

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ**

**Н.Е. Погребна, Т.В. Котова**

## **БУДІВЕЛЬНІ ТА ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ**

Друкується за Планом видань навчальної та методичної літератури, затвердженим Вченою радою УДУНТ

Протокол № від

**Дніпро УДУНТ 2022**

УДК 699.018

Погребна Н.Е., Котова Т.В. Будівельні та теплоізоляційні матеріали: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2022. – 57 с.

Відповідає робочій програмі навчальної дисципліни «Будівельні та теплоізоляційні матеріали».

Викладені в навчальному посібнику матеріали дозволять студентам-бакалаврам спеціальностей 144 – Теплоенергетика та 132 – Матеріалознавство ознайомитись та отримати знання про технологічний напрямок, який дозволяє використовувати високоефективні будівельні вогнетривкі та теплоізоляційні матеріали в металургії, теплоенергетиці, матеріалознавстві, машинобудуванні та ін.

Контрольні запитання і список літератури допоможуть студентам-бакалаврам визначити значну кількість видів будівельних та теплоізоляційних матеріалів для відділення робочої камери печі від навколишнього простору та їх теплової ізоляції.

Друкується за авторською редакцією.

Відповідальна за випуск Н.Е. Погребна, к.т.н., проф.

Рецензенти: Ю.М. Правдін, к.т.н., Лауреат Державної премії України, техн. директор ТОВ «Дніпровський завод спеціальних труб»  
Д.В. Лаухін, д-р техн. наук, проф. (НТУ «Дніпровська політехніка»)

©Український державний університет  
науки і технологій, 2022

© Погребна Н.Е., Котова Т.В., 2022

## ЗМІСТ

	ВСТУП	5
1	КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ	6
2	ВОГНЕТРИВКА СИРОВИНА	11
	2.1. Каоліни	12
	2.2. Високоглиноземиста сировина	12
	2.3. Кварцити, кварцові піски та концентрати	12
	2.4. Магнезіальна сировина та доломіти	13
3	БУДІВЕЛЬНІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ З НИХ	14
	3.1. Кремнеземисті високотемпературні матеріали та вироби з них	14
	3.2. Будівельні динасові вироби	15
	3.3. Вироби шамотні та напівкислі для будівництва теплових агрегатів	15
	3.4. Вироби високоглиноземисті та глиноземисті	16
	3.5. Вироби периклазові та форстеритові	18
	3.6. Вироби плавлені литі	23
	3.7. Вироби бетонні	24
	3.8. Вироби цирконові	25
	3.9. Вироби оксидні	26
	3.10. Вироби карбідкремнієві	28
	3.11. Вироби вуглецеві	29
	3.12. Високотемпературні неформовані матеріали	30
	3.13. Технічна кераміка	32
	3.14. Кераміка чистих оксидів	35
	3.15. Матеріали вищої вогнетривкості	36
	3.16. Радіотехнічна кераміка	37

4	ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І ВИРОБИ – ВЛАСТИВОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ	39
	4.1. Неорганічні теплоізоляційні матеріали та вироби	39
	4.2. Класифікація теплоізоляційних матеріалів	41
5	ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ	43
	5.1. Властивості будівельних вогнетривких матеріалів	45
	5.2. Будівельна міцність при високих температурах	47
	5.3. Сталість обсягу при високих температурах	49
	5.4. Термічна стійкість	49
	5.5. Термічне розширення	49
	5.6. Теплопровідність, теплоємність і температуропровідність	50
	5.7. Пружна і пластична деформація	51
	5.8. Щільність	52
	5.9. Газопроникність	53
	5.10. Межа міцності при стискуванні	53
	ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ	54
	ЛІТЕРАТУРА	57

## ВСТУП

Економія енергоресурсів є одним з вагомих завдань практично будь-якого виробництва. На енергоємних підприємствах з таким завданням справляються за допомогою застосування новітніх будівельних високотемпературних та теплоізоляційних матеріалів. Їх використовують для теплової ізоляції та футеровки різного обладнання (печі, котли, трубопроводи та інші теплові агрегати). Так, наприклад, футеровка печі вогнетривкими матеріалами, які мають незначну вагу, дозволяє скоротити витрати енергоресурсів до 50%, в порівнянні з традиційними вогнетривкими будівельними матеріалами.

При будівництві металургійних агрегатів використовують значну кількість видів будівельних вогнетривких матеріалів, які дозволяють відокремити робочі камери печей від навколишнього середовища.

До будівельних та теплоізоляційних вогнетривких матеріалів пред'являють наступні вимоги: показники роботи будівельних вогнетривів під навантаженням при високих температурах, термостійкість, вогнетривкість, газопроникність, електропровідність, термічна стійкість, шлакостійкість та ін. Вказані властивості дозволяють зрозуміти, як будуть себе поводити матеріали при заданих режимах нагріву та охолодження, при деформації під навантаженням, при хімічному впливі агресивних хімічних середовищ.

Для вивчаємих будівельних та теплоізоляційних матеріалів мають значення характеристики показників шпаристості, лінійної та об'ємної усадки, щільності та волого поглинання.

Викладені в учбовому посібнику матеріали передбачають, що студенти володіють знаннями з таких дисциплін, як «Хімія», «Фізика», «Механіка», «Матеріалознавство», «Електротехніка» та інших загальних інженерних дисциплін.

## 1. КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ

Будівельними вогнетривкими матеріалами називаються матеріали, які використовуються для будівлі різних частин промислових печей, топелень та апаратів, що працюють в умовах високотемпературного (вище 1000° С) нагрівання.

Будівельні вогнетривкі матеріали та вироби, виготовлені переважно з мінеральної сировини, що здатні протистояти високим температурам, не розплавляються та витримують при високій температурі будівельне навантаження.

Будівельні вогнетривкі матеріали виготовляють у вигляді виробів, що мають при випуску певну форму (цегли, фасонні вироби різного ступеню складності, великі блоки), та неформовані вогнетриви (маси, суміші, мертели, порошки, кускові матеріали).

