирилган клинкерни жадал суръатда ва яхши со-  
витиш муҳим бўлиб, бунинг учун анча такомиллашган кон-  
струкцияли совитгичлар зарур. Тез куйдириш ва совитиш фа-  
қат меҳнат унумдорлигини оширибгина қолмай, балки цемент  
сифатини яхшилашда ҳам ҳал қилувчи роль ўйнайди.

Клинкерни юқори ҳароратда тез куйдиришда чиқаётган ис-  
сиқликдан қайта фойдаланиш катта аҳамиятга эга. Бу ёқилғи  
сарфини камайтириш, шунингдек, вужудга келадиган маҳсулот-  
нинг аъло сифатли бўлишини таъминлаш шартларидан ҳисоб-  
ланган хом ашё аралашмасининг таркибий қисмлари ўртасида-  
ги реакциянинг тугалланишига эришиш имконини беради.

Ишлаб чиқариш унумдорлиги юқори бўлган улкан айла-  
нувчи печлардан фойдаланиш, шунингдек, янги куйдирувчи  
қурилмалар ишлатиш, цемент сифатини ошириш, хилма-хил  
маҳсус цемент турларини ишлаб чиқариш учун ўтта чидамли  
материалларнинг узоқ муддат хизмат қиладиган янги турла-  
рини топишни талаб этади.

## 11. Клинкерни туйиш

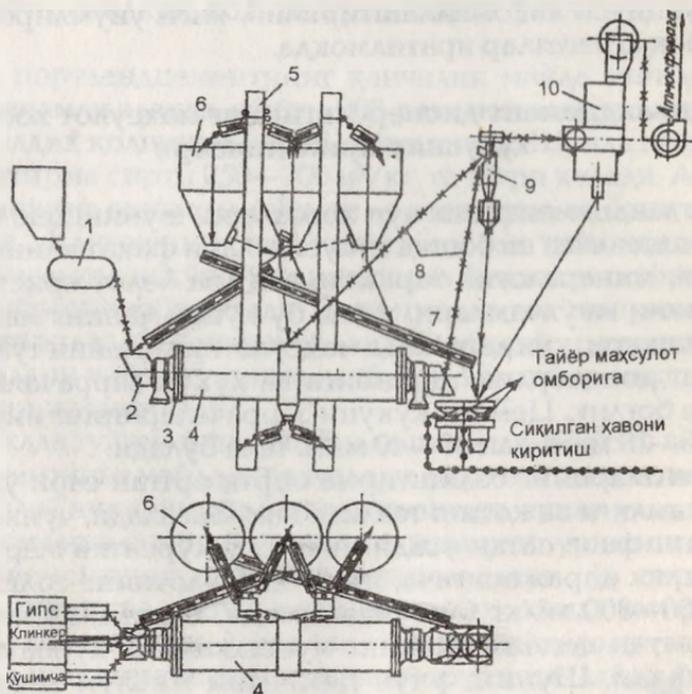
Портландцемент ишлаб чиқариш учун хом ашё аралашма-  
сини куйдиришигина кифоя қилмайди. Клинкер ярим фабри-  
кат, яъни ярим маҳсулот бўлганлигидан муайян техник хосса-  
ларга эга портландцемент олиш учун уни туйиш, гипс ва фаол  
минерал қўшилмалар қўшиш керак.

Гидравлик қўшилмаларнинг кўпи ғовак, табиий шароитлар-  
да намиққан материаллар бўлиб, улар шу ҳолида ишлатилса,  
цементни майдалаётган жисмларга ва тегирмон деворларига  
ёпишиб қолади, яъни яхши туйилмайди. Қўшилмалар таркиби-  
даги озгина намдан ҳам цемент гидратланиб, зичланиб, шибба-  
ланиб қолади. Шунинг учун қўшилмалар туйиб қуригилади.

Гипсли қўшилма сифатида икки молекула сувли гипс, яъни  
гипс-тош ишлатилади. Бу хом ашё заводга, одатда, йирик бўлак-  
лар ҳолида олиб келиниб, жағли майдалагичларда майдалана-  
ди, у кўпинча қуригилмай, 2—3 % миқдорида (кўпи билан)  
қўшилади. Унинг умумий намлиги аралашмага унчалик таъ-  
сир қилмайди. Барча қўшилмалар ва клинкер асосан бирга  
қўшиб туйилади. Тайёрланган клинкер қанчалик майда  
туйилса, портландцемент фаоллиги шунчалик юқори бўлади,  
у дастлабки муддатларда тезроқ қотади. Бетон ва темир-бетон  
буюмлар ишлаб чиқаришда бу жуда катта аҳамиятга эга. Би-

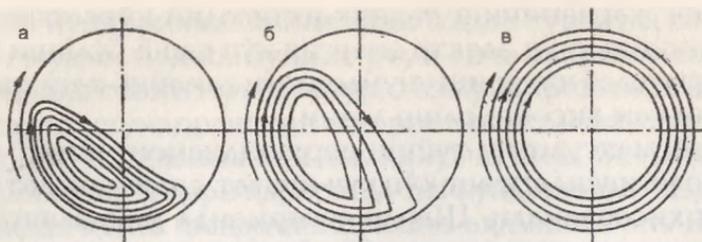
роқ туйиш жараёнининг техник-иқтисодий кўрсаткичларини, яъни туйиш учун электр энергия кўп сарф бўлиши ва тегирмонинг ишлаб чиқариш унумдорлиги камайиб кетиши каби омилларни ҳам ҳисобга олиш лозим.

Умуман, маҳсулотни туйиш портландцемент ишлаб чиқариш технологиясидаги энг кўп куч-қувват, саъй-ҳаракат талаб операция ҳисобланади. Шарли тегирмонда майдаланган 1 т портландцемент учун соатига 30 кВт ва ундан ортиқ электр энергия сарфланади (13 ва 14-расмлар). Шунинг учун заводларнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларига кўра, 008-рақамли элақда 5—8 % гача қолдиқ қоладиган қилиб туйилган портландцемент ҳамда 2—4 % ва ундан кам қолдиқли тез қотувчан цемент ишлаб чиқарилади. Бу ҳолда цементларнинг солиштирма сирти тегишлича 300—350 м<sup>2</sup>/кг ва 400—450 м<sup>2</sup>/кг. га етади.



13-расм. Сепаратор тегирмон қурилмасининг чизмаси:

- 1—тарозили тасмали дозатор; 2—қабул қилғич воронка; 3—солинадиган қопқоқ;  
4—барабан; 5—элеватор; 6—сепаратор; 7—азротарнов; 8—ўтказғич қувур; 9—циклон;  
10—енгли фильтрлар.



14-расм. Тегирмонда шарлар ҳаракатининг чизмаси.

Ҳозирги вақтда туйиш техникасини такомиллаштириш, яъни нисбатан унумли ва тежамли аппаратлар ва технологик йўсинларни қўллаш, шунингдек, махсус қўшилмалар (яхши туйиладиган моддалар) ишлатиш билан материалнинг майда туйилишига эришилмоқда. Мавжуд шарли тегирмонлар конструкцияси такомиллаштирилиб, янги унумлироқ ва тежамлироқ агрегатлар яратилмоқда.

## 12. Портландцемент дисперслигининг маҳсулот хоссаси ва хусусиятларига таъсири

Портландцементнинг кўп хоссалари, шунингдек, фаоллиги, қотиш тезлиги ва бошқа хусусиятлари фақат клинкернинг кимёвий, минералогик таркиби, алит ва белит кристалларининг шакли ва ўлчамлари, у ёки бу қўшилманинг мавжудлигидан ташқари, кўп даражада маҳсулотнинг майин туйилишига, унинг дондорлик таркибига ва кукун заррачаларининг шаклига боғлиқ. Цемент кукун заррачаларининг йириклиги асосан 5—10 мкм. дан 30—40 мкм. гача бўлади.

Цементларнинг солиштирма сирти ортган сари уларнинг мустаҳкамлиги ва қотиш тезлиги ҳам юксалади, чунки заррачаларнинг фаол сатҳи ўсади. Аммо бу кўрсаткичлар маълум дисперслик даражасигача, яъни маҳсулотнинг солиштирма сатҳи 700—800 м<sup>2</sup>/кг бўлгунча ортади. Одатда, бу чегарадан ўтгач, қотган цемент-тошнинг мустаҳкамлик кўрсаткичлари ёмонлашади. Шунинг учун цементни маълум даражагача (700—800 м<sup>2</sup>/кг) ва ниҳоятда майда туйиш унинг физик-механик хоссаларига қандай таъсир этишини синовлар билан текшириб кўриш зарур. Цемент бундан ҳам паст солиштирма сатҳга (400—500 м<sup>2</sup>/кг) эга бўлганда, унинг совуққа чидамлиги ниҳоятда сусайиб кетади. Цемент кукунининг турли

ўлчамдаги зарралари маҳсулотнинг мустаҳкамлигига ва қотиш тезлигига ҳар хил таъсир кўрсатади. Шунинг учун цементларни тавсифлашда фақат унинг солиштирма сиртига эмас, балки донадорлик таркибига ҳам эътибор бериш керак (21-жадвал).

Баъзи олимлар эса клинкерларни ўта майда кукунлашни тавсия қилмайдилар. Улар йириклиги 1—3 ва ҳатто 5 мкм бўлган заррачалар ҳаво таъсирида тез ва қисқа вақт ичида гидратланади ва оқибатда материалнинг фаоллиги пасаяди ёки бундай ўта дисперс заррачалар сув билан қорилганда жуда тез гидратланиб, кейинчалик цементнинг қотишида иштирок этмайди, деган фикрни билдирадилар.

Ҳозирда портландцемент қанчалик майда туйилганлиги икки усулда аниқланади:

1) юқоригиси 02-рақамли, пасткиси 008-рақамли иккита элақда эланади;

2) цемент доналари солиштирма сирти ўлчанади ( $\text{м}^2/\text{кг}$  ҳисобида).

Одатда, портландцементнинг қанчалик майда туйилгани аввало 02-рақамли элақда, сўнгра 008-рақамли элақда эланганда 5—8 % қолдиқ қолишига қараб аниқланади. Шунда цементнинг солиштирма сирти 250—300  $\text{м}^2/\text{кг}$ . га туғри келади. Амалда кукунлашнинг икки хил йўсини — очиқ цикл ва ёпиқ цикл ишлатилади. Клинкерни очиқ циклга асосан туйишда материаллар тегирмондан қўшимча ишловсиз бевосита тайёр маҳсулотлар омборига юборилади, ёпиқ циклда эса тегирмондан чиққан материаллар сепараторларда эланади: цементнинг йирик доналари қайта туйишга, майдаси эса тайёр маҳсулотлар омборига жўнатилади.

Ёпиқ циклда туйиш анча такомиллаштирилган йўсин ҳисобланади. Цементнинг майда заррачалари ажратиб олинса, тегирмоннинг ишлаб чиқариш унумдорлиги ошади, чунки улар майдаловчи жисмларга ёпишиб қолиб, жисмларнинг уришиш кучи бўшашади: цементнинг жуда майда заррачалари ўз сиртида ҳавони шимийди ва майдаловчи жисмлар ҳамда тегирмон деворларида ҳосил бўлган ўзига хос «ёстик» майдаловчи жисмлар зарби ва ишқаланиш таъсирини амортизациялайди. Майдаланаётган бутун массадан майда доналарни тинимсиз ажратиб туриш учун тегирмонга ҳаво юборилади. Унинг ҳаракат тезлиги тегирмондан маълум ўлчамдаги цемент заррачалари чиқадиган қилиб белгиланади. Худди шу ҳаво оқими ёрдамида цемент омборига (очиқ циклга биноан туйилаётганда) ёки се-

## Портландцементнинг дондорлик таркиби ва солиштирма сиртининг фаоллик таъсири

Солиштирма сирт, м <sup>2</sup> /кг	SO <sub>3</sub> микдор, %	МКМ да ўлчанган фракциялар миқдори, %						Сиқилгандаги мустаҳкамлик чегараси, МПа				Зичланган намуналарда ўлчанган марка
		0—5	5—10	10—20	0—10	0—20	<80	1 сутка	4 сутка	7 сутка	28 сутка	
230	2	2	14	27	16	43	7	15	38	51	64	600
280	2	7	14	31	21	52	4	21	35	54	74	700
430	2,6	9	25	29	34	63	2,5	33	51	62	73	700
620	3,2	12	28	35	47	82	1	38	53	66	80	800

Э с л а т м а : ТК = 0,9 булган клинкернинг урлача минералогик таркиби: C<sub>2</sub>S = 57%, C<sub>3</sub>S = 20%, C<sub>4</sub>A = 7%, C<sub>4</sub>AF = 14%. Клинкер иккита сепаратор билан ишлатиладиган шарли тегирмонда майдаланган. МКМ-миллимикрон.

ператорга (ёпиқ циклга асосан туйилаётганда), сўнгра эса омборга юборилади. Узатилаётган чанг-ҳаво аралашмасидаги цемент заррачалари циклон ва филтрларда тутиб қолинади. ✓

Туйиш тезлатгичлари — интенсификаторлари. Бу моддаларни ишлатишдан асосий мақсад жуда майда цемент заррачалари ўзаро ва майдаловчи жисмларга ёпишиб қолишига йўл қўймасликдир. Бундан ташқари, баъзи тезлатгич — интенсификатор моддалар клинкер қаттиқлигини камайтиради. Антрацит, куя, сирт-фаол қўшилмалар (совуннафт, сульфит-спирт бардаси (ССБ), петролатум, триэтанолламин, Петров контакти) ва бошқа моддалар туйишга ёрдам берувчилар сифатида ишлатилади.

Интенсификатор моддалар ишлатиш цементнинг туйилиш даражасини сақлаган ҳолда, жараённинг кечиш муддатини қисқартириш ёки, аксинча, жараён муддатини сақлаган ҳолда, материални янада майдалаб туйиш имконини беради. Бу қўшимчалар цемент массасининг 0,02—0,5 % миқдорига қўшилади. С.М.Рояк ва бошқа тадқиқотчилар фикрича, триэтанолламин ва унинг ССБ билан 1:1 нисбатидаги аралашмаси (масса бўйича) жуда кучли тезлатгич ҳисобланади. Булар тегирмоннинг биринчи камерасига 0,01—0,03 % миқдорида жуда майда заррачали сувда эритма ҳолида берилади. Натижада тегирмонларнинг унумдорлиги 15 % га ортади.

Интенсификаторларнинг тегирмонга солинадиган энг мақбул миқдори унинг ва кукуллаштириладиган материалнинг хоссасига, шунингдек, шу тезлатгични солиш усулига ҳам боғлиқ.

Цементларни омборда сақлаш, қопларга солиш ва жунатиш. Корхоналарда тайёр цемент ҳар бирининг сизими 2500—10000 т. гача, диаметри 1—18 м ва баландлиги 25—40 м бўлган темир-бетон силосларда сақланади. Цемент силосларининг умумий сизими камида 10 сутка мобайнида ишлаб чиқарилган цементни сақлашга етарли бўлиши кўзда тутилади. Бундай катта омборлар эркин оҳакни ҳаво нами таъсирида батамом сўндириш учун керак. Тегирмондан 100—150°C гача ҳароратда чиққан цемент силосларда 1—2 ҳафта давомида совийди.

Ҳар заводда бундай силослардан камида тўртта бўлиши керак: иккитасида цемент етилади ва совийди, учинчисига совитилган цемент тўлдирилади, тўртинчисидан маҳсулот истеъмолга олинади. Корхонада икки ва ундан ортиқ маркада цемент ишлаб чиқарилса, силослар сони янада кўпайтирилади.

Цемент қатламланиб қолмаслиги учун силослардаги цемент

вакти-вакти билан сиқилган ҳаво ёрдамида говаклаштириб турилади. Бу силослардан цемент олишни осонлаштиришга ҳам хизмат қилади.

Цемент заводларида ишлаб чиқаришни текшириш. Замоनावий цемент корхоналарида олинаётган хом ашё, ярим фабрикат ҳамда тайёр маҳсулот — цементнинг талаб қилинган сифатга эга бўлишини таъминлаш учун асосий жиҳозлар белгиланган технологик режимда ишлашига жиддий эътибор бериш керак. Шунинг учун ишлаб чиқаришни текшириш алоҳида аҳамият касб этади.

Хом ашё материалларини майдалаш даражаси ва майдаланган маҳсулот ўлчами ҳамда донаторлик таркиби белгиланганига қанчалик мос эканлиги текшириб турилади. Хом ашё туйиш цехида маҳсулотнинг намлиги ва майдалиги текширилади. Хом ашёнинг бир қанча компонентлари бараварига майдаланишидан тайёрланаётган аралашма таркиби белгиланган таркибга қай даражада мослиги текширилади. Тайёр маҳсулот туйиш цехида ҳам шу тариқа текшириб кўрилади.

Пишириш цехида технологик режимга (пишириш ҳарорати, материалларнинг печь зоналарида бўлиш муддатлари), тун-газлар ҳарорати ва таркиби, ёқилғи ва пишириладиган материаллар сифати, пишириш натижаларига қандай риоя қилинаётганлиги кузатиб борилади.

Хом ашё материаллари, ярим фабрикатлар ва тайёр маҳсулотлар сифати технологик жараённинг барча босқичларида — хом ашё заводга олиб келинган пайдан бошлаб тайёр маҳсулот жўнатилгунигача қадар текшириб, кузатиб борилади.

Ишлаб чиқариш қуйидаги талабларга жавоб бериши керак:

— текшириш учун олинган намуна материалларнинг ўртача сифатига мос келиши;

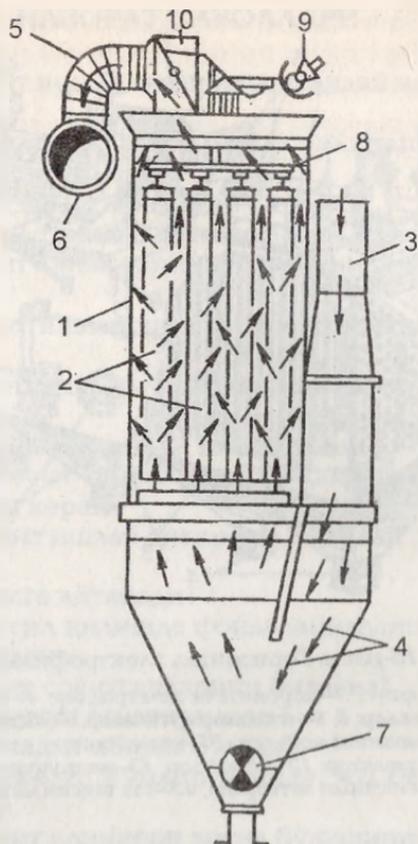
— намуна олинадиган жой тўғри танланиши ва технологик параметрлар (ҳарорат, намлик, аралашмаларнинг ҳаракатчанлиги ва ҳоказо);

— жиҳозларнинг иш режими текшириладиган жой тўғри танланиши;

— намуналарни такрор олиш вақти ва миқдори тўғри белланиши;

— текшириш жараёни иложи борича тўла автоматлаштирилган ва текширувчи асбоблар масофадан туриб бошқариладиган бўлиши лозим.

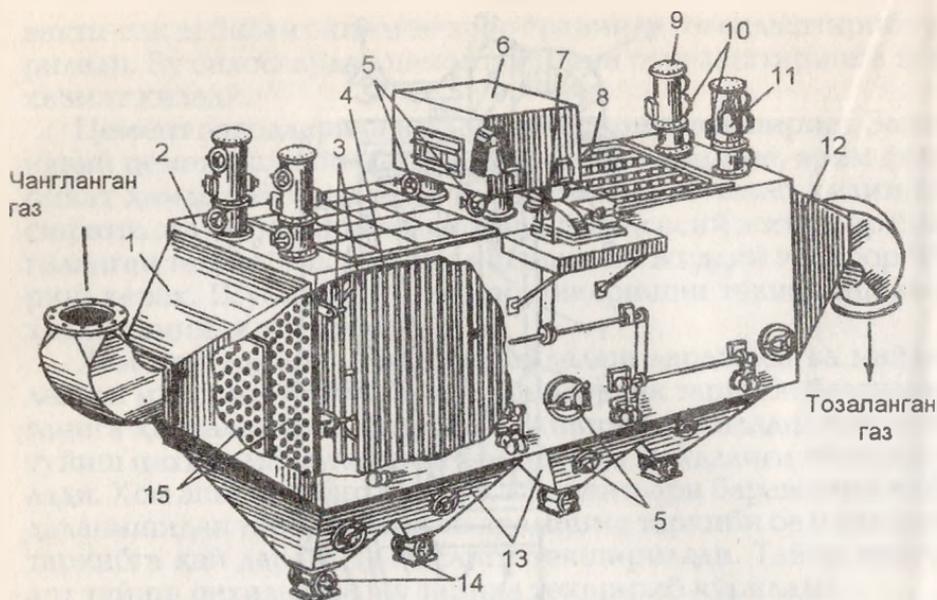
Ҳозирги кунда намуналар текшириш учун автоматик йўл билан олинади.



15-расм. Енгли филтр чизмаси:

1—металл корпус; 2—қалин матодан тикилган цилиндр шаклидаги енг; 3—ўтказгич қувур; 4—филтрнинг пастки қисми; 5—қувур; 6—умумий ўтказгич қувур; 7—винтли транспортёр; 8—ҳар бир бўлимдаги енгларни осиб қуйишга мўлжалланган планка; 9—тебратувчи механизм; 10—заслонка.

Цемент заводларида меҳнат муҳофазаси. Цемент саноатида хом ашёни қандай қазиб олиш ва қайта ишлаш, хом ашё аралашмаларини пишириш, клинкерни кукунлаш, жуда кўп миқдордаги материални бир жойдан иккинчи жойга ва омборга ташиниш ҳамда истеъмолчига жўнатиш учун зарур мураккаб ва турли механизм, ускуналар билан жиҳозланишга ва кўп миқдорда электр юритгичлар мавжудлиги учун жиҳозларнинг хавф-хатарсиз ишлатилиши ва ишлаб чиқариш операцияларининг бажарилишига, шунингдек, ишлаш учун нормал сани-



16-расм. Горизонтал электрофилтр:

1—диффузор; 2—корпус; 3—коронловчи электродлар; 4—чангни ушлаб қолувчи электродлар; 5—люклар; 6, 9—изоляция қутичалар; 7—титратувчи механизмлар приводи; 8—монтаж люкнинг қопқоғи; 10—изоляциянинг электр иситтич унсурлари; 11—таянч-ўтказгич изолятор; 12—конфузор; 13—чанг учун мулжалланган бункер; 14—секторли затворлар; 15—газ тақсимлагич-тўр.

тария-гигиена шароитлари яратилишига доир асосий тадбирлар белгиланган бўлади.

Хавфсизлик техникасида жиҳозлар орасидан ўтиш учун нормал жой қолдирилиши, майдончаларда бемалол ишлашга шароит бўлиши, муҳофаза ғилофлари ва тўсиқлар ўрнатилиши, кўчма электр жиҳоз ва асбоблар билан бехатар ишлаш; учун зарур шароитлар яратилиши кўрсатилган бўлади.

Санитария техникасига доир тадбирларни ишлаб чиқишда иситиладиган ва иситилмайдиган бинолар, ҳаво, чанг, бўр ва газлардан ҳаддан зиёд ифлосланадиган жойлар ва ифлосланган ҳавони марказлаштирилган тартибда сўриб олиб, ташқарига чиқариб юбориш тадбирлари кўрсатилган. Хавфсизлик техникаси ва санитария техникасига доир белгиланган барча тадбирлар технологик жараён билан узвий боғланган бўлади. Чанглارни ушлаш ва ҳавони тозалашда махсус асбоб-васкуналар ишлатилади (15 ва 16-расмлар).

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Портландцемент ишлаб чиқаришда қандай хом ашёлар ишлатилади?
2. Портландцемент ишлаб чиқаришда чиқиндилардан фойдаланиш имкониятлари.
3. Тўғриловчи моддаларга нималар киради?
4. Цемент саноатида қандай ёқилгилар ишлатилади?
5. Портландцемент клинкерини ишлаб чиқаришдаги асосий жараёнлар.
6. Портландцемент ишлаб чиқаришда асосан қандай операциялар бажарилади?
7. Портландцемент ишлаб чиқаришда кўпроқ қўлланиладиган усуллар.
8. Цемент хом ашёлари қандай тайёрланади?
9. 1 т портландцемент тайёрлаш учун қанча хом ашё, кўмир ва клинкерни майдалаш керак?
10. Портландцемент ишлаб чиқаришда қандай туйиш агрегатлари ишлатилади?
11. Шлам деб нимага айтилади?
12. Клинкерни ҳосил қилишда фойдаланиладиган куйдириш агрегатларини таърифланг.
13. Қандай клинкер совиттичларини биласиз?
14. Клинкер нима учун етилтирилади?
15. Печь қанча зонадан иборат бўлади?
16. Печда шлам ёки ун куйдирилганда юз берадиган физик-кимёвий жараёнлар.
17. Портландцемент клинкери ҳосил бўлишини энгиллаштириш учун қандай минераллаштирувчилар ишлатилади?
18. Портландцемент клинкерини олишнинг ҳўл ва қуруқ усуллари. Қайси ҳолларда у ёки бу усулдан фойдаланиш афзал бўлишини айтиб беринг.
19. Клинкер нега ярим фабрика, яъни ярим маҳсулот деб аталади?
20. Нима учун портландцемент ишлаб чиқаришда туйиш энг кўп энергия сарфланадиган операция ҳисобланади?
21. Портландцементнинг майдалик даражасини оширишнинг аҳамияти.
22. Туйиш тезлаттичлари — интенсификаторларининг қандай турларини биласиз?
23. Цементларни сақлаш усуллари.
24. Цемент заводларида ишлаб чиқариш текширилганда нимага эътибор берилади?
25. Цемент заводларида меҳнат муҳофазаси.

## IV боб. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНИНГ ҚОТИШИ, ХОССАЛАРИ ВА ИШЛАТИЛИШИ

### 13. Цементнинг сув билан бирикиши ва ҳосил бўлган маҳсулотнинг кимёвий таркиби

Портландцемент клинкер, гипс, фаол минерал (гидравлик), шунингдек, бошқа қўшилмалар аралашмасидан иборат. Бу моддалар портландцементнинг қотиш жараёнида ва цемент-тошнинг таркибий тузилиши ўзгаришида маълум даражада иштирок этади. Аммо, юқорида айтиб ўтилганидек, портландцементнинг сифат кўрсаткичлари асосан клинкер миқдорига қараб аниқланади. Зикр этилган жараёнларда майдаланган клинкернинг сув билан ўзаро таъсир этишуви, айниқса, катта аҳамиятта эга.

Майдаланган цемент клинкери ҳеч қандай аралашмасиз ёки қум ёхуд қум-шағал билан сувда қорилганда, вақт ўтиши билан тишлашиб, тобора мустақкамлана борадиган ва тошсимон ҳолатга ўтадиган цемент-тошга, қоришмага ва бетонга айланадиган пластик хамир, қоришма ва бетон ҳосил бўлади.

Янги вужудга келган кимёвий бирикмаларнинг таркиби цементларнинг кимёвий ва минералогик таркибига, шунингдек, реакция жараёнида ҳароратнинг ўзгаришига боғлиқ. Маълумки, оддий портландцементнинг клинкер қисми қуйидаги фазалардан иборат (% ҳисобида):

Алит $C_3S$ .....	45—60
Белит $C_2S$ .....	20—30
Уч кальций алюминат $C_3A$ (қисман $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ ) .....	5—12
$C_4AF$ (алюмоферрит фазаси) .....	10—20
Шиша фазаси .....	5—15
$CaO$ (эркин ҳолда) .....	0,5—1
$MgO$ , эркин ва бошқа фазаларда .....	1—5
$Na_2O + K_2O$ ишқорий фазаларда .....	0,5—1

Мураккаб таркибли портландцементнинг сув билан бирикиши ва цементнинг физик-механик хоссаларига янги ҳосил бўлган маҳсулотлар таъсирини аниқ билиш учун унинг ҳар бир компонентининг сув билан реакцияга киришувини кўриб чи-

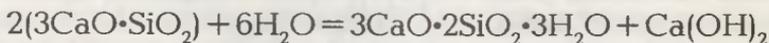
қиб, сўнгра мураккаб жараён ҳақида тўлиқ тушунчага эга бўлиш мумкин. Алит — клинкерда  $Al_2O_3$  ва  $MgO$  қўшимчаси билан бирга учрайдиган  $C_3S$  нинг қаттиқ эритмаси бўлиб, сув билан реакцияга киришганда, атроф-муҳит ҳароратига ва кальций гидроксид концентрациясига боғлиқ ҳолда турли гидросиликатлар ҳосил қилади.

Одатдаги ҳарорат ва  $Ca(OH)_2$  нинг эритмадаги концентрациясида  $CaO$  ҳисобланса, унинг миқдори  $0,05—1,1$  г/л. гача бўлганда, маълумотларга кўра,  $C_3S$  нинг гидратланиши туфайли кам даражада кристалланган ўзгарувчан таркибли  $CaO_{0,8-1,5} \cdot SiO_2 \cdot nH_2O_{2,5-1}$  гидросиликатлар ҳосил бўлади. Эритмада  $Ca(OH)_2$  нинг концентрацияси қанчалик камлигига қараб вужудга келган гидросиликатларнинг асосли хоссаси ҳам шунча паст бўлади. Бундай гидросиликатлар Богт  $CSH(B)$  кўринишидаги умумий формула билан ёки Тейлор —  $CSH(1)$  билан белгиланган.

Эритмада  $Ca(OH)_2$  нинг концентрацияси тўйинган ва ўта тўйинган,  $Ca(OH)_2$  нинг эрувчанлиги ошадиган (айниқса, паст ҳароратда) даражага етганда (масалан,  $10^\circ C$  да  $CaO$  нинг миқдори  $1,25$  г/л)  $C_3S$  метастабиль таркибли гидросиликат  $CaO_{1,5-2} \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$  га айланади.

Богт фикрига кўра, у  $C_2SH_2$  формуласи билан, Тейлорга кўра эса,  $C_2SH(II)$  билан белгиланади. Бироқ қотувчи цемент хамири аралашмасининг ҳарорати  $30—50^\circ C$  га етганда, шунингдек,  $Ca(OH)_2$  нинг эрувчанлигини камайтирувчи эритмада ишқорларнинг мавжудлиги асосан  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$  таркибли гидросиликатларни ҳосил қилишга имкон беради. Бу бирикма  $CSH(B)$  гуруҳига тааллуққидир. Шунинг учун яхши кристалланган тоберморит  $C_5S_6H_5$  ҳам шу гуруҳга киради.

Агар цемент хамирида асосан  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$  ҳосил бўлади, деб фараз қилсак, у ҳолда  $C_3S$  нинг сув билан реакцияси қуйидагича ёзилади:



Кўриниб турибдики, бу реакцияда уч кальцийли силикат гидролитик парчаланиши натижасида кўп миқдорда эркин кальцийли гидрат оксид ҳосил бўлади. Бу гидрат цемент-тош таркибий тузилишини ўзгартириши билан бирга унинг сувда емирилишини ҳам тезлаштиради. Қуйида бунинг олдини олиш усули баён этилган.

CSH(B) гуруҳидаги кальций гидросиликатлар қатлами кристаллик таркибий тузилишга эга бўлиб, турли миқдорда  $H_2O$  молекулаларини (2; 5; 1; 0,5) қатор орасида ушлаб туради. Бу сув эса кристалл текисликлари орасидаги бўшлиқдан бугланиб кетиши ва яна сингиб кириши мумкин. Натижада кристаллик тўр торайиб-киришади ва сув сингиб кирганда эса кенгайиб-шишади. 2—2,5 молекула сувли гидросиликатлар одатдаги ҳароратда ва у бир оз кўтарилганида ҳам барқарор туради. Ҳарорат  $100^\circ C$  атрофида бўлганда гидрат сувнинг миқдори бир молекулагача камаяди,  $250^\circ C$  гача ортса, сув молекуласи 0,5 қолади.  $450—500^\circ C$  да гидрат таркибий тузилиши ўзгармасдан, гидросиликатларнинг тўла сувсизланиши бошланади.  $700—800^\circ C$  да тўр ўзгариб, анчагина киришади ва натижада b- волластонит ҳосил бўлади.

CSH(B) ва  $C_2SH_2$  гуруҳидаги гидросиликатлар қалинлиги 20—30 Å икки-уч молекула қатлам атрофида, кенглиги 400—500 Å, ўртача узунлиги 1 мкм. га яқин жуда юпқа барг каби ҳосил бўлади. Янги маҳсулот заррачаларининг солиштирма сатҳи: икки қатлам қалинлиги  $376 \text{ м}^2/\text{г}$ , уч қатлам қалинлиги  $252 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Маълумотларга кўра, янги маҳсулотларнинг, айниқса, юқори асосиларининг таркиби C/S нисбат (кўпи билан 1,3) билан ифодаланса, ичи бўш тола каби ўрам — рулонга айланишга мойил бўлиб қолади. Шимилиш, сўрилиш, яъни адсорбция кучлари таъсирида турли тезлик билан ушланиб турган сув молекулалари толанинг ички ва ташқи сатҳига жойлашади. Вакуум ёки қиздириш вақтида сув бу оралик (бўшлиқ)лардан аста-секин буглана бошлайди. Кристаллар таркибига кирувчи ва тўр қатламлари орасига жойлашган ҳамда олдиндан қўшимча валентликлар билан бириккан сув молекулалари жуда катта қийинчилик билан бартараф этилади.

CSH(B) ва  $C_2SH_2$  гидросиликатлар мунтазам равишда сув билан ишланса, улар  $Ca(OH)_2$  эриб ювилиши ҳисобига тўла парчаланади. Ювилмай қолган қаттиқ қисм асосан ғовак ҳолатдаги сувли қумтупроқдан иборат.

$C_3S$  нинг  $50—100^\circ C$  ҳароратдаги гидратланиши олдин айтиб ўтилган CSH(B) ва қисман  $C_2SH_2$  типидagi кальций гидросиликатларни ҳосил қилади. Эритмада  $Ca(OH)_2$  нинг концентрациялари маълум миқдорга етганда, шу гидросиликатларни белит ҳам ҳосил қилади. Бу ҳолда гелсимон CSH(B) ва  $C_2SH_2$  билан бирга  $Ca(OH)_2$  ҳам ҳосил бўлади, аммо унинг миқдори

$C_3S$  гидратлангандагига нисбатан кам бўлади. Бу реакция маҳсули таркибан  $C_3S$  гидролизи натижасида ҳосил бўладиган гидросиликатларга ўхшаш.

