

## Лекція 10. Керамічні та металокерамічні матеріали

### **Керамічні матеріали**

У процесі створення нових конструкцій, які витримують високі температури і тиск, мають високу хімічну і термічну стійкість, особливі електричні, магнітні та оптичні властивості, важливу роль відіграє кераміка.

Кераміка (від грец. гончарство) – це посуд і твори мистецтва, цегла і шифер, труби і деталі радіо- і телеапаратури, автомобільні двигуни і деталі космічних кораблів і т.п.

Кераміка – це перший штучний матеріал, який виготовила і застосувала людина ще в епоху неоліту. Кераміку виробляють з глини, а потім обпалюють при високих температурах. Після відпалу глина набуває високу твердість.

Для поліпшення властивостей кераміки до глини додають вапняк та інші речовини. Першими керамічними матеріалами, відомими людству здавна, є теракота, фаянс, фарфор, цегла, облицювальні плитки і т.п.

Традиційна кераміка (теракота, фаянс, фарфор, цегла) алюмосилікатна. Її отримують з природних матеріалів.

Прецизійну кераміку виробляють з штучних компонентів: оксидів, карбідів, нітридів, боридів, різних хімічних елементів.

Важлива особливість кераміки в тому, що вона багатофункціональна. Так, на основі оксиду алюмінію можна створити термостійку, оптичну, конструкційну і інші види кераміки. З кераміки на основі діоксиду цирконію з додаванням оксиду ітрію можна зробити тверді електроліти, керамічні двигуни і коштовне каміння.

**Теракота** (від італ. Terra – земля і cotta – випалена) – це кераміка без глазурі, має колір від світло-коричневого до червоно-коричневого і навіть чорного.

**Фаянс** на відміну від теракоти дрібнодисперсна кераміка білого кольору, зверху покрита глазур'ю.

**Фарфор** – досконалий вид кераміки. Його батьківщиною є Китай. Виробляють фарфор з каоліну, в який додають незначну кількість польового шпату і кварцу.

**Цегла** – один з давніх штучних будівельних матеріалів. Його виробляють з глини і обпалюють при температурах, нижче тих, які необхідні для виготовлення інших керамічних матеріалів.

### **Вогнетривка кераміка**

Залежно від складу сировини вогнетривку кераміку поділяють на глиноземну, динасову, шамотову, доломітову, магнезитову, хромомагнезитову, пористу і ін.

**Глиноземну** кераміку виготовляють з вогнетривких глин, які містять до 3%  $Fe_2O_3$  (оксиду заліза). Вогнетривкість цієї кераміки коливається в межах 1380 ... 1580 °С.

**Динасову** (від назви скелі Динас, яка знаходиться у Великобританії) – кераміку виготовляють із сировини, яка містить 93-95% кремнезему, залишок – оксид кальцію. Ця кераміка витримує нагрівання до температури 1730 °С. В основному її використовують для футерування конвертерів і мартенівських печей.

**Шамот** отримують з високоякісних вогнетривких глин, які містять 50-70% SiO<sub>2</sub> і 28-46% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сьогодні шамот – найпоширеніший і найдешевший вогнетривкий матеріал, обсяг виготовлення якого – до 70% загального випуску вогнетривів. Використовують в основному для футерування доменних печей і сталерозливних ковшів. Шамотові вогнетриви витримують нагрівання до температури 1600...1750 °С.

**Доломіт** (від прізвища французького геолога Д. Доломьє) виробляють випалюванням природного доломіту:

Отриманий порошок містить 35-40% Mg і 52-58% Ca. Вогнетривкість доломіту наближається до температури 2000 °С.

Доломітом викладають поди металургійних печей, футерують конвертори і т.п.

**Магнезит** виробляють з природного магнезиту, який складається в основному з оксиду магнію і невисокої кількості оксиду кальцію. Магнезитовими вогнетривами футерують конвертери. Вони витримують нагрівання до температури 2000...2400 °С.

Хромомагнезит отримують спіканням оксиду хрому та оксиду магнію (65-70% Mg і 20% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); використовують для викладання склепіння металургійних печей. Вогнетривкість хромомагнезиту наближається до температури 2000 °С.

Найбільшу вогнестійкість мають цирконій і цирконієві вогнетриви.

**Цирконієві вогнетриви** – це майже чистий діоксид цирконію. Крім діоксиду цирконію містять деяку кількість кремнезему. Вогнетривкість цих матеріалів –  $\geq 2500$  °С. З них виготовляють тиглі і високотемпературні ізолятори.

**Пористі вогнетриви** набувають особливого значення в техніці високих температур. В процесі виготовлення цієї кераміки до основних шихтових матеріалів додають речовини, які утворюють піну або згорають. Пористу кераміку виготовляють з корунду, оксиду магнію або діоксиду цирконію. Корундова пінокераміка витримує нагрівання до температури 800 °С. Її використовують як носій каталізаторів в твердих контактах. Цирконієву пінокераміку використовують у високотемпературних печах, де температура підвищується до 2300 °С.

Пінокераміка незамінна в космічній техніці, коли ракета входить в щільні шари атмосфери. У цій області техніки широко використовують пінокварц.