По діючому ОСТУ 14-46-92 установлені чотири загальних класифікаційних ознаки будівельних вогнетривких матеріалів:

- 1) хіміко-мінеральний склад;
- 2) вогнетривкість;
- 3) пористість;
- 4) галузь застосування.

Для виробів, крім цієї класифікації, існують спеціальні ознаки:

- 1) спосіб зміцнення (з урахуванням типу зв'язку);
- 2) спосіб формування;
- 3) форма і розміри (з урахуванням маси);
- 4) спосіб додаткової обробки.

Недеформовані вогнетриви поділяються:

- 1) за назвою;
- 2) за типом зв'язку;
- 3) граничної крупності зерен;
- 4) фізичному стану при поставці.

Розберемо кожну ознаку окремо:

**1. За хімічно - мінеральним складом будівельні вогнетривкі матеріали поділяють на типи:**

- 1) кремнеземисті;
- 2) алюмосилікатні;
- 3) глиноземисті;
- 4) глиноземовопняні;
- 5) високомагнезиальні;
- 6) магнезиальновапняні;
- 7) вапняні;
- 8) магнезиальношпинелідні;
- 9) магнезиальносиликатні;
- 10) хромисті;
- 11) цирконисті;
- 12) оксидні;
- 13) вуглецеві;
- 14) карбідокремнієві;
- 15) безкисенні

У складі кожного типу виділені групи, що розрізняються по змісту визначальних компонентів. Конкретні найменування вогнетривів встановлюються в нормативно-технічній документації, з урахуванням найменування та змісту компонентів:

Наприклад: муллитокремнеземисті переважає зміст муллитового компоненту; графітоцирконові переважає зміст графіту; периклазохромитові переважає периклазового компоненту.

**2. Залежно від вогнетривкості будівельні вогнетривкі матеріали поділяють на групи:**

- 1) середньої вогнетривкості (1580-1770° С);
- 2) високої вогнетривкості (1770-2000° С);
- 3) вищої вогнетривкості (більш 2000° С).

### 3. Залежно від шпаристості будівельні вогнетривкі матеріали поді-

ляють на:

- 1) особливощільні (відкрита пористість до 3 %);
- 2) високощільні (3-3- 10 %);
- 3) щільні (10 - 16 %);
- 4) ущільнені (16 - 20 %);
- 5) середньої щільності (20 - 30 %);
- 6) низькощільні (відкрита пористість 30 % , загальна 45 %);
- 7) високопористі (загальна пористість 45 - 75 %);
- 8) ультрапористі (більш 70 %);

Останні дві групи називаються **теплоізоляційними**.

За галузями застосування будівельні вогнетривкі матеріали розділяють на :

- загального призначення;
- для теплових агрегатів та пристроїв.

Вироби ділять на обпалені, безвипалювальні, бетонні, термічнооброблені, плавленовідлиті, газоосаджені.

По способу формування вироби підрозділяють на: півсухого формування, пластичного формування, гарячого пресування, розпилені із природних порід або блоків.

За формою та розмірами вироби ділять на прямі та клинкові нормальних розмірів, дрібноштучні масою переважно до 1 кг, фасонні прості, складної й особливоскладної конфігурації, рулонні та листові, блокові масою 10 – 1000 кг, великоблочні масою більше 1000 кг.

Неформовані будівельні вогнетривкі матеріали розділяють за призначенням на бетонні маси та суміші, матеріали для покриттів, заправні порошки, волокнисті теплоізоляційні матеріали, заповнювачі, цементи, порошки різного призначення , порошкові та кускові напівфабрикати.

По граничній крупності зерен їх розділяють на 9 груп, починаючи від кускових (більше 40 мм) і закінчуючи ультрадисперсними (менш 0,0001 мм).



Неформовані будівельні вогнетривкі матеріали можуть поставлятися сипучими (сухими і напівсухими), пластичними (брикетованими) або пастоподібними і рідкотекучими.

При проектуванні теплового агрегату, їхньому будівництві, ремонті й експлуатації виникають завдання на вибір вогнетривів. Від правильного рішення залежать нормальна робота агрегату, строк його служби, розмір міжремонтних періодів, якість продукції та ін. показники.

Вибір будівельних вогнетривких матеріалів визначається умовами служби та показниками якості вогнетривів.

У ОСТУ і ТУ нормуються найважливіші показники, що мають значення для стійкості вогнетривів у службі. Вогнетривкість коливається від  $1580^{\circ}\text{C}$  до  $1770^{\circ}\text{C}$  й вище. У ряді закордонних країн та на вітчизняних підприємствах за межу вогнетривкості приймають температуру  $1500^{\circ}\text{C}$ .

**Хімічний склад**- основа вибору типу будівельних вогнетривких матеріалів, відповідно до його умов служби. Звичайно нормують мінімум змісту головних хімічних компонентів і максимально допустима кількість домішок, що несприятливо відображається на службових властивостях. Відкрита пористість має істотне значення, особливо при впливі на вогнетриви рідких і газоподібних агресивних речовин. Варто прагнути до застосування більш щільних вогнетривів, але в ряді випадків доцільно використовувати більш пористі для підвищення термостійкості, газопроникності або теплоізоляційних властивостей. Щільність нормується рідко.

**Межа міцності**при стискуванні будівельних вогнетривких матеріалів коливається в широких межах від 10 – 20 до 50 – 70 Н/мм. Цей показник визначає не тільки будівельну міцність вогнетривів, але і якість їх структури. Додаткова усадка (або зростання) вогнетривких виробів при повторному нагріванні до високих температур, є досить важливим показником. Звичайно нормується розмір при  $1350^{\circ}\text{C}$  -  $1450^{\circ}\text{C}$ , лежить він у межах десятих часток відсотка. Ріст нормується тільки для динасових вогнетривів.