Ҳозирги маълумотларга кўра,  $C_2S$  нинг  $175—200^\circ C$  даги гидратланиши  $Ca(OH)_2$ ;  $C_2SH_2$ ;  $C_2SH(A)$ ;  $[(1,8—2,4) CaO \cdot SiO_2(1—1,25) \cdot H_2O]$  лардан иборат турли маҳсулотларни ва уч кальцийли гидросиликат  $C_3SH_{1,5}$  ни ҳосил қилади. Кўрсатиб ўтилган гидросиликатларнинг қайси бири кўп ҳосил бўлиши ҳароратга, иссиқ-нам шароитида ишлов бериш вақтига ва бошқа омилларга боғлиқ.

$\beta$  — икки кальций силикат  $160^\circ C$  гача гидратланиши жараёнида  $C_2SH_2$  ни ҳосил қилади. Бу бирикма яна юқорироқ ҳароратларда  $C_2SH(A)$  га, Тейлор назариясига асосан эса,  $C_2S$  нинг  $\alpha$  — гидратига ўтади.

$C_3S$  ва  $C_2S$  нинг кварц қуми билан 10:30 ва 50:50 нисбатдаги аралашмаси  $175—200^\circ C$  да 8—10 соат давомида иссиқ-нам муҳитда ишлов берилганда,  $CSH(B)$ , қум кам бўлганда,  $CSH(B)$  билан биргаликда  $C_2SH(A)$  ҳосил бўлади.

$CSH(B)$  типдаги гидросиликатлар  $150—200^\circ C$  да 10—20 номолекулалар қалинлигидаги пластинкадан иборат бўлади. Бу эса янги маҳсулотларнинг оддий ҳароратда ҳосил бўлгандагига нисбатан солиштирма сатҳини жуда ҳам камайтириб юборади. Кристалланиш даражаси анча ортади.

Уч кальций алюминат  $C_3A$  одатдаги шароитда гидратланганда, оддин метастабил гексагонал пластинкасимон бирикма- $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot (10—12)H_2O$  ҳосил бўлади. Аммо бу модда икки кальций ва тўрт кальций гидроалюминатларнинг эквимоляр нисбатдаги аралашмасидан иборат деб тахмин қилинади. Бу фаза нисбатан паст ҳароратларда ва намлик камроқ бўлган муҳитда бир қисм гидрат сувни йўқотади ( $10—8 H_2O$  гача),  $105^\circ C$  да гидрат сувнинг миқдори 6—8  $H_2O$  гача камаяди. Сув эритмасидан  $Ca(OH)_2$  нинг концентрацияси кўпи билан  $CaO$  ҳисобида 1,08 г/л бўлса, юқорида кўрсатилган фаза аста-секин  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O$  га айлана бошлайди.

Тўрт кальций гидроалюминат  $19H_2O$  ҳолида ҳам ҳосил бўлиши мумкин, бироқ нисбий намлиги 80 % атрофида бўлган муҳитда гидрат сувининг миқдори  $13H_2O$  гача камаяди, бу эса гидратнинг киришувига сабабчи бўлади.  $25^\circ C$  дан юқори ҳароратда гексагонал пластинкасимон фаза  $C_3AH_{12}$ ,  $105^\circ C$  да барқарор кубиксимон  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  га ўтиш қобилиятига эга.  $275^\circ C$  ва ундан юқори иссиқликда бу бирикма  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 1,5H_2O$  га айланади. Эритмада  $CaO$  нинг концентрацияси ка-

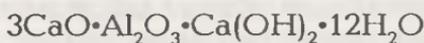
мида 0,25—0,35 г/л ва ҳарорати 20°C га яқин бўлганда,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  парчаланиб,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ва  $\text{Al}(\text{OH})_3$  — гиббситлар ҳосил бўлади.  $\text{C}_3\text{A}$  автоклавларда иссиқ сув билан ишланганда, 215°C гача барқарор  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  га ўтади.

$\text{C}_3\text{A}$  нинг майин қилиб туйилган кварц қуми билан аралашмасига (масалан, оғирлиги бўйича 1:1 нисбатда) автоклавда (175—200°C) ишлов берилса, умумий формуласи  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot x\text{SiO}_2\cdot(6-2x)\text{H}_2\text{O}$  кўринишидаги гидрогранат ва тоберморит  $[\text{CSH}(\text{B})]$  ҳосил бўлади. Одатда  $x=0,3-0,5$ . Тоза  $\text{C}_3\text{A}$  шундай автоклав ишловидан кейин мустаҳкамликка деярли эга бўлмайди, унинг қум билан аралашмаси эса катта мустаҳкамлик касб этади.

$\text{C}_3\text{A}$  сув ва гипснинг турли модификациялари иштирокида одатдаги ҳароратда гидратланиб, гидросульфоалюминат деб аталувчи комплекс бирикма  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot(30-32)\text{H}_2\text{O}$  ҳосил қилади. Гидросульфоалюминатнинг юқори сульфатли шакли ҳисобланадиган бу бирикма,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нинг тўйинган эритмасидан қуйидаги реакция асосида ҳосил бўлади:



Табиатда учрайдиган бундай таркибли минерал модда эттрингит деб аталади.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ва кальций сульфатнинг паст концентрацияларида асосан гидросульфоалюминатнинг бир сульфатли шакли ҳосил бўлади. У кўпинча  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$  билан қаттиқ эритма ҳосил қилади, унинг формуласи қуйидагича:



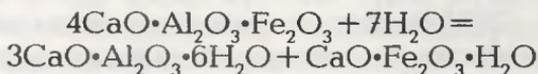
Сувли эритмаларда кальций оксиднинг миқдори 0,027 г/л дан кам бўлса, уч сульфатли шаклдаги гидросульфоалюминат барқарор бўлмайди.

70—110°C ҳароратда уч сульфатли шаклдаги гидросульфоалюминат аввалги сувнинг миқдори 8—10  $\text{H}_2\text{O}$  бўлгунча дегидратланади, сўнгра эса бир сульфатли шакли ва гипс ҳосил бўлгунча парчланади. Гидросульфоалюминатларнинг ҳар икки шакли ҳам автоклав ишловида (175—200°C)  $\text{C}_3\text{AH}_6$ , ярим молекула сувли гипс ва ангидрит ҳосил қилиб, парчаланиб кетади. Уч сульфатли шакл магний сульфат ва ишқорий карбонатлар таъсирида парчланади, аммо натрий ва кальций хлор тузларининг эритмасида барқарор туради. Уч сульфатли шакл-

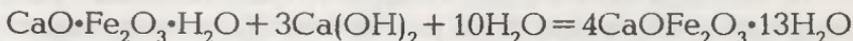
нинг зичлиги  $1730 \text{ кг/м}^3$  ( $25^\circ\text{C}$  да), бир сульфатли шаклинг зичлиги эса  $1950 \text{ кг/м}^3$  ( $20^\circ\text{C}$  да). Биринчиси — кўпинча нинасимон кўринишдаги кристаллар, иккинчиси — гексагонал пластинкалар ҳолида ҳосил бўлади.

Таркиби ва таркибий тузилишига кўра, гидросульфоалюминатларга ўхшаш бошқа сульфо-, карбо-, хлоралюминат деб аталувчи комплекс бирикмалар ҳам бор, улар қуйидагилардир:  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_3\cdot 31\text{H}_2\text{O}$  — гидросульфоалюминат,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaCO}_3\cdot 31\text{H}_2\text{O}$  — гидрокарбоалюминат,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$  — гидрохлоралюминат кальций ва бошқалар.

Алюмоферрит фазаси сув билан қуйидаги реакцияга киришади:



Аммо кўп миқдордаги сув таркибида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нинг бўлиши бир кальций гидроферритни тўрт кальций ферритли гидратга қуйидаги реакция асосида айлантиради:



Целит ва ферритли цементлар таркибида икки кальций феррит иштирок этади. У гидратланганда икки кальций гидроферрит  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$  ни беради. Бу бирикма  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  эритмаларида  $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  га, айрим маълумотларга биноан эса,  $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$  га ўтади. Шунини ҳам таъкидлаб ўтиш керакки,  $\text{C}_4\text{AF}$  сув билан реакцияга киришганда, хоссалари ва таркиби жиҳатдан гидратланиш вужудга келадиган  $\text{C}_3\text{A}$  га ўхшаш олти молекула сувли кальций гидроалюминат ҳосил бўлади.

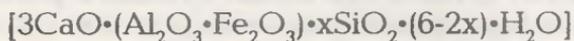
Кальций гидроферрит асосининг бу тарзда, бир кальций ферритдан уч ва тўрт ферритгача ортиши, яъни  $\text{CaO}$ нинг кўпайиши кальций гидроалюминатларга ҳам хосдир. Минерал асоси ортганда эса унинг нам шароитлардаги барқарорлиги анча пасайиши мумкин. Шунинг учун муайян шароитларда ишлатиладиган бетон конструкцияларга мўлжалланган цементлар танланганда, минераллар таркибининг ана шундай ўзгаришини ҳисобга олиш зарур.

Клинкер минералларининг сув билан ўзаро таъсир этишиш

жараёни ҳар доим бир хил тезликда ўтади. Сув билан  $C_3A$  ўзaro анча тез таъсир этишади,  $C_4AF$  эса бир мунча секинроқ,  $C_3S$  ундан ҳам секин,  $C_2S$  жуда суст таъсир этишади.

Уч ва тўрт кальций гидроалюминат ва гидроферритларнинг бир хил таркиблиси бир вақтнинг ўзида ҳосил бўла бошласа, умумий формуласи  $3CaO \cdot (Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3) \cdot 6H_2O$  ва  $4CaO \cdot (Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3) \cdot 13H_2O$  бўлган қаттиқ эритмалар вужудга келади.

Гидроферритлар гидроалюминатлар сингари гипс ва кальций хлор билан комплекс бирикмалар  $[3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot (30-32)H_2O$  ва  $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O]$  ҳосил қилади. Туйилган қум билан  $175-200^\circ C$  ҳароратда гидрогранатларни



ва шунингдек,  $CSH(B)$  типдаги гидросиликатларни ҳосил қилади.  $C_2F$  ҳам автоклавда иссиқ нам шароитида ишловга учратилса, худди шундай жараён намоён бўлади.

Цемент шиша фазаси сув билан бирикса,  $C_3AH_6$  ва  $CFH_6$  нинг қаттиқ эритмалари ҳамда автоклав шароитида гидрогранатлар ҳосил бўлади. Цементлар таркибидаги эркин  $CaO$  ва  $MgO$  сув билан реакцияга суст киришиб гидратланади, улардан ҳар бирининг миқдори 1 % дан ортиқ бўлса, ҳажми ноте-кис ўзгаради. Бу эса қотиб қолган цемент-тош ичида жиддий кучланишлар пайдо бўлишига олиб келади.

Цемент таркибидаги алюминат, алюмоферрит ва шиша фазасидаги  $Na_2O + K_2O$  сув билан реакцияга киришаркан, унда эриб,  $NaOH$  ва  $KOH$  ҳосил бўлади.  $CaSO_4$  иштирокида ишқорлар у билан реакцияга киришиб,  $Na_2SO_4$  ва  $K_2SO_4$  ни беради. Натрий ва калий ишқорлари сувда  $Ca(OH)_2$  концентрациясини пасайтириб, билвосита вужудга келадиган кальций гидросиликатлар таркибига таъсир кўрсатади. Одатда, цемент хамирининг сувли эритмасида ишқорларнинг умумий миқдори 1 % дан ошмайди.

Цементнинг тишлашиш муддатларини узайтириш мақсадида клинкерни туйишда портландцементга икки молекула сувли гипс қўшилади. Туйиш пайтида тегирмонда материалнинг ҳарорати анчагача кўтарилади, натижада икки молекула сувли гипс ярим молекула сувли гипсга ва эрувчан ангидритга айланади. Булар сув иштирокида тезлик билан икки молекула сувли гипсга ўзгаради. Цемент ўз таркибидаги гипс билан бирга сувда қорилганда, клинкер таркибидаги алюминат ва

алюмоферритлар билан мураккаб реакцияларга киришиб, юқорида айтиб ўтилган комплекс бирикмаларни ҳосил қилади.

Портландцементнинг сув билан реакцияга киришуви бирданига, цемент таркибидаги айрим минераллар ҳамда фазаларнинг гидратланиши ва гидролизидан бошланади. Биринчи навбатда сув билан  $C_3A$  реакцияга киришиб, умумий таркибли гидроалюминатлар аралашмасини ( $C_3AH_{10-12}$ ) ва сўнгра  $C_4AF$  гидратини ҳосил қилади.  $C_3S$  бирмунча султ гидратланади ва гидролизланади. У сувни  $Ca(OH)_2$  га тўйинтириб боради. Белит эса сув билан ўта султ реакцияга киришади. Айни бир вақтда мураккаб иккиламчи реакциялар ҳам юз беради. Улардан айримлари уч сульфат шаклидаги гидросульфоалюминат ва гидросульфоферритларни ҳосил қилади. Бу бирикмаларнинг қаттиқ эритма ҳолда ҳосил бўлиши суюқ муҳитда  $Ca(OH)_2$  ва  $CaSO_4$ нинг концентрацияси юқорилигини кўрсатади. Умумий таркибли гидросульфоалюминатлар  $C_3(AF) \cdot 3CaSO_4(30-32) \cdot H_2O$  ёмон эрувчанлиги сабабли ўта майда дисперс заррачали қаттиқ фаза ҳосил қилади. Бу заррачаларни баъзан микроскоп орқали ҳам кўриш қийин. Кейинчалик тизимда кальций сульфатнинг миқдори камайиб бориши туфайли уч сульфатли фаза аста-секин бир сульфатли фазага ўтиб, айни шу вақтнинг ўзида таркиби  $C_3(AF) \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$  ва  $C_4(AF) \cdot 13H_2O$  дан ташкил топган мураккаб қаттиқ эритмали бирикмаларни ҳосил қилади. Ҳаводаги  $CO_2$  иштирокида қисман  $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$  ҳам вужудга келиши мумкин.

Портландцемент дастлаб сув билан бирикканда серсулт гидратли бирикмалар  $2CaOSiO_2 \cdot 4H_2O$ ;  $3CaOAl_2O_3 \cdot 12H_2O$ ;  $3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$  ва бошқалар ҳосил бўлади. Вақт ўтиши билан аста-секин қотиш жараёнида кўрсатилган бирикмалар парчаланиб, портландцемент кам сувли гидратларга, жумладан,  $C_3S_2H_3$ ;  $C_3AH_6$ ;  $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$  га ўтади. Шундай қилиб, сувнинг қаттиқ моддалардан ажралиб чиқиши ва қайтадан янги бирикмалар ўртасида тақсимланиши, иссиқликнинг ютилиши ва фазалар мутлақ ҳажмларининг ўзгариши содир бўлади.

Цементларнинг юқори ҳароратларда қотиши ҳам кам сувли гидратлар ҳосил бўлишига олиб келади. Бу эса цемент-тош микроструктураси ғоваклилигини оширади. Портландцемент сув билан одатдаги ва юқори ҳароратларда ( $100^\circ C$  гача) реакцияга киришганда, янги маҳсулотлар (айниқса, кальций гидросиликатлар) жуда ҳам майда дисперс кристалл заррачалар

кўринишида ҳосил бўлади. Гелсимон фазаларга кирувчи бу зарраларни рентген-структура таҳлили ёрдамида ва электрон микроскоп орқали аниқлаш мумкин. Оптик микроскоп уларни ажратиб ололмайди. Кальций гидрат оксид ва кальций гидросульфоалюминат кристаллари анча йирик ўлчамларгача (кўпи билан 0,5 мкм) ўса олади. Уларни оддий микроскоп ёрдамида аниқласа бўлади. Автоклавда, айниқса, узоқ вақт давомида ва юқори ҳароратда ишлаш натижасида янги ҳосил бўлган маҳсулотлар заррачаларининг ўлчами кескин ортади. Бундай заррачаларни оптик микроскопда кўриш мумкин.

Маълум бўлишича, цементлар гидратланишининг субмикроркристалл маҳсулотлари бир-бири билан қаттиқ эритмалар ва аралаш кристаллар ҳосил қилишга мойил, бу ҳол мураккаб таркибли ва ўзгарувчан кўп фазалар ҳосил қилади. Шу нарса аёнки,  $C_2S$  ва  $C_3S$ нинг эрта гидратланишида таркиби жиҳатидан яқин бўлган кальций гидросиликатлар ҳосил бўлади,  $C_3S$  гидратланиши жараёнида эркин ҳолда ажралиб чиқадиган  $Ca(OH)_2$  кристаллари қотаётган массанинг микротўлдиргичи вазифасини бажаради, яъни  $C_2S$  ва  $C_3S$  бир хил даражада гидратланганда, улардан ҳосил бўлган мономинерал тошлар мустақамлиги бир-бирига яқин бўлиши керак. Хлорид, сульфат нитрид, карбонат, фторид ва бошқа тузлар синфининг цементнинг гидратланиши ва қотишига таъсири ҳақидаги маълумотлар муттасил кенгайиб бормоқда. Ва, Р, S, Cr, Mn, Ti нинг маълум миқдорида модификацияланган клинкерлардан олинган цементлар, одатда, юқори даражада гидратланиш фаоллигига эга бўлади.

#### 14. Кальций гидросиликатлар

Автоклав материаллар технологиясида кальций гидросиликатлар ҳозирча биринчи даражали аҳамият касб этиб келаяпти. Аслида эса, автоклав қурилиш материаллари ишлаб чиқариш кальций гидросиликатларнинг техник синтезига асосланади. Ҳозирга қадар кальций гидросиликатларнинг 28 тури, жумладан, 11 та табиий минерали маълум. Бундан ташқари, ҳали таркиби аниқланмаган бир қанча фазалар бор. Гидросиликатлар сувда деярли эримайди (22-жадвал). Кальций силикатлар  $100^\circ\text{C}$  дан паст ҳароратда гидратланганда, яхши кристалланмаган янги ҳосилалар вужудга келади; бунга қотган цемент хамири мисол бўла олади. Муайян кальций гидро-силикат кристалларини ҳосил қилиш учун керакли аралашма таркиби

ҳамда ўзига хос гидротермал шароитлар бўлиши лозим. Таъкидлаш керакки, тажриба баъзан 1000 соат давом этади, ҳарорат эса 500—1000°C га етади. Кальций гидросиликатлар кристалларининг йириклиги 10—30 мкм бўлади, бу ҳол уларнинг таркиби, тузилиши ва хоссаларини ўрганишни мураккаблаштиради. Н.В.Белов кальций гидросиликатларнинг бир қанча хоссаларини (ксонотлит, гиллебрандит, тоберморит ва бошқаларни) изоҳлаб берди.

22-жадвал

25°C ҳароратли сувда кальций гидросиликатларнинг эриши

Гидросиликатлар	1 л сувга гидросиликатларнинг грамольда эриши	1 л сувда СаО нинг миллимольда эриши
Гиллебрандит	$9,69 \cdot 10^{-4}$	23,84
Фошагит	$11,8 \cdot 10^{-4}$	9,46
Ксонотлит	$2,08 \cdot 10^{-4}$	1,25
Тоберморит	$1,8 \cdot 10^{-4}$	1,8
Гиролит	$4,7 \cdot 10^{-4}$	1,9
Окениит	$5,6 \cdot 10^{-4}$	1,75

Кальций гидроалюминатлар одатдаги ҳароратларда ҳосил бўлади, уларнинг юқори иссиқликдаги барқарорлиги эса пасг, шунинг учун кальций алюминатлар кўп бўлганда, автоклав ишловига алоҳида зарурат қолмайди. Қуйида меъёрда қотиш ва автоклав ишлови берилишида гидратланган клинкер минералларининг мустаҳкамлиги ҳақида маълумотлар келтирилади (23-жадвал).

Жадвалдан кўриниб турибдики, клинкер материалларининг қотиш шароитлари цемент-тош мустаҳкамлигига таъсир этади. Юқори босимли буғ таъсирида кўпинча гидросиликатлар мустаҳкамлигининг ортиши ва кальций гидроалюминатлари мустаҳкамлигининг пасайиши кузатилади. Табиий гидротермал маҳсулот давомли геологик вақт мобайнида мукамал кристалланишга эришади, бу ҳол асосан барқарор минераллар ҳосил бўлишини таъминлайди. Технологик синтез маҳсулотлари эса ниҳоятда қисқа вақт мобайнида вужудга келади. Техник-иқтисодий омиллар доим ишлаб чиқариш жараёнини тезлаштиради, бу кўпинча ўз хоссаларини вақт ва

## Қотиш шариотларига қараб клинкер минераллари мустаҳкамлигининг ўзгариши

Гидросиликатлар	Сиқилишга бўлган мустаҳкамлик чегараси, МПа						Боғланган сув миқдори, %		
	Нормал шариотда қотиш		0,9 МПа босимда автоклав ишлови		Нормал шариотда қотиш		0,9 МПа босимда автоклав ишлови		
	7 кун	28 кун	8 соат	64 соат	7 кун	28 кун	8 соат	64 соат	
$\beta = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,7	15,8	23	30,2	2,6	3,86	5,62	9,9	
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2,6	34,1	29,5	44	11,7	14,05	16,43	15,92	
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2,1	3,3	2,9	қирралари уваланган	24,83	25,62	27,35	19,13	
$5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$	33,8	20	1,8	17,9	22,78	22,87	22,33	16,41	
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	24,8	37,3	1,5	38	8,85	13,33	16,31	17,95	
$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	3,5	7,4	17,8	20,7	5,51	9,7	12,60	13,36	

хизмат шароитларига боғлиқ равишда ўзгартирувчи метастабил маҳсулотлар ҳосил бўлишига олиб келади.

Табий минераллар (кальций гидросиликатлар) йирик конлар тарзида учрамайди, уларнинг айримлари эса шу қадар камёбки, ҳатто илмий тадқиқотлар учун ҳам етарли эмас. Н.В.Белов гидросиликатларда тетраэдрларнинг бир қисмини  $(\text{SiO}_2)^4-$  тенг қийматли ва тенг ҳажмли гуруҳларга  $(\text{OH})^4-$  қайтарма алмаштириш мумкинлигини кўрсатиб берди. Унинг фикрича, гидросиликатларнинг таркибий тузилиши асосида бир устун кальций октаэдрлар ва икки устун кальций призмаларидан ташкил топган волластонитли блок ётади. Ана шу блок бўйлаб кремний кислородли тетраэдрларнинг бир-бири билан боғлиқ бўлмаган икки занжири жойлашади. Сувсизланганда, кўпчилик гидросиликатларнинг  $x$  ёки  $\beta = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  шакли ҳосил бўлади. Оз сонли минералларгина дегидратланиш вақтида  $\beta$  ёки  $\gamma = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ҳосил қилади. Фақат афвиллит —  $\text{Ca}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}[\text{SiO}_3(\text{OH})]_2$  бу ҳодисадан мустасно. Унинг таркибий тузилиши тетраэдрлар занжиридан тузилган бўлмай, балки  $\text{SiO}_3^{2+}$  оролсимон радикалдан иборат.

Кальций гидросиликатларни кальций силикатларнинг гидратлари дейиш мумкин. Айрим гидросиликатларда сув турлича боғланган бўлади:  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ -гидратли, кристаллик, цеолитли. Шунинг учун уларнинг дегидратлашуви ҳам турличадир. Тейлор, кўпгина манбаларга асосланган ҳолда, кальций гидросиликатларнинг қуйидаги асосий гуруҳларини белгилади:

1. Таркибий тузилишига кўра, волластонитта яқин бирикмалар: некоит, окенит, ксонотлит, фашогит, геллебрандит.
2. Тоберморитли.
3. Гидролитли: гидролит, трускоттит, Z-фаза (Ассарсон).
4.  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  таркибий тузилишига кўра яқин бирикмалар: кальций хондродит (гидрат  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ ).
5. Бошқа кальций гидросиликатлар: афвиллит, гидрат  $\text{C}_2\text{S}$ , Y-фаза.

Волластонит гуруҳи. Бу гуруҳга некоит, окенит, ксонотлит, фошагит ва гиллебрандит киради. Шу бирикмаларнинг ҳаммаси учун 7,3 Å га яқин текисликлараро масофа хос. Шунингдек, волластонитта бир йўналишда такрорланаверадиган 7,3 Å га яқин текисликлараро масофа хосдир, бу эса мазкур гуруҳ гидросиликатларни *гидратланган волластонит* дейишга имкон беради. Волластонит таркибий тузилишида метасиликат занжирлар шундай боғланганки, унда ҳар учинчи тетраэдр так-

рорланади. Шунга кўра, уларни уч қиррали дейиш мумкин.  $Si = 0$  элементлар волластонит таркибий тузилишида ўқ бўйлаб ҳар  $7,3 \text{ \AA}$  да,  $Ca = 0$  элементлари эса ҳар  $3,65 \text{ \AA}$  да так-рорланади.

Некоит  $C_3S_6H_6$  ва окенит  $CS_2H_2$   $800^\circ C$  ҳароратда бир қанча ўзгаришлардан кейин волластонитга айланади.

Ксонотлит гидротермал шароитларда  $150\text{--}400^\circ C$  оралиғи-да реакцияга мойил турли материаллардан  $CaO \cdot SiO_2$  — 1:1 шароитда осон синтез қилиб олинади. Бу бирикма  $374^\circ C$  критик нуқтага қадар сув буғида тўйинган муҳитда, шунингдек, қизитилган буғда ҳосил қилинган. Н.В.Белов таъкидлашича, ксонотлит таркиби  $Ca_6(Si_6O_{17}) \cdot (OH)_2$  формуласига мос келади. Са катионларининг  $1/3$  қисми кислород октаэдрларида бўлади,  $2/3$  қисми тригонал призмаларда боғланган. Шуниси қизиққи, призмалар ўз қирралари билан Са дан иборат октаэдрларга туташади ва бу блок икки ксонотлит тасмаси оралиғида жойлашади. Баъзан тасмалар найча шаклида ўралиб, мустақкамлик ортади. Ксонотлит қарийб  $700^\circ C$  ҳароратда парчаланиб, волластонит ҳосил қилади. У амалда силикат гишт таркибида учрайди.

Фошагит —  $Ca_4(Si_3O_9) \cdot (OH)_2$ . Бу модда Тейлор фикрига асосан илк бор Флинт томонидан тегишли таркибли шишада  $300\text{--}350^\circ C$  да тўйинган буғ муҳитида синтез қилинган. Кейинчалик уни кўпгина тадқиқотчилар турли шароитларда хилма-хил асос хоссали материаллардан синтез қилиб олганлар. Фошагитта нинасимон ва толали кристаллар хосдир. У  $700^\circ C$  да парчаланиб, волластонит ҳосил қилади.

Гиллебрандит  $C_2SH$  шу тизимга доир адабиётларнинг кўпчилиги туфайли (бундан кейин гидросиликат белгиси Богт фикрига асосан ифодаланади). Кальций гидросиликатларнинг турли тадқиқотчилар ишлатадиган белгилари гоят хилма-хил бўлиб, бу белгилар кўпинча юқори босимли буғ таъсирида олинган маҳсулотларда бир-бирига тўғри келмайди. Богт, бошқа муаллифлардан фарқли равишда, куйидаги 24-жадвалда келтирилган тизимли номенклатурани тавсия этди.

Гиллебрандит — табиий минерал бўлиб, унинг хоссалари яхши ўрганилган. У тегишли таркибдаги оҳак ва қумтупроқ аралашмасидан  $150\text{--}250^\circ C$  ҳароратда тўйинган сув буғида ишлов берилиб, синтез қилинади. Гиллебрандит  $520\text{--}540^\circ C$  да дегидратланади. Унинг Н.В.Белов ва Х.С.Мамедов белгилаган таркибий тузилиш формуласиқуйидагича:  $Ca_{12}(Si_6O_{17}) \cdot (OH)_4 \cdot 12Ca(OH)_2$ . Гиллебрандит СО таъсирида парчаланиб,  $CaCO_3$

Турли муаллифлар томонидан гидросиликатларнинг номланиши

Таркиби	Таклиф этилган номлар			
	Торвальдсон	Бэссе	Тейлор, Тейлор ва Бэссе	Богт
$C_2SH_{0,9-1,25}$	$C_2S$ -гидрат I	$C_2S\alpha$ -гидрат	$C_2S\alpha$ -гидрат	$C_2SH(A)$
$C_2SH_{1,1-1,5}$	$C_2S$ -гидрат II	$C_2S\beta$ -гидрат	$C_2S\beta$ -гидрат	$C_2SH(B)$
$C_2SH_{0,3-1}$	$C_2S$ -гидрат III	$C_2S\gamma$ -гидрат	$C_2S\gamma$ -гидрат	$C_2SH(C)$
$C_2SH_{0,67}$	—	—	$C_2S\sigma$ -гидрат	$C_2SH(D)$
$C_2SH_{2,4}$	—	—	$C_2SH(II)$	$C_2SH_2$
$CSH_{1,1}$	—	—	флинт $CSH$	$CSH(A)$
$C_{1,1,5}SH_{1,2,5}$	—	—	$CSH(I)$	$CSH(B)$

ва аморф  $SiO_2$  ҳосил бўлади. Бу ҳодиса сунъий вужудга келган  $C_2SH$ нинг барчасида кузатилади, унинг қуйидаги шакллари мавжуд:

$C_2SH(A)$  — табиатда маълум эмас, механик мустаҳкамлиги паст, чунки у битишиб кетиши қийин бўлган пластинкалар ҳосил қилади;

$C_2SH(B)$  — сунъий гиллебрандит;

$C_2SH(C)$  — табиатда маълум эмас, гидратация ҳодисасида вужудга келади:

$$\beta \text{ ва } \gamma = C_2S, R_{\text{СИК}} = 1,4 - 2,0 \text{ МПа}, R_{\text{ЭПА}} = 2,4 - 2,8 \text{ МПа},$$

$R_{\text{ЭПА}} > R_{\text{СИК}}$ , бу ҳол унинг таркибий тузилиши толали эканини кўрсатади.

Соф маҳсулотларни тадқиқ қилишда эришилган натижалар оддий хом ашёдан олинган кўрсаткичларга доим мос келавермайди. Масалан, таркибида 80%  $C_2S$  бўлган нефелин шлами автоклав ишлови натижасида  $C_2SH(C)$  ҳосил қилади ва буг босими 0,8—1,2 МПа бўлганда  $R_{\text{СИК}} = 15,0—40,0$  МПа, юқори-роқ босимда эса яна ҳам катгароқ бўлади. Сочилма домна тошқоли  $\gamma = C_2S$  дан иборат, бироқ  $R_{\text{СИК}} = 10,0—30,0$  МПа. Шундай қилиб, техникавий тизимларда  $C_2SH(C)$  ҳосил бўлиши табиий гиллебрандитга нисбатан бошқача, кўпинча яхшироқ натижалар бериши мумкин.

Тоберморитлар гуруҳи. Бу гуруҳга одатда ишлаб чиқариш

шароитида портландцемент гидратланиш ҳосил бўладиган барча кальций гидросиликатлар киради. Шунингдек, маъмур гуруҳ тахминан  $C_5S_6H_n$  таркибли кристалл ва аморф гидросиликатларнинг бир қанча фазаларини ўз ичига олади. Табиатда  $C_5SH_3$  — риверсайдит,  $C_5S_6H_{5,5}$  — тоберморит,  $C_5S_6H_{10,5}$  — плombeиерит учрайди.

Тоберморитларнинг барчаси OH гуруҳига мансуб бўлиб, ҳар хил миқдорда  $H_2O$  га эга. Таркибий тузилишига кўра, улар монтоморилмонит гилларини ва вермикулитни эслатади. Сув турли ораликдаги қатламлар ўртасида бўлади. Битта  $SiO_2$  молекуласига  $2H_2O-H_2O-0,5H_2O$  тўғри келади. Бу жуда мураккаб гуруҳ бўлиб, унинг таркиби ҳам аниқ эмас. Масалан, Г. Калозек CSH(B) учун тўртта алоҳида фаза бўлишини кўрсатади. Улар  $800^\circ C$  ва  $900^\circ C$  даги экзоэффекти билан фарқланиб туради, бошқа барча хоссалари эса бир хил. Бу модданинг табиий хилида қатламлар ўртасидаги масофалар ўзаро фарқланади: плombeиеритда қатламлараро масофа 14 Å га, тоберморитда 11,3 Å, риверсайдитда 9,35 Å га барабар. Сувсизлантирилганда тоберморит 9,35 Å га тенгдир. Сувсизлантирилган тоберморитлар  $550^\circ C$  га қадар ўз турини сақлаб қолади, ҳарорат кўтарила борган сари янги турлар ҳосил бўлаверади.

Таркиби  $CaO \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$  дан  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O$  гача бўлган гидратни Тейлор I кальций гидросиликат ёки қисқача CSH(I) деб атади. Кейинчалик Богт уни CSH(B) деб белгилади, эндиликда шу нарса аниқландики, бу бирикма таркибининг чегаралари  $CaO:SiO_2$  нинг энг қуйи даражаси 0,8 га тенг нисбатга қадар етиши мумкин. Оҳаги кам бўлган қаттиқ фазалар бу бирикманинг қуюқлашган қумтупроқ билан аралашмасидан иборат.

Юқори асосли гидрат  $2CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$  нинг мавжудлиги кўпгина тадқиқотчилар томонидан исботланган бўлиб, кальций гидросиликат II ёки қисқача  $C_2SH(II)$  номини олган. Кейинчалик Богт уни  $C_2SH_2$  деб атади. Тейлор бу бирикмани оҳак ва силикагелдан чўктириш йўли билан эмас, балки  $C_3S$  ни ( $17^\circ C$  ҳароратда) гидратлаш йўли билан олишга муваффақ бўлди. Бироқ Торопов ва бошқа тадқиқотчиларнинг маълумотларига кўра, уни  $180^\circ C$  да гидратланган аморф қумтупроққа кальций глицерат билан ишлов бериш ва эритмага кейин ортиқча сув қўшиш йўли билан тайёрлаш мумкин. Амалий жиҳатдан соф чўктирилган  $C_2SH_2$  Тейлорнинг  $C_2SH(II)$  рентгенограммасига мос келадиган аниқ рентгенограммани аморф кукун тарзида олинди.