## **Діелектрична кераміка**

Діелектрики – речовини, які мають великий електричний опір (понад  $1 \cdot 10^6$  Ом·м). До таких речовин належить кераміка (фарфор, п'єзо-, сегнето- і піроелектрики). Вони не проводять електричного струму, їх використовують в електро- і радіотехніці, металообробній промисловості, побуті і т.п. Для електро- і радіотехніки з них виробляють ізолятори, конденсатори та ін. Основним матеріалом, з якого виробляють ці деталі, є фарфор. Дуже часто фарфор замінюють стеатитом, який отримують спіканням тальку з незначною кількістю каоліну і карбонату барію. Стеатит має вищу міцність і кращі електричні властивості, ніж фарфор.

Для виготовлення конденсаторів великої ємності, запам'ятовуючих пристроїв для ЕОМ, терморезисторів і т.п. використовують сегнетоелектрики – сегнетову сіль, титанат барію, титанат свинцю і цирконат свинцю і т.п.

Для виготовлення чутливих інфрачервоних детекторів використовують піроелектрики.

Запальнички для газових плит, голки для стереопрограваців, деталі для звукових генераторів виготовляють з п'єзоелектриків. Перспективною п'єзоелектричною керамікою є тверді розчини титанату і цирконату свинцю.

У металообробній промисловості використовують ультразвукові свердла, виготовлені з п'єзокераміки.

## **Металокерамічні матеріали**

Металокерамічні матеріали (металокераміка) отримують з порошків металів і оксидів, карбідів, нітридів, силіцидів, боридів і т.п. способом порошкової металургії. Такі матеріали добре об'єднують властивості вихідних речовин (металу і кераміки): високу твердість, тугоплавкість, хімічну стійкість кераміки з теплопровідністю металу.

Для виготовлення металокераміки використовують оксиди, карбіди, бориди і нітриди перехідних металів з одного боку і залізо, кобальт, нікель, ванадій, хром, молібден, вольфрам, цирконій і титан – з іншого.

Компоненти вибирають так, щоб вони не взаємодіяли між собою з утворенням твердих розчинів або хімічних сполук. Наприклад, якщо беруть карбід, то обраний метал не повинен легко взаємодіяти з вуглецем.

Перший металокерамічний матеріал отриманий із суміші порошків оксиду алюмінію і алюмінію або хрому. Особливого значення набули матеріали, виготовлені на основі карбідів (вольфраму, титану, танталу) і кобальту. З порошків цих матеріалів виготовляють леза металорізальних інструментів у вигляді пластин.

Металокерамічні тверді сплави з використанням карбіду, вольфраму поділяють на три групи.

До першої групи належать однокарбідні сплави, які виготовляють з порошків карбіду, вольфраму і кобальту. Марки цих сплавів: ВК3, ВК8, ВК25 (літера "В" означає карбід вольфраму, "К" – кобальт, цифра показує вміст кобальту в сплаві в процентах). Чим більший вміст кобальту в сплаві, тим він

менш крихкий, але при цьому знижуються твердість і зносостійкість. Свердла, виготовлені з цих сплавів, легко роблять отвори в граніті і бетоні.

До другої групи належать двокарбідні сплави ( $WC+TiC+Co$ ). Порівняно з металами першої групи вони мають підвищену в'язкість. Марки сплавів: T15K6, T30K4, T5K10 (літера "Т" означає карбід титану, "К" – кобальту, цифри після літер – вміст цих складових в сплаві в процентах, залишок – карбід вольфраму).

До третьої групи належать трьохкарбідні сплави системи ( $WC+TiC+TaC+Co$ ). Марки цих сплавів: TT7K12, TT8K10, TT8K6. Вміст сплаву марки TT7K12, %:

Ці сплави мають підвищені зносостійкість, в'язкість, добре протидіють вібрації.

Вольфрам-кобальтові сплави дорогі, оскільки в їхній склад входять сполуки вольфраму, а він дорогий. Тому на зміну вольфрамовим сплавам прийшли безвольфрамові. На особливу увагу заслуговують матеріали, виготовлені на основі карбідів кремнію Si і карбиду бору  $B_4C$ . Вони мають високі стійкість і твердість. Прикладом безвольфрамових сплавів є стелит і хастелой. Основа цих сплавів – карбід кремнію.

Вони мають вищу ударну в'язкість, ніж вольфрам; довговічність їх в кілька разів більше.

**Карбід кремнію** (карборунд) – це особливо твердий абразивний матеріал. Крім того, він прекрасний конструкційний матеріал для виготовлення керамічних двигунів, нагрівальних елементів.

У 70-х роках створено керамічний матеріал сіалон (за першими літерами хімічних елементів Si, Al, O, N). Він має дуже високі різальні властивості, витримує термічні і механічні удари. З нього виготовляють різальну частину різців.

**Ельбор** (кубоній, боразон) – це з'єднання класу нітридів (B-BN). Інструменти (різці, свердла), виготовлені з цього матеріалу, працюють при таких умовах, де не можуть працювати алмазні.

### **Мінералокерамічні матеріали**

Мінералокерамічні матеріали не містять дорогих і дефіцитних елементів – вольфраму, кобальту і т.п., їхньою основою є корунд.