Температура початку розм'якшення під навантаженням вогнетривів має найбільш важливе значення в тих випадках, коли термін служби тривалий, а статистичні навантаження на вогнетрив значні. Цю температуру визначають при навантаженні 0,2 Н/мм для різних ступенів деформації, але нормується температура початку розм'якшення, що відповідає стиску зразка на 0,6 %. Показник характеризує стан вогнетриву при високих температурах, та його залежність від хіміко - мінералогічного складу та структури вогнетриву.

**Термостійкість** визначають по стандарту шляхом однобічного нагрівання цегл при 1300° С і охолодженні у воді .

Будівельні вогнетривкі матеріали в службі часто випробовують температурні коливання, тому параметру термостійкості надається велике значення. Для вогнетривких виробів встановлюють форму та розміри, граничні відхилення у розмірах, дефектам зовнішнього вигляду і структурі. Для виробів випускаються ТУ де наведені креслення й всі вимоги повністю.

## 2. ВОГНЕТРИВКА СИРОВИНА

**Вогнетривкі глини** - являють собою землісті породи осадового походження, в основі складаються з перитових ( 0,01 мм ) часток гідроалюмосилікатів ( глинистих мінералів ) головним чином каолініту, галлуазиту, гидрослюд і монтмориллоніту з домішками кварцу, залізовмісних мінералів і органічних сполук. До вогнетривких відносяться глини, що володіють вогнетривкістю не нижче 1580° С.

У вогнетривкій промисловості глини використовують для виробництва різних алюмосилікатних виробів (шамотних, напівкислих, високоглиноземистих ) і недоформованих матеріалів (мертелей, мас, бетонів, порошоків та ін. )

Склад і фізико-керамічні властивості глин різних родовищ не однакові й змінюються в широких межах. Як класифікаційні ознаки при оцінці вогнетривких глин використовуються:

- хімічний склад;
- вогнетривкість.

По масовій частці  $Al_2O_3$  у прожареному стані глини розділяються:

1) високоглиноземисті - з масовою часткою  $Al_2O_3$  більше 45 %  
(у Росії родовище під Тулою ( 41 % );

2) основні - з масовою часткою  $Al_2O_3$  28 % (Родовиця в Україні – Донецька обл. (Костянтинівка), Сумська обл., Черкаська та Дніпропетровська області (П'ятихатки (37 %)).

Порядок маркування глин по окремих родовищах приблизно однаковий. Позначення марки складається з початкових букв назви родовища й арабських цифр глини, що вказують сорт: напівкислі (ПК), вуглисті (В), залізисті (Ж). Буква Г - глина, тому що існують родовища, де видобувається і глина, і каолін. Наприклад, П'ятихатське родовище: ПГ - 1, ПГ - 2, ПГЗ Ж.

## 2.1. Каоліни

Каоліни являють собою глинисту пухку породу переважно білого кольору, що складається головним чином з каолініту або каолініту й кварцу з невеликою кількістю домішок: польових шпатів, оксидів заліза, титана, та ін. мінералів.

Каоліни первинні є збереженими на місці свого утворення продуктами руйнування гірських порід, що містять польові шпати, слюди.

Каоліни вторинні утворюються в результаті переносу або природного збагачення первинних каолінів.

Каоліни відрізняються від глин - тим, що вони більш пухка порода, містять менше домішок, спікаються звичайно при високих температурах ( $1400^{\circ}\text{C}$  -  $1500^{\circ}\text{C}$ ) і мають підвищену термостійкість.

Каоліни використовуються для виробництва високоглиноземистих, шамотних і напівкислих виробів і неформованих матеріалів.

Маркування аналогічне глинам, але в марку вводиться буква К.

Наприклад, Кіровоградське родовище: КК - 0; КК - 1.

## 2.2. Високоглиноземиста сировина

Високоглиноземиста сировина використовується для виробництва високоглиноземистих виробів. У цю групу входять боксити і бокситові глини. Родовища знаходяться у Середній Азії ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 56 %).

## 2.3. Кварцити, кварцові піски та концентрати

Кварцити - метаморфічна гірська порода кварцового складу, що використовується для виробництва динасових виробів, мартелей і мас. Складаються в основному з окису кремнію. Марка: ДО 98- 300, ДО 98-45.

Родовища на Україні: Черкаська, Донецька, Запорізька, Житомирська області.

## 2.4. Магнезіальна сировина та доломіти

Магнезит - гірська порода, що складається з мінералу магнезиту  $MgCO$  з домішкою доломіту, кальциту, кварцу, силікатів. При відпалі магнезиту при  $1600^{\circ}C$  і вище одержують периклазовий порошок.

Вогнетривкість чистого периклазиту досягає  $2800^{\circ}C$ , використовується для набивання подів і заправлення сталеплавильних печей, а також для виробництва магнезіальних виробів.

**Брусит** - гірська порода, основної складової є мінерал брусит  $Mg(OH)$ . У результаті плавки бруситу отримується плавлений периклаз, який використовується у виробництві електротехнічного периклазу та відповідальних вогнетривів.

**Доломит** - гірська порода, що складається в основному з мінералу доломіту ( $CaCO + MgCO$ ) з домішками кальциту, кварцу, залізистих з'єднань і глинистої речовини. Доломит використовують для футеровки кисневих конвертерів і сталерозливних ковшів.

### **Інші види сировини:**

Існує велике родовища цирконієвої сировини або концентратів у м. Вільногорську. Цирконієвий концентрат складається з  $ZrSO$  і супутніх мінералів, ільменіту, біотиту, кварцу, польового шпату, із цього мінералу одержують диоксид цирконію. Цирконієвий концентрат марки ЦрО застосовується при виробництві вогнетривів, керамічних пігментів, емалей, радіоізокераміки і абразивів.

Диоксид цирконію є експортною сировиною. Головна особливість цього мінералу полягає в тому, що з нього одержують цирконій. Цей метал хімічно стійкий до кислот і лугів, температура плавлення складає  $3600 - 3700^{\circ}C$ , на повітрі покривається окисною плівкою. Цирконій є майбутнім атомної енергетики (метал не захоплює нейтрони). З нього виготовляють труби, що поміщаються в атомний реактор. Термін служби цирконієвих труб у порівнянні з трубами із нержавіючої сталі підвищується в 5 - 10 разів.

### 3. БУДІВЕЛЬНІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ З НИХ

#### 3.1. Кремнеземисті високотемпературні матеріали та вироби з них

Кремнезем: Si (кремній) - SiO<sub>2</sub> (двоокис кремнію) - головний компонент скла, глазурів, абразивів, тонкої кераміки та, звичайно, вогнетривких будівельних матеріалів.

До кремнеземистих високотемпературних матеріалів відносяться динасові вироби держстандарту 4157 – 79. За хімічною природою вони мають різко виражений кислий характер. Виготовляють їх із кварцитів з додаванням залізистих добавок.

Головні галузі застосування динасових виробів: коксові і скловарені печі, регенератори мартенівських і скловарених печей, повітрянагрівачі з підвищеною температурою дуття. Успішно застосовують динас у ряді випалювальних печей, якщо шамот розплавляється.

Динасові вироби відрізняються високою температурою початку розм'якшення (1600 - 1650°C), що сприяє їх гарній службі у сводах печей. При коливаннях температури нижче 700°C динасові вироби термічно нестійкі через модифікаційні перетворення кремнезему.

Марки динасових виробів: ДМС використовують для кладки сводів мартенівських печей, вогнетривкість складає 1710°C, ДМ використовують для кладки мартенівських печей, ДН - для кладки нагрівальних печей, Д2 - для кладки нагрівальних і мартенівських печей. Маса виробу більше 12 кг, шпаристість відкрита від 20 до 26 %.

Динасові вироби марки ДК - 1 застосовують для кладки коксових печей об'ємом більше 40 м<sup>3</sup>, ДК – для коксових печей об'ємом менше 40 м<sup>3</sup>, Д3, Д4, Д5, Д6 – для кладки коксових печей, ДКР – для ремонту коксових печей.

### 3.2. Вироби динасові для електросталеплавильних печей

Двоокис кремнію широко використовується у теплоенергетиці, металургійній промисловості завдяки своїм властивостям (твердість, хімічна стійкість, тугоплавкість), може утворювати скло, а також є недорогим матеріалом.

Серед великої кількості мінеральних форм найбільш важливою є кварц. Кварц видобувається у вигляді великих кристалів або у формі кварцитої породи та кварцового піску. Високоякісні кристали кварцу використовуються в оптиці та електроніці. З тонкомолотого кварцового скла методом лиття водної суспензії виготовляють склянки для безнапірної подачі металу із проміжного ковша в кристалізатор при безперервному розливанні сталі.

Динасові вироби марки КСС мають наступні розміри: висота складає 690 мм, діаметр 145 - 185 мм, товщина стінки 55 - 85 мм. Також із кварцового скла виготовляють труби (КСТ), втулки для термоелектричних термометрів (ВКСП), вимірюють температуру рідкого металу, та інші вироби.

### 3.3. Вироби шамотні та напівкислі для будівництва теплових агрегатів

Ці алюмосилікатні вироби є найпоширенішим видом вогнетривів, їх виготовляють із природної сировини – вогнетривких глин і каолінів. Шамотні вироби містять 28 - 45 %  $Al_2O_3$ , напівкислі від 18 - 28%  $Al_2O_3$  і до 85 %  $SiO_2$ , вогнетривкість для різних класів виробів становить 1580 - 1750°C. Характерним для шамотних виробів є наближення їх за хімічними властивостями до нейтральних матеріалів.

Шамотні вироби мають широкий діапазон властивостей, тому з них виготовляють вироби різних форм і розмірів і застосовують у сталерозливних ковшах, у доменних, вапняновипалювальних печах і вагранках, у нагрівальних печах, котельних установках, багатьох апаратах хімічної та нафтохімічної промисловості. Температура використання знаходиться в межах 1350 - 1400°C. Напів-

кислі вироби характеризуються гарною стійкістю об'єму та шлакостійкістю, але є менш поширеними.

Вироби шамотні і напівкислі загального призначення держстандарту 390-83 марок ША, ШБ, ПБ, ШВ мають наступний хімічний склад:  $Al_2O_3$  від 33 до 28 %,  $SiO_2$  – від 65 до 85 %, вогнетривкість становить від 1580 до 1730 °С, температура початку розм'якшення складає 1300 - 1350 °С, межа міцності при стискуванні ( $H/mm^2$ ) – від 23 до 15 одиниць. Вироби шамотні вказаних марок використовуються для кладки окремих елементів нагрівальних, термічних, мартенівських печей.

Вироби марки ШПД-42 – підвищеної щільності для кладки горна заплічок, розпару та охолоджуваної шахти печей об'ємом 2700 м<sup>3</sup>, щільні – для кладки горна всіх печей ШПБ-41.

Вироби марки ШФ (фільтри шамотні) призначені для разового застосування як ливникові ґрати при виробництві чавунного лиття. Вироби, призначені для сифонного розливання стали у виливки та ливарні форми (вирви, трубки центрові, зірочки, трубки сифонні - пролітні, трійникові, кутові, кінцеві, склянки для виливок).

Вироби марки ШК-38 – фасонні, використовуються для дверей печей, ШК-37 – для газових пальників, ШК-35 – фасонні для кладки завантажувальних люків, оглядових шахточок, подові та сводові цегли, ШК-28 – колосникові ґрати, характеризуються вогнетривкістю у межах від 1670 до 1740 °С.

Температура поверхні футеровки виробів марки ШСТ складає не більше 1550 °С. Шамотні вироби застосовують для футеровки вапняновипалювальних печей, для футеровки побутових і промислових котелень.