0,05 г/л дан тўйингунча бўлган миқдордаги оҳак концентрациясида таркиби  $\text{CaO}_{0,8-1,5} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}_{2,5-1}$  оралигида ўзгариб турадиган кальций гидросиликат I ҳосил бўлади. Тўйинган оҳакли эритма шароитида эса  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}_{4,2}$  таркибли кальций гидросиликат II мавжуд бўлиши мумкин. Ана шу иккала гидрат, гарчи рентгенограммалари бир-биридан анча фарқ қилса ҳам, кристалл структураларига кўра бир-бирига жуда ўхшаш. Мазкур гуруҳларнинг ҳар бири ўз доирасида Ca/Si нинг нисбати, сув миқдори, баъзан текисликлараро масофалар, кристалланиш даражаси анчагина фарқланиши мумкин. C—S—H(I) электрон микроскоп остида деформацияланган фольга сифатида кўринади, одатда, у  $100^\circ\text{C}$  дан паст ҳароратда осонлик билан ҳосил бўлади. Ca/Si нисбат  $400\text{—}600^\circ\text{C}$  да  $0,8\text{—}1,33$ , баъзан эса  $1,5$  молекула сув йўқотади.

C—S—H(II) электрон микроскоп остида нотўғри пластинка ёки фольга тарзида (буралган найчасимон, бурамали ёки толасимон структурали) кўринади.  $100^\circ\text{C}$  ва ундан паст ҳароратда ёки  $100\text{—}200^\circ\text{C}$  да автоклав ишлови беришда синтез қилинади.

Тоберморит ўз таркибидаги сувни аста-секин йўқотиб боради: унда  $120^\circ\text{C}$  да қарийб 1 моль,  $300^\circ\text{C}$  да  $0,5$  моль сув бўлади,  $600\text{—}700^\circ\text{C}$  да эса сув бутунлай йўқотилади. Тоберморитлар автоклав ишлови натижасида сунъий тош ҳосил қилиши муҳим аҳамият касб этади. Бу кальций гидросиликатларнинг энг мураккаб ва энг кам ўрганилган гуруҳидир.

Гиролит гуруҳи гиролит  $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{2,5}$ , трускоттит  $\text{C}_2\text{S}_2\text{H}$  ва Z—Ассарсон фазасини ўз ичига олади. Бу юқори даражада бириккан жуда кўп  $\text{SiO}_2$  листлари бор, деб тахмин қилишга имкон беради. Энг катта базал текисликлараро масофа  $32 \text{ \AA}$ , трускоттитда эса  $19 \text{ \AA}$  га тенг. Гиролит  $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{2,5}$  табиатда эркин ҳолда учрайди, барқарор, оҳак ва аморф кумтупроқ суспензиясида, хамир тарзида оҳак ва кварцдан сунъий равишда ҳосил қилинган.  $450^\circ\text{C}$  гача парчаланмай, шу маррага етганда  $9\%$ ,  $550\text{—}800^\circ\text{C}$  да эса  $3\%$  сув йўқотади.  $700\text{—}750^\circ\text{C}$  да гиролит  $\text{C}_2\text{S}_3\text{H}_{2,5}$  — волластонитга айланади.

$120\text{—}240^\circ\text{C}$  ҳароратда  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ га аморф  $\text{SiO}_2$  билан ишлов берилганда, сунъий гиролит ҳосил бўлади, бунда дастлаб тоберморит вужудга келиб, сўнгра у гиролитга айланади. Тўйинган буг муҳитида  $200\text{—}220^\circ\text{C}$  да гиролит ксонотлит ҳамда кумтупроққа нисбатан барқарор эмас.

Трускоттит  $200\text{—}300^\circ\text{C}$  да шиша ҳамда оҳак ва кумтупроқ

аралашмасидан сунъий равишда ҳосил қилинади. Табиатда камдан-кам учрайдиган бу модда таркиби аниқ белгиланмаган. 700°C га қадар қиздирилганда, ўз таркибидаги сувни йўқотади.

Z — фаза. Функ ва Тило 1955 йили янги иккита бирикмани тавсифлаб беришди. Уларнинг фикрича, бу бирикмалар таркиби  $C_2S_2H_3$  ва  $CS_2H_2$ .  $C_2S_2H_3$  эритмадан олинган аморф моддага мос келади; иккинчиси —  $CS_2H_2$  150°C ҳароратда автоклав ишловига мувофиқ; Ассарсон Z фазани оҳак-қумтупроқ аралашмасига 180—240°C да автоклав ишлови бериш воситасида олганлигидан келиб чиқиб, баъзан у *Ассарсон фазаси* деб ҳам юритилади.

$\gamma = C_2S$  структурасига кўра, бир-бирига яқин гидросиликатларга кальций хондродит ҳамда  $\gamma =$  гидрат  $C_2S$  киради. Кальций хондродит  $C_5S_2H$  табиатда маълум эмас. Илк бор Рой синтез қилган бу модданинг элементлар катаги  $Mg^{2+}$  ва  $Fe^{2+}$  га эга табиий, хондродит минералиникига ўхшаш. У 400—800°C да 30 МПа босим остида сув буғи муҳитида синтез қилинади. Кенг ҳарорат оралиғида барқарор, ташқи кўринишидан оливин кристалларига ўхшаб кетади. Ҳавода 650—750°C да парчаланиб,  $\gamma = C_2S$  ҳосил қилади. 160—300°C да тўйинган буғда ҳосил бўладиган  $\gamma =$  гидрат  $C_2S$  яхши кристалланмайди, у  $CaO/SiO_2$  нинг ўзгарувчан нисбатига ва сувга эга деб тахмин қилинади. Гидратланган  $\gamma = C_2S$  120°C да узоқ ишлов бериш таъсирида тоберморитга айланади.

Бошқа кальций гидросиликатлар. Илк бор 1956 йилда тавсифланган афвиллит  $C_3S_2H_3$  нинг турлари, параметри маълум. Структура формуласи —  $Ca_32H_2O[SiO_3(OH)]_2$ . Афвиллит  $SiO_2$  ҳамда  $CaO$  аралашмасидан синтез қилиб олинади: паст ҳароратда ҳосил бўлади, 240°C га қадар қиздирилганда, ўз таркибидаги сувни йўқотади. Атомларнинг қайта гуруҳланишига мувофиқ келадиган экзоэффектга (820°C) эга. Ҳарорат 320°C га етганда, рентгенограммалар янги фазани кўрсатади, у х фаза тарзида белгиланиб, ҳар қайси муаллиф уни турлича изоҳлайди.  $C_2S$  гидрат табиатда маълум эмас. Лекин у 140—180°C да автоклав ишловида осонгина ҳосил бўлади.

V—фаза. Табиатда топилмаган ( $C_6S_3H$ ), синтез йўли билан яратилган. У  $C_2S$  нинг барча хилларидан, шунингдек, 350—800°C ҳароратда ва 30—200 МПа босимда оҳак билан қумтупроқ аралашмасидан осонгина олинади, 640—700°C да йўналишсиз  $C_2S$  га айланади.

Уч кальцийли гидросиликат —  $C_6S_6H_3$  табиий шароитда учрамаган. У  $200\text{—}350^\circ\text{C}$  да тўйинган буг муҳитида  $C_2S$  ёки  $C/S=3$  аралашмаларидан сунъий равишда олинган. Бироқ уни соф ҳолда олиш жуда қийин, одатда  $C_2S$  ва кальцийли хондродит аралашмалари ҳолида олинади.  $180^\circ\text{C}$  дан паст ҳароратда гидрат  $C_2S$  ва  $Ca(OH)_2$  ҳосил бўлади. Такрорланувчи масофаси 7,48 А, яъни волластонитникига яқин,  $420\text{—}520^\circ\text{C}$  да дегидратланади.

### 15. Кальций гидросиликатларнинг ҳосил бўлиш шароитлари ва барқарорлиги

$CaO\text{—}SiO_2\text{—}H_2O$  тизими жуда мураккаб, у автоклавда ҳарорат ва босимнинг ўзгариши вақтида вужудга келадиган ва метастабил барқарор бўлмаган йўқолувчи кўплаб фазаларга эга. Масалан, яқин вақтларгача икки кальций гидросиликат портландцемент гидратланишнинг асосий маҳсулоти ҳисобланар эди. Эндиликда эса бундай шароитларда  $C_3S_2H_3$  ҳосил бўлиши исботланди.

Тадқиқотлар шуни кўрсатадики,  $CaO\text{—}SiO_2\text{—}H_2O$  тизимида автоклав маҳсулотлари ишлаб чиқаришнинг реал шароитларида мувозанат ҳолатга амалий жиҳатдан эришиб бўлмайди. Автоклав материалларнинг цементловчи моддаси стабил ва метастабил кальций гидросиликатлар тарзида бўлади. Турли асослардаги оҳак-кумтупроқ аралашмалари устида кенг ҳарорат оралигида ўтказилган тажрибалар шуни кўрсатадики, гидротермал ишлов жараёнидаги фаза ўзгаришлари тош мустаҳкамлигининг вақти-вақти билан кескин ўзгаришига олиб келади.

Кальций гидросиликатлар синтези оҳакнинг тўлиқ боғланиши билан, кейинчалик унинг илгари ҳосил бўлган метастабил фазалар кристал турларининг қайта тузилиши сабабли қисман ажралиши билан бирга кечади. Бироқ эркин оҳак ва маҳсулот мустаҳкамлиги ўртасида ҳеч қандай боғлиқлик кузатилмаган. Ҳарорат кўтарилган сари мустаҳкамлик ҳолати яна ҳам асосли гидросиликатларга ўтаверади, айтилиши вақтда гидросиликатларнинг асослиги бошланғич маҳсулотлар таркибига боғлиқ бўлади: бу асослилик қанчалик юқори бўлса, автоклавда ҳам янада юқорироқ асосли гидросиликатлар ҳосил бўлади. П.И.Боженов, бир қанча ишларни таҳлил қиларкан, автоклав материаллар технологияси учун амалий аҳамиятга эга айрим хулосалар чиқарди:

1. Оҳак ҳамда кварцнинг  $C/S = 2$  ва ундан юқори аралашмалари учун  $175\text{—}200^\circ\text{C}$  ҳароратда, албатта аралашма таркибида  $C_2SH(B)$  билан бирга  $C_2SH(A)$  ҳам ҳосил бўлади. Барча ҳароратларда кальцийнинг бу икки гидросиликатлар аралашмаси қайд этилади. Агар аралашма оҳак ҳамда аморф  $SiO_2$  дан тайёрланган бўлса, фақат  $C_2SH(B)$  ҳосил бўлади.  $C_2S$  га автоклав ишлови берилса,  $200\text{—}225^\circ\text{C}$  да ҳосил бўлган икки кальций гидросиликат таркибини белгилаш мумкин. Ҳароратнинг аста-секин ўзгариши  $175\text{—}200^\circ\text{C}$  да (автоклагдаги босим  $0,9\text{—}1,2$  МПа)  $C/S = 2$  ва ундан ортиқ нисбатдаги аралашма тайёрлашда фойдаланилган дастлабки маҳсулотларнинг таркибий тузилишига боғлиқ равишда хилма-хил гидросиликатларнинг ҳосил бўлишига олиб келади.

2. Z фаза  $130\text{—}150^\circ\text{C}$  да  $C/S < 1$  таркибли аралашмада барқарор ҳисобланади. Ҳароратлар фарқи жуда кам, бу эса ҳосил бўлиш шароитлари чекланганлигига далилдир.

3. Тоберморит  $120\text{—}140^\circ\text{C}$  да  $C/S$  нинг нисбати  $1:1$  дан  $5:4$  гача бўлган аралашмалардан ҳосил бўлиши мумкин.

4. Икки кальций гидросиликатлар барқарор бўлмаган  $100^\circ\text{C}$  дан паст ҳароратда  $C_2SH_2$  анча барқарор бирикмаларга, яъни  $CSH(B)$  ва  $Ca(OH)_2$  га айланади.

5.  $C_3S$  ва  $C_2S$  моддалар гидратланганда  $C_2SH_2$  ҳосил бўлади, бу аралашма таркибида фақат  $Ca(OH)_2$  нинг миқдори кўп бўлганда ва паст ҳароратларда барқарордир. Таркибида  $C_2S$  бўлган, фаоллиги паст боғловчи моддаларнинг нормал қотишида  $Ca(OH)_2$  нинг қўшилиши шу билан изоҳланади.

6.  $C_3S$  кенг ҳароратлар оралиғида:  $20^\circ\text{C}$  дан  $280\text{—}300^\circ\text{C}$  гача дарҳол икки кальций гидросиликатларга айланиб,  $Ca(OH)_2$  ажралиб чиқади. Бунда бошланғич маҳсулот  $C_3S$  бирикмасидан таркиб топган бўлиши шарт эмас, аралашма таркибида  $CaO:SiO_2 = 3:1$  бўлса кифоя. Иссиқлик  $210\text{—}280^\circ\text{C}$  бўлганда  $C_3SH$  барқарор туради, ҳарорат пасайгани сайин у парчалашиб,  $Ca(OH)_2$  ажралиб чиқади.

7. Бир кальций гидросиликатлар энг барқарордир. Улар  $C/S$  таркибида  $2/3$  дан  $3/1$  миқдорда жуда кенг —  $20\text{—}350^\circ\text{C}$  ҳароратлар оралиғида бўлади.

8. Паст асосли аралашмаларда: гиролит, тоберморит, ксонотлит ва айниқса,  $CSH(B)$  да алоҳида фазалар устун келади. Дастлабки аралашмада  $CaO$  миқдори ортиб бориши билан турли гидросиликатлар аралашмасининг ҳосил бўлиши кузатилади ва барқарорликни таъминловчи ҳароратлар оралиғи камаяди.

Барқарор бирикмаларнинг ҳосил бўлиши эркин энергия ажралиши билан боғлиқ. Кимёвий энергия захираси қанчалик кам бўлса, кимёвий бирикма шунчалик барқарор бўлади. Юқорида зикр этилганлардан кўриниб турибдики, кальций гидросиликатлар барқарорлигига уларнинг аралашма таркиби ва ҳарорат шароитлари таъсир кўрсатади. Кейинги йилларда Санкт-Петербург қурилиш материаллари муҳандислари институтининг қурилиш материаллари кафедрасида П.И.Боженов раҳбарлигида ўтказилган тажрибалар натижасида магний-гидросиликатлар асосида ҳам сунъий тош олиш мумкинлиги исботланди.

## 16. Портландцементнинг қотиши

Майдаланган, қўшилмаларсиз клинкерли цемент сувда қорилганда, вақт ўтиши билан мустаҳкамлана бориб, тошсимон ҳолга ўтадиган цемент-тошга айланувчи пластик хамир ҳосил бўлади. Анорганик боғловчи моддалар қотиши тўғрисида академик А.А.Байков ва унинг мактаби ишлаб чиққан классик назарияга кўра, бу жараён уч босқичга бўлинади. Босқичлар давомида клинкер кукуни сув билан қориштирилгандан кейин мустаҳкам тошсимон материалга айланади.

**Эриш босқичи.** Цемент клинкерининг минераллари сувда маълум даражада эрийди. Цемент доналари сувга тушганда, минералларнинг юза қатламлари эритмага ўтиб, бу доналарнинг чуқурроқ қатламлари очилиб қолади. Эритма дастлабки модда — клинкер минераллари билан тўйинмагунча эриш жараёни давом этаверади.

Эритмада клинкер минераллари сув билан кимёвий бирика бошлайди. Одатдаги шароитларда клинкер минералларининг сув билан ўзаро таъсир этишув реакциялари — баъзи минераллар ( $C_2S$  ва  $C_3A$ ) учун гидратланиш, бошқалари ( $C_3S$  ва  $C_4AF$ ) учун гидролиз реакциялари бўлиб ўтади. Бу реакциялар жараёни ҳақида юқорида батафсил маълумот берилди.

**Коллоидланиш босқичи.** Клинкер минераллари ва уларнинг ҳосилалари сувда турлича тезликда эрийди. Сувда, айниқса, яхши эрийдиган кальций гидроксид уч кальций силикат гидролизланган заҳоти оҳакка тўйинган эритма ҳосил қилади. Кальций гидросиликатлар, гидроалюминатлар, гидроферритлар дистилланган сувда бир оз эриб, оҳакка тўйинган эритмада мут-

лақо эримајди. Шу сабабдан клинкер минералларининг сув билан ўзаро таъсир этишувчи маҳсулотлари — кальций гидросиликатлар, гидроалюминатлар ва гидроферритлар  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  сингари эритмага ўтмайди ва дарҳол коллоид эритмалар ҳосил қилиб, майда-майда қаттиқ заррачалар ҳолида ажралиб чиқа бошлайди.

$\text{C}_3\text{S}$  яна гидролизланиши туфайли ҳосил бўладиган кальций гидрат оксидининг янги улушлари оҳақка тўйинган эритмада энди эрий олмайди ва  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ҳам жуда майда коллоид заррачалар кўринишида ажралиб чиқади. Ҳосил бўлган коллоид массалар қовушоқ ва ёпишқоқ бўлади. Шу сабабли цемент хамири пластик ва боғловчилик хоссаларини касб этади. Унинг бундай ҳолати бетонбоп қоришма учун жуда муҳим аҳамиятта эга: пластик цемент хамири тўлдиргичларнинг доналарини ўраб олиш билан улар орасидаги ишқаланишни камайтиради, натижада бетонбоп қоришма ёйилувчан ва яхши жойлашувчан бўлиб қолади. Цемент хамирнинг қовушоқлиги бетонбоп қоришманинг айрим-айрим таркибий моддалари бўлган шағал, қум ва цемент алоҳида ажралиб қатламлана бошлаганига тўсқинлик қилади. Бироқ цемент хамирида нисбатан қисқа вақт ичида ва фақат цемент қорилгандан кейинги дастлабки пайтда, яъни коллоид массаларнинг анчагинаси сувга аралашиб, каогуляцияланганда шундай ҳол юз беради.

Клинкер минералларининг янги улушлари сув билан ўзаро таъсир этишувини давом қилдиради. Натижада кўп миқдордаги сув кимёвий бирикма-гидратлар ҳосил қилади. Таркибидаги эркин сув миқдори камайиши туфайли айрим коллоид заррачалари бир-бирига яқинлашиб, йириклашиб ва ўзаро елимланиб қолган цемент хамирининг пластиклик ва боғловчилик хоссалари йўқолади. Умуман олганда, тўлдиргичлар қўшиб қорилган цемент хамиридан пластик бетонбоп қоришма ва мустаҳкам бетон ҳосил бўлади.

Цемент хамирининг пластиклик хоссаларини йўқотишига ва оз бўлса ҳам мустаҳкамланишига ёрдам берадиган қотиш босқичини П.А. Ребендер *каогуляцион таркибий тузилишининг ҳосил бўлиш даври* деб атади. Цемент хамирининг шу даврдаги мустаҳкамлигини тишлашиш мустаҳкамлиги дейиш мумкин. Даражасига қараб, цемент хамири тишлашувининг шартли равишда бошланиш ва тугалланиш босқичлари бўлади.

Кристалланиш босқичи. Портландцемент клинкерининг навбатдаги ва охириги қотиш даври ҳисобланган бу босқичда

коллоид массалардан бир-бирига чирмашган кристаллар ҳосил бўлади. Натижада кристалл наMAT ёки кристалл тўр вужудга келади.

Цемент клинкери минералларининг янги коллоид хоссалари бир хилда кристалланмайди. Биринчи навбатда, кальций гидроалюминатлардан ва қисман кальций гидроксиддан кристалл тўрлар ҳосил бўла бошлайди. Кальций гидросиликатлар эса анча вақтгача коллоид ҳолида туради. Шунинг учун цементнинг дастлабки қотиш давридаги мустаҳкамлиги кальций гидроалюминатлар, шунингдек,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  кристалларидан ҳосил бўладиган кристалл тўрининг мустаҳкамлигига боғлиқ бўлади. Бироқ цемент-тош шундан кейин асосан гидросиликатлар ҳисобига мустаҳкамлана боради. Гидросиликатлар аста-секин зичланиб кристалланади. Зичланган коллоид массалар ва гидросиликатнинг кристалл ҳосилалари гидроалюминатлар ва  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нинг кристалл тўрларига қараганда анча мустаҳкам бўлади. Асосан  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  билан ўзаро фаол таъсир этишадиган аморф қумтупроқ  $\text{SiO}_2$  дан ташкил топган гидравлик қўшилмалар портландцементнинг чучук сувга барқарорлигини оширади. Бунинг сабаби шундаки,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  билан ўзаро реакцияга киришганда нисбатан яхши эрийдиган оҳак қумтупроқ билан амалда эрмайдиган кальций гидросиликат  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ҳосил қилади.

Шундай қилиб, портландцемент таркибида гидравлик қўшилмалар (ва гипс) бўлганда, иккиламчи жараён рўй беради: клинкер минераллари билан сув ўртасидаги реакцияларнинг маҳсулотлари ва қўшилмалари кимёвий ўзаро таъсир этишади. Натижада портландцементнинг тишлашиш муддати узаяди ва сувга барқарорлиги ортади. Портландцементнинг тишлашиш муддатлари бир қатор омиларга, яъни цемент хамирининг ҳароратига, қоришмага солинадиган сув миқдорига, клинкернинг минералогик таркиби, цементнинг майдалаб туйилганлигига (25-жадвал), гипс ва қўшилмалар миқдорига асосланади.

Цементда тишлашишнинг бошланиш ва тугалланиш муддатлари белгиланган. Цемент хамирининг ҳаракатчанлиги йўқолган дастлабки давр цементнинг тишлашуви бошланганлигини, унинг тошдек қаттиқ ҳолга келгани эса, тишлашиб бўлганлигини билдиради. Стандартда кўрсатилган талабларга мувофиқ, портландцемент 45 минутдан кейин тишлаша бошлаши ва камида 12 соатда тишлашиб бўлиши лозим. Янги

## Цемент солиштира сиртининг тишлашиш мўддатларига таъсири

Цементнинг солиштира сирти, м <sup>2</sup> /кг	Тишлашиш мўддатлари, соат ва минут	
	Бошланиши	Охири
225	2—45	—
440	2—30	5—35
625	2—10	5—10

тайёрланган бетон қоришмани цемент тишлаша бошлашидан аввал ишлатилиши керак, бу қоидага амал қилинмаса, бетоннинг мустақкамлиги пасайиб кетади. Шунинг учун қурувчилар ўзлари ишлатаётган цементнинг тишлашиш мўддатларини яхши билишлари жуда муҳимдир. Ҳарорат ортиб бориши билан цементнинг тишлашиш мўддати тезлашади ва, аксинча, иссиқлик пасайиши билан бу жараён секинлашади. Сув керакли миқдордан ортиқ қўшилса ҳам, цементнинг тишлашуви секинлашади.

Клинкер минералогик таркибининг ва солиштира сирт миқдорининг тишлашиш мўддатларига таъсири клинкер минералларининг гидратланиш тезлиги билан белгиланади. Цемент хамирининг тишлашувида  $C_3A$  етакчи аҳамиятга эга, уч кальций алюминат қандай тезликда тишлашса, гипс қўшилмаган майдаланган портландцемент клинкери ҳам тахминан шундай тезликда тишлаша бошлайди.

Демак, портландцемент таркибида кальций алюминатлар кўп бўлса, бу унинг тишлашиш мўддатини қисқартиради ёки зарур мўддатларда тишлашадиган цементни олиш учун қанча гипс қўшиш лозимлигини аниқлаб беради.

Цементнинг сув билан реакцияга киришувида иссиқлик ажралиши. Клинкер минералларининг сув билан таъсир этишиш жараёнлари экзотермик, яъни иссиқлик ажраладиган жараёндир.

С.Д.Окороков фикрича, клинкер минераллари турли қотиш мўддатларида қуйидаги кўрсаткичлар билан тавсифланади (26-жадвал).

Вербек ва Фостер маълумотларига кўра,  $C_3S$  ва  $\beta = C_2S$  нинг иссиқлик ажратиш кўрсаткичи жадалда келтирилган қийматлардан, айниқса, 3 ва 7 суткадаги қийматлардан 1,5—2 марта кам;  $C_3A$  ва  $C_4AF$  минераллариники эса кўпдир.

Тоза клинкер минералларининг гидратланиш иссиқлиги, (Ж/кг)

Минераллар	Қотиш муддатлари, сутка					Тўла гидратланиш	
	3	7	28	90	180	Окороков назарида	Лерч ва Богт назарида
$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	405	460	485	520	565	670	502
$\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	63	105	167	197	230	352	260
$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	590	660	875	930	1020	1070	865
$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	176	250	380	415	—	570	418

Цементдан қанча иссиқлик ажралиб чиқиши унинг нечоғлиқ майда туйилганлигига ва минералогик таркибига, унда минерал қўшилмалар бор-йўқлигига боғлиқ. Бундай қўшилмалар цементдаги клинкернинг таркибий минераллари миқдорини камайтиради ва бу билан унинг экзотермиклигини пасайтиради.

25-жадвалдан кўриниб турибдики, энг кўп гидратланиш иссиқлиги  $\text{C}_3\text{A}$  (қарийб 1050 кал/г) билан  $\text{C}_3\text{S}$  (тахминан 540 кал/г) да бўлади. Икки кальций силикат тегишли суратда 3 ва 2 марта кам иссиқлик чиқаради. Шуни айтиш керакки, бетон конструкциясининг ҳарорати фақат гидратланиш иссиқлигига боғлиқ бўлмай, шу билан бирга иссиқликнинг ажралиб чиқиш тезлигига ҳам боғлиқдир. Келтирилган жадвалдан аёнки,  $\text{C}_3\text{A}$  ва  $\text{C}_3\text{S}$  дан, айниқса, кўп иссиқлик ажралиб чиқади. Демак, яхлит бетон конструкциялари учун таркибида шу минераллар кўп бўлган портланцементларни ишлатиб бўлмайди. Чунки бу минераллар ажратган иссиқлик натижасида бетон конструкциялар ўз-ўзидан қизийди. Бу ҳолнинг ижобий ва салбий жиҳатлари бор. Масалан, қиш вақтида бетон қуйиладиганда цемент экзотермияси конструкциянинг тез музлашига йўл қўймай, қотиш жараёнига ижобий таъсир кўрсатади. Бироқ жуда кўп иссиқлик ажралиб чиқиши ҳам номақбул ҳодисадир, чунки цемент экзотермияси натижасида яхлит бетон конструкциялар ичидаги ҳарорат 50—60°C гача кўтарилиб, ҳатто ундан ҳам ошиб, ҳаво ҳарорати таъсиридаги ташқи ҳарорат билан катта фарқ келиб чиқади. Ҳар қандай тош минерал каби, бетон элемент ҳам ҳарорат ортишидан ҳажман катталашади-кенгаяди ва, аксинча, унинг пасайишидан тораяди-кич-

раяди. Бетоннинг ташқи анча совиган қатламлари сиқилишга интилганида, унинг қизиб кетган ички қатламлари бунга йўл қўймайди. Натижада бетоннинг сиртқи қатламлари чўзилган (зўриққан) ҳолатда қолиб, ёриқлар пайдо бўлади. Бунинг олдини олиш учун белит цемент ишлатилгани маъқул. Бироқ бундай цементларнинг мустаҳкамлиги анча пастдир.

Цемент қанчалик майда туйилган бўлса, ундан шунча кўп иссиқлик (айниқса, қотишнинг дастлабки вақтларида) ажралиб чиқади, чунки клинкер минералларининг гидратланиш жараёnlари тезлашади. Худди шунга ўхшаш цементнинг гидратланиш жараёнини жадаллаштирадиган ҳамма усуллар (кўшилмалар, яъни қотишни тезлашгиргичлар ишлатиш, ҳароратини ошириш ва бошқалар) иссиқлик ажралиб чиқиш тезлигини оширади ва, аксинча, гидратланишни секинлатувчи усуллар бу тезликни пасайтиради.

## 17. Цемент-тошдаги ҳажмий ўзгаришлар

Қотаётган цемент-тошда атроф-муҳит таъсирида ва бошқа бир қатор физик-кимёвий жараёнлар натижасида ҳажмий ўзгаришлар содир бўлиши мумкин. Бундай ўзгаришларнинг қуйидаги турлари маълум: цемент хаамири чўкади, цемент-сув тизимининг тортилиши рўй беради, ҳажмий кенгайиши, киришиши ва шишиши ҳамда ҳарорат таъсирида ҳажмий ўзгариши содир бўлади. Оғирлик кучидан цемент доналари сувга чўкиб, сув юқори сиқиб чиқарилади, аввалига бу доналарнинг йириклари, сўнгра майдалари тўпланиб қолади. Цемент аралашмаларининг *қатламланиши* деб аталадиган бу хоссаси бетон конструкциялари мустаҳкамлигига катта таъсир кўрсатади; цемент хаамири (бетонбоп қоришма) нинг юқориги серсув қатламлари қотанидан кейин унчалик мустаҳкам бўлмаган ғовак-цемент-тош (бетон) ҳосил бўлади. Бу қатламланиш натижасида тўлдиргич остига унчалик мустаҳкам бўлмаган ва энг ғовак цемент-тош қатлами жойлашади. Механик кучлар босимида бетон худди шу энг бўш жойидан бузилади. Бундан ташқари, бетон ғоваклари ва уларга сув кириб музлаб қолиши сабабли унинг совуққа ҳамда агрессив суюқликлар таъсирида коррозияланишга чидамлиги ҳам камаяди. Қатламланиш бетоннинг темир-бетондаги арматурага ёпишиш мустаҳкамлигини ҳам пасайтиради: арматура симлари устида ғовак цемент-тош ҳосил бўлиши мумкин. Қатламланиш жараёни кўп

давом этмайди, бироқ чуқишнинг нисбий миқдори анчага (2—3 % гача) етади.

Цемент аралашмаларининг қатламланиш (сувнинг ажралиб чиқиш) даражаси цементнинг сувни тутиб тура олиш хусусиятига ва цемент хамири (бетон) даги дастлабки сув миқдorigа боғлиқ. Цементнинг бу жиҳати эса, ўз навбатида, унинг қанчалик майда туйилганига ва таркибига боғлиқ. Дастлаб ишлатилган моддаларнинг мутлақ ҳажмлари йиғиндиси (цемент-сув) уларнинг ўзаро таъсир этишувчи маҳсулотлари мутлақ ҳажмлари йиғиндисидан катталиги сабабли тизим контракцияланади. Одатда, цемент-тош ташқи ўлчамларини ўзгартирмаган ҳолда сиқилади. Демак, контракция натижасида унда ғоваклар ҳосил бўлиши ва бетоннинг узоқ вақтта чидамлилиги ҳамда мустаҳкамлиги камаяди.

Цементнинг сув тутиб тура олиши ва контракция миқдори клинкернинг минералогик таркибига, майда туйилиши ва дастлабки қориш учун олинган сув миқдорига боғлиқ.

Цемент-тош ҳавода қотаётганда, одатда, ҳажман кичраяди, яъни киришади, сувда қотаётганда эса, бир оз кенгайди, яъни шишади. Ундаги киришиш (кичрайиш) ва шишиш (кенгайиш) бир ой давомида қотганда 0,5—0,6 % ни (яъни, 1 м. да 5—6 мм) ташкил қилиши мумкин. Оқибатда бетон цемент-тошга қараганда бетон бир неча баравар кам киришса ёки шишса, яхлит бетон конструкциялар дарз кетиши эҳтимол.

Қотишнинг дастлабки даврларида бир ойлик киришиш ва шишиш жараёнининг 60—70 % амалга ошади. Кўрсатилган давр мобайнида гидратланаётган цемент доналарининг намни тортиш ва буғланиш ҳисобига хамирнинг, айниқса, тез сувсизланиши бунга сабаб бўлади. Натижада заррачаларнинг бир-бирига яқинлашуви ва цемент-тошнинг киришуви юз беради. Вақт ўтиши билан чуқиш ва шишиш деформациялари тўхтайтиди, бироқ атроф-муҳитнинг намлиги ўзгарган заҳоти бу жараён яна давом этиши мумкин.

Цемент-тош тартибсиз жойлашган жуда кўп майда капиллярлардан иборат жинсдир. Атроф-муҳит намлигига қараб, улар сувга тўлган ёки тўлмаган бўлишига кўра цемент-тошда киришиш ёки шишиш томонга ҳажмий ўзгаришлар юз бериб туради. У кимёвий реакциялар натижасида ҳам ҳажман кенгайиши мумкин. Мисол учун, клинкер таркибидаги эркин оҳак ва магний оксиднинг сўниши, шунингдек, уч кальций алюминат билан гипснинг ўзаро таъсир этишуви ҳамда кимёвий реакцияларда ажралиб чиққан иссиқлик натижасида жисмда деформациялар, яъни ҳажмий кенгайиш содир бўлиши эҳтимол.

## 18. Портландцементнинг мустаҳкамлиги

Портландцементнинг пишиқлиги синов намуналарининг сиқилишдаги, ҳавода эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси билан ифодаланади ва шу кўрсаткичларга кўра маркланади. Маркалар 4x4x16 см ўлчамли намуна-таёқчаларнинг эгилишдаги ҳамда ярим таёқчаларнинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасига қараб белгиланади. Бу намуналар оғирлик бўйича 1:3 нисбатда тайёрланган пластик цемент қоришмасидан ясаиб, 28 кун мобайнида қотирилгандан кейин синаб кўрилади.

Намунанинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегараси *цементнинг фаоллиги* деб аталиб, марка белгилашда шу кўрсаткич асос бўлиб хизмат қилади. Масалан, цементнинг фаоллиги 54,6 МПа бўлса, маркаси 500 қилиб белгиланади. Маҳсулотнинг мустаҳкамлигидан мумкин қадар тўлиқ фойдаланиш учун унинг фаоллигини ҳисобга олиш керак бўлади. Портландцемент учун 300, 400, 500, ва 600 маркалар белгиланган.

Портландцементнинг қотишдаги мустаҳкамлиги вақтга нисбатан бир текис ортмайди: ундан тайёрланган бетон дастлабки 3 кун давомида шу марка учун белгиланган 28 кунлик мустаҳкамликнинг ярмига етади, қолган ярми эса 25 кундан кейин таъминлади. Бироқ портландцемент асосида тайёрланган бетоннинг шу муддатдаги мустаҳкамлик кўрсаткичи бошқа гидравлик боғловчи моддалардан тайёрланган бетонларники каби охирги натижа эмас — бу ўрта ҳисобда максимал мустаҳкамликнинг 50 % га тўғри келади. Қулай шароитларда йиллаб давом этадиган мустаҳкамланиш шу маркага хос мустаҳкамликдан баъзида бир неча марта ортиқ бўлиши мумкин!

Портландцемент асосида тайёрланган намуналарнинг эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси сиқилишдаги чегарага нисбатан анча пастдир. Бугунги куннинг муҳим вазифаларидан бўлган бу масалани ҳал қилишда бир неча йўл равшанлашмоқда. Эгилишдаги мустаҳкамлик, айниқса, катта аҳамиятга эга конструкциялар (масалан, йўлга қопланадиган, суюқ маҳсулотлар сақланадиган йирик идишлар ва босим остида суюқликларни қувурлар орқали ташиш ва ҳоказо соҳалар) учун бетон тайёрлашда ҳисобга олинади !