Мінералокерамічні матеріали виготовляють на основі оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Вони мають високу теплостійкість, яка зберігається до температури  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , що дає можливість обробляти матеріали при значних швидкостях різання. Прикладом мінералокерамічних матеріалів є ЦМ-332, ВОКВО. Для підвищення міцності пластин, виготовлених з мінералокераміки, додають W, Mo, Ti, B і т.п. Отримані мінералокерамічні матеріали називають керметами.

До мінералокерамічних матеріалів належать електрокорунд (кристалічний оксид алюмінію  $Al_2O_3$ ) і карборунд (карбід кремнію Si).

Електрокорундові інструменти використовують для обробки загартованої сталі, чавуну, бронзи і т.п.

Карборунд порівняно з електрокорундом має високу твердість і меншу в'язкість, тому його використовують для виготовлення шліфувальних кругів, якими обробляють більш крихкі матеріали, а також деякі кольорові сплави.

## **Композиційні матеріали**

### **Поняття про композиційні матеріали**

Композиційними називають складні конструкційні матеріали, основа яких укріплена волокнами або дрібнодисперсними тугоплавкими частинками. Скорочено їх називають композитами.

Основу композитів називають матрицею, яку виготовляють з металів (часто з алюмінію, магнію, нікелю, титану і сплавів на їхній основі), полімерів, кераміки та інших матеріалів. Матриця в армованих композиціях дає виробам певну форму і створює монолітний матеріал, а також передає зусилля, прикладені до виробу, на волокна, захищає волокна від механічних пошкоджень, окиснення і т.п.

Волокна і дрібнодисперсні тугоплавкі частинки виконують роль армуючих матеріалів як залізна арматура в залізобетоні, солома в самані (будівельний матеріал) тощо.

**Вимоги до армуючих матеріалів.** Волокна і дрібнодисперсні частинки, якими армують матриці композиційних матеріалів, повинні задовольняти таким вимогам: мати високу температуру плавлення; малу щільність; високу міцність у всьому інтервалі робочих температур (для волокон); високу технологічність; мінімальну розчинність в основі; високу хімічну стійкість; крім того, вони не повинні виділяти отруйних речовин в процесі виготовлення композитів і їхньої експлуатації.

**Види армуючих матеріалів.** Для армування використовують нитковидні кристали ("вуса"), металевий дріт, органічні і неорганічні волокна і дрібнодисперсні порошки.

Нитковидні кристали діаметром до декількох мікрометрів і довжиною до декількох сантиметрів поки що широко не використовують для армування конструкційних матеріалів.

Металевий дріт зі сталі, вольфраму, молібдену та інших металів незважаючи на високу щільність широко використовують для виробництва композиційних матеріалів на основі металів і кераміки, оскільки їх легко виготовляти і вартість їхня порівняно невисока.

Неорганічні волокна (як і металеві) отримують у великій кількості (вуглецеві, борові, скляні, карбідокремнієві, кварцові та ін.). Основний їхній недолік – це висока чутливість до механічних пошкоджень. Проте, мала щільність, висока міцність, хімічна стійкість дають можливість використовувати їх для армування як пластмас, так і металів.

Органічні волокна використовують для армування полімерних конструкційних матеріалів. З волокон можна виготовляти тканини і

трикотажне полотно і використовувати для армування полімерних матеріалів.

**Дрібнодисперсні порошки** – це дрібнодисперсні частинки з оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших тугоплавких з'єднань. Основна вимога до них – термодинамічна стабільність щодо матеріалу матриці майбутнього композиту.

Залежно від вибору армуючих матеріалів (волокна або порошки) композити розділяють на волокнисті та дисперсно - зміцнені.

Волокнисті композиційні матеріали армують волокнами різної довжини. Якщо відношення довжини  $l$  волокна до його діаметра  $d$  становить  $10 \dots 10^3$ , то такі композити називають дискретними, а якщо

то безперервними. Дискретні волокна розміщені в матриці композиту хаотично.

Армувати композити можна також за допомогою тканин, виготовлених з цих самих волокон. Часто з волокон виготовляють тривимірні сітки.

Дисперсно - зміцнені композиційні матеріали об'єднують в собі основу (матрицю) і рівномірно розподілені в ній на певній відстані одна від однієї тугоплавкі дрібнодисперсні частинки зміцнювальної фази. Розмір частинок не перевищує 0,1 мкм. У цих композитах вміст дрібнодисперсних частинок становить – 0,1-15%. Дрібнодисперсні частинки в композиційному матеріалі перешкоджають руху дислокацій і стабілізують структуру метричному свідочтву. Відповідно підвищують жароміцність композитів.

### **Композиційні матеріали на основі металів**

Цей вид композиційних матеріалів скорочено називають металокомпозити. Їхньою основою є метали. Від звичайних металів і сплавів композити відрізняються механічними і корозійними властивостями. Заміна металевих сплавів на композити підвищує жорсткість конструкцій при одночасному зниженні вмісту металу.

Зміцнення волокнами. Міцність волокнистих композитів визначається властивостями волокон, тому міцність і пружність волокон мають бути значно вищими, ніж матриці.