### 3.4. Вироби високоглиноземисті та глиноземисті

До високоглиноземистих відносять вироби із вмістом  $Al_2O_3 > 45$  %. В основному вони представлені муллитокремнеземистими (від 45 до 65%  $Al_2O_3$ ) і мулліто-корундовими (від 72 до 90%  $Al_2O_3$ ) виробами з вогнетривкістю вище



1750°C. Висока температура початку розм'якшення під навантаженням і підвищена хімічна стійкість проти основних кислих, лужних розплавів дозволяє застосовувати їх у ряді теплових агрегатів відповідального призначення.

Переважною сировиною для виробництва високоглиноземистих вогнетривів в Україні є технічний глинозем з додаванням вогнетривких глин або каолінів, іноді з добавками диоксиду цирконію, оксидів магнію, титану та ін. Поряд із цим виготовляють вироби з бокситових глин (муллитокремнеземисті) і частково з дистенсилліманитового концентрату. Обсяг виробництва високоглиноземистих будівельних вогнетривких матеріалів у загальному випуску вогнетривких виробів поступово зростає, однак застосування їх у зв'язку з високою вартістю в кожному випадку повинне бути досить обґрунтовано. Найбільш широкое застосування високоглиноземисті вироби знаходять у кладці лещаді і горна доменних печей, верхньої частини стін і купола повітрянагрівачів, повітропроводів гарячого дуття; у вигляді склянок при безперервному розливанні сталі, у нагрівальних печах при 1400 - 1500°C, у сталерозливних ковшах при обробці сталі вакуумуванням та ін.

Вироби мають наступні марки КС-95, КС-90 – корундові;

<i>МКС – 80 – 22</i>	} муллитокорундові
<i>МКС – 80 – 23</i>	
<i>МКС – 72</i>	
<i>МКП – 72</i>	

<i>МЛС – 70 – 22</i>	} муллитові
<i>МЛС – 70 – 24</i>	
<i>МЛС – 62</i>	

<i>МКРС – 60 – 22</i>	} муллитокремнеземисті вироби
<i>МКРС – 60 – 24</i>	
<i>МКРС – 45</i>	

Цифри в марках позначають масову частку  $Al_2O_3$  в % від 95 до 45, додаткові цифри 22, 23, 24 вказують на відкриту шпаристість ( в %) , температура розм'якшення не нижче 1620°C.

Вказані марки використовуються наступним чином: МКС (муллитокорундові сажеві)– для футерівки реакторів сажового виробництва,МКТ(муллитокорундові термоантрацитові) – для кладки і футеровки по виробництву електродного термоантрациту і формованого коксу.

### 3.5. Вироби периклазові та форстеритові

Периклазові вироби відрізняються досить високою вогнетривкістю ( $>2000^{\circ}\text{C}$ ) і стійкістю проти впливу розплавлених металів, основних шлаків, оксидів заліза при високих температурах. Виготовляють периклазові вироби із природних магнезитів, що складаються в основному з карбонату магнію  $\text{MgCO}_3$  і бруситі  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

У хромитопериклазових і периклазохромитових виробках до периклазового компонента додають хромову руду.

За кордоном поширено виробництво виробів магнезійального типу на основі периклазового порошку з оксиду магнію, що одержується з морської води. В нашій країні оксид магнію одержують хімічним шляхом.

Периклазові вироби застосовують для кладки падин і стін мартенівських і дугових електропечей, для футерівки міксерів, у вигляді склянок для розливання сталі, у печах кольорової металургії. Ці вироби характеризуються низькою термостійкістю і руйнуються при різких перепадах температур. Більш термостійкі вироби з периклаза, в які добавляють шпінель. Такі будівельні вогнетривкі матеріали широко застосовують у сводах сталеплавильних печей, у печах і конвертерах для плавки кольорових металів, у чавуноплавильних електропечах, у зоні спікання цементовипалювальних печей, у камерах установок вакуумування сталі, сталерозливних ковшах при внепичній обробці сталі (при температурах  $1700 - 1800^{\circ}\text{C}$ ). Особливо високою стійкістю в службі відрізняються підвищенощільні і термостійкі периклазохромитові вироби з шпаристістю до 16 %.

Хромитопериклазові вироби з більш високою часткою хроміту (близько 50 %) також успішно застосовують у ряді згаданих вище агрегатів, у менш відповідальних зонах футерівки. Поряд з випалювальними виробами широко застосовуються безвипалювальні вироби (у кладці стін сталеплавильних печей і при розливанні сталі).

Форстеритові вироби складаються в основному з мінералу форстериту, виготовляються з магнезійних силікатних порід (дуоніту та оливініту) з додаванням 15 - 20 % периклазового порошку. У форстеритохромітові вироби вводять 15 - 25 % хромової руди. Форстеритові вироби застосовують у верхніх рядах насадках регенераторів мартенівських печей, у подинах нагрівальних печей та у цементовипалювальних печах, оскільки вони мають значну стійкість проти впливу оксидів заліза і основних шлаків.

1. Вироби периклазові марки ПУ-91, ПУ-89 з масовою часткою 91 і 89 % оксиду магнію ( буква У означає поліпшену якість виробу). Вироби ПУ-91, ПУ-89 застосовуються для кладки укосів і стін мартенівських, електросталеплавильних печей і міксерів, вироби ПУ-89 - також для кладки нижніх рядів феросплавних печей. Крім оксиду магнію (89 - 91 %), вироби містять окис кальцію (3 - 4 %) та окис кремнію 2,5 %, шпаристість відкрита (11 - 26 %), межа міцності при стискуванні складає 400- 600МПа, температура розм'якшення 1500 – 1550°С.

2. Вироби периклазові вищої вогнетривкості марки ПУ-92 містять Mg – 92 %, Са – 3 %, Si<sub>2</sub> не більше 2,5%,шпаристість відкрита (14 - 18 %), межа міцності при стискуванні – не менше 600МПа, температура початку розм'якшення складає 1600°С. Вказані вироби виготовляють зі спечених периклазових порошків, цегли, які застосовують для кладки падин, укосів і стін мартенівських і електропечей.