Цемент-тош мустаҳкамлигининг тадрижий ўсиши, айниқса, клинкернинг минералогик таркибига боғлиқ (27, 28, 29-жадваллар). Уч кальций силикатнинг охирги мустаҳкамлиги ҳам,

Вақт ўтиши билан минералларнинг (нормал куюқликдаги цемент хамиридан ясалган ва нам шaroитда қотган  $1,14 \times 1,41 \times 1,41$  см ўлчамдаги кубларнинг) сиқилишга мустақамлик чегараси,  $\text{H}/\text{м}^2 \cdot 10^5$

Минерал	1 сутка	3 сутка	7 сутка	28 сутка	3 ой	6 ой	1 йил	3 йил	5 йил	10 йил	15 йил
$\text{C}_2\text{S}$	—	12	29	137	637	784	918	902	911	931	1009
$\text{C}_3\text{S}$	134	294	367	441	612	784	833	839	784	647	689

Қолиш вақти ва гипс кўшмажасининг нам шaroитда қотган минераллар сиқилиш мустақамлиги чегарасига тўғри

Минераллар	Сув миқдори, %	Гипс кўшмажасининг миқдори, %	Сиқилишга мустақамлик чегараси, $\text{H}/\text{м}^2 \cdot 10^5$												
			1 сутка	3 сутка	7 сутка	28 сутка	3 ой	6 ой	2 йил	5 йил	8 йил	15 йил			
$\text{C}_3\text{A}$	67,5	0	20	5,8	5,9	5,9	12,7	20,6	29,4	34,3	34,3	36,3	34,3	4,9	ерилган
$\text{C}_6\text{A}_2\text{F}$	40	0	20	0,441	588	588	588	588	710,5	784	735	617	588	29,4	ерилган
$\text{C}_4\text{AF}$	25	0	20	318,5	588	588	661,5	661,5	661,5	759,5	784	784	784	392	784
$\text{C}_6\text{AF}_2$	25	0	20	122,5	367,5	392	392	392	406,7	416,5	416,5	318,5	313,6	274	ерилган
$\text{C}_7\text{F}$	25	0	20	98	117,6	83,3	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	ерилган
		20		44,1	49	34,3									ерилган

Цемент минералогик таркибининг цемент-тошнинг сиқилишдаги мустаҳкамлик чегарасига таъсири (цемент хамиридан ясалган 2х2х2 см ўлчамадаги кублар нам шароитда қотганидан кейин олинган маълумотлар)

Цемент	Сиқилишга мустаҳкамлик чегараси, Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>5</sup>									
	1 сутка	3 сутка	7 сутка	28 сутка	3 ой	6 ой	1 йил	5 йил	10 йил	
Амлитли №1	350	531	870	920	980	950	950	950	870	
Норма №2	200	400	650	850	900	950	980	1000	995	
Белитли №3	150	300	436	760	813	820	934	1230	1250	
Белитли №4	104	106	108	322	712	800	910	1200	1300	
Норма №2	Амлитли №1 порцлаждемент сиқилишдаги мустаҳкамлигини нисбатан, % ҳисобида									
	57,1	67,0	76,4	93,4	92,4	100	100	105	114	
Белитли №3	43,0	50,0	51,2	83,4	83,4	87,3	96,5	130	143	
Белитли №4	30,0	17,5	12,7	36,5	73,0	85,0	93,8	126	150	

Цемент минералогик таркибининг налуналар (1:3 қорилишдан тайёрланган сува қотган 4х4х16 см ўлчамадаги таёқчаларнинг) сиқилишдаги ва этилишдаги мустаҳкамлик чегарасига таъсири

Цемент	Пластик налуналарнинг мустаҳкамлик чегараси, Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>5</sup>													
	Сиқилишдаги						Этилишдаги							
	1 сутка	3 сутка	7 сутка	28 сутка	3 ой	6 ой	12 ой	1 сутка	3 сутка	7 сутка	28 сутка	3 ой	6 ой	12 ой
Амлитли №1	66,6	172	313	348	373	390	451	14,7	41	44	44	50	55	66
Норма №2	—	63	200	245	343	412	441	—	8	21	29	44	49	63
Белитли №3	—	30	103	196	273	364	510	—	4,9	10	24	31	40	55
Белитли №4	—	27	81	102	215	339	424	—	5	10	18	34	34	47
Амлитли 1-порцлаждементнинг сиқилишдаги мустаҳкамлигини нисбатан, % ҳисобида														
Норма №2	—	37,0	64,0	70,2	91,8	105,0	97,6	—	19,0	50,0	66,0	90,0	90,0	91,2
Белитли №3	—	17,6	33,1	56,1	73,4	93,0	113,0	—	11,9	22,2	55,5	62,7	73,2	82,3
Белитли №4	—	16,0	25,0	29,2	57,7	87,0	94,0	—	11,9	22,2	40,0	68,6	62,5	70,6

унинг ортиб бориш тезлиги ҳам бошқа минералларниқидан юқори бўлиб, қотишнинг дастлабки 7 кунда ғоят жадал давом этади. Шу даврда 28 кунлик мустаҳкамликнинг 70% га яқини таъминланади. Бир ой қотишдан сўнг  $C_3S$  жараён кескин сустлашади ва 11 ой мобайнида минералнинг мустаҳкамлиги ҳаммаси бўлиб 15% (тахминан 55—65 МПа гача) ортади.

Икки кальций силикат бутунлай бошқача қотиб мустаҳкамланади.  $C_3S$  га қараганда  $C_2S$  нинг мустаҳкамлиги дастлаб (28 кунгача) амалга ошмайди ( $C_3S$  мустаҳкамлигининг 10—15% ни ташкил қилади). Аммо кейинчалик тез орта бориб, натижада  $C_3S$  каби мустаҳкамликка эга бўлади. Минералларнинг бири-биридан бундай фарқланишига гидратланиш тезлиги сабаб бўлади.

$C_3S$  гидратланиши тахминан бир ойда тугаши мумкин,  $C_2S$  да эса бу жараён шундай муддатда эндигина кучая бошлайди. Демак, дастлабки даврда тез қотадиган бетон тайёрлаш эҳтиёжи туғилганда, таркибида уч кальций силикат кўп бўлган алит портландцемент ишлатиш лозим. Вақт ўтиши билан бетон конструкциялари ниҳоятда мустаҳкам бўлиши талаб қилинса, белит портландцемент ишлатиш керак. Бошқа минералларга нисбатан  $C_3A$  мустаҳкам эмаслиги гидратланишда ғовак ва анча заиф таркибий тузилиш ҳосил қилишидандир.  $C_3S$  ва  $C_2S$  гидратланганда эса анча зич янги таркибий тузилиш ҳосил қилади. Шунинг учун таркибида алюминат миқдори кўп бўлган цементлардан ишланган бетоннинг бошқа хоссалари (жумладан, совуққа чидамлилиги) ҳам пасаяди.

Уч кальций алюминат фақат мономинералдан таркиб топган ҳоллардагина унинг мустаҳкамлиги пастлиги шу усулда аниқланади.

Цемент клинкери сингари полиминерал аралашмаларда  $C_3A$  цемент-тош мустаҳкамлигининг ўсишига яхши таъсир кўрсатади ва коллоид силикат массаларнинг зичланиш жараёнига ёрдам беради. Тез қотувчи цементнинг бу хусусияти унинг таркибида  $C_3A$  кўплиги билан изоҳланади. 60—70%  $C_3S + C_3A$  ва 10%  $C_3A$  дан ташкил топган цементда қотишнинг дастлабки даврида мустаҳкамлик анча тез ортади.

Қоришмага қўшиладиган сув миқдори ва цемент зарраларининг майда-йириклиги маҳсулот мустаҳкамлигига таъсир этади. Сув қанча кўп қўшилса, ундан тайёрланган намуна мустаҳкамлиги шунча паст бўлади.

Амалда клинкер минералларини кимёвий йўл билан боғ-

лаб олишдаги сув миқдори пластик цемент хаамири (бетон ёки қоришма) тайёрлаш учун зарур сув миқдоридан ҳар доим кам бўлади. Масалан, 1—12 ойдан кейин цементни унинг оғирлигига нисбатан 15—20 % сув кимёвий сурада бириктиради, аслида, нормал қуюқ хаамир олиш учун ҳам, одатда, 25% дан ортиқ сув талаб қилинади (30-жадвал). Конструкция қолипига жойласа бўладиган бетонбоп қоришмалар тайёрлашга, цемент оғирлигининг камида 28—30% миқдорича сув керак бўлади. Кам ёйилувчанлиги, пластик эмаслиги ва зичлаш ниҳоятда қийинлиги сабабли оз сувли бетонбоп қоришмани конструкцияга яхшилаб жойлаш ҳозирча мушкуллигича қолмоқда.

30-жадвал

Цемент солиштирма юзасининг бириккан сув миқдорига таъсири

Цементнинг солиштирма юзаси, м <sup>2</sup> /кг	Сувда қотаётган цементда бириккан сув миқдори, % ҳисобида		
	3 сутка	7 сутка	28 сутка
295	11,58	14,05	14,14
440	12,38	15,71	16,32
625	15,82	17,03	17,78

Шундай қилиб, цемент хаамирида ҳар доим ортиқча сув бўлиб, унинг буғланиб кетиши натижасида цемент-тошда ғовак ва бўшлиқлар вужудга келади. Бу цемент-тошнинг иш кесими кичрайиб, мустаҳкамлиги пасайишига олиб келади.

Ҳосил бўлган йўл ва ғоваклардан цемент-тошга агрессив сув ва газлар ўтиши оқибатида унинг емирилишига замин ҳозирланади. Шундан аён бўладики, бевосита бетон конструкцияларнинг чидамлилиги билан боғлиқ бу масалани ҳал этиш учун доимо иложи борича зич цемент-тош ҳосил қилишга ҳаракат қилиш зарур. Кам сув ишлатиб (С/Ц — сув-цемент нисбатини иложи борича кам олиб), бетонбоп қоришмани обдан қориштириш энг тўғри ечимдир.

Қотиш жараёни нормал ўтиб, портландцемент-тош янада мустаҳкамланиб бориши учун унда ҳамиша сув бўлиб туриши керак. Шунинг учун қотишининг дастлабки кунларида цемент-тош жуда нам шароитда туриши зарур. Унинг қуриб қолишига йўл кўйилса, мустаҳкам қотиши ҳам тўхтаб қолади. Шунини ҳисобга олиб, бетон конструкцияларига сув сепиш, улар-

ни буглаш, ҳимоя қатлами ҳосил қилувчи махсус эмульсиялар ёки полиэтилен плёнкалар билан қоплаш каби турли усуллар воситасида зарур нам шароит яратилади.

Бошқа шароитларда атроф-муҳит ҳарорати цемент-тош мустаҳкамлигининг ортишига асосий таъсир кўрсатади. Одатда, ҳарорат пасайиши билан қотиш секинлашади ва, аксинча, кўтарилиши билан мустаҳкамлик ҳароратта қараганда кўпроқ кучаяди. Бу ҳарорат кўтарилишига қараб, кўпгина моддаларнинг реакция тезлиги ортиши билан тушунтирилади. Портланд-цемент бетонлари амалда турли ҳароратда қотиши мумкин. Масалан, қотишнинг куйидаги режимлари қўлланилади: мўътадил ҳароратда (15—20°C), мўътадил босимда (100°C гача), юқори босимда (170°C ва шундан юқори ҳароратда) бугланади, манфий ҳароратларда қотиш рўй беради.

Мустаҳкамликнинг марқада кўрсатилган даражага қадар ўсиш тезлиги, айниқса, 174°C га яқин иссиқликда энг юқори бўлади. Марқа мустаҳкамлигига 8—10 соатдан кейин эришилади. Бундай юқори ҳарорат ҳосил қилиш (шунингдек, атроф-муҳит зарур даражада нам бўлиши) учун автоклавларда босим остида буг билан ишлов берилади. Масалан, цемент 80—90°C да (нормал босимда бугланганда) автоклав ишлови шароитидагига нисбатан тахминан 2 марта секинроқ қолади, бу ҳолда цемент-тош бир суткадан кейин ҳам марқа мустаҳкамлигига ета олмайди.

Цемент нормал шароитларда, айниқса, қотишнинг дастлабки даврида яхши қотиб, кейинчалик бу жараён секинлашади. Юқори (80°C ва ундан юқори) ҳароратда иссиқ нам ёрдамида ишлов берилган бетонлар кўп ҳолларда марқада кўрсатилганидан ортиқ мустаҳкамланмайди. Бундай ҳол цемент-тошда юқори иссиқликда коллоид массалар кучли зичлашуви сабабли юз бериб, цемент доналарининг гидратланмаган ички қисмларига сув сингиб боришига тўсқинлик қилади. Нормал шароитда қотаётган бетон узоқ вақтгача сезиларли даражада мустаҳкамлана беради.

Иссиқ нам шароитида қотиш режимида цементнинг минералогик таркибини ҳам ҳисобга олиш лозим. Баъзи тадқиқотчилар, алит цементларига автоклав ишлови бермаслик керак, чунки бу шароитларда  $C_3S$  нинг ижобий таъсири намоён бўлмайди, деб таъкидлайдилар. Белит цементлар эса автоклав ишлови берилганда яхши қолади. Цементга қўшилма сифатида майдаланган қум ишлатилиб, бетонларга автоклав ишлови берилса, алит цементлардан фойдаланиш янада самарали бўла-

ди. Одатдаги шароитларда инерт бўлган қумнинг фаоллиги юқори ҳароратда оҳакка нисбатан кескин ортади. Натижада  $C_3S$  нинг гидролизланиши вақтида ажралиб чиқадиган  $Ca(OH)_2$  қум билан мустаҳкам кальций гидросиликатлар ҳосил қилади.

Портландцемент-тош манфий ҳароратларда қотмайди, чунки ундаги сув музга айланади. Лекин ҳозир шу нарса маълумки, электролит қўшилмалар  $CaCl_2$ ,  $NaCl$  аралашмаси (3%  $CaCl_2$  + 7%  $NaCl$ ) ва  $Na_2NO_2$ ,  $K_2CO_3$  кўп миқдорда, яъни цемент оғирлигига нисбатан 10—15% гача қўшилса, портландцемент асосида тайёрланган бетонлар манфий ҳароратларда ҳам қотади.

## 19. Цемент-тош ва бетонларнинг кимёвий ҳамда физик емирувчи омиллар таъсирига чидамлилиги

Цемент-тошнинг чидамлилиги деганда, унинг ташқи муҳитнинг агрессив таъсирига (чучук ва минерал сувлар ҳамда сув билан совуқнинг биргаликдаги таъсирига, шунингдек, юқори ҳароратлар, намланиш ва қуришга ҳамда цемент-тош капиллярлари ва ғовакларида туз эритмаларининг буғланиб кетиши натижасида тупланиб қолиб, бошқа кристаллогидратларга айланишига) қаршилиги тушунилади. Чунки портландцемент-тош ҳаво таъсирига жуда яхши чидайдиган материалдир. Цемент-тош ҳаво билан ўзаро таъсир этишганда оҳак ҳаводаги карбонат ангидрид газидан карбонланиши туфайли яхшироқ зичлашади ва чидамлироқ бўлади.

Агрессив газлар эса, одатда, фақат нам шароитдагина цементга таъсир кўрсата олади. Бу ҳолда улар кўпинча кислоталар ҳосил қилувчи газлар ( $SO_2$ ;  $H_2S$ ,  $Cl_2$  ва бошқалар) каби таъсир этади. Маълумки, портландцемент жуда майда найсимон ғоваклардан иборат. Газ шу бўшлиқларга осонликча сингиб киради. Нам шароит пайдо бўлиши билан цемент-тошнинг найсимон майда коваклари ичида кислотали сув томчилари ҳосил бўлиб, асосий таркибий унсури бўлган  $Ca(OH)_2$  кристаллари бузилади. Бу бетон конструкциялар мустаҳкамлигига жуда катта хавф туғдиради.

Цемент-тош ҳавонинг зарарли таъсирига дош берадиган материалдир. Унга ҳаво таъсир этганда, оҳак ҳаводаги карбонат ангидрид гази билан карбонланиши туфайли янада зичлашиб, чидамлилиги ортади.

Зарарли газлар таъсири, одатда, нам шароитда кучайиб, бу ҳолдаги емирилиш жараёнлари сув таъсирида юз берадиган жараёнлардан деярли фарқ қилмайди. Цемент-тошнинг сув-

ли муҳитга чидамлилигини яхши тасаввур этиш учун бу борадаги тадқиқотлар тарихига қисқача тўхталиб ўтамиз.

Портландцементнинг ихтиро қилиниши бетон соҳасидаги ишларни ривожлантириб юборди. Портландцементли бетон XIX асрнинг иккинчи ярмидан эътиборан қурилишларда темир-бетон сифатида қўлланила бошланди. XX асрнинг 20—30-йилларида гидротехник қурилишларда портландцемент кенг ишлатилиши натижасида бу соҳа иншоотларининг сув таъсирига чидамсизлиги маълум бўлиб қолди — уларнинг кўпи нурба, бузилаверди.

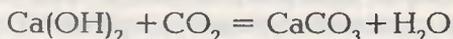
Европа мамлакатларида ва Россияда портландцемент асосида қурилган гидротехник иншоотларнинг сув таъсирига қанчалик чидамли эканлиги профессор А.Р. Шуляченко, муҳандис В.И. Чарномский ва академик А.А. Байков томонидан ўрганиб чиқилди (XIX асрнинг охири ва XX асрнинг боши). Портландцементнинг сув, айниқса, денгиз суви таъсирида бузилиши сабабларини таҳлил этиш натижасида бетон емирилиши ҳақидаги фанга асос солинди. Олимлар, умуман, цементнинг сувга чидамлилигини тадқиқ этиш борасида ҳам муайян натижаларга эришганлар. Жумладан, тузсиз, яъни чучук сув таъсирини кўриб ўтайлик. Цементнинг гидратланиш маҳсулотлари ичида энг яхши эрувчани кальций гидроксид бўлиб, у бир литр сувда 1,3 грамм эрийди. Эрувчанлик жиҳатидан оҳақдан кейинги ўринда гидроалюминат, гидросульфалюминат (бацилла), сўнгра гидросиликатлар туради. Умуман, цемент тўлиқ эриши мумкин, лекин бу жараён жуда суст кечади.

Бетон маромига етказилмай қотганда, унинг коваклари катта бўлиб, улар орқали сингиб ўтган сувнинг зарарли таъсири яққол намоён бўлади. Бетондан ажралиб чиққан оҳақнинг карбонланиши туфайли унинг юзасида шўрлаган оқ доғлар пайдо бўлади. Бу моғорсимон доғлар аксар ҳолларда бетоннинг *шўрлаши* деб юритилади.

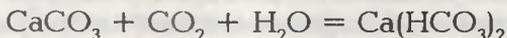
Бетоннинг шўрлаши унинг массасидан оҳақ сутининг ювилиб чиқишини англатади. Бу жараён, ўз навбатида, тўлдиргичлар билан туташини сусайтириб, иншоотнинг мустаҳкамлигига зарар етказади.

Сувнинг эритувчанлик таъсири сув қаттиқлигининг ортishi билан кучаяди. Ўта қаттиқ сув бетон коваклари ва юзасида кальций карбонат ҳосил қилиш хусусияти туфайли уни мустаҳкамлаши ҳам мумкин. Бетон кўпинча карбонат кисло-

тали сув таъсирида ҳам емирилади. Аввалига у эриган карбонат кислота  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  билан реакцияга киришиб,  $\text{CaCO}_3$  ҳосил қилади:



Бу жараённинг эътиборли томони шундаки, яхши эрийдиган  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ўзига нисбатан 40 марта кам эрийдиган  $\text{CaCO}_3$  га айланади. Бироқ 1 литрда  $\text{CO}_2$  250—300 миллиграмм бўлганда, қуйидаги иккиламчи жараён содир бўлади:



Осон эрийдиган кальций бикарбонат  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  моддаси кейинчалик цемент-тошдан ювилиб чиқиб кетади ва унинг ўрнига яна  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ҳосил бўлади. Шундай қилиб, цемент-тош минералларининг деярли барчаси эриш хусусиятига эга. Вақтинчалик қаттиқлиги  $24^\circ\text{C}$  дан юқори бўлмаган сув бетон учун хавфли эмас.

Бетонни шўрлашдан қутқариш мақсадида бетон иншоотлар сирти битум, лок билан қопланмоқда, табиий тош, ҳатто қўрғошин тунука билан ўралмоқда. Лекин булар жуда қимматга тушадиган ва умри қисқа усуллардир. Титратиш ёрдамида ҳам бетоннинг юза қисмини зичлаш мумкин, бироқ бу йўлнинг самараси камроқ эканлиги шундаки, зарб таъсирида устки ҳимоя қатлами шикастланган бетоннинг емирилиши осонлашади.

Цементнинг сув таъсирида емирилиши масаласини немис олими Михаэлис ва рус олими А.А. Байков тўғри ҳал қилдилар. Улар қотаётган портландцементдаги сувда яхши эрийдиган эркин оҳакни фаол қумтупроғи кўп бўлган қўшилма ёрдамида боғлаш усулини қўллашди. Бундай қўшилма табиий пуццоландир. Маълумки, бир вақтлар қурувчилар оҳакнинг сувга чидамлилигини ошириш учун пуццолан ва шунга ўхшаш трасс, туф, пемза қўшилмаларидан кенг фойдаланганлар. Портландцемент пайдо бўлиши билан пуццоланга эътибор берилмади. Рус олимлари 1908 йили Петербургда ўтказилган халқаро конгрессда гидротехник иншоотлар қурилишида ишлатиладиган портландцементларни албатта пуццоланлаш тўғрисида таклиф кириштиди. Лекин бу аслида янгилик эмас эди.

Пуццолан цемент асосан сув остида ва ер остида, шунингдек, сизот сувли ерларда иншоотлар барпо этишда ишлатилган. Масалан, қадимда Бухорода сернам, сувли ва шўрхок ерларда пойдевор, даҳма деворлари, ҳовуз, ҳаммом қуришда "қир" деб аталувчи оҳакли пуццолан цемент кенг ишлатилган. "Қир" асосан ўсимлик кули, оҳак (баъзан гипс қўшилмаси), узум шинниси ва тухум оқсидан тайёрланган. Шинни ва тухум оқсиди сирт-фаол модда вазифасини бажарган. Шундай қилиб, Россияда Италия пуццоланидан қолишмайдиган трепел, опока, диатомит, трасс ва туф сингари гидравлик қўшилмалар кенг қўлланила бошлаган. Авваллари заводларда портландцементга 10—15 % қўшилма ишлатилган бўлса, кейинчалик цементнинг мустаҳкамлигига таъсир қилмайдиган даражада 20—40 % гача қўшиладиган бўлди. Бу айни цементнинг сувга чидамлилигини ошириши билан бирга унинг таннархини ҳам арзонлаштиради.

Бетонга шимиладиган сув таркибида эриган тузлар бўлса, кимёвий эриш жараёни ҳам юз беради. Деярли барча сувлар таркибида мавжуд тузлар цемент-тош сифатини бузишга хизмат қилади. Дарё сувининг бир тоннасида ўрта ҳисобда 1,5 килограммгача кальций сульфат ва кальций карбонат тузлари бўлса, денгиз сувдаги тузлар таркибида: ош тузи 78 % ни, магний хлорид 11 %, магний сульфат 5 % ва кальцийнинг турли тузлари 4 % ни ташкил қилади. Шу сабабли одатдаги портландцемент денгизда сув ости гидротехника иншоотлари қуришда ишлатилмайди. Бунинг учун эса махсус цементлар яратиш лозим.

Қурилиш тажрибасидан маълумки, таркибида сульфат кислотасининг кальций, магний, натрий, аммоний тузлари ва уларнинг аралашмаси бўлган сувлар таъсирида бетон баъзан ёрилиб кетади. Чунки сувдаги бундай моддалар қотиб қолган оддий портландцемент-тош таркибидаги гидроалюминат  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot6\text{H}_2\text{O}$  билан кимёвий реакцияга киришиб, бациллани эслатувчи нинасимон кристаллар ҳосил қилади. Бундай бирикма кўпинча «цемент бацимаси» деб юритилади. Унинг кимёвий ифодаси қуйидагича:  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot31\text{H}_2\text{O}$ .

Баъзан кальций гидросульфoалюминат деб аталадиган бу бирикма ҳосил бўлгач, қотган цемент-тош ҳажман кенгайишга интилади. Натижада ички кучланиш зўрайиб, унда дарзлар пайдо бўлади. Чунки эримаган  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot6\text{H}_2\text{O}$  билан эриган гипснинг бирикиши туфайли кам эрувчан гидросульфo-

алюминат ҳосил бўлиши ҳажмининг (эримаган  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  га нисбатан) тахминан 4,6 марта кенгайишига сабаб бўлади. Цемент-тошнинг кенгайиши натижасида унинг таркибий тузилиши бузилиб, мустаҳкамлиги пасаяди ва у емирилишга юз тутади. Ҳалокатли таъсир этувчи «цемент бацилласи» шўрлаш билан қўшилганда, бетонга хавф айниқса кучаяди. Бацилла таъсирида иншоот чатнаб ёрилади ва бетон танасида сувга йўл очилади. Шу билан кальций гидратнинг эриши учун қулай шароит тугилади. Хуллас, цемент бацилласи цементнинг шўрлашини тезлаштиради.

Бетоннинг бундай сувларга чидамлилигини оширишда боғловчи материаллари тўғри танлаш катта аҳамиятга эга бўлиб, бетоннинг хизмат муддатини узайтиришга ёрдам беради. Портландцементнинг сульфатли сувларга чидамлилигини ошириш учун унинг таркибидаги  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  ни чиқариб юбориш керак. Лекин бу бошқа бир салбий оқибатни келтириб чиқаради: ушбу минерал бутунлай чиқариб юборилса, цементнинг қотиши ҳаддан ташқари секинлашиб кетади. Шуни ҳисобга олиб, ҳосил бўлаётган цемент таркибидаги  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  миқдорини маълум даражада чеклаш керак бўлади. Бу хил цемент ишлаб чиқаришда хом ашёнинг таркибий қисмига катта эътибор берилиб, цемент бацилласи тарқалиб кетишининг ҳам олдини олишга эришилади: шунингдек, дастлаб портландцемент таркибига 20 % дан ортиқроқ диатомит, трепел, пемза, опока, глиеж, глинит каби пуццолан қўшилмалар қўшиш билан унинг сульфатли сувларга чидамлилигини ошириш мумкин. Бундай таркибдаги цемент *пуццолан портландцемент* деб номланади.

Қотишида кам оҳак ажратадиган клинкер асосида тайёрланган цемент ҳам оҳакнинг ювилиб кетишига чидамли бўлади.

Бетонга сингиб кирадиган сув саноат оқоваси билан ифлосланган тақдирда, унинг бетонга салбий таъсири янада кучлироқ сезилади. Чунки ишқорий маҳсулот ҳисобланган бетон таркибида кўп миқдорда эркин ҳолатдаги оҳак гидрат мавжудлигидан, ўз табиатига кўра, кислота таъсирига чидамсиз бўлади. Оҳак кислота таъсирида жуда тез эрувчанлиги боис целлюлоза, айрим турдаги ўғитлар, сут кислота ва озиқ-овқат ишлаб чиқарувчи корхоналарда идиш, қувурлар ва аппаратларнинг бетон таглиги, девор ва шифтлар, тез емирилиб бузилиб кетади.

Портландцемент-тошга ишқор эритмалар ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ) турлича таъсир кўрсатади. Уларнинг паст концентрацияси бетонга зарар етказа олмайди. Вақти-вақти билан ишқор ва ҳаво таъсир этиб турган цемент-тош ковакларида тўпланаётган ишқор эритмаси карбонат ангидрид гази иштирокида карбонланиб, кристаллана бошлайди. Ҳосил бўлган ишқорий тузлар ҳаводаги намлик билан қўшилиб, серсув гидратларни вужудга келтиради. Шунда цемент-тош ҳажман кенгаяди, бироқ суолтирилган ишқорий эритмаларнинг доимий таъсирида бундай хавфли кенгайиш кам рўй беради.

Жуда катта концентрацияли ишқорий эритмалар эса цемент-тошни вайрон қилади. Бундай шароитда бир хил ионлар ( $\text{OH}$ ) мавжудлиги туфайли  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  нинг эрувчанлиги камаяди, аммо цемент-тошдаги бошқа таркибий қисмлар, айниқса, алюминатли бирикмалар эрувчанлиги ниҳоятда кучаяди. Юқори концентрацияли ишқорий эритмалар таъсирида минераллари ўзаро реакцияга киришиб, осон эрийдиган ишқорий-тупроқ силикатлар ва алюминатлар ҳосил қиладиган цемент-тош тезда бузилиб кетади. Шундай қилиб, цемент-тошнинг кимёвий чидамлилигини ошириш халқ ҳўжалигида катта аҳамиятга эга масаладир.

В.М.Москвин цемент-тошнинг сувли муҳитда коррозияланиши (бузилиши)ни асосий аломатларига қараб, қуйидаги уч асосий турга бўлади. Демак, цемент-тош бузилади:

1-тур коррозия — таркибий қисмлари эриб кетиши натижасида;

2-тур коррозия — сувдаги моддалар билан цемент-тош таркибий қисмлари орасидаги ўзаро алмашинув реакциялари туфайли;

3-тур коррозия — цемент хаамири говакларида кам эрийдиган тузларнинг чўкиши ва кристалланиши оқибатида юзага келади.

Табиий сувлар таъсиридаги бетонлар коррозияси асосий турларининг тубандаги тўлиқ таснифи В.В. Кинд томонидан тузиб чиқилган:

1. Цемент-тошдаги кальций гидрат оксиднинг ўз-ўзидан эриб, бетондан ажралиб чиқиб кетиши — ювилиб ишқорсизланиш коррозияси.

2. рН қиймати камида 7 га тенг бўлган кислоталар таъсири натижасида емирилиши — кислота коррозияси.

3. Кислота коррозиясининг айрим бир хил ва цемент-тош емирилишига сабабчи бўлувчи карбонат кислота коррозияси.

4. Сульфат коррозияси, ўз навбатида, у қуйидагиларга бўлинади:

а) концентрацияси 0,25—0,3 дан 1 г/л гача бўлган ионлар ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) таъсирида вужудга келадиган сульфоалюминат коррозияси;

б) эритмадаги концентрацияси 1 г/л дан кўп бўлган, асосан сульфат ионлари ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) таъсирида вужудга келувчи сульфоалюминат-гипсли коррозия;

в) таркибида кўп миқдорда  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ва  $\text{K}_2\text{SO}_4$  бўлган сувлар таъсирида амалга ошадиган гипсли коррозия.

5. Магнезиал коррозия, ўз навбатида, у ҳам қуйидагиларга бўлинади:

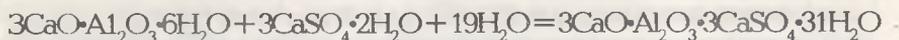
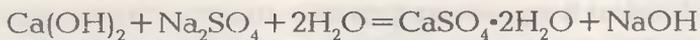
а) сувда  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлари бўлмаган ҳолда магний катионларининг ўз таъсиридан вужудга келувчи магнезиал коррозия;

б)  $\text{Mg}^{2+}$  ва  $\text{SO}_4^{2-}$  ионларининг биргаликдаги таъсири натижасида цемент-тошда содир бўладиган жараёнларни ифодаловчи сульфат магнезиал коррозия.

Коррозиянинг бу турлари табиий сувлар, саноат ва маиший комбинатларнинг оқова сувлари таъсирида вужудга келиши мумкин. Бундан ташқари, гипс ва кислотанинг биргаликдаги таъсири ҳам катта аҳамият касб этади. Олтингугурт водородли кислоталар таъсиридаги коррозия ўзгача ўтади. Шунингдек, цемент ва бетон конструкциялар мол жири, ўсимлик ёғи, углевод, спирт, фенол, шакар, турли кислоталар ва ишқорлар таъсирига учраши ҳам мумкин.

Коррозияга сабабчи бўлган моддалар қанчалик турли-туман бўлмасин, улар таъсирида бўладиган коррозияни В.М. Москвин ва В.В.Кинд таснифи билан тушунтирса бўлади. Шу сабабли В.В.Кинд таснифининг баъзиларини айрим мисолларда кўриб чиқамиз. Сульфоалюминатли коррозия — сульфатли коррозиянинг бу тури цемент-тош ва бетонда 0,25—1 г/л ионли сульфатли сувлар таъсирида вужудга келади.  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлари кўрсатилган миқдордан ортиб кетса, бу коррозия сульфоалюминат гипсли коррозияга айланади. Сульфат ионларининг концентрацияси 0,25 г/л пастта тушиб кетса, В.В.Кинд маълумотларига кўра, бу ҳол портландцементлар учун хавф туғдирмайди.

Табиий сувлар ёки саноат оқовалари таркибида  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  ва шу каби тузлар турли миқдорда бўлиши мумкин. Сульфоалюминатли коррозия қуйидаги реакциялар орқали ҳосил бўлиши эҳтимол тутилади:



Натрий гидрат оксиди яхши эрийдиган модда бўлиб, цемент-тошдан ювилиб кетади, бу реакция давомида қийин эрийдиган кальций гидросульфоалюминат ҳосил бўлади. У кристалланаётганда 30—32 моль сувни ютади, ҳажми тахминан 4,6 марта кўпаяди, оқибатда цемент-тошнинг мустақкамлиги кескин бузилади. Кальций гидросульфоалюминат кристаллари ингичка, узун игналардан иборат бўлиб, ташқи кўриниши баъзи бациллаларга ўхшаб кетади. Айни шу ўхшашлиги ҳамда цемент-тошга жуда хавфли таъсир кўрсатиши сабабли ҳам кальций гидросульфоалюминат "цемент бацилласи" номини олган.