Для зміцнення алюмінію, магнію і їхніх сплавів використовують бор ( $\sigma = 2500 \dots 3500$  МПа) і вуглець ( $\sigma = 1400 \dots 3500$  МПа) волокна, а також волокна з тугоплавких з'єднань (карбідів, нітридів, боридів, оксидів), які мають високу міцність і пружність. Так, волокна карбіду кремнію діаметром 100 мкм мають  $\sigma = 2500 \dots 3500$  МПа. Часто як волокна використовують провід з високоміцної сталі.

Підвищують жароміцність нікелевих сплавів армуванням їх молібденовим і вольфрамовим провідом. Металеві волокна використовують також тоді, коли треба мати високі тепло- і електричну провідність.

Композити на металевій основі мають високі міцність і жароміцність, але малу пластичність. Волокна в композитах зменшують швидкість поширення тріщин, які зароджуються в матриці, і практично повністю усувають раптове крихке руйнування.

Зміцнення дрібнодисперсними тугоплавкими частинками. Композиційні матеріали, укріплені дрібнодисперсними частинками, називають дисперсно-зміцненими. Їх виготовляють з порошкових матеріалів за технологією порошкової металургії. Прикладом таких матеріалів є спечені алюмінієві порошки САП-1, САП-2 і САП-3. Вони складаються з різного співвідношення порошоків алюмінію та оксиду алюмінію.

Дисперсно-зміцнені композити виготовляють теж на основі нікелю, хрому, молібдену, вольфраму, срібла і т.п. Ці матеріали використовують в процесі конструювання атомних реакторів, поршнів двигунів внутрішнього згоряння, деталей авіаційних двигунів, сопел, лопаток, нагрівальних елементів електропечей та ін.

Металеві композити отримують різними способами. Вибір способу залежить від фазового стану основи, яка може бути в твердому, рідкому або іншому стані; виду армуючого елемента; можливості внести його в основу без пошкодження і інших чинників.

Якщо метал або сплав для основи знаходиться в твердому стані, тобто у вигляді порошку, фольги, то спосіб отримання металевих композитів називають твердофазним. Суть цього способу отримання композитів полягає в тому, що основу (наприклад, алюмінієву фольгу) і армуючі волокна (наприклад, сталевий дріт) пошарово накладають одне на одне, а потім стискають, часто вальцюють або пресують.

Армування короткими волокнами проводять на основі технології порошкової металургії.

У разі рідкофазного способу основу композиту виготовляють з рідкого металу або сплаву. Цим способом армують, наприклад, магній високоміцними волокнами вуглецю, бору і т.п. У разі рідкофазного способу виготовлення композитів використовують деякі способи лиття, наприклад безперервне лиття, **шлікерне** з подальшим гарячим пресуванням і т.п. При рідкофазному способі отримання композитів використовують плазмове напилення тощо.

Вироби, виготовлені з металевих волокнистих композитів, використовують при низьких, високих і надвисоких температурах, в агресивних середовищах при різних навантаженнях.

### **Композиційні матеріали на основі полімерів**

Такі матеріали скорочено називають полімеркомпозитами. Основою полімеркомпозиту є полімери. Для поліпшення властивостей полімерів їх армують волокнами, виготовленими з бору, вуглецю, скла і т.п.

Полімеркомпозити і вироби з них в більшості випадків отримують одночасно. При цьому виробам надається певна форма і розміри, а це зменшує їхню вартість не дивлячись на високу вартість полімерів і армуючих волокон, а також велику трудомісткість виробництва.

Технологія виготовлення виробів з волокнистих полімеркомпозитів складається з підготовки армуючих волокон і полімеру-основи; з'єднання

волокон з основою; отримання напівфабрикату; ущільнення, твердіння, термічної і механічної обробки виробів і контролю якості виробів.

Полімер-основа може бути в твердому або рідкому стані. Якщо полімер-основа знаходиться в рідкому стані, то волокна намочують в полімері, а якщо в твердому, то полімер напилюють на волокна. Є інші способи об'єднання волокон з основою. Після цієї операції отриману композицію нагрівають для випарювання розчинника та надання їй липкості, необхідної для наступних технологічних операцій.

### **Композиційні матеріали на основі кераміки**

Розвиток техніки вимагає високоміцних і теплостійких конструкційних матеріалів. Металокомпозити в більшості випадків не мають достатньої питомої міцності, полімеркомпозити втрачають міцність під час нагрівання до високих температур. Пошуки матеріалів, які задовольнили б вимогам сучасної техніки, привернули увагу вчених до кераміки. Керамічні матеріали мають високу температуру плавлення, малу щільність, високу міцність в процесі випробування на стиск, високу стійкість до дії агресивних середовищ, особливо окислювальних, і т.п. Крім того, в природі є великі запаси сировини для їхнього виробництва. Тим не менш, вони не позбавлені недоліків: мають недостатню міцність на розтягнення, згин і циклічне навантаження, підвищену крихкість і ін.

Введення в кераміку армуючих волокон дає можливість значною мірою усунути зазначені недоліки і створити композиційні матеріали, які можуть працювати в окислювальних середовищах до температур 2000 °С.

Кераміку армують металевими, вуглецевими та керамічними волокнами. Керамічні композити отримують в основному методом порошкової металургії.