3. Фурми периклазові для продувки металу газами марки ПФ – периклазові фурми однорідної структури, ПГФ – периклазові на шпінельній (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) основі, ПДФ – периклазові двошарові фурми, що складаються із двох концентричних шарів різної структури (внутрішнього – газопроникного і зовнішнього –

менш проникного). Фурми, виготовлені на основі плавленого периклазу, призначені для продувки розплавленого металу газами в сталерозливних ковшах знизу з метою його рафінування і перемішування.

#### 4. Вироби периклазохромитові, призначені для кладки зводів сталеплавильних печей:

– марок ПХСП (підвищенощільні), ПХСУТ (ущільнені термостійкі), застосовуються для кладки зводів плавильного простору мартенівських печей місткістю 850 - 900 т, що працюють із підвищеною питомою інтенсивністю продувки ванни киснем електропечей місткістю 50 т і більше;

– марки ПХСУ (ущільнені), застосовуються для кладки зводів плавильного простору мартенівських печей місткістю 200 - 300 т, що працюють із підвищеною питомою інтенсивністю продувки ванни киснем, мартенівських печей місткістю 400 - 650 т;

– марки ПХСС (середньощільні, температура розм'якшення складає 1500 – 1560°С), застосовуються для кладки зводів плавильного простору мартенівських печей.

#### 5. Вироби периклазохромитові для сталеплавильного виробництва

Марки ПХПОП - вироби периклазохромитові із застосуванням плавильних і збагачених матеріалів підвищеної щільності.

ПХПОУ - теж, ущільнені.

Виготовляють зі спеченого периклаза хроміту та синтетичного хромокладового компоненту.

#### 6. Вироби периклазошпинелідні з добавкою плавленого хромглиноземшпинеліду марок:

– ПШПХ - 1,5 на основі плавленого периклазохромита з добавкою плавленого хромглиноземшпинеліду з масовою часткою  $Si_2$  не більш 1,5 %;

– ПШПХ-2,0 – на основі плавленого периклазохромита з добавкою плавленого хромглиноземшпинеліду з масовою часткою  $Si_2$  не більше 2,0 %.

– ПШХ – на основі спеченого збагаченого периклазового порошку, хромового концентрату і плавленого хромглиноземшпинеліду, призначені для футеровки установок позапічної обробки з вакуумуванням сталі.

Фізико-хімічні показники виробів: вміст Mg від 60 - 65 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – від 9 - 22 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – 2.5 - 3 %. Температура початку розм'якшення складає 1630 – 1650 °С.

#### 7. Вироби периклазохромитові та хромитопериклазові безвипалювальні:

– марок ПХБ (безвипалювальні периклазохромитові) та ПХБК (безвипалювальні периклазохромитові), виготовлені в касетах, використовуються для кладки зводів плавильного виробництва мартенівських печей місткістю до 100 т, електропечей місткістю до 40 т, зводів головок, шлаковиків і регенераторів мартенівських печей різного тоннажу, а також для футерівки обертових печей); – марок ХПБ, ХПБ-1 (безвипалювальні хромитопериклазові), ХПБК, ХПБК-1 (безвипалювальні хромитопериклазові), виготовлені в касетах, використовуються для стендової кладки різних високотемпературних печей.

Фізико-хімічні показники виробів: вміст Mg від 42 - 65 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  від 5 - 35 %, температура початку розм'якшення складає від 1400 до 1430 °С.

#### 8. Вироби хромитопериклазові:

– марок ХП1, ХМ1 – для зводів мартенівських печей і агрегатів з особливо важкими умовами служби;

– марок ХП2, ХМ2 – для зводів електропечей та ін. агрегатів, що працюють при температурах 1700 - 1750 °С;

– марок ХП3, ХП4 ХМ3 – для кладки теплових агрегатів, що працюють при температурах 1500 - 1700 °С;

– марок ХП5, ХМ4 – для кладки теплових агрегатів, що працюють при температурах до 1500 °С.

Вироби з вогнетривкістю не нижче 2000 °С призначені для кладки різних високотемпературних печей. Фізико-хімічні показники виробів: масова частка Mg від 40 до 46 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – від 15 до 22 %,  $\text{Si}_2$ – від 6 до 8 %. Температура розм'якшення складає 1450 – 1550 °С.

### 9. Вироби форстеритові і форстеритохромировані:

- марки Ф1 (випалені) – мартенівські печі з підвищеним режимом інтенсифікації (продувка киснем більше 3000 м<sup>3</sup>/година);
- марок Ф, ФД (випалені) – мартенівські печі з помірним режимом інтенсифікації (продувка киснем до 3000 м<sup>3</sup>/година) і без застосування кисню, а також для футерівки інших теплових агрегатів;
- марки ФБ (безвипалювальні) – стіни шлаковиків і нагрівальних коледязів, футерівка інших теплових агрегатів, верхні ряди насадок;
- марки ФХ - насадки, стіни й звід регенераторів; стіни та зводи шлаковиків мартенівських печей.

Фізико-хімічні показники виробів: масова частка Mg від 46 до 54 %, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>– від 8 - 12 %, Si<sub>2</sub>– 16 - 33 %. Температура початку розм'якшення складає 1550 – 1590 °С.

### 10. Вироби периклазовопняні і вапнянопериклазові безвипалювальні

Вироби на основі випаленого доломіту, часто з додаванням периклазового порошку, одержали поширення одночасно з розвитком конвертерного процесу в чорній металургії. Підрозділяються на периклазовапняні (50 % Mg) і вапнянопериклазові (більш 50 % Mg). Сполуками для них служать термопластичні матеріали – кам'яновугільний пек або смола. Вироби застосовують без випалу, іноді з термообробкою при 300<sup>0</sup> С або 500 – 600°С. Після термообробки такі вироби придатні також для футеровки сталерозливних ковшів.

Марки виробів:

- ПБС-75 – периклазовопняні на смоляному зв'язуванні з масовою часткою Mg не менш 50 %;
- ИПБП - вапнянопериклазові на пековому зв'язуванні.