Биринчи даврда кальций гидросульфоалюминат (этрингит) ҳосил бўлганда (гипс йиғилганда ҳам) у цемент-тошнинг зичланишига ёрдам беради, лекин сульфатли сувлар таъсирида тўпланиш давом этиши натижасида цемент-тош шиддат билан бузила бошлайди. Унинг сульфатли коррозияси натижасида бузилиш тезлиги сувдаги сульфатлар миқдорига ва клинкернинг минералогик таркибига боғлиқ. Клинкер таркибидаги  $\text{C}_3\text{S}$  ва  $\text{C}_2\text{S}$  миқдорининг сульфатли сувларда цемент чидамлилигига таъсири тўғрисида адабиётларда аниқ маълумот йўқ. Баъзи тадқиқотларда кўрсатилишича,  $\text{C}_2\text{S}$  кўпайиши билан цементнинг сульфатли сувларга чидамлилиги  $\text{Ca(OH)}_2$  нинг камайиши ҳисобига ортади. Натижада кальций гидроалюминат эрийди ва шу ҳолида кальций сульфат билан бирикади, бундан цемент-тош бузилмайди,  $\text{C}_3\text{S}$  кўп бўлса, цемент-тош ичида анча миқдорда  $\text{Ca(OH)}_2$  эритмаси ҳосил бўлади. Бу эритмада кальций гидроалюминат эрий олмай, қаттиқ ҳолича қолиб кетади. Қаттиқ  $\text{C}_3\text{A} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  нинг гипс билан реакцияга киришуви натижасида ҳажман ўта кенгайиб кетадиган кальций гидросульфоалюминат вужудга келади. Бу эса цемент-тошнинг бузилишига сабаб бўлади.

Баъзи тадқиқотчилар фикрига қараганда,  $\text{C}_3\text{S}$  кўпайиши билан цемент-тошнинг сульфат коррозиясига қарши чидамлилиги ортади. Бироқ бундай ҳодиса кальций гидросульфоалюминатнинг ҳосил бўлиш жараёни учун зарур шароитларнинг ёмонлашуви оқибатида эмас, балки клинкер таркибида миқдори кўп бўлган  $\text{C}_3\text{S}$  цемент-тош бирмунча тез қотиши ва зичланиши сабабли содир бўлади. Натижада сульфатли сув-

ларнинг цемент-тош ичига сингиб кириши секинлашади ва кальций гидросульфалоюминат ҳажман кенгайганда, унинг бузилишига механик қаршилиги ортади.

Уч кальцийли алюминат миқдорининг цемент-тошнинг сульфат коррозиясига чидамлилигига таъсири тўғрисида қуйидаги умумий фикр мавжуд:  $C_3A$  миқдори кўпайиши билан цементнинг сульфатга чидамлилиги камаяди. Сув таркибида сульфатлар кўп бўлса, цементнинг сульфатга чидамсизлиги ҳам ошади.

Шундай қилиб, эттрингит — кальций гидрат оксиднинг концентрацияси камида 1,08 г/л ( $CaO$  га нисбатан ҳисоблаганда 0,4—0,46 г/л) атрофида ва тўрт ҳамда уч кальций гидроалюминатлар мавжудлигида ҳосил бўлади. Эттрингит  $Ca(OH)_2$  нинг бундан кам концентрацияларида суюқликда вужудга келган цемент бетоннинг бузилишига сабаб бўлмайди. Гидравлик қўшилмаларнинг коррозиядан ҳимояловчи таъсири шу усулга асосланган.

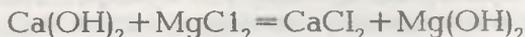
Цемент таркибида гидравлик қўшилмалар бўлса, у ишқорсизлантириш коррозиясини секинлаштиради.  $Ca(OH)_2$  нинг қўшилма қумтупроқ билан сустр эрийдиган кальций гидросиликат ҳосил қилиши, шунингдек, гидравлик қўшилма уч кальций гидроалюминат билан ўзаро таъсир этишуви, уни кам асосли алюминатга айлантириши мумкин. Шу билан хавфли цемент бацилласининг ҳосил бўлишига йўл қўйилмайди, Гидравлик қўшилма таркибидаги фаол қумтупроқ (кремний оксид) кальций оксид билан реакцияга киришиб, сув муҳити концентрациясини,  $CaO$  га нисбатан ҳисоблаганда, 1,2—1,3 дан 0,06—0,08 г/л гача пасайтиради. Шунинг учун концентрацияси 0,5 % гача бўлган  $CaSO_4$ ,  $Na_2SO_4$  ва  $MgSO_3$  эритмалар пуццолан портландцементдан тайёрланган бетонлар учун хавфли эмас. Бу сульфатлар таркибида  $NaCl$ ,  $CaCl_2$  ва бошқа тузларнинг бўлиши шу олдинги моддаларнинг агрессивлик таъсирини камайтиради.

Шундай қилиб,  $Cl^-$  ва  $SO_4^{2-}$  ионлари бўлган тузларнинг эритмалари портландцемент-тошга агрессив таъсир кўрсатади ва шу сабабли улар сувда (муҳитда) маълум миқдорда бўлиши керак. Рухсат этиладиган бир ион миқдори иккинчи ион миқдорига боғлиқ ҳолда ўзгаради. Масалан,  $Cl^-$  ионларининг кўпайиши билан йўл қўйиладиган  $SO_4^{2-}$  ионлари ҳам кўпаяди; хлор иони кальций оксиднинг бир қисмини ютиб, уч кальций алюминат сингари эрмайдиган бирикмага айлантиради (қуйидаги реакция бўйича):



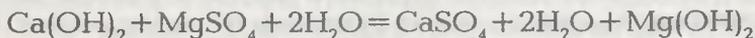
$\text{MgSO}_4$ нинг 0,5 % концентрацияли эритмаси пуццолан портландцементдан тайёрланган бетонларни фақат магнезиал коррозия ҳисобига буза бошлайди.

Магнезиал коррозия. Бундай коррозия  $\text{MgSO}_4$  дан бошқа магний тузларининг таъсирида вужудга келади:

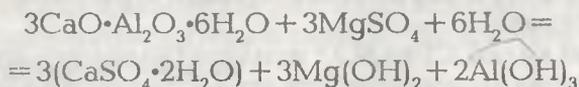


Натижада аморф ҳолидаги магний гидрат оксид ва фильтрловчи сув билан осонгина ювилиб кетадиган ҳамда жуда яхши эрийдиган кальций хлорид ҳосил бўлади.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  сувда жуда кам эрийди. У мустаҳкам  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  кристалларини қовушмаган юмшоқ массага айлантиради. Унда боғловчилик хоссалари ҳам йўқ.  $\text{MgCl}_2$  таъсирида гидросиликат ва гидроалюминатлар ҳам парчаланиши мумкин. У сабаб бўлган коррозия сувда бу тузнинг концентрацияси 1,5—2 % дан ошганда янада кучаяди.  $\text{Mg}^{2+}$  ионларининг миқдори сувда 0,5 г/л га етганда бундай сув агрессив ҳисобланмайди.

Сульфат-магнезиал коррозия. Бу турдаги коррозия  $\text{MgSO}_4$  эритмаси таъсирида содир бўлади:



Натижада эриган оҳак камаяди, шу билан кальций гидросиликат ва гидроалюминатлар парчалана бошлайди. Боғловчилик хоссаларига эга бўлмаган аморф модда  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ҳосил бўлган жойида қолади, ёки цемент-тошдан ювилиб кетади. Бундан  $\text{MgSO}_4$  уч кальций гидроалюминат билан ўзаро таъсир этишиб, уни алюминий гидрат оксидгача парчалайди:



Аввал говаксимон  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  массаси билан икки молекула сувли гипснинг ҳосил бўлиши цемент-тош ва бетоннинг бутунлигини сақлаб қолишга ниҳоятда салбий таъсир кўрсатади. Бунга иккинчи реакциянинг ҳам қўшилиб кетиши жараёни янада ёмонлаштиради.  $\text{MgCl}_2$  тузларда  $\text{SO}_4^{2-}$  иштирок этса ва  $\text{SO}_4^{2-}$  ионлар миқдори кўп бўлса, магний ионларининг таъ-

сири кучаяди. Шунинг учун ҳам ионларнинг рухсат этиладиган миқдори  $Mg^{2+}$  ионлар кўлайиши билан тегишлича камайтирилади. Портландцемент асосида ишланадиган бетонлар учун  $Mg^{2+}$  ионларининг сув муҳитидаги миқдори,  $SO_4^{2-}$  ионларидан қанча миқдорда борлигидан қатъи назар, 1 литрда 5 г дан ортиқ бўлмаслиги лозим.

Цемент-тош ҳар доим ҳам таркибида  $SO_4^{2-}$  ва  $Cl^-$  ионлари бўлган тузли эритмалар таъсиридан бузилавермайди. Алмашинув реакцияларининг дастлабки даврида ёки кўрсатилган ионлар миқдори кам бўлганда, бу реакциялар натижасида цемент-тош зичлашиши ва унинг филтрлаш хусусияти бўшашиши мумкин. Бунда алмашинув реакцияларининг кам эрийдиган маҳсулотлари, чунончи, кальций сульфат ва магний гидрат оксиди ишпирок этади, улар ковак-говакларни бутунлай беркитиб, агрессив сувнинг цемент-тошга сингиб киришига ҳалал беради.

Ҳозиргача қурилган барча турдаги коррозиялар кимёвий йўл билан вужудга келади. Цемент-тошда физик коррозия жараёнлари ҳам содир бўлиши мумкин. Булар цемент-тош ва бетон гоҳ намиқиб, гоҳ қуриб кичрайиши ва шишиши (деформацияларга учраши) ҳамда сувнинг цемент ковакларида буғланиши оқибатида эрувчан тузлар тўпланиб қолиши, шунингдек, сувга тўйиниб турган бетонларнинг дам музлаб, дам эриб кетиши натижасида содир бўлиши мумкин. Айниқса, цемент-тош ва бетон ковакларида ҳамда найсимон капиллярларда кристаллогидратларга айланган тузлар ковак ва капилляр деворларига катта босим билан таъсир қилади.

Бетонлар 3 ой давомида 5 % концентрацияли эрувчан  $NaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $CaSO_4$  тузларнинг гоҳ намини шимиши ва гоҳ буғланиши натижасида вужудга келган кристалланиш босими тегишлича 0,44, 0,36, 0,27, 0,9 МПа бўлади. Цемент-тош ва бетоннинг кичик ковакчаларида кимёвий коррозия туфайли тўпланган туз икки молекула сувли гипс ва гидросульфат алюминат бўлиши ҳам мумкин. Бунинг таъсирида бетонларнинг бузилиш ҳоллари юқорида кўриб ўтилди. Бундай коррозия ҳолати Марказий Осиёдаги мамлакатларнинг аксариятида кўп учрайди.  $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4 \cdot H_2O$  каби тузлар цемент-тош ҳамда бетон ковакларида ҳарорат ва намликнинг шундай бир ноқулай пайтларида сувсиз, камсувли гидратли тузлардан кўпроқ гидратли сувларга ўтиб кетади ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

ва бошқалар). Бундай айланиш жараёни қаттиқ фазалар ҳажмини 1,5—3 марта орттиради, бу эса бетон сиртида ўнлаб МПа босим ҳосил қилиб, кучли деформацияларни юзага келтиради.

Цемент-тошнинг совуққа чидамлилиги. Сув билан совуқ биргаликда навбатма-навбат таъсир қилганда, бетон конструкциялар, айниқса, кучли шикастланади. Цемент-тош ковакларидagi сув манфий ҳароратларда музга айланади. Сув музлаб, ҳажми тахминан 10% кенгайиши натижасида ҳосил бўлган муз ковакчаларнинг деворларига куч билан таъсир қилиб, уларни бузиб юборади. Цемент-тошнинг бундай ташқи муҳит таъсирига чидамлилиги унинг қанчалик майда туйилганлигига, цемент таркиби, клинкернинг минералогик таркиби ва қориш учун солинган сув миқдorigа боғлиқ.

Бир қатор тадқиқотлар натижаларига асосланиб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: цемент маълум даражагача (500—600 м<sup>2</sup>./кг) майда килиб туйилса, цемент-тошнинг совуққа чидамлилиги бирмунча ортади, аммо ўта майда туйилса, совуққа бардошлиги сезиларли даражада пасая бошлайди, бу ҳолда цементнинг янги ҳосилалари ғовакли тузилишига эга бўлиб, кўп жойидан дарз кетади. Цемент-тошда «клинкер захираси», яъни реакцияга киришмаган цемент доналари сақланган, бу доналар цемент-тош ёрилиб, сув кира бошлаганда, шу ёриқларни клинкер захираси билан реакцияга киришган ҳосилалар ҳисобига тўлдиради (яъни «ўз-ўзини даволаш» жараёни юз беради).

Цементда гидравлик қўшилмалар миқдори кўп бўлиши ҳам унинг сифатига салбий таъсир қилади, яъни қўшилмалар ҳаддан ташқари кўпайиб кетса, цемент-тошнинг совуққа чидамлилигига путур етади. Цемент клинкери минераллари орасида уч кальций алюминат совуққа энг чидамсиз ҳисобланади. Қориш учун қуйилган сув миқдори цемент-тошнинг совуққа чидамлилигига катта таъсир қилади, агар сув кўп қуйилса, цемент-тош кўпроқ ғоваклашиб, совуққа чидамсизлиги ошади. Цемент ва клинкер таркибини мақбул даражада танлаш йўли билан бетонбоп қоришмаларни яхшилаб зичлаш, шунингдек, сирт-фаол қўшилмалар қўшиш ёрдамида цемент-тошни совуққа чидамлироқ қилиш мумкин.

Цемент-тош қотгач, унда майда-майда коваклар пайдо бўлади. Булар унинг сув сингдирувчанлигини камайтириши билан

бирга совуқ ҳароратта салбий таъсирчанлигини сусайтиради. Улар, шунингдек, музлаб қолган сув босимиға бардош бериб, музнинг бузувчи кучини қирқади. Бу эса цемент-тошнинг совуққа чидамлилигини оширишга хизмат қилади.

Гидрофоб қўшилмалар, масалан, совуннафт, цемент-тош таркибий тузилишининг бир жинслилигини оширади ва ковак ҳамда капилляр деворчаларини гидрофоблайди, шу билан цемент-тошнинг сув таъсирига чидамлилигини кучайтиради. Шуниси ҳам борки, гидрофилловчи қўшилмалар (масалан, сульфит-спирт бардаси — ССБ) зарур даражада ёйилувчанликни сақлагани ҳолда бетонбоп қоришмаларнинг сувга талабини анча пасайтиради ва шу билан цемент-тошнинг говаклигини камайтиради. Натижада унинг совуққа чидамлилиги ва сув ўтказмаслик хусусиятлари ривож топади.

Юқорида кўрсатиб ўтилган қўшилмалар цемент умумий оғирлигининг 0,1—0,25 фоизини ташкил қилади. Шуни таъкидлаш зарурки, қотишининг дастлабки даврида музлаш цемент-тош учун айниқса хавфлидир, ҳали унчалик мустаҳкамланиб улгурмаган говак таркибий тузилишли цемент-тош муз босимиға бардош беролмайди. У етарли даражада қотганда, яъни марка мустаҳкамлигининг 50 фоизига етгандагина музлашга яхши қаршилик кўрсата олади. Тишлаша бошламасдан олдин музласа, цемент мустаҳкамлигига зарар етмайди, чунки эриганидан кейин қотиш жараёни қайта тикланади.

Юқори ҳароратнинг портландцемент-тошга таъсири. Ноль даражагача ҳароратда (қуруқ муҳит шароитида) цемент-тошда ҳеч қандай физик-кимёвий ўзгаришлар содир бўлмайди. Бироқ, маълум вақтгача анча юқори иссиқлик таъсир қилиб турса, мустаҳкамлик ўзгара бошлайди. Масалан, 200°C да портландцемент асосида тайёрланган бетон мустаҳкамлиги тахминан 50 % пасаяди ва иссиқлик манбаи олиб қўйилганидан кейин ҳам бу мустаҳкамлик қайта тикланмайди. Ҳарорат ортиб боришига қараб бетон мустаҳкамлиги янада пасаяди. Айтайлик, бетон 500—550°C гача қиздириб намланса, цемент-тошнинг таркибий тузилиши бузилади; бу ҳароратда  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  кальций оксид ( $\text{CaO}$ ) ва сувга ажралади, цемент-тош намланганда, тош ичидаги оҳак қайта сўниб, тош бузилади.

Ҳозирги вақтда жуда юқори, масалан, 1000—1300°C ҳарорат таъсирига ҳам яхши қаршилик кўрсата оладиган цемент яратиш усуллари ишлаб чиқилган, улардан турли иссиқлик

аппаратларини қоплашда фойдаланса бўлади. Майда туйилган шамот, хромит, магnezит ва бошқа минерал моддалар қўшиш билан портландцемент-тошнинг юқори ҳароратларга чидамлилиги оширилади. Юксак иссиқлик шароитида қўшилмалар  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ни боғлайди ва шу билан цемент-тош қиздирилганда ҳамда совитилганда зарур даражада мустаҳкам ва муайян таркибий тузилишда бўлишига ёрдам беради.

Демак, портландцемент қимматли қурилишбоп хоссаларга эга, яъни ниҳоятда мустаҳкам бўлиб, бу хусусияти нисбатан тез ўсади, шунингдек, у турли ноқулай муҳит таъсирига чидамли. Уни олиш ҳам анча арзонга тушади. Бу эса портландцемент ишлаб чиқаришни юқори даражада механизациялаштиришга имкон беради. Индустириал қурилишда йиғма бетон ва темир-бетон конструкциялар тобора кўп ишлатилаётган даврда портландцемент каби қимматли боғловчи материални кўплаб ишлаб чиқариш ва улардан тежамли фойдаланиш ниҳоятда муҳимдир.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Портландцементнинг таркибий қисмлари нималардан иборат?
2. Портландцемент қотишида янги ҳосил бўладиган бирикмалар таркиби нимага боғлиқ?
3. Гидросиликатларнинг умумий формуласини ёзиб беринг.
4. Портландцементнинг асосий минераллари қандай гидратларни ҳосил қилади?
5. Уч сульфатли шаклдаги гидросульфoалюминат қайси ҳолларда барқарор бўлади?
6. Қандай комплекс бирикмаларни биласиз?
7. Гидрогранатлар қачон ҳосил бўлади?
8. Портландцемент клинкери туйилаётганда нега икки молекула сувли гипс қўшилади?
9. Қандай гидросиликатларни биласиз?
10. Гидросиликатлар ҳосил бўладиган шароит.
11. Қотаётган портландцемент қандай босқичларни босиб ўтади?
12. Портландцемент сув билан реакцияга киришганда иссиқлик ажралиб чиқишининг сабаблари.
13. Портландцемент-тошда ҳажмий ўзгаришлар содир бўлиш сабаблари.
14. Портландцементнинг мустаҳкамлиги қандай омилларга боғлиқ?

15. Цементнинг фаоллиги қандай кўрсаткичга қараб белгиланади?
16. Цемент-тош ёки бетон кимёвий ва физикавий омиллар таъсирида коррозияга учрайдими?
17. Цемент бацилласи нима?
18. В.М.Москвин цемент-тошнинг сувли муҳитдаги коррозиялашишни неча турга бўлган, В.В.Киндчи?
19. Цемент-тош совуқ ва юқори ҳарорат таъсирига чидайдими?

## V боб. МАХСУС ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЛАР

### 20. Портландцементнинг турлари

Цементнинг кўп турлари маълум. Баъзилари ғоят тез қотса, бошқа бирлари секинлик билан қотади. Сув иншоотлари учун цементнинг бир тури ишлатилса, йўл қурилиши ишларига иккинчиси ва бошқа бинокорлик қоришмалари учун эса учинчи тури қўлланилади. Цементнинг бундай хилма-хиллиги, унинг таркибидаги тўрт минерал бир-бирига қандай нисбатда бўлишидандир. Цемент қанчалик яхши туйилса, унинг сифати, тишлашиш хусусияти шунчалик юксак бўлади, чунки модда заррачалари ўртасидаги физик-кимёвий жараёнлар тўлиқ ва тез ўтиши заррачаларнинг умумий юзаси катта-кичиклигига боғлиқ.

Портландцемент гидравлик боғловчи моддаларнинг бир туридир. Бу моддалар қаторига яна кварц қумли цемент, пуццолан цемент, тошқолли цемент, микротўлдирувчи цемент, ҳажман кенгайдиган цемент каби гидравлик боғловчи моддалар киради. Улар яна бир қанча кўринишларга ҳам эга. Масалан, портландцемент таркибига кўра: оддий, алитли, белитли, алюминатли, алюмоферритли, ферритли; хоссаси ва ишлатилишига кўра: оддий, тез қотувчан, махсус тез қотувчан, пластификацияланган, гидрофоб, сульфатли сувларга чидамли, ўртача экзотермияли, тампонаж оқ ва рангли хилларга бўлинади.

### 21. Тез қотувчан портландцемент

Жадаллик билан ривожланиб бораётган саноат қурилиши талабларини тўлиқ қондириш учун заводлар олдига тайёр бетон элементларини кўплаб ишлаб чиқариш вазифаси қўйилди. Бунга эса, ўз навбатида, портландцементни жуда майдалаб туйиш ва унинг таркибидаги фаол минералларни кўпайтириш йўли билан эришиш мумкин. Бундай сифатга эга портландцемент 1—3 кун ичида мустаҳкамланиши билан оддий портландцементлардан фарқ қилади. Унинг ишлатилиши

туфайли йиғма конструкция ишлаб чиқариш технологик жараёнининг муддати анча қисқариб, корхона унумдорлиги ошади, қурилиш ишлари жадаллашади.

Бир-икки кун ичида очиқ жойда мустаҳкамлиги етарли даражада ортадиган боғловчи модда *тез қотувчан цемент* деб аталади. Унинг сиқилишга мустаҳкамлиги бир кундан кейин 20 МПа бўлса, уч кундан кейин 30 МПа гача кўтарилади. Бундай цемент конструкциялар ёки буюмлар тайёрлашда, шунингдек, буғлаш учун шароит бўлмаган жойларда ишлатилади. Тез қотувчан цемент олиш учун таркибида 50—60 % уч кальций силикат ( $C_3S$ ), 8—14 % уч кальций алюминат ( $C_3A$ ) билан тўрт кальций алюмоферрит ( $C_4AF$ ) ҳамда 8 % қурилиш гипси қўшилган цемент клинкери ишлатилади. Қўшиладиган қурилиш гипси энг мақбул миқдордан ошмаслиги керак, акс ҳолда буюм ёки конструкцияда дарзлар ҳосил бўлиши мумкин.

Юқорида айтиб ўтилганидек, цемент таркибидаги гипс унинг тишлашиш хусусиятини секинлатибгина қолмасдан, дастлабки қотиш даврида янада мустаҳкамланиб боришида ҳам фаол иштирок қилади: гипс билан  $C_3A$  ўзаро таъсир этишувидан ҳосил бўлган кальций гидросульфoалюминат цемент бетоннинг янада мустаҳкамланишига ёрдам беради. Бу ўринда энг муҳим шартлардан бири шуки, кальций гидросульфoалюминат ҳосил бўлиш жараёни цемент қотишининг дастлабки кунларидаёқ тугаши лозим (акс ҳолда бетон емирилади).

Кальций гидросульфoалюминатнинг ҳосил бўлиш тезлиги цементнинг қанчалик майда туйилганлигига ва гипснинг эриш даражасига, бу даража эса, гипснинг модификациясига боғлиқ. Гипс қўшилма сифатида ярим молекула сувли  $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$  ёки икки молекула сувли  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  кўринишда ишлатилади. Биринчисининг эрувчанлиги иккинчисиникига нисбатан 5 марта юксак. Демак, цементга ярим молекула сувли гипс қўшиш кўпроқ фойдалидир.

Завод шароитида икки молекула сувли гипс ишлашиш мумкин. Цемент шарли тегирмонларда туйилганда, у жуда қизиб кетади ва шу иссиқлик таъсирида икки молекула сувли гипс сувсизланиб, ярим молекула сувли гипсга айланади. Гипс қўшимча равишда туйилган цементга қўшиладиган бўлса, масалан, иккинчи марта туйиш (амалда йиғма темир-бетон заводларида шундай қилинади) ярим молекула сувли гипс қўшган маъқул.

Бироқ цемент корхоналарида ҳар доим ҳам таркибида  $C_3S$

ва  $C_3A$  аралашмаси кўп бўлган цемент ишлаб чиқариб бўлмайди, бу хом ашё сифатига, ёқилгига ва технологик жараённинг ташкил этилишига боғлиқ. Цементни жуда майдалаб туйиш иқтисодий жиҳатдан ҳам фойдали эмас. Аммо шу билан бирга темир-бетон буюмлари заводларида олдиндан зўриқтирилган темир-бетон буюмлар ишлаб чиқариш учун тез қотадиган цемент, айниқса, керак бўлади. Бундай шароитларда цемент титратма, яъни вибротегирмонларда яна бир марта туйиб олинади. Йиғма темир-бетон ишлаб чиқаришда ишлатиладиган цементларнинг барчаси титратма тегирмонда туйилиши мумкин. Тошқол портландцементларни қайта туйиш ниҳоятда яхши фойда беради.

Титратма қурилмада қайта туйилган цемент дастлабки даврданоқ яхши мустаҳкамлана бориши билан бирга, унинг маркаси ҳам ортади. Масалан, 400 маркали цемент қайта туйилганда, 600 маркали цемент ҳосил бўлади.

Цементнинг тез қотувчанлиги, биринчидан, унинг минералогик таркибига, иккинчидан, клинкернинг майдаланиш даражасига боғлиқ. Клинкер қанчалик майда туйилса, олинган цемент шунча тез қотувчан бўлади. Шу сабабли тез қотувчан цемент олишда унинг майдалик даражасини ифодаловчи солиштирма юзаси  $350\text{--}450\text{ м}^2/\text{кг}$ . гача етказилиши керак (оддий портландцементнинг солиштирма юзаси  $250\text{--}300\text{ м}^2/\text{кг}$ ). Тез қотувчан цемент олиш учун И.В.Смирнов ва Б.В.Осин портландцементга  $1,2\text{--}2\%$  хлорид кислота ( $HCl$ ) ва  $10\text{--}15\%$  қайновчи оҳак қўшиб, солиштирма юзани  $400\text{--}500\text{ м}^2/\text{кг}$ . га етказишни таклиф этишди.

Цемент заррачаларининг майдалигига қараб, унинг эриш ва гидратланиш жараёни ҳам тезлашади. Масалан, заррачалар йириклиги  $10\text{ мкм}$  бўлган цементдан тайёрланган намунанинг уч кундан кейинги мустаҳкамлиги йириклиги  $60\text{ мкм}$  бўлган цементникига нисбатан 7 марта юксак бўлади. Цементнинг майдалиги унинг мустаҳкамлигига қандай таъсир этиши 31-жадвалда кўрсатилган.

Тез қотадиган цементлар металл қолипларни тез бўшатишга имкон беради. Айрим вақтларда эса иссиқ ишлов беришдан ҳам озод қилади. Тез қотувчан махсус портландцемент ҳам мавжуд бўлиб, у одатдаги тез қотувчан портландцементга нисбатан ҳам жадалроқ қотади. Бундай цемент таркибида камида  $60\text{--}65\%$   $C_3S$  ва  $8\%$   $C_3A$  бўлган клинкерни гипс иштирокида ўта майда туйиш ( $400\text{--}450\text{ м}^2/\text{кг}$ ) орқали олинади. Йириклиги

## Цемент майдалигининг мустаҳкамликка таъсири

Солиштирма юза, м <sup>2</sup> /кг	Сиқилишдаги мустаҳкамлик, МПа				
	1 кундан кейин	3 кундан кейин	28 кундан кейин	6 ойдан кейин	12 ойдан кейин
188	8,4	26	53	52	69
210	14,5	28	40	60	72
300	14,7	34	57	61	72
400	21,5	46	59	61	69
500	28	40	54	60	74

30 мкм.ли заррачаларнинг умумий миқдори камида 50-60% баъзан 80 % гача бўлиши керак. Стандартга кўра, бу цементга минерал қўшилмалар қўшилмайди.

Тез қотувчан махсус цементнинг тишлашиш муддатларини яхшилаш учун кўп миқдорда гипс қўшилади ( $SO_3$  ҳисоблаганда камида 4 % гача). Цемент тез тишлашиб қолмаслиги учун уни туйиш пайтида ҳароратнинг ўта кўтарилиб кетишига йўл қўймаслик керак. 310—85 Давлат стандартига кўра, махсус тез қотувчан портландцементнинг мустаҳкамлиги 1, 3, 28 суткадан кейин 30, 40 ва 50—60 МПа ни ташкил этиши керак. Ҳозирги пайтда оддий портландцемент клинкерини сульфоалюминат клинкери билан биргаликда туйиш орқали бундан ҳам тез қотувчан ва юқори мустаҳкамликка эга цементлар олинмоқда. 28 сутка ўтгач, бундай цементларнинг маркаси 700—800 га кўтарилади.

## 22. Пластификацияланган ва гидрофоб портландцементлар

Клинкери пластификациялайдиган ёки гидрофобловчи қўшилма билан биргаликда майда қилиб туйишдан ҳосил бўладиган гидравлик боғловчи моддалар тегишлича *пластификацияланган ёки гидрофоб* портландцемент деб аталади. Пластификациялайдиган ва гидрофоб қўшилмалар цемент оғирлигининг (қуруқ моддага нисбатан ҳисобланганда) 0,1—0,25 % миқдорида қўшилади. Стандарт талабига биноан, пластифи-

кацияловчи сирт-фаол қўшилмалар сифатида сульфит спирт бардаси (ССБ) нинг концентрати хизмат қилади.

Цемент заррачалари устида гидрофил моддаларнинг ши-миш пардалари мавжудлиги бетон қоришмасининг бевақт ёпишиб қолишига (коагуляцияга) тўсқинлик қилади, шунинг-дек, цемент заррачаларининг ва тўлдиргичларнинг қатлам-қатлам бўлиб чуқишини, қоришмадан сувнинг ажралиб чиқи-шини камайтиради, яъни сув, шағал, қум ва цемент қоришма-сининг алоҳида-алоҳида қатламланишига йўл қўймайди.

Пластификацияланган цементдан тайёрланган бетон зич, совуққа чидамли ва кам сув ўтказувчан бўлади. Бундай цемент ишлатилганда 10 % гача боғловчи материал тежалди.

Пластификацияланган цемент 300, 400, 500, 600 маркалар-да чиқарилади.

Узоқ вақт очик ҳавода сақланган портландцементнинг мар-каси кун сайин пасайиб боради, чунки ҳаводаги намлик би-лан цементдаги минералларнинг қисман бирикуви юз бера-ди. Бунинг олдини олиш учун цемент клинкерини туйиш жа-раёнида унга 0,1—0,25 % миқдорида махсус гидрофоб моддалар қўшилади. Цемент массасидан фоиз миқдорида қуйидаги мод-далар шундай қўшилмалар сифатида ишлатилиши мумкин:

- а) асидол 0,08—0,12 %;
- б) асидол — милонафт 0,08—0,12 %;
- в) милонафт 0,1—0,25 %;
- г) олеин кислота ёки оксидланган петролатум 0,06—1 %;
- д) оксидланган петролатум 0,3 %.

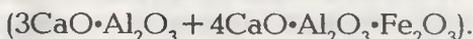
Гидрофоб моддалар клинкерни туйиш жараёнида цемент заррачаси юзасини намланмайдиган парда билан қоплайди. Шунинг учун уни узоқ муддат ҳавода сақлаш мумкин бўлади. Бу вақт ичида унинг мустақамлиги бошқа цементлар каби па-сайиб кетмайди. Гидрофоб цементдан қоришма тайёрланган-да, цемент заррачалари сиртидаги гидрофоб парда қум ва шағалнинг ишқаланишидан бузилиб, сув билан эркин равиш-да бирикиши лозим. Шунинг учун гидрофоб цемент узоқ сақ-ланса ҳам, ўзининг пластиклик хоссасини йўқотмайди.

Гидрофоб портландцементдан буюм тайёрлаганда унинг зичлиги юқори даражада бўлади, сув ўтказувчанлиги камая-ди, совуққа чидамлилиги эса 800—1000 циклга ортади (оддий портландцемент бетоннинг совуққа чидамлилик маркаси СЧ-200—300). Гидрофоб портландцемент ҳам оддий портландце-мент каби маркаларда чиқарилади.

## 23. Сульфатга чидамли портландцемент

Бундай цементларнинг сульфатли сувлар таъсирига чидамлилиги юқори бўлиб, уларнинг вужудга келиши учун клинкер таркибидаги сульфатли моддалар (масалан,  $\text{CaSO}_4$ ) билан кимёвий реакцияга киришадиган минераллар миқдорини камайтириш зарур. Портландцемент коррозиясининг учинчи турига мувофиқ, «цемент бациллалари» сувдаги кальций сульфат билан клинкердан уч кальцийли алюминат ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) нинг ўзаро таъсир этишидан ҳосил бўлади. Сульфатлар таъсирига чидамли цемент клинкерида уч кальцийли алюминат миқдори 5 % дан ошмаслиги лозим, оддий цементда эса унинг миқдори баъзан 15 % га етади.

Тўрт кальцийли алюмоферритнинг гидролизи натижасида ҳам уч кальцийли гидроалюминат ҳосил бўлиши мумкин. Шунга кўра, сульфатлар таъсирига бардошли портландцементда алюминатли таркибий қисмларнинг барчаси 22 % дан кўп бўлмоғи лозим:



Портландцементларда уч кальцийли силикат кўп миқдорда бўлганида, цементнинг сув ва сульфат таъсирига тургунлиги камаяди. Гидролиз вақтида ундан эркин кальций оксид гидрати ажралиб чиқади, бу гидрат ўта эрувчан бўлганлиги сабабли бетондан ювилиб чиқиб кетади. Шунга кўра, сульфат таъсирини тургун портландцементда уч кальцийли силикат миқдори, стандартда кўрсатилгандек, 50 % дан ошмаслиги шарт.

Сульфат таъсирига чидамли портландцемент ишлаб чиқариш технологияси оддий портландцемент ишлаб чиқариш технологиясининг айни ўзи. Бундай портландцемент 300 ва 400 маркаларга бўлинади. Ундан гидротехника қурилишларида, доим намланиб ва қуриб ёки музлаб ҳамда эриб туриши билан бирга сульфатли сувлар таъсирига ҳам дучор бўладиган бетон ва темир-бетон конструкциялар тайёрлашда кенг фойдаланилади.