Композиційні матеріали мають необмежене застосування: в літакобудуванні для виготовлення деталей літаків (обшивки, панелей і т.п.), двигунів (лопатки, компресори, турбіни і т.п.); ракетобудуванні для виготовлення вузлів силових конструкцій апаратів, які нагріваються; автомобілебудуванні для виготовлення кузовів, ресор, рам і т.п.; добувній промисловості для виготовлення долота; в цивільному будівництві для виготовлення прогонів мостів, збірних конструкцій висотних споруд і т.п. і в інших галузях народного господарства.

Застосування композиційних матеріалів забезпечує нове досягнення в збільшенні потужності двигунів, зменшенні вмісту металу машин і механізмів.

### **Будівельні матеріали**

**Види будівельних матеріалів.** Протягом життя людина має потребу в житлі, будівлях культового, побутового, культурного, промислового та інших призначень, а також в спорудах, до яких належать дороги, мости, канали, лінії зв'язку, стадіони і т.п. Для будівництва цих об'єктів використовують будівельні матеріали природного і штучного походження.



**Природні будівельні матеріали** поділяють на матеріали рослинного та мінерального походження. До матеріалів рослинного походження належить деревина, з якої виготовляють колоди, бруси, дошки та ін. В будівництві в основному використовують деревину хвойних порід (сосну, ялину, модрина, ялицю і т.д.). З листяних порід використовують дуб, бук, ясен та інші дерева.

Не всяка деревина придатна для будівництва. Крива деревина, сучковата, поїдена жучками-паразитами, заражена грибками неприйнятна для будівництва. За вмістом вологи деревину поділяють на мокру вологістю 30-40%, тільки що зрубану (25-30%), повітряно-суху (15-25%) і кімнатно-суху із вмістом вологи 8-13%. Деревину вибирають в залежності від вологості експлуатаційного середовища.

До матеріалів мінерального походження належить камінь (бутовий, бруковий), щебінь, гравій, галька, пісок, глина тощо

Штучні будівельні матеріали виробляють з природних. Залежно від умов виробництва штучні будівельні матеріали мінерального походження поділяють на необпалені і обпалені.

До необпалених будівельних матеріалів належать саман, будівельні розчини, бетон, залізобетон тощо. У процесі виробництва мають місце фізичні і механічні процеси.

Обпалені будівельні матеріали (керамічні вироби, вапно, цемент, скло, керамзит і т.п.) отримують за допомогою термічних процесів. Сировиною для виробництва обпалених будівельних матеріалів є глина, крейда, вапняк, доломіт, кварцовий пісок, нефеліни і т.д.

### **Керамічні вироби**

До керамічних виробів належать цегла, плитки, вироби з тонкої, спеціальної кераміки і т.п.

Промисловість будівельних матеріалів виробляє кілька видів цегли: будівельна, вогнетривка, кислото- і лугостійка. Будівельна цегла використовується для спорудження будівель. Вогнетривкою цеглою футерують печі, ковші для металургійної промисловості. Луго- і кислотостійка цегла використовується в хімічній промисловості для футеровки апаратів і агрегатів.

Плиткою облицьовують зовнішні і внутрішні стіни будівель, викладають підлогу.

До виробів з тонкої кераміки належать фарфорові та фаянсові вироби.

Вироби зі спеціальної кераміки використовують в радіо- і приладобудуванні.

Основною сировиною для виробництва керамічних виробів є глина і каоліни. До їхнього складу входять каолінит  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , алюмосилікати, оксиди заліза, кальцію, магнію і т.п. За призначенням глини поділяють на порцелянові, вогнетривкі, теракотові, кам'яні, черепичні і т.п. Найважливіша властивість глини – пластичність.

Пластичністю називають здатність глини після змішування з водою набувати форму, яку їй надають і зберігати цю форму після сушіння і відпалу.

Для підвищення пластичності глини вивітрюють, вилежують, виморожують і т.п.

### **Технологія виробництва керамічних виробів**

Виготовлення керамічних виробів – тривалий процес, який складається з таких стадій: підготовка сировини і керамічної маси, формування, сушка і випалення виробів. На деякі вироби наносять малюнок або глазурь.

Сировину подрібнюють, змішують і готують до формування. Здійснюють це по-різному в залежності від способу формування. В ході пластичного формування виробів подрібнені компоненти сировини змішують, зволожують і розмішують до тістоподібного стану. Для напівсухого формування матеріали підсушують до вологості, яка становить 8-16%, а для сухого – до повного виділення вологи. В сучасних способах формування вміст вологи в формуючій масі становить 4-40%. Вироби формують на формувальних пресах (механічних або гідравлічних); тонку і спеціальну кераміку формують литтям (рідку масу заливають у форму).

Сушать вироби в камерних, подових і тунельних сушарках періодичної і безперервної дії.

Відпал – найважливіша частина технології виробництва керамічних виробів. Під час відпалу відбуваються складні фізико-хімічні процеси, внаслідок яких глиняна маса перетворюється в твердий черепок. Відпал проводять при різних температурах. Вибір температури відпалу залежить від виду керамічних виробів. Так, будівельну цеглу обпалюють при температурі 1050...1100 °С, вогнетривку – при температурі 1350 °С. Керамічні вироби обпалюють в печах періодичної або безперервної дії. Найчастіше використовують тунельні і кільцеві печі безперервної дії. Довжина тунельної печі 100 м, всередині неї прокладено вузькоколіяку, по якій рухаються вагонетки з виробами. Внутрішня частина печі розділена на три зони: підігрівання, відпал і охолодження. Матеріальні (вагонетки з виробами) і теплові потоки (димові гази, які утворилися під час згоряння палива) рухаються назустріч один одному. Під час зустрічі димові гази віддають теплоту виробам і по спеціальним каналам виходять з печі. Обпалені вироби охолоджують спочатку в печі (в охолоджуючій зоні), а потім на повітрі.