Периклазовапняні вироби виготовляють на основі спеченого периклазовапняного порошку або суміші обпаленого зернистого доломіту, тонкомолотого спеченого периклазового та периклазовапняного порошку на смоляному зв'язуванні, а вапнянопериклазові на основі обпаленого зернистого доломіту та смо-

ляних і пекових сполук. Фізико-хімічні показники виробів: вміст Mg – від 35 до 75 %, CaO – від 15 до 45 %, Si<sub>2</sub> – від 3 до 5 %, Z – 2,3 – 9 %.

### 3.6. Вироби плавлені литі

Вироби плавлені литі виготовляють шляхом плавки шихти в електродугових печах, виливки розплаву у форми та наступного відпалу. Залежно від вимог споживача до точності форми, вироби можуть піддавати механічній обробці. Випускають вироби у вигляді брусів масою від 30 - 50 до 300 - 400 кг (корундові, муллітоцирконові, муллітокорундові та бадделітокорундові (бакорові)).

Для більшості виробів характерна наявність більш-менш значної кількості склофази, вони відрізняються малою шпаристістю, високими показниками міцності, стійкості проти розм'якшення під навантаженням, гарною стійкістю проти розплавів шлаків і скла. Корундові та муллітоцирконові вироби досить стійкі проти впливу оксидів заліза до 1300 – 1320°C.

У металургії плавенолиті корундові та муллітокорундові вироби успішно застосовують у падинах нагрівальних печей при нагріванні злитків з невисоким вмістом кремнію (стійкість таких падин досягає 2 років і більше). Найбільш широко плавенолиті вироби, головним чином бакорові, застосовують у скляній промисловості для футеровки ванни скловарених печей.

1. Вироби корундові електроплавильнолиті марок: КЕЛ – 95-3,0; КЕЛ – 93-3,0 і КЕЛ – 93 - 2,8 (числа в марці 95,93 – масова частка Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,0 і 2,8 – гадана щільність г/см<sup>3</sup>) призначені для футеровки томільних зон нагрівальних печей прокатних станів та інших теплових агрегатів. Фізико-хімічні показники виробів: вміст Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 93 - 95 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Ti<sub>2</sub> + Ca = 3,8 – 4 %, та щільність 2,8 – 3 %.

2. Вироби бадделеітокорундові для скловарених печей марок: Бк-33-Е, Бк-41-Е – для кладки печей для електровакуумного скла; Бк-33, Бк-37, Бк-41 – для кладки басейну і верхньої будови скловарених печей. Одержують методом електроплавки шихти, лиття розплаву у формі з наступним відпалом.

Залежно від якості, вироби випускають: високої щільності ВП (3,8 – 3,65 кг/дм<sup>3</sup>), підвищеної щільності ПП (3,5 - 3,7 кг/дм<sup>3</sup>), звичайної щільності (3,4 - 3,55 кг/дм<sup>3</sup>).

Залежно від установки в скловарених печах бакорові вироби діляться на три види: А - для арок завантажувальної кишені, проток, загороджувальних пристроїв; Б – вироби, дотичні зі скломасою; В - не дотичні зі скломасою.

Фізико-хімічні показники виробів: вміст  $Li_2$  – 32,5 - 41 %,  $Si_2$  – 13 - 15,5 %,  $Fe_2O_3 + Ti_2 + Ca + Mg = 0,2 - 1$  %, склофаза 20 - 25 %.

### 3.7. Вироби бетонні

Вироби виготовляють із бетонних сумішей і мас, що складаються зі сполук та наповнювача. Сполуками служать різні гідравлічні в'язкі, переважно глиноземисті та високоглиноземисті цементи, а також хімічнотвердіючі фосфатні й сульфатні зв'язування, рідке скло, кремнеорганічні зв'язування і т.ін. Бетонні вироби можуть зв'язуватися також органічними та коагуляційними зв'язками. Наповнювачем можуть бути різні вогнетривкі матеріали.

Вироби мають різні розміри і масу (звичайно від 40-100 кг до 2-10 т), їх виготовляють трамбуванням або віброформуванням, рідше пресуванням, з монтажними петлями та без них. Застосовують бетонні вироби для будівництва і ремонту промислових печей, завдяки великим розмірам блоків за умови механізації процесу кладки досягається значне зниження працевитрат.

1. Вироби бетонні (блоки, панелі) кремнеземисті марок ДБК – динасокварцитові бетонні та ДБ – динасові бетонні. Призначені для футеровки промислових печей при температурі до 1500°С в умовах, що виключають різке охолодження (нижче температури 600°С) зі швидкістю не вище 30°С/год). За формою та розмірами вироби виготовляють наступних видів: блоки стінові (від 600 кг до 2000 - 3000 кг), блоки аркові (420 - 750 кг), блоки пальникові (від 600 до 1900 кг), панелі стінові від 9 до 14 т).



Фізико-хімічні показники виробів: масова частка  $\text{Si}_2$  – 92- 90%, ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) – не більше 3,0 %. Вогнетривкість знаходиться в межах 1580 - 1610°C.

Монтажні петлі виготовляються з арматурної сталі класів АІ - АІV.

2. Вироби бетонні (блоки) шамотні марок: ШБВЦ-42 – на високоглиноземисті цементі з масовою часткою не менше 42 %, температура застосування – до 1350°C; ШВВЦ-40 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 40 % (температура застосування – до 1300 °C); ШБГЦ-38 – на глиноземистому цементі з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до 38 %, температура застосування – до 1250°C; ШБТЦ-36 – на глиноземистому цементі з масовою часткою  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до 38 %, температура застосування – 1100°C).

Вироби виготовляють із шамотних заповнювачів на високоглиноземистому та глиноземистому цементі, призначені для футеровки теплових агрегатів.

Вогнетривкість знаходиться в межах від 1710 до 1580 °C. Масова частка  $\text{CaO}$  складає від 5 до 11 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – від 3 до 4 %.