1950 йилга қадар Ўзбекистондаги цемент корхоналарида таркибида кўп алюминатли (15 % гача) портландцемент ишлаб чиқариларди. Бундай цемент сульфатли сувларга чидамсиз бўлиб, бунинг асосий сабаби шуки, уч кальцийли гидроалюминатнинг сувда эриган гипс билан ўзаро таъсир этишу-

видан кальций гидросульфоалюминат (цемент бацилласи) ҳосил бўлади. У цемент-тош говакларида кристалланиб, тошни емиришга ҳаракат қилади. Демак, клинкер таркибида уч кальцийли алюминат ( $C_3A$ ) бўлмаган тақдирда, цемент сульфатлар таъсирига бардош бера олади. Лекин клинкерда уч кальцийли алюминатнинг бутунлай бўлмаслиги ҳам мумкин эмас, зеро бу ҳолда цементнинг қотиши ниҳоятда секинлашиб кетади. Шунинг учун сульфатга чидамли портландцемент клинкери таркибидаги уч кальцийли алюминат миқдори 5 % дан ошмаслиги лозим.

Цементнинг сувдаги коррозияси кўп жиҳатдан клинкерда уч кальцийли силикат ( $C_3S$ ) миқдорига боғлиқ. Уч кальцийли силикат гидролизи туфайли эркин кальций гидроксид ҳосил бўлади. У бетондан ювилиб чиқиб кетади ёки сульфат билан реакцияга киришиб, гипс ҳосил қилади. Гипс уч кальцийли алюминат билан ўзаро таъсир этишади. Шунинг учун сульфатга чидамли портландцемент таркибида уч кальцийли силикат ҳам кўп бўлмаслиги керак. Лекин у клинкер таркибида жуда оз бўлса ҳам, сульфатга чидамли бўлган қотаётган цементда  $Ca(OH)_2$  ҳосил бўлаверади. Шунинг учун ювилиб кетиш коррозиясига йўл қўймаслик мақсадида сульфатга чидамли портландцементга 15 % гача глиеж қўшилади. Юқорида айтиб ўтилганидек, у  $Ca(OH)_2$  ни кам эрийдиган кальций силикатларга айлантиради.

Ўзбекистонлик олим кимё фанлари доктори, профессор И.С.Канцельский раҳбарлигида бир гуруҳ тадқиқотчилар цементларнинг сифатини яхшилаш борасида олиб борган ишлари нағижасида уларнинг сульфат сувларига чидамлигини янада ошириш учун клинкер таркибидаги  $C_3A$  минерали миқдорини анча камайтириб, тўрт кальцийли алюмоферрит ( $C_4AF$ ) минерали миқдорини ошириш кераклигини аниқладилар. Бунга куйдиришдан олдин 2—3 % колчедан куйиндисини цемент хом ашёсига қўшиш ҳисобига эришилди ва шу билан бирга цементни куйдириш жараёни ҳам тезлашди. Темир колчедани катализатор сифатида қўшилиши маҳаллий цементларнинг Марказий Осиё шароитига, айниқса, янги ўзлаштирилган жойларнинг қуруқ, иссиқ ҳамда совуқ иқлими, кучли шамолли ва шўр сувли шароитига чидамли, кам алюминатли алюмоферрит портландцемент олиш имконини беради. Бу цемент 1960 йилдан Қувасой, 1965 йилдан эса Оҳангарон цемент заводларида ишлаб чиқарилмоқда.

Ўзбекистонда бундай цемент ишлаб чиқарилишини биринчи бўлиб техника фанлари номзоди С.Т.Тўхтаўжаев йўлга қўйди. Юқорида айтилганидек, сульфатли сувларга чидамли портландцемент таркибида  $C_3A$  миқдори 5 % атрофида олиниб, бундай цементда  $C_3S$  кўпи билан 50 % ни ташкил қилар эди. Бу цементнинг дастлабки кунлардаги мустаҳкамлиги (маркаси) бирмунча паст бўлади. Силикати кўп ( $C_3S$  миқдори 50 % дан ортиқ) цементнинг сульфатли сувларга чидамлилигини ошириш борасида ҳозир ҳам изланишлар олиб борилмоқда.

Баъзи олимлар юқори асосли, таркибида алит моддаси кўп бўлган портландцементлар қотаётганда зич, мустаҳкам таркибий тузилиш ҳосил қилгани боис уларнинг ичига сульфатли сувлар сингиб кириши камайиб, пишиқроқ бўлади, деб ҳисоблайдилар. Шунинг учун кейинги йилларда АҚШ стандартларидан  $C_3S$  учун киритилган чегаралаш олиб ташланган.

И.С. Канцельский раҳбарлигида амалга оширилган кўп йиллик тажрибалар натижасида портландцемент клинкери таркибидаги  $C_3A$  энг кам миқдоргача (1—2 %) етказилди ва  $C_3S$  миқдори 50 % атрофида қолдирилиб, цементлар асослигини ошириш мумкинлиги кўрсатиб берилди. Бу ишлар самараси ўлароқ, сульфатли сувларга чидамли 400 маркали, кам алюминатли алюмоферрит портландцемент олинди. Илгари сульфатли сувларга чидамли цементлар маркаси 300 га тенг эди. Шундай қилиб, олдиндан белгиланган минералогик таркибли цемент Қувасой хом ашёси базасида саноат миқёсида ишлаб чиқарила бошлади.

## 24. Оқ ва рангли портландцементлар

*Оқ портландцемент* — таркибида темир оксид (0,3—0,45 % гача) бўлган оқ клинкерни майда туйишдан ҳосил бўладиган гидравлик боғловчи модда. Клинкерни туйиш жараёнида 15 % гача гидравлик ёки 10 % гача инерт қўшилмалар, шунингдек, тишлашиш муддатларини керагича ўзгартириб туриш учун кўпи билан 3 % гипс қўшишга рухсат этилади. Гипс ва қўшилма туйилгандан сўнг бу цемент белгиланган даражада оқ бўлиши керак.

Портландцемент рангли клинкер минераллари таркибида қандай оксид борлигига қараб ҳар хил бўлади. Масалан, кальций силикатлар оқ,  $C_3S$  эса  $C_2S$  дан оқроқ бўлади ва ҳоказо. Айниқса, уч кальцийли алюминат бошқа цементлардан оқли-

ги билан ажралиб туради. Таркибидаги темир оксидлари тўрт кальцийли алюмоферритга қорамтир тус беради. Шу сабабли оддий портландцемент кулранг-яшил бўлади. Демак, клинкер таркибида уни «бўёвчи» оксидларсиз, айниқса,  $Fe_2O_3$  иштирокисиз бундай цемент оқ рангли бўлади.

Шундай қилиб, оқ портландцемент ишлаб чиқаришдан таркибида темир оксид бўлмаган ёки жуда оз миқдорда бўлган хом ашё сифатида жуда оқ материаллар — соф оҳактош ёки бўр ва сералюминий оксидли гиллар (каолинлар) ишлатилади. Бундай клинкер таркибида  $C_4AF$  ҳам деярли бўлмайди. Бироқ маълум кимёвий таркибли хом ашё ишлатишнинг ўзи ниҳоятда оқ портландцемент ишлаб чиқариш учун кифоя қилмайди. Бўёвчи оксидлар цементга ёқилги кулидан ёки туйиш жараёнида тегирмон шарларидан ёхуд тегирмоннинг пулат қопламасидан ўтиши мумкин. Шунинг учун клинкерни пишириш пайтида кулсиз суюқ ёки газсимон ёқилги ишлатилади. Пишиб етилаган заҳоти у қайтариш реакцияси муҳити таъсирига учратилиб, оқлиги оширилади. Шунда клинкер таркибидаги  $Fe_2O_3$  кўринишидаги темир оксид камроқ бўййдиган  $Fe_3O_4$  га айланади ва цемент янада оқаради. Хом ашё аралашмаси ва оқ цемент клинкери махсус қаттиқ пулат ёки чинни тахталалар қопланган шарли тегирмонларда майдаланади.

Оқ портландцемент оқлик даражасига қараб уч навга бўлинади: олий нав, ОЦ — 1, ОЦ — 2 (ОЦ — оқ цемент). Турли навдаги цементнинг оқлик даражаси камида қуйидаги талабларга мос бўлиши керак: 1-навда — 76 %, 2 навда — 72 %, оддий портландцементда — 40 % гача. Оқлик даражаси фотометр ёрдамида аниқланади. Стандартта кўра, қайтариш коэффициенти 96,3 % дан кам бўлмаган барий сульфат ( $BaSO_4$ ) оқлик андозаси ҳисобланади. Уч кальцийли силикат миқдори клинкерда кўп бўлса, оқ портландцементдан тайёрланган буюмлар сиртида оқ доғлар ёки шўр ҳосил бўлиши мумкин.  $C_3S$  нинг гидролизи вақтида оҳак ажралиб чиқиши сабабли шундай ҳол юз беради. Бунга йўл қўймаслик учун оқ портландцемент ва оҳакни кам эрийдиган кальций гидросиликатга айлантириш мақсадида 5—10 % голят фаол гидравлик қўшимча қўшилади. Клинкер таркибида кўп миқдорда  $C_3S$  ва  $C_3A$  бўлганлигидан оқ цемент тез мустаҳкамлана боради ҳамда кўпроқ киришиш хоссасига эга бўлади. Бу цемент 400 ва 500 маркаларда ишлаб чиқарилади.

Оқ портландцемент клинкерига гипс, диатомит (мармар

ёки бўр) ва минерал пигментлар (суда ва органик эритмаларда эримайдиган, майда туйилган рангли кукунлар *пигментлар* деб аталади) қўшиб тортиш йўли билан рангли цементлар олинади. Жумладан, қўшилмалар сифатида охра (сарик ёки қизил тусли минерал бўёқ), темир, сурик (қизил ёки қизғиш жигарранг тус берувчи минерал), марганец рудаси (жигарранг), ультрамарин (ҳаворанг) ва шу кабилар қўшиш мумкин. Оқ ва рангли цементлар сунъий мармар тайёрлашда ҳам ишлатилади. Рангли цементлар яна қуйидаги йўл билан ҳам олинади: бўёвчи оксидлар (хром, марганец, кобальт, никель, мис оксидлар) хом ашё аралашмасига қориштирилиб, яшил, ҳаворанг, қора, жигарранг, сарик ва бошқа турдаги рангдор клинкерлар олинади. Минерал таркибий тузилишига турли оксидларнинг қўшилиши туфайли олинган рангли клинкер тортилиб, ялтироқ, текис ва турғун рангли цемент тайёрланади.

Пардозлаш материаллари ўз табиати ва техникавий хоссаларига кўра, конструктив бетонга яқин турса ҳам, йиғма уйжой қурилишларидаги пардозлаш ишларини механизациялашга қулай имкон яратади. Улар бир хил типдаги технологик жараёнлар ва асбоб-ускуналарни ишлатиш ҳамда узоқ муддатга чидамли рангли конструкциялар олиш имконини беради. Шу жиҳатдан оқ ва рангли портландцементларни энг юқори унумли пардозлаш материалларидан деб ҳисоблаш мумкин. Чунки оддий портландцементнинг бир тури бўлган бу боғловчи модда оқ ва турли рангларни ўзида мужассамлаштирганлиги билан бирга юқори мустаҳкамликка ҳам эгадир.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Тез қотувчан портландцемент оддий портландцементдан қандай афзаллиги билан ажралиб туради?
2. Тез қотувчан портландцементга гидравлик қўшилмалар қўшиладими?
3. Пластификацияланган ва гидрофоб цементнинг аҳамияти ни мада?
4. Сульфатга чидамли портландцементга қандай талаблар қўйилади?
5. Ўзбекистон заводларида сульфатга чидамли портландцемент ишлаб чиқаришни ким йўлга қўйган ва ҳозирги кунда бундай маҳсулот ишлаб чиқарилаяптими?
6. Республикада оқ ва рангли портландцементларни ишлаб чиқариш йўлга қўйилганми?
7. Оқ портландцемент оддий портландцементдан таркиби жиҳатидан қандай фарқ қилади?

## VI боб. МАХСУС ЦЕМЕНТЛАР

### 25. Тампонач цементлар

Ҳозирги кунда чуқурлиги кўпинча бир неча минг метргача етадиган юзлаб ва минглаб нефт ҳамда газ қудуқлари кавлан-моқда. Бу қудуқларни ўраб олган айланасимон бўшлиқ деворларининг баъзи қисми сув қатлами ёки бўш говакли жинслар, ҳатто горлардан иборат бўлиб, нефт ва газ қазиб олишни қийинлаштиради. Чунки бу табиий бойликлар ўша говаклар ва горлар орқали катта масофаларга ёйилиб кетиши мумкин. Шунинг учун мавжуд бўшлиқ, яъни қувур орқаси ва унинг ички деворлари ўртаси сув ва газ ўтказмайдиган масса билан тўлдирилади, яъни тампонланади (газ мустаҳкам беркитилган пўлат қувурлар ёрдамида осонликча чиқариб олинади). Шунинг учун ҳар бир газ-нефт қудугини қазиб, ундан фойдаланиш ҳамда капитал таъмирлашда портландцемент турларидан бўлган тампонач цементлар ишлатилади.

Қудуқларни цементлашдан мақсад сувли ёки бошқа қатламлардан нефт ва газ маҳсулотларини ажратиб олишдан иборат. Мураккаб бургулаш жараёнида цементлаш ишлари ўта масъулиятли вазифа бўлиб, унинг сифатли амалга оширилиши кўпинча қудуқлардан фойдаланишни яхшилайдди. Цементлашдан олдин ҳисобланган чуқурликка туширилиб, тегишлича осиб қўйилган пўлат қувурлар колонкаси орқали қудуқларни ювиш учун суюқ лой аталаси юборилади. Қудуқ ювиб бўлингач, қувурга усти шиша пластинка билан қопланган ва маркази тешикли пастки тиқин туширилади. Тиқин қувур деворларига зич тақалган ҳолда жойлашади.

Сўнгра қувурга туширилган тиқин устига тезлик билан цементловчи агрегатлар ёрдамида олдиндан ҳисоблаб қўйилган ҳажмда цемент қоришмаси юборилади ва у ерга юқориги берк (тешиксиз) тиқин туширилади. Натижада пастки ва юқориги тиқинлар орасида қолган суюқ цемент қоришмаси пастга қараб ҳаракат қила бошлайди. Пастки тиқин мустаҳкамловчи қувурларда олдиндан ўрнатилган тиралиш ҳалқасига бориб

етганда, бироз босим ортади ва пастки тиқин шишаси эзилиб синади, ҳосил бўлган тешик орқали цемент қоришмаси пармада кавланган жой ва қувур орқасидаги ҳалқасимон бўшлиққа ўтаётганда бурғулашдан қолган лой синдирилиб, сурилиб бўшлиққа ўтиб кетади.

Юқориги тиқин пастки тиқин устига келиб жойлашганда суюқ лой аталаси бериш тўхтатилади, буни қудуқ олдида ўрнатилган монометрдаги босимнинг кескин ортишидан билса бўлади. Қувур орқасидаги бўшлиққа ўтаётган цемент қоришмасининг кўтарилиши маълум тезликда (камида 1,5м/с) кетиши керак. Бунинг аҳамияти катта, чунки у қудуқ деворларини лой пўстлогидан яхшилаб тозалашни ва чидамлироқ цемент ҳалқаси ҳосил қилишни таъминлайди. Цементлаш даврида цемент қоришмасининг ҳажми ва қувурга юбориладиган суюқлик миқдори аниқ кузатиб турилади. Цемент экзотермияси бу босимнинг ошувига сабаб бўлади.

Цемент қоришмаси қувур орқасидаги бўшлиқда қанчалик кўтарилгани аниқлангач, цемент бутунлай қотиб олиши учун қудуқ тахминан 18, баъзан 48 соат давомида тинч қолдирилади. Қудуқ деворлари ва обсадка қувурнинг ташқи диаметри ўртасидаги цемент қоришмаси билан тўлдирилган оралик тахминан 15—50 м. га тенг. Цемент қоришмасининг белгиланган қотиш даври тугаши билан обсадка колоннасининг герметиклиги синалади. Бу ҳолда босимни ҳар 30 минутда 0,5 МПа гача камайтиришга рухсат этилади. Шу ишлар бажарилгач ва цемент зарур мустаҳкамликка эга бўлгач, маҳсулотларнинг нефт ва газ қатлами очилади. Тешик очиш пармада кавланган жойдаги цемент-тошни яна бурғулаш ёки уриб тушириш орқали амалга оширилади. Шу тешиқдан қудуқ ичига нефт ёки газ отилиб чиқа бошлайди.

Қувур деворлари ва унга ёндашган цемент-тош порохли ёки торпеда перфоратор ёрдамида тешилади. Қудуқдаги суюқлик юзаси пасайгач, перфорация натижасида цемент-тошда ҳосил бўлган тешик орқали қувурга нефт (ёки газ) қатлами босимдан паст босимда нефт (ёки газ) кира бошлайди. Энди қудуқлардаги тампонаж цементларнинг махсус шароитлардаги хизмати нимадан иборат эканлигини кўриб ўтамиз. Қудуқни кўздан кечириб ва унинг ҳолатини аниқ текшириб туришнинг мутлақо имкони йўқ. Нефт ва газ қудуқлари чуқурлаша борган сари уларда ҳарорат ва босим ҳам орта боради. Бу эса албатта цемент-тошнинг қотиш жараёнига ва шаклланиш сифа-

тига таъсир кўрсатади. Сув, газ ва нефт сиқувининг ортиши ҳам қудуқлардаги босимни кучайтириб юборади. Қудуқлардаги цемент-тошнинг қотиш шароити жуда мураккаб: жинс қатламлари турли говак, ёриқ ва ковакларга эга.

Синиш вақтида ювадиган суюқлик устун ҳосил қилган ортиқча гидростатик босим қатлам жинсларида табиий ёриқларни кўпайтириши ва қудуқларни мустаҳкамлайдиган лой, сўнгра цемент қоришмаси йўқолиб кетишига сабаб бўлиши мумкин. Қатламларнинг гидравлик узилиши деб аталадиган ҳолатларда қатлам сувларининг юқоридан пастки бошқа сув уфқларига оқиб ўтиши кузатилади. Кўпинча говакли қатлам жинсларининг сувни ютиб олиш хусусияти сабабли цемент қоришмасининг сувсизланиши содир бўлади.

Бир қанча конларнинг қатлам сувлари турли тузларнинг юқори концентрациясига эга. Мисол учун Ўзбекистон, Туркманистон ва Волга бўйи ҳудудларидаги конларнинг қатлам сувларида хлоркальцийли, хлормагнийли, сульфатнатрийли, шунингдек, сульфатли тузлар учрайди. Бу тузлар, айниқса, юқори босим ва ҳарорат шароитида цемент-тошни сезиларли даражада емириши мумкин. Бундан ташқари, цемент ҳалқасининг сув ўтказувчанлигини ҳам назарга олиш керак. Газ қудуқларининг ишлаш шароитлари яна ҳам мураккаб, чунки цементлаш ишлари тугагандан кейин қатламдан қудуқ ичига қараб газ диффузияланиши, яъни отилиб чиқиши ва уфуриб туриши мумкин. Қувур орқасидаги бўшлиққа суриб киритилаётган цемент қоришмасига лой аталаси аралашуви цемент-тошнинг қотишига салбий таъсир кўрсатади. Перфорация жараёни қудуқдаги цемент-тош мустаҳкамлигига путур етказиб, унинг мустаҳкамлигини кўп омилларга ва айниқса, перфорация турига (ўқли ва торпедали) боғлиқ ҳолда камайтиради.

Портландцемент қоришмаси ёрдамида нефт қатламларини сувли қатламлардан ажратиб туриш учун мустаҳкамловчи қувурларни маҳкамлаш борасида дастлабки тажрибалар Россияда 1907—1908 йилларда ўтказилиб, унчалик чуқур бўлмаган қудуқларда ижобий натижа берган. Нисбатан секин тишлашиш, паст мустаҳкамлик ва дағал туйилиш каби хоссалар ўша пайтдаги портландцементга хос бўлиб, бу цемент-тош керакли мустаҳкамликни касб этгунча кутиш заруриятини келтириб чиқаради.

Шунинг учун цементнинг қотиш жараёнларини тезлатиш эҳтиёжи туғилди. Бунга асосан цементни майдалаб туйиш

ҳисобига эришилари, чунки керакли кимёвий ва минералогик таркибдаги цементни ҳосил қилиш учун зарур бўлган боғловчи материаллар кимёси тўғрисидаги фан ҳали унчалик ривожланмаган эди. Кўп йиллик илмий-тадқиқот ишлари ва нефт конларидан фойдаланишда тупланган тажриба сифатли цемент олишга хизмат қиладиган энг муҳим талабларни аниқлашга имкон беради. Улар асосан қуйидагилардан иборат. Цемент қоришмасини қувурга босим остида тезлик билан ҳайдаб киргизиш учун у етарли даражада оқувчан бўлиб, сўнгра қувур орқасидаги бўшлиққа суриб ўтказилиши керак. Цементлаш ишлари олиб борилаётган муддат давомида қоришма оқувчанлик хусусиятини йўқотмай туриши лозим. Бунга сув — цемент нисбати 0,4 : 0,5 га тенглашганда эришилади. Қудуқ ҳароратига қараб цементнинг тишлашиш муддатлари ўзгариб туради.

Тампонаж цементлари биринчи икки сутка давомида керакли қотиш мустаҳкамлигига эришиши керак. Бу мустаҳкамлик қудуқ йўлидаги қувурни маҳкам бириктириши ва қайта бурғулаш ҳамда перфорация жараёнида сингдирувчан жинслардан барқарор равишда ҳимояланишини таъминлаши лозим. Санаб ўтилган барча талабларга жавоб бериши учун цемент-тошнинг сиқилишга бўлган мустаҳкамлиги қанчага тенг бўлиши кераклигини аниқлаш мураккаб масаладир. Мустаҳкамлик қиймати 2—3 га баравар захира коэффиценти билан бирга камида 3,5 МПа бўлиши керак деб тахмин қилинади.

Цемент қоришмасининг қовушоқлиги жуда муҳим кўрсаткич бўлиб, цементнинг оқувчанлигини акс эттиради. Бу хусусият цементдан яхши оқувчан қоришма олинишини ва унинг маълум чуқурликдаги тегишли ҳарорат ва босимда қувурга юборишга ҳамда қувур орқасидаги бўшлиққа суриб киритишга имкон берадиган вақт ичида қўзғалувчан бўлиб туришини таъминлаши керак. Қудуққа юборилган цемент қоришмаси қисқа вақт ичида тегишли мустаҳкамликка эришуви ва қудуқда узоқ муддат сақланиб қолиши лозим.

Цемент-тош емирувчи қатлам сувларига нисбатан бардошли бўлиши ва маҳсулдор нефт қатламларини оралиқ сувлардан ҳамда кўп миқдордаги турли тузлар, кўпинча эса таркибида олтингутурт водороди мавжуд емирувчи суюқликларнинг мустаҳкамловчи қувурга сингиб киришидан сақланишини таъминловчи, яъни сув сингдирмайдиган бўлиши керак. Цемент-тош дастлабки қотиш даврида етарлича пластик бўлиши ло-

зим. Чунки қудуқларда тешик очаётганда уларда ёриқлар ҳосил бўлмаслиги ва шу билан бирга юқори ҳарорат ва босим шароитида узоқ вақтга чидаши лозим.

Цемент қоришмасининг сув берувчанлигини, албатта, эътиборда тутиш керак. Чунки қудуқда учрайдиган шимувчан (сингдирувчан) жинс қатламлари цемент қоришмасидан сувни шимиб олиши мумкин. Бу эса сув — цемент нисбатини сезиларли даражада пасайтириб юборади, цементнинг қовушоқлиги ва тишлашиш муддатларига таъсир кўрсатади. Бундан ташқари, цемент-тошнинг газ қудуқларида газ ўтказувчанлиги, айниқса, муҳим аҳамиятга эга. Цементнинг турли шароитларда ишлатилиши унга қўйиладиган талабларнинг барчасига тўлиқ жавоб бера олмайди. Цемент саноати асосан икки хил тампонаж цементни ишлаб чиқаради. Унинг бир тури «совуқ» қудуқларга, иккинчи тури эса «иссиқ» қудуқларга мўлжалланган. Булардан ташқари, бошқа махсус тампонаж цементлар ишлаб чиқариш усуллари ҳам ўзлаштирилмоқда. «Совуқ» ва «иссиқ» қудуқлар учун мўлжалланган цементларга нисбатан гоят жиддий талаблар қўйилади.

Тампонаж цементлар ишлаб чиқариш бир мунча қийинчиликлар билан боғлиқ. «Совуқ» қудуқларга мўлжалланган тампонаж цементларда  $C_3S$  ва  $C_2A$  минераллари йиғиндиси 60 % га тенг, улар портландцементни ўта майда (солиштирма сирти 300—350 м<sup>2</sup>/кг га тенглангунча) туйиш орқали олинади. Улардаги гипс миқдори 3 %, «иссиқ» қудуқларга мўлжалланган тампонаж цементнинг тишлашиш суръатини секинлатиш учун унга кам алюминатли портландцемент қўшилади. Бундай цемент тахминан 75°C иссиқликда ишлатилади.

Турли мураккаб шароитлардаги нефт ва газ қудуқларини бурғулашда бу стандарт материаллар цементлаш ишларини сифатли олиб боришга доимо ҳам имкон беравермайди. Бундай шароитдаги қудуқларни цементлаш учун цемент қоришмасининг солиштирма оғирлиги ювувчи лой аталасининг солиштирма оғирлигидан ортиқроқ бўлишини таъминлаш керак. Бошқа шароитларда эса, аксинча, цемент қоришмасини салгина баландликка кўтариш учун унинг солиштирма оғирлиги кам бўлиши лозим. Юқорида айтиб ўтилганидек, тампонаж ишлари олиб борилаётган қудуқлар чуқурлигига қараб, уларнинг ҳарорати ўзгариб боради: «совуқ» деб аталувчи қудуқларда ҳарорат 40°C дан ошмайди. Чуқур (2500 м) қудуқларда тампонаж ишларини (90°C гача) ҳароратда ва жуда ҳам чуқур

(4500 м ортик) қудуқларда 100°C дан юқори иссиқликда олиб бориш керак. Бундай шароитда амалга ошириладиган тампонаж ишларида турли цементларни ишлатишга тўғри келади.

Ёриқ жинслар орқали ўтувчи қудуқлар учун толали (асбест кўшимчали), деворларидан газ чиқадиган қудуқлар учун ҳажман кенгайдиган, чуқурлиги 5—7 км.ли иссиқ қудуқлар учун (бу ерда ҳарорат 200—300°C га, босим ўнлаб МПа. га етади) тишлашиш муддатлари секинлаштирилган оғир ва енгил тампонаж цементлар ишлатилади. Қудуқларда ҳароратнинг янада кўтарилиши натижасида таркибидаги минераллар сув билан тез реакцияга киришган цементнинг тишлашиш муддати қисқариб, мустақамлиги ҳам ортади. Шундай шароитлардаги ишлар учун махсус цементлар ишлаб чиқарилиб, уларнинг самарадорлиги тажрибада синаб кўрилган, аммо цементнинг бундай навлари махсус буюртма асосида ва кам миқдорда тайёрланади. Ҳозирги кунда Қувасой цемент корхонасида турли чуқурликдаги газ ва нефт қудуқлари учун йилига бир неча 100 минг тонна тампонаж цементлари ишлаб чиқарилмоқда.

Ўзбекистон Фанлар академиясининг академиги К. С. Аҳмедов ва техника фанлари доктори У. Д. Мамажонов раҳбарлигидаги олимлар гуруҳи оддий тампонаж цементларни турли тузлар ва туз аралашмалари ҳамда юқори молекуляр полимерлар қўшиб, Марказий Осиёдаги ўта чуқур газ қудуқларида ишлатиш мумкинлигини асослаб берди. Натижада, цементлар хоссаси маълум даражада ўзгарди.

Республикамиз мустақилликка эришганидан буён махсус тампонаж цементларнинг турларини ҳар хил саноат чиқиндилари асосида кўпайтириш, уларнинг қотиш назариясини такомиллаштириш соҳасидаги илмий ишлар тобора ривожланмоқда.

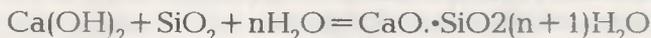
## 26. Пуццолан портландцементлар

Фаол минерал моддалар майда қилиб туйилган тоғ жинслари ёки саноат чиқиндиларидан иборат бўлиб, улар таркибида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  бўлган моддалар билан қўшиб аралаштирилса, сувда қотадиган хусусият касб этади. Бу қўшимчалар асосан фаол тарзда, яъни оддий шароитда оҳак билан ўзаро таъсир этишадиган қумтупроқ ва гилтупроқлардан таркиб топган кам қисмга эга. Уларнинг ўзаро таъсир этишуви натижасида гидросиликатлар ва гидроалюминатлар, яъни сувга чидамли боғловчи мод-

далар ҳосил бўлади. Цементга қўшилган табиий гидравлик моддалар таркибига вулқон куллари, туф, трасс, пемза, диатомит, трепел ва опокалар киради; суъний қўшимчалар сифатида эса ёқилги кули, тошқоли, домна печларидан чиққан донатор тошқол, куйдирилган гил ва шу кабилар ишлатилади.

Кальций гидрат оксид  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  портландцемент қотаётган вақтда ажралиб чиқади. Портландцементга гидравлик қўшимчалар аралаштирилганда эса, қўшимчанинг турига қараб, пуццолан портландцемент ёки тошқоли портландцемент ҳосил бўлади. Портландцемент клинкерини табиий фаол минерал моддалар билан бирга майдалаб туйишдан ҳосил бўлган гидравлик боғловчи моддалар *пуццолан портландцемент* деб юритилади. Гидравлик қўшимча миқдори цементнинг хоссалари ва сифатига қўйиладиган талабларга қараб белгиланади ва одатда у 20—40 % атрофида бўлади.

Тошқоли портландцемент ишлаб чиқаришда унга қўшилган фаол минерал модда сифатида домна печларидан чиққан донатор тошқол ишлатилади: 30—60 % (одатда 40—50 %) атрофида қўшилади. Пуццолан портландцемент ва тошқоли портландцемент қотган вақтда фаол минерал моддалардаги кумтупрокнинг клинкердан ажралиб чиққан оҳак билан кимёвий реакцияга киришуви натижасида кальций гидросиликатнинг қийин эрийдиган бирикмаси ҳосил бўлади:



Демак, фаол минерал модда қўшилган портландцемент қотгандан кейин ундаги эркин кальций гидрат оксид (оҳак) миқдори жуда камайиб кетади, шу туфайли портландцементнинг чучук ва минераллашган сувларга турғунлиги ортади. Бу цементларнинг майдалиги ва тишлашиш мuddати портландцементникидан фарқ қилмайди, лекин қотиш тезлиги портландцементли бетонга нисбатан паст. Дастлабки кунларда қотиши секинлик билан боришига қарамасдан, 28 кун ичида бетоннинг мустаҳкамлиги портландцементнинг мустаҳкамлик даражасига етади. Бетон буюмларга иссиқ буғ билан таъсир этилиши уларнинг тез қотишини таъминлайди. Пуццолан цемент билан тошқоли портландцементнинг маркалари портландцемент маркасига ўхшаш: 300, 400 ва 500. Портландцементнинг бу турлари оддий портландцементга нисбатан камроқ иссиқлик чиқаради, чунки гидратланиш вақтида иссиқлик ажра-

тувчи клинкер улар таркибида оз миқдорда бўлади. Кам ис-  
сиқлик чиқариши боис бундай портландцементларни бетон-  
нинг ёрилишидан хавфсирамай, йирик бетон конструкцияла-  
рида бемалол ишлатиш мумкин.

Таркибида эркин оҳак бўлмаганлиги сабабли пуццолан це-  
мент билан тошқоли портландцементнинг чучук сув таъси-  
рига чидамлилиги юқоридир. Бундан ташқари, цементта  
қўшилган минерал моддалардаги қумтупроқ уч кальцийли алю-  
минат билан реакцияга киришиб, уни икки кальцийли алю-  
минатга айлантиради.  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ нинг миқдори камайтирил-  
са, пуццолан портландцементнинг сульфатли сув таъсирига  
бардоши ортади, чунки бунда *цемент бациллаларининг* ҳосил  
бўлиш эҳтимоли камаяди. Пуццолан портландцементлар кор-  
розияси хусусида юқорида фикр юритиб ўтилди. Аммо бун-  
дай цементларнинг маҳаллий шароитга қараб бошқа турлари  
ҳам ишлаб чиқарилган. Бунга *глиеж* ва *глинит портландцемент-*  
*лар* мисол бўлади.

Маълумки, сизот сувларга чидамли цемент олиш учун суль-  
фатга бардошли махсус портландцемент ёки оддий портланд-  
цемент таркибига фаол минерал қўшилма қўшиш керак эди.  
Биринчи масала Марказий Осиё шароитида осон ҳал қилин-  
са, иккинчисини амалга ошириш анча мушкул. Чунки минта-  
қада табиий чўкма ва вулқонлар натижасида ҳосил бўлган ми-  
нерал қўшилмалар йўқ. Бироқ бу ерда пахтачиликнинг тезлик  
билан ривожланиши ва шу билан боғлиқ гидротехник иншо-  
отларни қуриш ишларининг кенгайиши чучук ва тузли сизот  
сувларга чидамли цементларни маҳаллий хом ашёлардан яра-  
тиш вазифасини илгари сурди.

Портландцемент ўзининг юқори боғловчилик хусусиятла-  
рига қарамасдан, тузли сизот сувларга чидамсиздир. Чунки  
қотиб қолган портландцемент-тошга сингиб кириб, сульфат-  
ли сувлар ҳосил қилган бацилла (кальций гидросульфоалюми-  
нат) дарзлар ва ёриқлар пайдо қилиб, уни емира бошлайди.  
Кам цементли қоришмаларда эса гипс кристаллари кўпроқ (ба-  
циллага нисбатан) ҳосил бўлади. Натижада вужудга келган  
катта ҳажмли кристалл бирикмалар цемент-тошда ички кен-  
гайиш кучланишларини пайдо қилиб, иншоотни бузиб юбо-  
ради. Демак, цемент-тош бацилла ёки гипс кристаллари ҳисо-  
бига кенгайди ва, одатда, бу бирикмалар бетоннинг емирили-  
шига сабабчи бўлади. Шунинг учун цемент ишлаб чиқаришда  
Марказий Осиёнинг шўр ер ости ва сизот сувларига, шўрхоқ

тупроқларига чидамли цемент яратишга катта аҳамият бериш муҳимдир. Бу сувлар таркиби натрий, кальций ва магний сульфат ҳамда хлорли тузлардан иборат.