### **В'язкі будівельні матеріали**

Для виготовлення будівель і споруд з будівельних матеріалів природного і штучного походження необхідно мати в'язкі речовини, які за походженням поділяють на природні та штучні.

У сучасному будівництві широко використовують штучні в'язкі речовини мінерального походження.

Будівельними мінеральними в'язкими матеріалами називають порошкові речовини, які в ході змішування з водою утворюють пластичну масу, здатні самовільно тверднути і перетворюватися в моноліт.

Цю властивість в'язких речовин використовують в процесі виготовлення будівельних розчинів, бетонів, залізобетонів і т.п. За властивостями і призначенням в'язучі матеріали поділяють на повітряні (тверднуть і зберігають міцність тільки на повітрі), гідравлічні (тверднуть і зберігають міцність як на повітрі, так і у воді), кислотостійкі (після твердіння стійкі проти дії мінеральних кислот) тощо.

Повітряними в'язучими матеріалами є вапно і гіпс. Цемент належить до гідравлічних в'язких речовин.

### Вапно

Вапном називають в'язучі будівельні матеріали, які отримують випалюванням кальцієво-магнієвих гірських порід: вапняку, крейди, доломіту і т.п.

Технологія виробництва будівельного вапна. Технологічна система виробництва вапна складається з трьох стадій (рис. 1): підготовка сировини 1 (подрібнення і сортування за розмірами); випал подрібненої маси 2; подрібнення готової продукції, її фасування та зберігання 3.

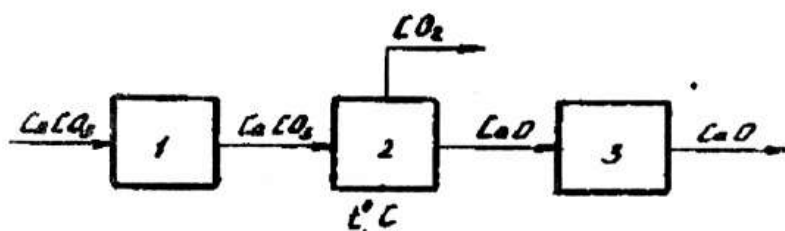


Рис.1. Спрощена схема технологічної системи виробництва вапна

Подрібнюють і сортують вапняк за розмірами на дробильних машинах і решетах.

Відпал подрібненої сировини – це основна стадія у виробництві вапна, її проводять в стовбурних або обертючих печах. Останнім часом широко використовують печі з псевдокиплячим шаром.

Стовбурові печі працюють на твердому або газовому паливі. Висота печі досягає 20 м, діаметр – 4 м. Ще до недавнього часу в таких печах випалювали до 85% вапна.

Шматки подрібненої сировини розміром 8...20 см пошарово з паливом (антрацит, кокс і т.п.) завантажують в піч зверху, знизу під тиском подають повітряне дуття. За ступенем нагрівання піч по висоті розділена на три зони. У середній зоні печі температура найвища (1000...1200 °С), тут сировину обпалюють:

Теплота, яке несуть з собою пічні гази, прямує до виходу, у верхній зоні печі нагріває сировину. Обпалене вапно опускається в нижню зону, де віддає теплоту повітрю, яке подають в піч під тиском.

За допомогою спеціального пристрою шматки обпаленого вапна вибирають з печі. Отримане вапно забруднене шлаком. В обортових печах порівняно зі стовбурними отримують вапно екстра-класу. На якість вапна впливає також вибір палива. Перехід на газове паливо підвищує якість вапна.

Найвищу продуктивність мають печі з псевдокиплячим шаром. Отриману продукцію подрібнюють і відправляють за призначенням.

Вапно зберігають в закритих приміщеннях в мішках, які не пропускають вологи.

Залежно від виду обробки вапно поділяють на негашене, яке складається з Ca, Mg і гашене, яке складається з  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ . Гашене вапно має білий колір і щільність 400...600 кг/м<sup>3</sup>. Для отримання гашеного вапна необхідно мати воду, витрати якої складають 70-100% маси негашеного вапна. У процесі гасіння вапна протікають такі реакції:

Швидкість гасіння вапна залежить від розмірів шматків негашеного вапна і температури. З підвищенням температури процес гасіння вапна прискорюється. Змінюючи кількість води в процесі гасіння, можна отримати гашене вапно у вигляді тіста або порошку.

Гашене вапно твердне внаслідок випаровування води і кристалізації  $\text{Ca(OH)}_2$  і  $\text{Mg(OH)}_2$ . Разом з тим з випаровуванням і кристалізацією має місце поглинання  $\text{CO}_2$  з повітря:

Утворений карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$  зростається з кристалами  $\text{Ca(OH)}_2$  і  $\text{Mg(OH)}_2$  і зміцнює розчин. Гашене вапно твердне повільно, міцність утвореного моноліту зростає з плином часу. Для прискорення твердіння до вапна додають цемент і гіпс або підвищують температуру середовища. Додатки цементу і гіпсу підвищують водостійкість вапнякових розчинів.