Ўзбек олимларининг изланишлари натижасида бундай сувларга чидамли пуццолан цементлар ишлаб чиқариш масаласи узил-кесил ҳал қилинган. Бундай цементларни тайёрлаш жараёнида одатдаги портландцемент клинкерига трасс, трепел ва шунга ўхшаш бошқа табиий пуццолан қўшилмалар қўшиш керак бўлар эди, ammo бу қўшимчалар мамлакатимиз бўйлаб бир текис тарқалмаганлиги сабабли ҳамма ерда топиладиган ва умумий бўла оладиган қўшилма топиш устида изланишлар қизиқ кетди. Сунъий пуццоланли қўшилмалар бирмунча кенг тарқалган бўлиб, буларга каолинли ва бошқа гилсимон тупроқлар киради. Бироқ бу қўшилмаларнинг хоссалари ҳам яхши ўрганилмаган.

Барча корхоналар портландцемент ишлаб чиқаришда унинг асосий таркибий қисми бўлган гилтупроқни топишга қодирдилар. Шунинг учун куйдирилган тупроқдан пуццолан қўшилма сифатида фойдаланиш мумкин бўлган Ўзбекистонда каолин тупроғининг катта захираси мавжуд. Собиқ Бутунитиффоқ цемент илмий-текшириш институти (ВНИИЦемент)да олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйдирилган каолинли тупроқдан тайёрланган пуццолан цементлар тузли (шўр) сувларга чидамсиз эканлиги аниқланди. Бу кутилмаган ҳол эди. 1937 йилда собиқ иттифоқ Фанлар академиясининг бетонлар коррозиясига бағишлаб ўтказилган йиғилишида минерал сувли ерларга мўлжалланган иншоотлар учун тайёрланадиган портландцементлар (глинитдан ташқари) яхши ўрганилганлиги айтилиб, улар синалган гидравлик қўшилмалар асосида ишлаб чиқарилиши лозимлиги хусусида қарор қабул қилинди.

Марказий Осиёга пуццолан цементлари жуда зарур эди, чунки бир қатор ҳудудларнинг ер ости сувлари ўта минераллашган бўлиб, кўп жойларда портландцементдан гидротехник иншоотлар ва саноат корхоналарини қуриш ман этилади. Пуццолан цементлар ишлаб чиқаришда куйдирилган каолинитли тупроқ бирдан-бир реал маҳаллий қўшилма ҳисобланар эди.

Бу масаланинг муҳимлигини назарда тутган ҳолда, Ўзбекистонда профессор И.С. Канцельский табиий куйдирилган каолинитли тупроқ ва портландцемент асосида чучук ва шўр сувларга чидамли цемент олиш устида узоқ вақт (1931 йилдан эътиборан) илмий изланишлар олиб борди. Шундай

қилиб, бу мақсадлар учун фойдаланиладиган табиий куйган тупроқ—глиежлардан пуццолан қўшилмаси олиш мумкинлиги дунёда илк бор исботланди. Марказий Осиёда кўмир конларининг ёниши натижасида ҳосил бўлган ва геолог Т.Цибишев томонидан қисқача глиеж (глина естественно-жженная) атамаси берилган бу тупроқларнинг жуда катта конлари мавжуд.

Портландцемент клинкери ва глиежни майда туйишдан глиеж портландцемент ҳосил қилинади. Унга аралаштириладиган гидравлик қўшилма (глиеж) миқдори тайёр маҳсулот массасининг камида 30 % ини ташкил этиши лозим. Тишлашиш муддатларини керагича ўзгартириб туриш учун цементни туйиш жараёнида унга кўпи билан 3 % гача гипс қўшилади.

Глиеж таркиби асосан кремний оксид ва оз миқдорда алюминий оксид (шунингдек, бошқа оксидлар) дан иборат. Кремний ва алюминий оксиднинг бир қисми аморф ҳолда бўлиб, оҳакка жуда ўчдир. Глиеж билан оҳакнинг ўзаро таъсир этишуви натижасида кальций гидросиликатлар ҳосил бўлади. Улар сувда эрувчан оҳакни амалда сувда эримайдиган гидросиликатларга айлантиради. Натижада аралашма қотаётганда эркин оҳак ажратиб чиқарадиган боғловчи модда портландцементга сувга чидамли хусусият бағишлайди. Бундай қўшилмаларни ишлатиш иқтисодий жиҳатдан ҳам катта фойда беради. Портландцементнинг таннархи унинг энг муҳим ва қимматли таркибий моддаси бўлган клинкер ўрнига қисман арзон табиий глиежлар ишлатиш ҳисобига анча арзонлашади.

Глиеж унчалик мустаҳкам бўлмаган, осон майдаланиб кетадиган ғовак материалдир. Бу эса заррачалар сирти катта эканлигини кўрсатади. Қисман шу сабабли қўшилмалар юқори реакцияга киришиш хусусиятига эга. Глиежларнинг фаоллиги куйиш ҳароратига, заррачалар майдалигига боғлиқ бўлиб, улар йириклашган ва иссиқлик ошган сари бу фаоллик ҳам пасайиб боради. Мустаҳкамлик эса куйдириш ҳароратига мутаносиб равишда ошади. Қўшилмаларнинг анча ғоваклиги, сирт-юзасининг юқори фаоллиги ва гидрофиллиги уларнинг сувга таъсирини ҳам белгилаб беради. Сувга тегиши билан (унга) тўйиниб қоладиган қўшилмалар, табиийки, қиш шароитида кўпинча анча нам бўлади. Шу сабабли пуццолан цементларни боғловчилар билан бирга туйишдан олдин бир марта қуритиб олиш зарур.

Нам қўшилмалар аралашган цемент узоқ сақланганда, фаоллиги кескин сусайиб кетади. Қўшилманинг шимиш йўли билан ҳаводан ютган нами боғловчи модда билан ўзаро кимёвий таъсир этишиб, унинг барвақт гидратланишига олиб келади ва шу билан цемент фаоллиги ҳам сусаяди. Қўшилмаларнинг ана шу хоссасини ҳисобга олиб, пуццолан цементларни сақлаш учун тегишли шароитлар яратилади.

Клинкер турига қараб, (глиежлардан) икки хил пуццолан портландцемент: оддий портландцемент клинкеридан фойдаланиб тайёрланадиган глиеж портландцемент; сульфатли сувларга чидамли портландцемент клинкери асосида ишлаб чиқариладиган сульфатга чидамли глиеж портландцемент ишлаб чиқарилади. Глиеж портландцементларнинг ҳар икки хили ҳам бирдек технология асосида ишлаб чиқарилади, уларнинг қўшилмаларига бўлган талаб ҳам бир хил. Глиеж портландцемент қуйидаги технологик йўсин бўйича ишлаб чиқарилади. Юқорида айтилганидек, гидравлик қўшилма (глиеж)нинг ғовақлиги юксак ва, одатда, қиш фаслида намлиги ортиқча бўлганлиги учун намликни кўпи билан 2 % гача қуритиш керак. Бунинг учун ишлатиладиган қуритгич барабанларга глиеж 10—15 мм гача майдаланган ҳолда солинади.

Шундай қилиб, учала компонент: клинкер, глиеж ва гипс белгиланган нисбатга қатъий риоя қилинган ҳолда шарли тегирмонга бир вақтда солиб турилади. Туйиш учун икки камерали қувур тегирмонлар ишлатилади. Глиеж портландцемент ишлаб чиқариш технологияси хом ашё ва ишлаб чиқариш жараёнининг ташкил этилиши жиҳатидан оддий портландцемент тайёрлаш технологиясига ўхшаш. Клинкерни туйиш пайтида цементга қўшимча компонент сифатида глиеж солиниши билан фарқланади, холос. Солинадиган қўшимча миқдори аниқ текшириб борилади. Корхоналарда бу мақсадда автоматик меъёрлагичлар ишлатилади.

Глиежнинг таъсири клинкер минераллари гидратланаётганда ажралиб чиқадиган оҳакнинг ютилишига асосланган; шунинг учун қанча фоиз глиеж қўшилиши бевосита гидратланиш вақтида  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ажратиб чиқарадиган клинкер минерали миқдорига боғлиқ. Маълумки, уч кальцийли силикат шундай минерал ҳисобланади ва, демак, клинкерда уч силикат миқдори қанчалик кўп бўлса, дастлабки қотиш даврида цемент мустаҳкамлигига зарар етказмаган ҳолда шунчалик кўп глиеж қўшиш мумкин. Лаборатория синовларига кўра, тахминан

ҳар 1 % уч кальцийли силикатта 0,5—0,75 % гидравлик қўшилма солса бўлади. Шунга асосан, пуццолан портландцемент тайёрлаш учун уч кальцийли силикатта бой алитли клинкерлар ишлатиш мақсадга мувофиқ, деган хулосага келиш ўринлидир. Бироқ қўшилманинг йўл қўйилиши мумкин бўлган миқдори ни ҳамма вақт ҳам клинкернинг минералогик таркибига қараб белгилаб бўлмайди. Чунки қўшилмалар фаоллиги ҳар хил. Масалан, 1 г трепел ёки диатомит 150 мг. гача СаОни ютади, пемза ёки глиеж эса 50 мг СаОни ўзлаштиради. Оҳакни тўлиқ бириктириш учун фаоллиги паст қўшилмага нисбатан фаол қўшилма кам талаб қилинади. Амалий маълумотларга кўра, фаоллиги 200 бўлган кремний оксидли чиқинди қўшилмасининг энг мақбул миқдори цемент массасидан 20—25 %, фаоллиги 150 бўлган трепел, опока, диатомит ва бошқа моддаларники эса — 25—30 % ва фаоллиги 50—60 қўшилмаларники — 40—50 % бўлади.

Иқтисодий жиҳатдан олиб қараганда, қўшилма имкони борича кўп қўшилгани маъқул. Бироқ бу цемент мустаҳкамлигининг ўсиш тезлигига ва унинг пировард пишиқлик қийматига таъсир кўрсатади, чунки қўшилма миқдори ортиши билан цемент клинкери қисмининг қотиш шароитлари ёмонлашади (клинкер заррачалари бир-биридан анча ажралиб қолади). Глиеж портландцемент чучук сувга ва таркибида сульфат тузлари бўлган шўр сувларга чидамлидир. Энг мақбул миқдордаги (30 % атрофида) глиеж портландцементга туйишдан олдин қўшилганда, унинг мустаҳкамлиги камайиб, зичлиги ортади. Глиеж оддий портландцементнинг зичлигини ошириш ва цемент бацилласининг зарарли таъсирини камайтириш орқали унинг чучук ва сульфатли шўр сувларга бардошлилигини, ҳаво ва атмосфера таъсирига чидамлилигини оширади. Бироқ бу билан портландцемент клинкери ва глиеж асосида сульфат тузли сувларга чидамли цемент ишлаб чиқариш масаласи узил-кесил ҳал бўлмайди. Дастлабки қотиш тезлиги жуда суст, кам мустаҳкамликка эга ва совуққа чидамсиз портландцементнинг бундай хусусиятига эришиш учун унинг клинкерига 70 % гача глиеж қўшиш керак. Кўп йиллар давомида олиб борилган изланишлар натижасида бу клинкернинг минералогик таркиби ўзгартирилиб, сульфатли сувларга чидамлилиги оширилди. Глиежни ўзгартирилган минералогик таркибли, яъни кам алюминатли портландцементга қўшиш йўли билан сульфатли сувларга чидамли глиеж портландце-

мент олинди. Бу ерда шуни ҳам таъкидлаб ўтиш зарурки, Марказий Осиё мамлакатларининг кўпчилик ҳудудлари ҳаддан зиёд шўрланган: ер усти ва ер ости сувлари шу даражада тузлики, оддий портландцементлар бунга чидаш бера олмайди. Ҳозирги кунда глиеж портландцемент айни шундай шароитларга чидамли янги материал ҳисобланади.

Қувасой цемент корхонасида биринчи марта 1940 йилдан бошлаб 30 % кўшилмали, 1948 йилдан эса Бекобод ва бошқа цемент корхоналарида сульфатли сувларга чидамли глиеж портландцемент ишлаб чиқарила бошлади. Бунинг самараси ўлароқ, цементларнинг бошқа навлари кўп миқдорда тежалиб, халқ хўжалигига беҳисоб фойда келтирилди. Ҳозир ер ости ҳамда улкан сув иншоотларини қуришда глиеж портландцемент кенг ишлатилиб келинмоқда.

Кўп йиллар давомида бу цементнинг хоссасини ўрганиш, уни ишлаб чиқариш ва қурилишда ишлатиш натижалари глиеж хом ашёси ҳақиқатан ҳам цементга ҳақиқий қимматбаҳо ва ишончли қўшилма эканлигини кўрсатди. Ангрен ва Қизилқия глиеж конлари улкан хом ашё базаларига айланди. Натижада, Россиянинг марказий ҳудудларидан келтирилиши керак бўлган сульфатли сувларга чидамли уч юз минг тоннадан ортиқ портландцемент ҳозир республикамизнинг ўзида ишлаб чиқарилмоқда ва унга бўлган талаб ҳозирда тўлиқ қондирилмоқда. Ҳаво ва совуқ иқлим таъсирига чидамли ушбу цемент бугунги кунда минтақадаги деярли барча ер усти қурилишларида ҳам кенг ишлатилмоқда.

Қирқинчи йилларда Ўзбекистон цемент корхоналарида асосан глиеж портландцемент ишлаб чиқарилиб, деярли бутун Марказий Осиёдаги гидротехника, саноат ва уй-жой қурилишлари асосан шу материал ҳисобига амалга оширилди. Ўзбекистон цемент саноати кейинги йилларда глиеждан фойдаланиб, ҳар йили қўшимча равишда ярим миллион тонна атрофида сифатли цемент чиқармоқда. Бу эса материал таннархининг анча арзонлашишига олиб келди. Глиеж портландцементнинг кашф этилиши билан сув иншоотларини бунёд этиш учун зарур бўлган паст экзотермик цемент ишлаб чиқариш масаласи ўз-ўзидан ҳал бўлди. Илмий изланишлар бу цемент йирик сув иншоотларини қуришда ишлатиб келинган цемент ўрнини босиши мумкинлигини кўрсатади.

1968 йил бошида Тўхтағул ГЭСини қуриш учун махсус цемент танлаш керак бўлиб қолди. Баландлиги 215 метрли мас-

сив-гравитацияли бу иншоот учун 3,6 миллион куб метр бетон ишлатилиши лозим эди. Аввалига қурилишда собиқ марказий ҳудудлардан (яъни, Россиядан) келтирилган цемент ишлатишга қарор қилинди. Чунки бу қурилишга мўлжалланган инерт тўлдиргич реакцияга киришадиган кремний оксидига, ишқорий моддаларга бой эди. Кремний оксид ва ишқорий моддаларнинг ўзаро бирикишидан ҳосил бўлган комплекс бирикмалар ҳажми олдинги икки модда ҳажмлари йигиндисига нисбатан бир неча марта катта бўлганлиги сабабли, бетонда ички кучланишлар пайдо қилиб, уни ёриб юбориши мумкин, деб фараз қилинди. Шуларни назарда тутган мутахассислар глиеж портландцементни мазкур иншоотда ишлатиш хавфли, деган хулосага келишиб, бу мақсадда махсус цемент ишлатиш кераклигини таъкидладилар. Лекин И.С. Канцепольский ташаббуси билан глиеж портландцемент узоқ вақтга чидаши, сульфатли сувларга турғунлиги ва глиеж таркибидаги ишқорлар (4 % гача) инертлиги, яъни сув ҳамда оҳақда эримаслиги каби ижобий хоссалар туфайли бу қурилишда глиеж портландцементи ишлатиш тўғрисида дадил қарорга келинди. Сўнгра бу цемент учун техникавий шартлар ишлаб чиқилди. Шунга биноан 1969 йилдан эътиборан Қувасой цемент корхонаси Тўхтағул ГЭС қурилишига цемент етказиб бера бошлади. Тўхтағул сув омбори учун бир миллион тонна атрофида цемент керак эди.

Корхона бу вазифани муваффақиятли бажара олди. Унинг жамоасига бир ярим йил мобайнида фақат шу қурилиш таъминотига хизмат қилишга тўғри келди. Тахминий ҳисобларга кўра, бу бир неча ўнлаб млн. сўм (1989 йилгача) маблағ тежашга ёрдам берди. Шундай қилиб, ўзбекистонлик олимлар маҳаллий глиеждан портландцемент учун фаол минерал қўшилма сифатида фойдаланишни таклиф этганлиги муҳим иқтисодий аҳамиятга эга бўлди. Республика цемент корхоналари шу тажриба асосида ирригация ва гидротехника иншоотлари қурилиши учун ниҳоятда зарур бўлган чучук ва сульфатли сувларга чидамли цементни кўплаб ишлаб чиқара бошлади.

Цементларнинг кимёвий чидамлилигини ошириш борасидаги ишлар ҳам яхши натижа берди. Хусусан, И.С. Канцепольскийнинг назарий жиҳатдан катта аҳамиятга эга ишлари асосида сульфатли шароитларда цементларнинг коррозияланиш жараёнини ўрганиш натижасида илгариги фикрларга тузатиш киритилди.

Глиеж портландцементнинг дастлабки қотиш давридаги мустаҳкамлашув суръати оддий портландцементникидан анча суст. Бу жараённи цементга гидротермал ишлов бериш йўли билан жадаллаштириш мумкин.

Мамлакатимиз корхоналари ишлаб чиқараётган 30—50% глиеж қўшилмали цементларни 0,2 МПа босимда 4—6 соат давомида автоклавларда ишлаш натижасида катта амалий аҳамиятга эга буюмларни тайёрлаш имкони туғилди. Глиеж портландцементдан ишланган маҳсулотлар физик-механик хоссаларига кўра, нормал шароитда қотган портландцементнинг 28 кундаги мустаҳкамлигига тенг келади. Улар очиқ ҳаво, совуқ ва сульфат сувлар таъсирига чидамдир. Кейинги йилларда Ўзбекистон цемент саноати глиежлар қўшиш ҳисобига йилига қўшимча равишда 500 минг тонна атрофида цемент ишлаб чиқармоқда.

Илгари портландцемент ишлаб чиқаришда фосфотошқоллар қўлланилмас эди. Чимкент фосфорли ўғитлар заводининг тошқоллари 688-66 рақамли муваққат техник шартларга биноан 1966 йилдан цемент саноатида ишлатила бошлади. Қўшилма миқдори ва клинкернинг минералогик таркибига асосан портландцементнинг қотишига фосфотошқоллар таъсири ўрганиб чиқилди. Физик-механик синовларга кўра, нормал солиштирма сиртли цементга фосфотошқоллар қўшиш цементнинг сувга талабчанлигига таъсир кўрсатмайди, бироқ унинг тишлашиш муддатини секинлаштиради. Цементнинг солиштирма сиртини 340—380 м<sup>2</sup>/кг. гача ошириш унинг тишлашиш муддатини бирмунча тезлаштиради. Бу эса фосфотошқоллар таркибида фосфор кислота тузлари мавжудлиги билан изоҳланади.

Ҳақиқатан ҳам, цементга 1 % атрофида фосфор кислота қўшилса, унинг мустаҳкамлиги кескин камайиб, тишлашиш муддати секинлашади. Бироқ бу унинг дастлабки қотиш даврига (1—3 ойга) тааллуқли бўлиб, асос цемент мустаҳкамлиги кейинги муддатларда (6 ойдан 3 йилгача) ортиб боради. Цемент таркибидаги фосфотошқол миқдори 60 % га етганда, унинг мустаҳкамлиги анча камаяди, аммо таркибида шунча миқдорда фосфотошқол бўлган цементнинг олти ойлик намуналари сиқилишга синалганда, асос портландцемент мустаҳкамлигидан ортиб кетади. Бу қонун турли минералогик таркибли цементларни синаганда ҳам намоён бўлади.

Фосфотошқолли цементларнинг солиштирма сирти

кўпайтирилганда ва намуналарга гидротермал ишлов берилганда, уларнинг мустаҳкамлиги ортади. Бундай цементларнинг ҳавода қотиши қурилиш нормаларининг талабларига тўлиқ жавоб беради, аммо тошқоллар миқдори ортганда, уларнинг совуққа чидамлилиги камая бошлайди. Фосфоташқолларни портландцементларга қўшиш билан цемент намуналарининг киришувини ҳам камайтириш мумкин. 50 % гача фосфоташқоллар қўшилиши уларнинг арматура билан ёпишишини камайтирмасдан, балки бир неча марта орттиради.

Фосфоташқоллар таркиби домна тошқолларидан камроқ миқдорда гилтупроқ борлиги билан фарқланиб, портландцементга қўшилган фосфоташқол миқдорига мутаносиб равишда унинг сульфатли сувларга чидамлилиги ҳам ортади. Синовлар портландцемент таркибида фосфоташқоллар миқдори 10—60 % бўлиши мақбул эканлигини кўрсатади. Сульфатли сувларга чидамсиз одатдаги портландцемент ҳам таркибига қўшилган 15 % фосфоташқол иштирокида шундай сувлар таъсирига бардош бера олади. Бу цементлардан ясалган бетон ҳамда темир-бетон конструкцияларга сульфатли сув ва совуқнинг таъсири ўрганиб чиқилиб, Ўзбекистон ва Туркменистондаги ер ости сувлари ўта минераллашган ҳудудларида самарали ишлатилмоқда.

Профессор И.Тошпўлатов раҳбарлигида янги цемент — глинит портландцементи ихтиро қилинди, у Ўзбекистонда кенг тарқалган маҳаллий хом ашё — каолинитли тупроқ (гилвата)ни 700—800°С да қиздириб ва одатдаги портландцемент клинкерига қўшиб, сўнгра майдалаб туйиш йўли билан тайёрланади. Оқ рангдаги гипссимон жинслар *каолин* деб аталади. Бу моддалар асосан каолинит гуруҳига кирадиган минераллардан таркиб топган.

Глинит портландцементнинг сульфатли сувларга чидамлик даражаси унинг таркибига қўшилган қиздирилган каолинитли тупроқ миқдорига боғлиқ. Бошқача айтганда, қиздирилган каолинитли тупроқ кўп қўшилганда глинит портландцемент мустаҳкамлиги юқори ва кам қўшилганда эса паст бўлади.

Глинит портландцемент трепел, опока, диатомит ва бошқа тоғ жинслари қўшиб тайёрланадиган пуццолан портландцементлардан устун туради. Бу цементнинг энг яхши хоссаларидан бири шуки, у иссиқ-қуруқ ҳавода ҳам, совуқ ҳавода ҳам бирдай мустаҳкамдир, музлаш натижасида емирилмайди.

Каолин тупроғини куйдиришга кўп миқдорда ёқилғи сарф бўлишдан келиб чиқиб, бундай цементни ишлаб чиқариш иқтисодий жиҳатдан самарали эмас, деб ҳисоблайдилар.

Тошқолли портландцемент. Портландцемент клинкери билан донадор тошқол бирга туйилганда ҳосил бўладиган боғловчи материал *тошқолли портландцемент* деб юритилади. Цементдаги тошқол миқдори 30—60 % дан (умумий оғирлик ҳисобида) ошмаслиги керак. 10178-62 стандартларда кўрсатилишича, тошқолнинг 16 % гача миқдорини бошқа гидравлик қўшилма билан алмаштириш ҳам мумкин.

Домна тошқоли асосида кўпинча тошқолли портландцемент, сульфатлашган, оҳакли тошқолли цемент каби боғловчилар тайёрланади. Тошқолли цемент ишлаб чиқаришда тез совиган ва шу туфайли аморф структура касб этган домна тошқоли айниқса катта аҳамиятга эгадир. Тошқоллар нам ва ярим қуруқ усулларда яхшилаб туйилади.

Тошқолли портландцемент фаол минерал қўшилма ўрнида фақат тошқол ишлатиладиган боғловчи моддадир. Бу цементнинг кўпгина хусусиятлари пуццолан портландцементни кига ўхшаб кетади. Оддий портландцементга қараганда агрессив муҳит таъсирига чидамли 200, 300, 400 ва 500 маркаларда ишлаб чиқарилади.

Тишлашиш ва қотиш жараёнининг секинлиги тошқолли портландцементнинг ўзига хос хусусиятларидандир. Тишлашуви 45 минутдан сўнг бошланади, охири 12 соатгача давом этади. Майдалик даражаси портландцементни кига тенг. Тошқолли портландцемент бетон ва темир-бетон конструкциялар, сунъий тошлар, қоришмалар тайёрлашда, сувоқчиликда кенг ишлатилади.

Сульфат-тошқолли цементлар 35—70 % гача донадор домна тошқоли билан гипсни туйиш жараёнида портландцемент ёки оҳак қўшиб олинадиган боғловчи моддалардир. Сульфат-тошқолли цемент 150, 200, 250, 300 маркаларда чиқарилади.

Оҳак-тошқолли цементлар донадор домна тошқоли билан 25 % оҳакни туйиб, сўнмаган аралашмага гипс қўшиш натижасида олинган боғловчилардир.

Пуццолан ва тошқолли портландцементлар турли бетон ва темир-бетон конструкциялар, йиғма деталь ва буюмлар тайёрлашда, портландцементни тежаш мақсадида, шунингдек, қурилиш қоришмалари ва бетонлар тайёрлашда қўлланилади. Бундай цементлардан тайёрланиб, қуруқ шароитда ишлатиладиган бетонларнинг қотиши секинлашади. †

## 27. Сульфоминерал цементлар

Белит цемент. Янги шаҳарларнинг пайдо бўлиши ва уларда йирик жамоат ҳамда маданий-маиший биноларнинг кўплаб қурилиши цемент саноати олдига оқ ва манзарали цементларни маҳаллий хом ашёдан тайёрлаш вазифасини қўйди.

Т.А.Рагозина бундай цементларни таркибида темир оксид кам бўлган маҳаллий хом ашё — Исфара гипси, Оҳангарон каолинли тупроғи ва оҳактошдан 1200—1300°Сда куйдириш йўли билан олиш мумкинлигини исботлаб берди. *Манзарали гил тупроқли белит цемент* номини олган бу материал етарли даражада қаттиқликка эга ва совуқ, сульфатли сувлар таъсирига чидамлидир.

Олима кўп йиллар давомида олиб борган изланишлари натижасида тезкорлик ишларида қўлланиладиган, индустриал методлар талабига жавоб бера оладиган, тез қотувчи, юқори мустаҳкамликка эга оқ ва манзарали цементлар олиш усулини ишлаб чиқди. Бундай цементлар одатдаги портланцементга нисбатан 200—250°С пастроқ ҳароратда куйдирилади. Бу эса, ўз навбатида, ўтга чидамли материаллардан ясалган пишириш хумдонларининг унумдорлигини, ишлаш муддатини оширади, ёқилғи сарфини камайтиради.

Гипс юқорида санаб ўтилган цементларни ва одатдаги портландцементни куйдириш жараёнини тезлаштирувчи сифатида ишлатилиши мумкинлиги аниқланди. Шундай цементларни анортезитлардан (таркибида 22—30 %  $Al_2O_3$  ва 45—50 %  $SiO_2$  бўлган) 10 % гача гипс қўшиб олиш усули тавсия этилади. Пишириш жараёнини енгиллаштириш учун  $CaF_4$  ва  $CaSO_4$  дан иборат аралаш минерализатор қўлланилади.

Цемент қотганида тузлар, агрессив эритмалар таъсирига юқори даражада бардошлилиги билан ажралиб туради, совуққа чидамлилиги ҳам юксак. Мазкур хусусиятлари ундан гидротехник иншоотлар қурилишида, шунингдек, манзарали ва оқ рангли цемент сифатида фойдаланиш имкони беради.

$CaSO_4$  асосий хом ашёнинг таркибий қисмини ташкил қилувчи гидравлик цемент олиш масаласи цемент технологияси ва кимёсида янгилик бўлиб, унинг илмий ва амалий аҳамияти каттадир. Бундай цементларни куйдиришда ҳосил бўладиган сульфоминералларнинг хусусиятлари ва ҳосил бўлиш

шароитлари тадқиқ қилинган. Шунингдек, лаборатория ҳамда ишлаб чиқариш шароитларида сульфосиликат ва сулфоалюминат-силикат цементларини куйдириш технологияси аниқланди. Тадқиқотчилар сулфоалюминат  $3(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) \cdot \text{CaSO}_4$  ва сульфосиликат  $2(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) \cdot \text{CaSO}_4$  нинг ҳосил бўлиш ҳамда асосий оптик ва рентгенографик хусусиятларини аниқлаб беришди.

Шу муносабат билан минерал фосфор ўғитлар ишлаб чиқарувчи кимё корхоналарида кўп миқдорда йиғилиб ётадиган чиқинди фосфогипсдан самарали фойдаланиш катта амалий-иқтисодий аҳамият касб этди.

Оддий шароитларда цемент намуналарининг қотишига оид олинган маълумотлар сулфоалюминат намуналарида мустаҳкамлик жуда тез ва юқори даражада, сульфосиликат намуналарида эса суст ортишини кўрсатди. Бироқ таркибида 20 % сулфоалюминат ва 80 % сульфосиликат бўлган цемент намуналари уч кундаёқ энг юқори даражадаги мустаҳкамликка эга бўлади. 1,5 МПа босимда автоклав ишлови бериш сулфоалюминат намуналарининг мустаҳкамлиги ошишига хизмат қилмайди ва сульфосиликат намуналари қотишига эса жуда яхши таъсир кўрсатиб, уларнинг дастлабки мустаҳкамлигини 10 мартадан зиёд оширади (32-жадвал).

Физик-кимёвий тадқиқотлардан маълум бўлишича, сульфоминераллардан иборат цементларнинг юқори даражадаги гидравлик хусусиятга ва мустаҳкамликка эга бўлишининг асосий сабаби уларда кристаллогидратларнинг янги шакллари ҳосил бўлишидир.

Сульфоминералларнинг агрессив муҳитларда қотиш жараёни. Айрим минералларнинг тузлар таъсирига бардошлилиги шу минералларнинг 3 % ли  $\text{MgSO}_4$  ва 5 % ли  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмаларида қотиш жараёнини кузатиш давомида ўрганилади.

Сулфоалюминат цемент намуналари мазкур эритмаларда жуда тез емирилиб, уларда чуқур ёриқлар пайдо бўлади ва юзалари уваланиб кетади.

Сулфосиликат намуналарининг, шунингдек, 20% сулфоалюминатли сульфосиликат цемент намуналарининг  $\text{MgSO}_4$  ҳамда  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  эритмаларидаги тузлар таъсирига юқори даражада чидамли эканлиги аниқланди. Уларнинг чидамлилик коэффициентини олти ой мобайнида 1, баъзилариники эса 2 дан юқори, яъни сувда қотаётганига нисбатан мустаҳкамлиги 1—2 марта юксак.

Оқдий ва гидротермал (автоклажда ишлов берилган) шариқта қотган сульфогидратларнинг сувада сақлангандаги сиқилишга бўлган мустақамлик чегараси, МПа

Минераллар ва уларнинг аралашмаси	Сув — цемент нисбати, %	Қотиниш										Автоклажда, МПа
		Сувада кунлар										
		1	3	7	28	90	180	360	720	1,5		
$3(\text{CA}) \cdot \text{CaSO}_4$	14,1	32,1	32,4	33,5	31,9	28,6	28,6	28,6	13,2	20,9	30,8	30,8
$3(\text{C}_2\text{S}) \cdot \text{CaSO}_4$	9,8	3,3	3,8	4,9	13,4	18,8	18,2	22,5	24,2	13,2	36,8	36,8
$2(\text{C}_2\text{S}) \cdot \text{CaSO}_4$	9,8	3,3	4,4	6,6	24,7	30,8	28,8	38,5	39,5	20,9	55	55
$20\%3(\text{CA}) \cdot \text{CaSO}_4 + 80\%2(\text{CA}) \cdot \text{CaSO}_4$	11,8	22,5	33,5	28,6	24,7	25,3	30,8	28,8	26,4	31,9	54,1	54,1

Автоклав ишлов бериш сульфоалюминат намуналарининг коррозиясини йўқота олмайди.  $MgSO_4$  нинг 3 % ли ва  $Na_2SO_4$  нинг 5 % ли эритмалари таъсирида цемент намуналаридан жуда кўп миқдорда этtringит (кальций гидросульфоалюминат сульфатига бой шакллари) ҳосил бўлиши сабабли улар емирилади.

Сульфосиликатли цемент намуналарида 20 %  $3(CaO \cdot Al_2O_3) \cdot CaSO_4$  бўлиб, агрессив эритмаларда бу цементлар мустаҳкамлигининг ортиши уларнинг кимёвий чидамлилигига боғлиқ. Гипс ва этtringитнинг бирмунча кристалланиши бунга мисолдир. Мазкур минералларнинг майда кристаллари гидросиликатлар билан уйғунликда гипс бирикади, бу ҳол цементнинг узоқ вақт қотишида цемент-тошнинг таркибий тузилишини мустаҳкамлайди.

Сульфоминераллардан иборат цемент-тошга юқори ҳароратнинг таъсири. Эркин оҳак ажратмай қотадиган цементлар портландцементга нисбатан юқори даражадаги иссиққа чидамли бўлади. Шунинг учун сульфоалюминат ҳамда сульфосиликатнинг юқори ҳароратдаги хусусиятларини ўрганиш муҳимдир.

Сульфосиликатли цемент намуналарининг мустаҳкамлиги  $800^\circ C$  да 25 %,  $900^\circ C$  да 30—40 %,  $1000^\circ C$  да эса 44—50 % камаяди.

Таркибида  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4$  бўлган цемент намуналарининг иссиққа анча бардошли эканлиги маълум. Бунинг сабаби гидратланиш жараёнида кальций гидроксиди ҳосил бўлмаслигидир.

Паст ҳароратли манзарали боғловчи материал олиш. Ҳозирги вақтда оқ портландцемент асосий манзарали гидравлик боғловчи материал ҳисобланади. Хом ашё аралашмасида темир оксидлари деярли учрамаслиги сабабли уни  $1500—1600^\circ C$  ҳароратда куйдириш анча қийин, бу ҳол ишлаб чиқариш технологиясини мураккаблаштириб юборади. Шунинг учун бундай цементнинг ишлаб чиқарилаётган миқдори қурилиш талабини қондира олмайди. Асосан сульфоминераллардан ташкил топган оқ цементни паст ҳароратда олиш учун каолин, оҳак ва фосфогипс хом ашё аралашмалари куйдирилади. Аралашма  $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$  ва  $2(CaO \cdot SiO_2) \cdot CaSO_4$  ҳамда бирмунча ортиқча ангидрит цемент олишга мўлжаллаб тайёрланган.

Ушбу хом ашё аралашмаси  $1200—1250^\circ C$  да куйдирилиб, очиқ ҳавода тез совутилади. Ҳосил бўлган клинкер оқиш рангли бўлиб, осон кукунланади.