### **Гіпс**

Гіпс – мінерал класу сульфатів, має білий колір зі скляним блиском, а коли є домішки, то забарвлений в різні кольори.

Гіпсом називають порошкові в'язучі матеріали, які отримують випалюванням природної або штучної сировини, яка містить сірчаноокислий кальцій  $\text{CaSO}_4$ .

Гіпс використовують у будівництві, фарфоро-фаянсовій, машинобудівній промисловості, медицині і т.п. Утворений розчин після

змішування гіпсу з водою спочатку схоплюється, потім твердне і перетворюється в моноліт.

### **Технологія виробництва гіпсу**

Сировиною для виробництва гіпсу є природний гіпсовий камінь  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і відходи промисловості, які містять сірчаноокислий кальцій. До відходів належить фосфогіпс, який отримують в процесі виробництва фосфорних мінеральних добрив, і т.п.

Залежно від температури випалу сировини гіпсові матеріали поділяють на низько- і високообпалені.

Низькообпалені гіпсові матеріали отримують випалюванням природного каменю при температурах 150...160 °С. У процесі випалу двохводневий гіпс втрачає воду і перетворюється в напівводневий:

Високообпалений гіпс отримують випалюванням природної сировини при температурах 600...900 °С. У процесі випалу двохводневий гіпс повністю втрачає воду і перетворюється в безводний сульфат кальцію. Частина сульфату кальцію розпадається:

Високообпалений гіпс твердне внаслідок утворення карбонату кальцію і гідратації сульфату кальцію. Твердий високообпалений гіпс стійкий проти стирання. Його використовують для виготовлення підлоги, кладки і штукатурки стін, виготовлення штучного мармуру і т.п.

До низькообпалених гіпсових матеріалів належить будівельний, фірмовий і високоміцний гіпс.

Будівельний гіпс (алебастр – грецький) – це дрібнодисперсний порошок білого кольору, який після змішування з водою швидко схоплюється і твердне. З нього виготовляють розчини для штукатурки стін, гіпсові плити, панелі, декоративні, теплоізоляційні та архітектурні вироби.

Технологічна система виробництва гіпсу трьохстадійна. На кожній стадії відбувається певний технологічний процес: подрібнення, розмелювання і випал (дегідратація) гіпсового каменю. Ці процеси можуть відбуватися в різній послідовності. Залежно від послідовності їхнього проведення відомо кілька технологічних систем виробництва будівельного гіпсу. В одній системі подрібнення гіпсового каменю передує випалу, в іншій, навпаки, спочатку відбувається випал, потім подрібнення, а в третій подрібнення і випалення суміщені в одному агрегаті. Випал сировини проводять в котлах, сушарках, млинах. Частіше використовують котли.

Формувальний гіпс – це дрібно помелений будівельний гіпс. Під час змішування з водою він дуже швидко схоплюється і твердне. Його використовують для виготовлення декоративних виробів і високоякісних облицювальних розчинів.

Високоміцний гіпс використовують з тією самою метою, що і будівельний, але вироби можуть експлуатуватися в порівняно вологих середовищах. З високоміцного гіпсу виготовляють ливарні форми в металургійній і фарфоро-фаянсовій промисловості. По міцності його поділяють на марки: 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500.

Під час роботи з гіпсом слід пам'ятати, що початок схоплювання гіпсового тіста починається через 2 хв. після змішування його з водою, а твердіння закінчується через  $\geq 6 \dots 30$  хв.

У гіпсовому розчині, виготовленому з порошку гіпсу і води, напівводневий гіпс знову перетворюється в двохводневий:

Утворений двохводневий гіпс випадає з розчину у вигляді дисперсних (колоїдних) частинок, які перетворюються в кристали  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і розчин густіє (схоплюється). З плином часу кристали двохводневого гіпсу зростаються і утворюється міцний гіпсовий камінь.

За швидкістю схоплювання і твердіння гіпс поділяють на швидко-, нормально- і повільнотверднучий. Найменший час схоплювання має швидкотверднучий гіпс – до 2 хв. Повільнотверднучий гіпс схоплюється не раніше ніж через 20 хв. після приготування тіста.

За ступенем подрібнення (помелу) гіпс буває грубого, середнього та тонкого помелу.

Зберігають гіпс в закритих сухих приміщеннях (складах), перевозять в водонепроникній тарі або в закритих вагонах.

## **Цемент**

Цемент належить до гідравлічних в'язких матеріалів. Промисловість будівельних матеріалів виробляє різні види цементу, найбільше портландцементу (від міста Портленд, яке знаходиться у Великобританії). Крім портландцементу виробляють шлаковий цемент, глиноземний цемент та ін.

Портландцементом називають дрібнодисперсний порошок змолотого цементного клінкеру, який отримують випалюванням аж до спеченого стану суміші вапняку (75-78%) і глини (22-25%) або їхньої природної суміші – мігрелі.