Тажрибалар кўрсатишича, бундай шароитда фосфоангидрит каолин ҳамда оҳактош иштирокида кам парчланади, чунки бунга имкон берувчи оксидлар —  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  оҳак билан ўзаро реакцияга киришиб кетади.

Ўтказилган тажрибалар фаоллиги ва сувга бардошлилиги юқори бўлган, оҳаги ювилиб, юзасига чиқмай қотадиган оқ (манзарали) сульфоалюминатсиликат цемент олиш имконини тасдиқлади.

Лаборатория тажрибаларининг натижалари оқ портландцемент ишлаб чиқарувчи Ангрен цемент корхонасида жаҳонда биринчи марта синаб кўрилди. Бунда каолин гили (14 %), оҳактош (42 %) ва фосфогипс (44 %) маҳсулот учун асосий хом ашё материали ҳисобланади. Аралашма кальций сульфосиликат, сульфоалюминат ва ортиқча миқдорда  $\text{CaSO}_4$ , бирмунча  $\text{C}_4\text{AF}$  ҳосил бўлишини кўзда тутиб тайёрланган.

Фосфорли ўғитлар саноатининг қўшимча маҳсулоти — фосфогипс махсус маблағ ва фойдаланиш сарф-харажатларини талаб қилмайди, унинг дисперслиги оҳактош учун зарур жараён ҳисобланган майдалаш заруриятини бартараф этади, чунки бу жараёнда 44 % оҳактош шунча миқдордаги фосфогипсга алмаштирилади. Бу эса электр энергиясини кўп миқдорда тежашга имкон беради ва аралашма хом ашёсини тайёрлашда майдаловчи жинслар сарфини камайтиради, шунингдек, чиқиндилардан фойдаланиш масаласи ҳам мақсадга мувофиқ ҳал этилади.

Синов ўтказилаётган пайтда материални куйдириш ҳарорати  $250^\circ\text{C}$  га камайиб,  $1250^\circ\text{C}$  ни ташкил қилади. Печнинг озикланиши анча ортганига қарамай, хом ашё аралашмаси меъёрида ва оҳакнинг тўлиқ боғланиши асосида кечади. Йирик бўлақлар ҳамда бошқа салбий ҳолатлар кузатилмайди. Чала пишган клинкер сарғимтир оқиш рангда, силлиқланмаган доналарининг шакли турлича. Сувда тез совитилган клинкер сочилмайди. Унинг оғирлиги 1,2 кг/л. Олинган клинкернинг майдаланиш хусусияти оқ портландцементникига нисбатан 2 марта юқори.

Шундай қилиб, синаш натижасида печнинг унумдорлигини 55 % оширишга ва мазутнинг солиштирма сарфини 30 % камайтиришга эришилди. Паст ҳароратда куйдиришда печь футировкасининг мустаҳкамлиги оқ портландцемент ишлаб чиқаришдагидан анча узоқ сақланади.

Ҳосил бўлган цементнинг физик-механик синовлардан кейин қуйидаги хоссалари маълум бўлди: 310-85 Давлат стандартларига мувофиқ, 1, 3, 7, 28, 180 ва 360 кундан кейинги эгилишга бўлган мустақамлиги тегишлича 2, 4, 6, 7 МПа, сиқилишга бўлган мустақамлиги эса 17, 31, 39, 43, 40 ва 55 МПа га тенг. Цемент қоришмасининг нормал қуюқлиги 23,5. Унинг оқлик даражаси 76—81 %. Цементнинг қотишида ранги ўзгармайди ва унга қимматбаҳо гидравлик қўшимчалар қўшилмайди.

Шу тариқа, олиб борилган тажрибалар паст ҳароратда куйдириладиган манзарали сульфoалюминат силикат цементи oқ портландцементга нисбатан бир қанча афзалликларга эга эканлигини кўрсатди.

Олинган ижобий натижалар бизнинг тадқиқотчилар гуруҳимизга турлича миқдорда  $3\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaSO}_4$  бўлган сульфoалюминат силикат цементни курилиш материаллари саноатида ишлаб чиқариш учун тавсия этиш имконини берди. Шу мақсадда таркибида қуми кўп каолинитли гиллардан, кимё саноати чиқиндиларидан (фосфогипс) фойдаланиш мумкин, бу эса олий навли гиллар ишлатишни талаб этувчи oқ цемент ишлаб чиқаришни анча осонлаштиради. Шунингдек, хом ашё ва цементни майдалашга, ёқилғига камроқ маблағ ва кучгайрат сарфланади.

Гипс ва фосфогипсдан бир вақтнинг ўзида сульфат кислота сульфoалюминат-силикатли цемент олиш борасида ҳам иш олиб борилмоқда (техника фанлари доктори Т.Отақўзиев раҳбарлигида). Буни амалга ошириш учун 85—90 % фосфогипс ва 10—15 % алюмосиликат материалдан иборат аралашма  $1250^\circ\text{C}$  ҳароратда кўмир иштирокида қисман қайтарилади, натижада сульфoалюминат — силикатли цемент ҳамда  $\text{SO}_2$  газ ҳосил бўлади,  $\text{SO}_2$  дан олинган сульфат кислота эса яна ишлаб чиқаришга қайтарилади. Ҳосил бўлган цемент кўкимтир рангда бўлади.  $\text{SO}_2$  газидан олинган сульфат кислота фосфоритларни парчалашга ишлатилади. Ўғит корхонаси сульфат кислотани бошқа корхоналардан олиб келмаслиги туфайли ўғитнинг таннархи арзонлашади.

## 28. Гилгупроқди цементлар

Оҳактош ва гилгупроққа бой тоғ жинсларининг эриш жараёнида ёки қисман эриб пиширилгач, ҳосил бўлган клинкер яхшилаб туйиб олинган тез қотувчан ва жуда пишиқ гидрав-

лик боғловчи гилтупроқли ёки алюминатли цемент деб аталади. Гилтупроқли цемент тайёрлаш учун хом ашё сифатида чўкинди тоғ жинслари ишлатилади. Гилтупроқ гидратининг темир гидроксид аралашмасидан иборат бокситлар қизил рангда бўлади. Уларнинг конлари жуда камлигидан гилтупроқли цемент ишлаб чиқаришда бу моддага бой саноат чиқиндилари ҳам ишлатилади.

Гилтупроқли цемент таркибида 40 % атрофида гилтупроқ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), 45 % гача кальций оксид ( $\text{CaO}$ ) ва 5—10 % кремний ( $\text{SiO}_2$ ) бор. Бу цемент қотиш жараёнида сув билан жадал реакцияга киришиб, тез тишлашувчан ва тез қотиш хусусиятига эга икки кальцийли гидроалюминат минералини ҳосил қилади:



Қотган цемент таркибида эркин ҳолдаги кальций гидроксид билан уч кальцийли гидроалюминат бўлмаганлиги туфайли гилтупроқли цемент юмшоқ ҳамда чучук ва ер ости агрессив сувлари таъсирига чидамли бўлади.

Цементнинг тишлашиш даври 30 минутдан кейин бошланади, охири 12 соатгача давом этади. Гилтупроқли цемент тез қотувчан бўлиб, унинг дастлабки бир кунлик мустақамлиги 28 кунлигининг 50 % ини ташкил этади.

Гилтупроқли цемент маркаси 1:3 цемент — қум нисбатида тайёрланган намунасини уч кундан кейин сиқишга синаш йўли билан аниқланади. Мазкур цементнинг техникавий шартлари (969-77 Давлат стандартлари) 33-жадвалда берилган.

Гилтупроқли цементнинг портландцементдан фарқи шундаки, у қотиш жараёнида кўп сув талаб этади, шу сабабли бетон қоришмалари учун сув-цемент нисбати 0,5—0,6 дан кўп олинади. Тишлашиш ва қотиш жараёнида ўзидан кўп иссиқлик ажратади. Шу сабабли бетонлаш ишлари юқори ҳароратда олиб борилса, уни совитиб туриш керак бўлади. Гилтупроқли цемент иншоотлар, йўл ва кўприкларни тезда қуриб, фойдаланишга топшириш зарур бўлганда катта аҳамиятга эгадир. Бу цементдан тайёрланган буюмларни буғ таъсирига учратиш ёки портландцемент билан аралаштириш мумкин эмас. Гилтупроқли цемент қоришмасининг мустақамлиги жуда тез ошади, шунинг учун у шошилиш бажариладиган ишларда ва кўнгилсиз ҳодисаларни зудлик билан бартараф этишда жуда қўл келади.

## Гилтупроқли цементларнинг мустаҳкамлик чегараси

Цемент маркаси	Мустаҳкамлик чегараси, МПа			
	Сиқилишдаги		Эгилишдаги	
	24 соатдан кейин	3 кундан кейин	24 соатдан кейин	3 кундан кейин
400	35	40	2	2,2
500	45	50	2,4	2,6
600	55	60	2,7	3,0

## 29. Ҳажман кенгайдиган ва таранглашувчи цемент

Кенгайдиган цемент махсус таркибли гидравлик боғловчи модда бўлиб, қотиш вақтида унинг ҳажми ортади.

Қотиш вақтида киришиш хоссаси барча гидравлик боғловчи моддаларга хос камчилик эканлиги юқорида айтиб ўтилди. Шу камчилик сабабли конструкцияларда мутлақо сув ўтказмайдиган бирорта ҳам чок ҳосил қилиб бўлмайди. Кенгайдиган цемент эса қотаётганда мутлақо чўкмайди ва шу билан бирга ёрилмасдан, ҳажми 1—1,5% ортади, натижада янада зичлашиб, бетоннинг монолитлиги таъминланади.

Саноат кенгайдиган цементнинг икки турини ишлаб чиқаради: сув ўтказмас кенгайдиган цемент ва гипс-қумтупроқли кенгайдиган цемент. Бундай цементни гилтупроқли портланд-цемент асосида ҳам ҳосил қилиш мумкин. Лекин бу мақсадда кўпинча гилтупроқли цемент ишлатилиб, анча чидамли кенгайдиган цемент олинади. Қотиш пайтида цементларнинг кенгайишига сабаб улар таркибида ҳажми ўта ортиб кетадиган кальций гидросульфоалюминат, яъни «цемент бацилласи» ҳосил бўлишидир, «бацилла» бу ҳолда ижобий рол ўйнайди.

Конструкция ёки буюмларнинг емирилган қисмларини, дарз ва ёриқларини тузатишда кенгайдиган цемент ишлатилади. Профессор В.В. Михайлов (Россия) ихтиро қилган бу цементнинг тишлашиш даври 1—4 минут, қотиш даври 5—10 соат. Цемент тишлашиш жараёнида киришиш ўрнига кенгайиш хусусиятига эга. Унинг сувдаги чизиқли кенгайиши 0,1%ни, қуруқликдаги кенгайиши 3% ни ташкил қилади.

Кенгайдиган цемент гилтупроқли цементни аралаштириш йўли билан олинади. Унинг 28 кундан кейинги маркази 300, 500 га тенг.

Гилтупроқли цемент асосида кенгайдиган боғловчи материалларнинг бошқа тури ҳам мавжуд. П.П.Будников, Б.Б.Скрамтаев ва И.В. Кравченколар (Россия), томонидан тавсия этилган бу модда гилтупроқли цемент (45%), майдаланган домна тошқоли (25%) ва икки молекула сувли гипс (30%) аралашмасидан тайёрланади. Мазкур боғловчи материал ўз хусусиятига кўра, гипс-гилтупроқли цементга яқин туради.

Кенгайдиган, таранглашувчан цементларнинг ҳам бир қанча турлари маълум. Француз олими Лосье биринчилар қатори 70—80% портландцемент, 15—20% домна тошқоли ва 5—15% кенгайдиган қисмдан ташкил топган цементни тавсия этган эди. Бу кенгайдиган таркибий қисм икки сувли гипс (50%), қизил боксит (25%) ва бўр (25%) аралашмасини куйдириш йўли билан олинади. Цемент мазкур қисм ҳажмига мувофиқ равишда кенгайди. Тошқолнинг асосий вазифаси бутун аралашманинг қотиш босқичида ортиқча кальций сульфатни бириктиришдан ҳамда аралашманинг барқарорлигини таъминлашдан иборат. Шунингдек, портландцемент, гилтупроқли цемент ва сульфат тошқол цементларини аралаштириб ёки портландцементга турли кенгайтирувчи моддалар қўшиб, кенгайдиган цемент тайёрлаш усули О.П.Мчедлов-Петросян, А.Е.Шейкин ва бошқалар томонидан тавсия этилган.

Портландцемент ва гилтупроқли цементдан В.В. Михайлов ва унинг шогирдлари *таранглашувчи цемент* деб номланган цемент яратишди. Бу цемент фақат кенгайиш ҳажми билан эмас, балки кенгайиш энергиясининг катталиги билан ҳам диққатга сазовордир. Таранглашувчи цемент 14:16:70 дан 16:20:64 гача масса нисбатларида олинган икки сувли гипс, гилтупроғи юқори даражада бўлган клинкер ёки тошқол ва портландцемент клинкери аралашмасининг солиштирма сирти 45 м<sup>2</sup>/кг га қадар туйиб тайёрланади. Оғирлик нисбати 1:1 бўлган қоришма намуналари муътадил шароитда қотирилганда, орадан 28 кун ўтгач, пишиқлиги 80—90 МПа га етади.

Таранглашувчи цемент 2—5 минутда тишлашади. 20 мм қалинликда қотган цемент намуналарида 2 МПа гача гидростатик босим таъсирида ҳам фильтрация содир бўлмайди. Бу боғловчи материалга кенгайиш энергиясининг кучли бўлиши

хосдир; 1:1 нисбатидаги боғловчи модда намуналари қотганида кенгайиш энергияси 3—4 МПа ни ташкил этади. Мазкур цементнинг хусусиятлари ундан таранглашувчи энергияга эга арматурали темир-бетон буюмлар тайёрлаш имконини беради, қотаётган цементнинг кенгайиш пайтида бу энергия ортиб боради. Бунда арматуралаш даражасига (0,15—1,5 %) боғлиқ равишда пулатнинг таранглиги 300—1400 МПа гача етиши мумкин. Таъкидлаш керакки, қоришма кенгайганда, арматура икки ёки уч ўқли йўналишга эга бўла олади, лекин бунга оддий тўғри чизиқли усулда эришиб бўлмайди. Бу хил цементдан тайёрланган буюм қуритилганда, қоришма тахминан 0,2 % киришиб, таранглик 20—25 % гача камайиши мумкин.

Махсус хоссали аралашма боғловчи моддалар. Кейинги пайтларда соф боғловчи моддаларни бир-бири ва баъзи қўшилмалар билан аралаштириб олинадиган боғловчи моддалар тобора кенг аҳамият касб этмоқда. Бу ҳар хил таркибий қисмга хос хусусиятли маҳсулот олиш имконини беради. Хусусан, муайян боғловчи моддаларни аралаштириш йўли билан *кенгайдиган ва чўкмайдиган (киришмайдиган) цементлар* олиш мумкин.

Гилтупроқли цементни ўта мустаҳкам гипс ёки қурилиш гипси ва юқори асосли гидроалюминат билан белгиланган нисбатларда аралаштириб сув ўтказмайдиган, кенгайдиган цемент тайёрлаш мумкин.

Олиш усулини И.В. Кравченко ишлаб чиққан бундай цемент портландцемент клинкери, гилтупроғи кўп бўлган тошқол, икки молекула сувли гипс ва гидравлик қўшилма биргаликда туйилиб, ҳосил қилинади. Шунингдек, А.В. Волженский (Россия) тавсия этган гипс-цемент-пуццолан ва гипс-тошқол-цемент пуццолан боғловчи материаллари қурилиш гипси ёки ўта мустаҳкам гипснинг портландцемент ёхуд тошқол-портландцемент ва пуццолан қўшилмасининг аралашмасидан иборатдир. Бундай боғловчи материаллар таркибида ярим сувли гипс мавжудлиги туфайли мустаҳкамлиги кескин ортиши ва гидравлик цементларга ўхшаб нам шароитларда қотиш хусусияти билан аҳамиятлидир.

Ҳозирги вақтда таркиби тахминан қуйидагича бўлган гипс цемент-пуццолан боғловчи моддалар ишлатилмоқда (оғирлиги бўйича фоиз ҳисобидан):

ярим сувли гипс.....	75—50;
портландцемент.....	15—25;
фаоллиги 200 мг/гдан кам бўлмаган пуццолан	
қўшилмалар (трепел, опока, диатомит) .....	10—25.

Шуни айтиб ўтиш муҳимки, юқори даражада мустаҳкам гипсли гипс-цемент-пуццоландан тайёрланган бетоннинг пишиқлик даражаси 2—3 соатдан сўнг 10—15 МПа, 7—15 кундан кейин эса, муътадил қотганда 30—40 МПа ни ташкил этади. Бундай бетоннинг мустаҳкамлик маркази шунга тенг бўлган портландцементдан, тайёрланган бетон каби қайишоқлик-пластиклик хусусиятлари билан таърифланади. Юқори даражада мустаҳкам гипс ва 500—600 (10178-62 Давлат стандартлари) маркали ўта тез қотувчи цементдан ишланган гипс-цемент, пуццолан боғловчи материаллари, айниқса, тез қотади. Гипс-цемент-пуццолан боғловчи материалларидан тайёрланган буюмлардаги пўлат арматурани тегишли қоплама ҳамда  $\text{NaNO}_2$  қўшилмаси билан муҳофаза қилиш керак.

Боғловчи материаллар таркиби, уларнинг солиштирма сарфи, тури, бетонлар таркиби, зичлиги ва бошқа омилларга боғлиқ равишда гипс-цемент-пуццолан боғловчи материалларидан тайёрланган бетон ва маҳсулотлар 20—50 цикл совуққа чидамлилиги билан эътиборлидир. Мазкур боғловчи материаллар сульфат кислота тузлари таъсирига чидамликда портландцемент билан баробардир. 1956 йилдан бошлаб гипс-цемент-пуццолан боғловчи материаллари республикамиз қурилишларида муваффақиятли ишлатилиб келинмоқда. Бу боғловчи материаллардан тайёрланган маҳсулотлар кўп қаватли уй-жойлар ва қишлоқ хўжалиги аҳамиятига эга бинолар қурилишида ҳам фойдаланилади. Гипс-цемент-пуццолан моддаларининг поливинил ацетат полимер ёки дивинилстирол латекс сувли дисперсияси билан аралашмаси биноларнинг ташқи ва ички юзаларини пардозлашда, сопол кошинларни мустаҳкам ёпиштиришда ва пардозлаш ишларининг бошқа турларида қўлланилади. Оғирлигининг 5—20 фоизи полимер моддалардан ташкил топган бу ажойиб боғловчилар чидамлилиги билан ҳам фарқланади.

Кенгайдиган цемент турларидан ҳисобланган гилтупроқли цементнинг гилтупроғи кўп тошқол билан икки сувли гипсни биргаликда майдалаб аралаштириш йўли билан ҳосил қилинади. Таркибий қисмларининг оғирлик нисбатлари 0,7 : 0,3

бўлган бундай боғловчи материал сув ва ҳаво муҳитида тез қотади. Уни тайёрлашда бир кальцийли, алюминати кўп, юқори даражадаги гилтупроқли тошқол ишлатилади. Цемент, мустаҳкамлигига қараб, 400 ва 500 маркаларга бўлинади. Шуни айтиб ўтиш керакки, гипс-гилтупроқли цемент қоришмалари совуққа ва сульфат кислота таъсирига ғоят бардошлидир. Гилтупроқли кенгайдиган цемент киришмайдиган ва кенгайдиган, сув ўтказмайдиган қоришма ва бетонлар тайёрлашда, йиғма бетон ва темир-бетон конструкцияларнинг туташтириладиган ораларини тўлдиришда, конструкцияларни кучайтириш, чок ва қувурлар оғзини текислаш каби соҳаларда ишлатилади.

### 30. Кислотага чидамли цемент

Кислотага чидамли цемент кремний фторли натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) ва кварц кумни биргаликда жуда майдалаб туйишдан олинади. Цементни қотиришда сув эмас, балки эрувчан шиша ишлатилади. Кислотага чидамли цемент, кварцли, маршалитли, диабазли, андезитли турларга бўлинади. Бу цементдан бетон тайёрлашда 34-жадвалда берилган кўрсаткичлардан фойдаланиш мумкин.

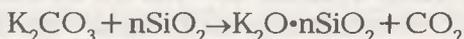
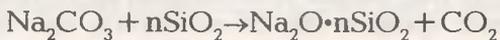
34-жадвал

Кислотага чидамли цементлар таркиби

Кукун тўлдиригич турлари	Цемент миқдори, %		Боғловчи суюқ шиша		
	Кукун тўлдиригич	Кремний-фторли натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ )	модуль	Солишгирма оғирлик, кг/м <sup>2</sup>	Миқдори, % (тўлдиригич кукунига нисбатан)
Диабазли	95	5	225	1500	34
Кварцли	96	4	35	1300	33
Маршалитли	94	6	26	1450	36
Артик туфи	96	4	28	1380	35

Эрувчан шиша натрий силикат ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) ёки калий силикат ( $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) дан ташкил топган, ҳавода қотадиган боғловчи эрувчан шиша махсус хумдонларда сода аралашган тоза кварц кум натрий сульфат ёки поташ ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) билан қориштирилиб, 1300—1400°C да пишириб олинади.

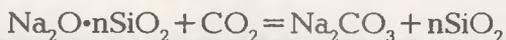
Юқори ҳароратда эриган моддалар ўзаро қуйидагича реакцияга киришади:



Тезда сувитилгач, шиша бўтқаси ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  ва  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) ёрилиб майдаланади, сўнг «силикат бўлак»лари ҳосил бўлади. Қурилишда эритилган ҳолда ишлатилиши сабабли улар «суяқ шиша» деб ҳам юритилади. «Силикат бўлак»ларини суяқ ҳолатта келтириш учун улар майдаланиб, автоклавга солинади ва босим 0,4—0,8 МПа га етказилади. Натижада боғловчи материал — коллоид силикат эритма ҳосил бўлади. Эрувчан шишанинг хусусияти унинг модули билан ифодаланади. Шиша таркибидаги қумтупроқ миқдорининг ундаги натрий оксидига (ёки калий оксидига) нисбати *модуль* деб юритилади:

$$M = \text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$$

Модуль  $M$  катта бўлса, шишанинг эриш хусусияти ва чидамлилиги камаяди. Эрувчан шиша уч модулга эга: катта модули шиша  $M = 3,5—3,9$ , ўртача —  $M = 3,0—3,5$  ва кичик модули —  $M = 2,0—2,8$ . Суяқ шиша қуруқликда аста-секин қуриб, ундан карбонат ангидрид газни таъсирида қумтупроқ аморф ҳолда ажралиб чиқади:



Қотиш жараёнини тезлатиш учун суяқ шишани иситиб, унга кремний-фторли натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) дан 12—15 % (суяқ шиша массасига нисбатан) қўшилади. Эриган шиша чинни идиш, тунука бочкаларда сақланади. Уни ёзда иссиқдан, қишда эса музлашдан асраш керак. Кислотага чидамли бетон қоришмаси тайёрлаш учун суяқ шиша, обдан туйилган кремний фторли натрий ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), кислотага чидамли куқун, қум ва йирик тўлдиргичлар (андезит; кварцит ва ҳоказо) қориштирилади. Бетон учун тўлдиргичлар уч хил йирикликда ишлатилади: чанг — 0,15 мм. дан майда, қум — 0,15—5 мм ҳажмда, чақилган тош — 5 мм дан йирик. Кислотага чидамли бетон таркиби тажриба йўли билан аниқланади, бунинг учун

тўлдиригичлар аралашмасидан қониқарли бетон ҳосил бўлгунча суюқ шиша қўшилади.

Титратиш усули билан жойланадиган бетон қоришмаси учун конуснинг чўкиши 20—30 мм бўлса, қўл билан шиббланганда, конуснинг чўкиши 40—100 мм бўлиши керак. Кислотага чидамли бетоннинг нормал қотиши учун илиқ ёки қуруқ шароит яратиш кифоя. Бундай бетонни тайёрлашда материаллар миқдорини тахминан қуйидагича олиш мумкин (оғирлиқ ҳисобида): 1 қисм суюқ шишага 0,9—1,1 қисм кварц ёки кислотага чидамли бирор материал чанги, 1 қисм қумга, 1,3—1,7 қисм кислотага чидамли чақилган тош, 10—15 % кремний-фторли натрий (суюқ шиша оғирлигига нисбатан). Кислотага чидамли бетон 3 кундан кейин 10—12 МПа, 28 кунда кейин эса 15—18 МПа мустаҳкамлик касб этади. Бундай бетон арматура билан мустаҳкам ёпишиш хусусиятига эга бўлганлигидан кислоталар сақланадиган сифимлар қуришда темир-бетон конструкциялар тарзида ҳамда кислоталар таъсирида бўлган қурилиш конструкцияларини муҳофазалашда кенг қўлланилади. Шунингдек, қотишмалар, замаскалар тайёрлашда, кимёвий ускуналарни қоплашда, девор, полларни бўяшда, кислотага чидамли гиштларни теришда ва бетон тайёрлашда ишлатилади.

## НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Тампонаж цементларга бўлган эҳтиёж хусусида нима дея оласиз?
2. Тампонаж цементлар оддий портландцементдан қандай фарқ қилади?
3. "Совуқ" ва "иссиқ" қудуқлар фарқини тушунтириб беринг.
4. Пуццолан портландцементларга қандай минерал моддалар кирди?
5. Пуццолан қўшимчалар деганда қандай минераллар тушунилади?
6. Глинит ва глиеж портландцементни тайёрлаш усули.
7. Глиеж қўшилмаси билан неча хил глиеж портландцемент ишлаб чиқарилади?
8. Глиеж ишончли қўшилма сифатида қачондан бери саноатда ишлатиб келинади?

9. Тошқолли портландцементни ишлатишнинг қандай аҳамияти бор?

10. Сульфоминерал цементлар дастлаб қайси мамлакатда ишлаб чиқарилган?

11. Сульфоминерал цементлар қандай афзалликларга эга?

12. Кенгайдиган ва таранглашувчи цементлар ишлатиладиган соҳаларни айтиб беринг.

13. Махсус хоссали аралашма — боғловчи моддали цементлар тўғрисида нима биласиз?

14. Кислотага чидамли цемент тайёрлаш технологиясини тушунтириб беринг.

15. Кислотага чидамли цементлар қаерда ишлатилади?

## Фойдаланилган адабиётлар

Т.А.Атакузиев, Ф.М.Мирзаев. Сульфоалюминатные цементы на основе фосфогипса. Т., «Фан», 1979.

М.А.Ахмедов, Т.А.Атакузиев. Фосфогипс. Т., «Фан», 1980.

Ю.М.Бутт, М.М.Сычев, В.В.Тимашев. Химическая технология вяжущих материалов. М., «Высшая школа», 1980.

Т.А.Атакузиев. Физико-химические исследования сульфатосодержащих цементов и разработка низкотемпературной технологии их получения. Т., «Фан», 1983.

Э.Қосимов, Т.Отақұзиев. Минерал боғловчилар ва улардан тайёрланадиган буюмлар. Т., «Ўқитувчи», 1984.

А.А.Пашенко, В.П.Сербин, Е.А.Старчевская. Вяжущие материалы. Киев, «Высшая школа», 1985.

Т.А.Атакузиев, Т.А.Кузнецова, М.И.Искандарова. Цветные цементы по малоэнергоёмкой технологии. Т., «Фан», 1988.

Т.А.Атакузиев, Д.Ф.Гаджиева. Новые виды цементов на основе сульфоклинкеро. Т., «Меҳнат», 1989.

Б.И.Нудельман. Энергосберегающая низкотемпературная технология цемента. Т., 1998.

Т.А.Отақұзиев, Р.О.Мирзаев. Қурилиш материалариға оид изоҳди лугат. Т., «Ўқитувчи», 1991.

А.Шарипов. Цементно-воластонитовые вяжущие и химические добавки для повышения стойкости бетона в агрессивных средах. Душанбе, «Дониш», 1994.

Э.Т.Атакузиев, Т.А.Абдуллаев, Т.А.Атакузиев. Сульфоалюминатносиликатный клинкер и цементы. Т., 1995.

Х.Тейлор. Химия цемента. М., «Мир», 1996.

С.С.Сейтжанов, З.А.Естемесов. Тонкомолотые многокомпонентные вяжущие материалы и бетоны. Алматы, 1997.

А.С.Куртаев, З.А.Естемесов. Композиционные материалы на основе неорганических вяжущих веществ. Алматы, 1998.

З.А.Естемесов, С.С.Сейтжанов, С.Ж.Жунисов, Ж.С.Урлибаев, У.К.Махамбетова, А.С.Куртаев. Фосфорношлаковые вяжущие и бетоны. Алматы, 1997.

II Международное совещание по химии и технологии цемента. Пленарные доклады (том II), обзорные доклады (том III), стендовые доклады (том III). М., 2000.

## МУНДАРИЖА

Кириш .....	3
-------------	---

### Биринчи қисм.

## ЎЗБЕКИСТОНДА ЦЕМЕНТ САНОАТИ

### *I боб. Тармоқнинг барпо этилиши*

1. Тараққиёт босқичлари .....	7
2. Илмий-техника тараққиётининг самараси .....	10
3. Анорганик (минерал) боғловчи материаллар .....	16

### *II боб. Гипс технологияси*

4. Гипснинг тавсифи .....	19
5. Сувли ва сувсиз кальций сульфат модификацияси .....	22
6. Ярим молекула сувли гипснинг қотиши .....	24
7. Қўшилмаларнинг гипс боғловчи қотишига таъсири .....	31
8. Ўта юқори ҳароратда куйдириладиган гипс (эстрих-гипс) .....	40

### *III боб. Фосфогипснинг физик-кимёвий хоссалари, ундан фойдаланиш имкониятлари*

9. Фосфогипснинг таркиби, тузилиши ва хоссаларини тадқиқ этиш .....	43
10. Фосфогипсдан фойдаланиш имкониятлари .....	53
11. Фосфогипсдан ҳавода қотадиган материаллар олиш .....	55
12. Боғловчи модда олиш технологиясини тадқиқ этиш ва ишлаб чиқиш .....	60
13. Магнезиал боғловчилар .....	65

### *IV боб. Оҳак технологияси*

14. Ҳавода қотадиган оҳак .....	71
15. Сундирилмаган кесак-оҳак .....	72
16. Сундирилган оҳак .....	85

17. Гидрат-кукун оҳак .....	89
18. Оҳак хамири .....	91
19. Сундирилмаган туйилган оҳак .....	93
20. Ҳавода қотадиган оҳакнинг қотиши, хоссалари ва ишлатилиши .....	95

### Иккинчи қисм.

## ГИДРАВЛИК БОҒЛОВЧИ МОДДАЛАР

### *I боб. Гидравлик оҳак ва романцемент*

1. Гидравлик оҳак .....	108
2. Романцемент .....	115

### *II боб. Портландцемент*

3. Таркиби ва таснифи .....	123
4. Клинкер ва унинг кимёвий ҳамда минералогик таркиби .....	124
5. Клинкер тавсифи .....	134
6. Клинкер таснифи ва портландцемент турлари .....	140

### *III боб. Портландцемент технологияси*

7. Хом ашё материаллари ва ёқилги .....	142
8. Портландцемент ишлаб чиқариш усуллари .....	147
9. Оҳактош ва гилини қазиб олиш, ташиш ҳамда хом ашё аралаш- масини тайёрлаш .....	149
10. Клинкерни айланма печларда куйдиришда содир бўладиган жараёнлар .....	159
11. Клинкерни туйиш .....	168
12. Портландцемент дисперслигининг маҳсулот хоссаси ва хусусиятларига таъсири .....	170

### *IV боб. Портландцементнинг қотиши, хоссалари ва ишлатилиши*

13. Цементнинг сув билан бирикиши ва ҳосил бўлган маҳсулот- нинг кимёвий таркиби .....	178
14. Кальций гидросиликатлар .....	186
15. Кальций гидросиликатларнинг ҳосил бўлиш шароитлари ва барқарорлиги .....	195
16. Портландцементнинг қотиши .....	197
17. Цемент-тошдаги ҳажмий ўзгаришлар .....	202
18. Портландцементнинг мустаҳкамлиги .....	204
19. Цемент-тош ва бетонларнинг кимёвий ҳамда физик емирувчи омиллар таъсирига чидамлилиги .....	211

V боб. Махсус портландцементлар

20. Портландцементнинг турлари .....	226
21. Тез қотувчан портландцемент .....	226
22. Пластификацияланган ва гидрофоб портландцементлар .....	229
23. Сульфатга чидамли портландцемент .....	231
24. Оқ ва рангли портландцементлар .....	233

VI боб. Махсус цементлар

25. Тампонач цементлар .....	236
26. Пуццолан портландцементлар .....	241
27. Сульфоминерал цементлар .....	253
28. Гилтупроқли цементлар .....	258
29. Ҳажман кенгайдиган ва таранглашувчи цемент .....	260
30. Кислотага чидамли цемент .....	264
Фойдаланилган адабиётлар .....	268

4228-10

Ohangaton shahar sanoat  
kasb-hunar kolleji  
**KUTUBXONASI**

А87 Отақұзиев Т.А., Отақұзиев Э.Т.

Боғловчи моддалар: Касб-хунар коллежлари учун дарслик. —Т.: «Меҳнат», 2002. — 272 б.

I. Муаллифдош.

ББК 38.626.1я722

Т. А. ОТАҚҶЗИЕВ, Э. Т. ОТАҚҶЗИЕВ

### БОҒЛОВЧИ МОДДАЛАР

Касб-хунар коллежлари учун дарслик

Тошкент — «Меҳнат» нашриёти — 2002

Таҳририят мудир *А. Бобониёзов*

Муҳаррир *Ш. Холмуродов*

Рассом *Ш. Хужаев*

Бадий муҳаррир *Ҳ. Қутлуқов*

Техник муҳаррир *Н. Сорокина*

Мусахҳиҳа *Ф. Темирхўжаева*

2002 йил 9 августда босишга рухсат этилди. Бичими 60x84 1/16. «Таймс» ҳарфида терилиб, офсет усулида чоп этилди. Шартли босма табоғи 15,81. Нашр табоғи 17,0. 5000 нусха. Буюртма № 3007 Баҳоси шартнома асосида.

«Меҳнат» нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кучаси, 30-уй.  
Шартнома № 18-2002.

Ўзбекистон Матбуот ва ахборот агентлигининг  
Биринчи Тошкент босмахонасида чоп этилди.  
Тошкент, Сағбон кучаси, 1-берк куча, 2-уй.



«Мехнат»