За кількістю виробництва та використання портландцемент посідає перше місце в світі серед всіх в'язучих будівельних матеріалів. Він швидко твердне на повітрі і під водою.

## **Технологія виробництва портландцементу**

Технологічна система виробництва цементу складається з трьох основних стадій (рис. 2): підготовка вапняку 1, глини 2, а потім їхньої суміші 3; випал суміші 4 для отримання цементного клінкеру; подрібнення цементного клінкеру на дрібнодисперсний порошок і додавання добавок 5.

Добавки додають для надання цементу певних властивостей. Наприклад, для швидкого твердіння додають до 15% доменних гранульованих шлаків.

Підготовку сировини до випалу проводять двома способами: сухим і мокрим. Відповідно способи виробництва портландцементу поділяють на сухий і мокрий.

В ході мокрого способу подрібнену глину (3...5 мм) перемішують з водою в залізобетонних резервуарах для отримання суспензії. Глиняну суспензію і подрібнений вапняк (3...5 мм) подають в трубний млин, де за допомогою сталевих куль суміш розмелюють і перемішують. Трубні млини безперервної дії. Розмелена суміш надходить в басейн для відстоювання (вирівнювання хімічного складу суміші). Після відстоювання суміш подають в піч на випал.

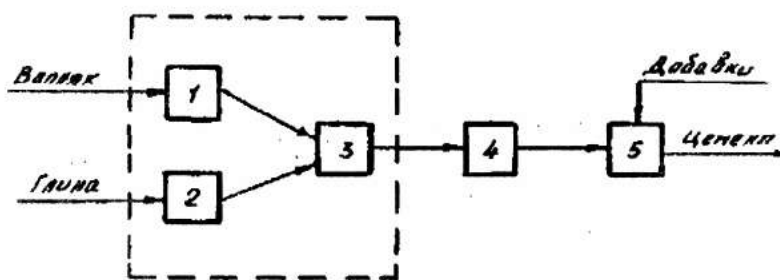


Рис. 2. Схема технологічної системи виробництва цементу.

В ході сухого способу сировину (глину і вапняк) вологістю до 10% після попереднього подрібнення відразу розмелюють в кульових млинах. Отримані порошки ретельно перемішують у змішувачах і після відстоювання (для вирівнювання хімічного складу) подають в піч на випал.

Обпалюють вапняково-глиняні суміші в обертових печах безперервної дії. Довжина печей – 95, 185, 230 м, діаметр – 5...7 м. Піч встановлена з невеликим нахилом і обертається зі швидкістю  $0,016 \text{ с}^{-1}$ . Сировину подають в трохи підняту частину печі, паливо спалюють в опущеній частині печі. Газові речовини, які утворилися в процесі горіння палива, і обпалювальна суміш рухаються назустріч один одному. Під час зустрічі теплових і матеріальних (сировини) потоків спочатку випаровується волога і висушується сировина. Потім розпадаються гідрати, карбонати і утворюються оксиди. Ці реакції відбуваються в зоні печі, нагрітої до температур 700-1100 °С, де розпадається вапняк:

У тій самій зоні печі глинисті мінерали розпадаються на оксиди  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  і вступають в реакцію з  $\text{Ca}$  при температурах 110...1300 °С і утворюються клінкерні мінерали:  $2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $4\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ . І,

врешті-решт, при температурах 1300...1450 °С утворюється основний мінерал клінкеру – аліт  $3\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$ .

Після спікання клінкер у вигляді гранул розміром 15 мм виходить з печі в її опущеній частині і надходить в холодильник на охолодження, а звідти – на склад. На складі клінкер вилежується протягом двох тижнів. За цей час вільне вапно Са, яке міститься в клінкері, гаситься вологою, яка є в атмосфері складу:

У процесі гасіння виділяється велика кількість теплоти Q, клінкер стає рихлим, що полегшує його розмелювання.

Розмелюють клінкер і добавки в кульових млинах. Готовий портландцемент зсипають в залізобетонні силоси – сховища для охолодження. Потім його фасують в тару. Транспортують цемент, в закритій тарі, а зберігають – в сухих складах. Необхідно пам'ятати, що активність цементу з часом знижується. Так, за три місяці зберігання вона зменшується майже на 20%, за півроку – на 30%, за рік – на 40%. Собівартість цементу залежить від виду сировини, палива, способу виробництва (мокрый або сухий) і т.п.

Витрати на сировину становлять 25% собівартості цементу. Використання відходів (жухелиці, шлаків) промислових підприємств зменшує собівартість цементу на 35-40%. Виробництво цементу енергоємне. На отримання 1 т цементу витрачається 240 кг твердого палива. 40% електроенергії, яку витрачають на цементному заводі, йде на помел клінкеру.

Кожен із способів виробництва цементу має свої переваги і недоліки. Так, у разі використання мокрого способу легше подрібнюється сировина, кращі санітарно-гігієнічні умови праці, але витрати палива на 40% перевищують витрати в разі використання сухого способу.

Під час застосування сухого способу менше витрачається палива порівняно з мокрим, але більші витрати електроенергії. Крім того, сухий спосіб сильно забруднює навколишнє середовище і вимагає очисних фільтрів.

У наш час в світі скорочується виробництво цементу мокрим способом, а розширюється виробництво сухим, що дає економію палива.