3. Блоки хромитопериклазові бетонні марки ХПББ виготовляють зі здрібненої хромової руди та зпеченого периклазового порошку на сірчанокиислому магнії. Блоки призначені для стінової кладки окремих елементів мартенівських печей та інших теплових агрегатів. Фізико-хімічні показники блоків: масова частка  $\text{Mg}$  складає не менш 42 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – не менш 15 %.

4. Блоки бетонні на основі лома магнезійних і магнезійношпінелідних виробів або відходів його збагачення марки БМУВ- 28-51 – блоки магнезійні утилізовані вібровані на глиноземистому цементі для футеровки теплових агрегатів, для футеровки стін нагрівальних колодязів, горловин пальників. Виготовляють із лому або відходів його збагачення з використанням глиноземистого цементу або рідкого скла. Призначені для футеровки теплових агрегатів, що працюють при температурі до 1400°C.

### 3.8. Вироби цирконієві

Цирконієві вироби виготовляють зі збагаченого концентрату силікату цирконію  $\text{Zn}_2/\text{Si}_2$  з різними добавками, найчастіше з невеликою кількістю вогнет-

ривкої глини. Виробам із циркону властива постійність об'єму при нагріванні, висока температура розм'якшення під навантаженням, гарна термостійкість, стійкість проти розплавів чорних металів, шлаків і алюмінію. Із циркону виготовляють склянки для розливання сталі із проміжних ковшів, для машин безперервного лиття заготівель, а також різні елементи лабораторного устаткування (муфелі), застосовують у скловарених печах, у печах для плавки алюмінію та ін.

Цирконієві вироби для кладки печей для плавки алюмінію марки ЦА застосовують у місцях уведення, переливу та видачі металу в печах для плавки алюмінію. Фізико-хімічні показники цирконієвих виробів: масова частка  $Zr_2$  складає не менше 60 %,  $Al_2O_3$  – не більш 3,6 %.

### 3.9. Вироби оксидні

Вироби із чистих оксидів застосовують у службі при високих температурах (1600 – 1800 °С) і в контакті з розплавленими металами і сплавами в лабораторній практиці та у промислових умовах. Найпоширеніші вироби на основі оксидів алюмінію, магнію та цирконію.

Корундові вироби виготовляють на основі глинозему рекристалізаційним спіканням, їх застосовують до температур 1850 – 1900 °С. Вироби з оксиду магнію (периклазові та на шпинельному зв'язуванні) служать при температурах до 2000 °С і вище. Вироби з діоксиду цирконію, завдяки високій вогнетривкості, гарної термічної та хімічної стійкості, широко застосовуються в техніці при температурах 2000 °С і вище. Звичайно діоксид цирконію використовується зі стабілізуючими добавками (оксидами магнію, кальцію, іттрію), що усувають модифікаційні перетворення при нагріванні. У скляній промисловості знаходять застосування вироби з оксиду хрому.

#### 1. Вироби оксидні - корундові, цирконісті, іттрієві.

Марки: КСП – корундові середньощільні (для футеровки високотемпературних полум'яних і електричних печей, для підставок при випалі спеціальних виробів і різного виду ізоляторів),  $Al_2O_3$  – 96 %.

ЦСПК – цирконісті (бадделентові) середньощільні з добавкою оксиду кальцію (для футеровки високотемпературних печей, температура служби до  $2000\text{ }^{\circ}C$ )  $Zr_2 + Hf_2 = 90\%$ .

ІСП – ітрієві середньощільні (для футеровки високотемпературних індукційних печей; температура служби виробів більше  $2000\text{ }^{\circ}C$ ),  $Y_2O_3 = 99\%$ .

КВП – корундові високощільні,  $Al_2O_3 = 99.97\%$ .

КВПТ – корундові високощільні з добавкою оксиду титану - використовуються для добавок і одержання порошкових кольорових, чорних і рідких металів; одержання й випалу феритів, вирощування монокристалів, плавок різного виду скла; при проведенні хімічних аналізів замість платини, для захисту термомпар при тривалих і короткочасних вимірах температур у газовому середовищі й розплавах металів, для покриття металів напилюванням ізоляції електровакуумних і високотемпературних печей, гарячого пресування. Температура служби виробів – до  $1800\text{ }^{\circ}C$ .

ЦВПК – цирконієві (бадделитові) високощільні з добавкою оксиду кальцію – для лабораторних плавок кольорових і рідких металів, спеціальних стекол, вирощування монокристалів;  $Zr_2 + Hf_2 = 92\%$ . Температура служби виробів – до  $2000\text{ }^{\circ}C$ .

ІВП – ітрієві високощільні (захисту термомпар), температура служби виробів – до  $2000\text{ }^{\circ}C$ , містять  $Y_2O_3 = 99\%$  та добавки ( $CaO$ ,  $Mg$ ,  $Fe_2O_3$ ). Відкрита шпаристість від 5 до 30 %.

2. Вироби корундові (оксидні) марок КУ-99 (ущільнені для виконання стійки зводу) та КС-99 (середньощільні для футеровки печі). Максимальна температура експлуатації складає  $1800\text{ }^{\circ}C$ . Фізико-хімічні показники: вміст  $Al_2O_3 = 99\%$ .

3. Вироби цирконісті марок: ЦЕАС (на основі електроплавленого бадделенту з добавкою  $Al_2O_3$ , середньощільні), ЦППП (з добавкою циркону, підвищені

нощільні), ЦЕФУ (на основі електроплавленого бадделенту на фосфатному зв'язуванні, ущільнені, виготовляють на основі бадделенту, призначені для футеровки реакторів виробництва технічного вуглецю та високотемпературних установок безперервної дії). Фізико-хімічні показники:  $(Zr_2 + Hf_2)$  – до 88 %, інше:  $Fe_2O_3$  – до 1 %,  $CaO$  – 3 – 5 %;  $Al_2O_3$  2 – 4 %. Шпаристість відкрита (15 - 22 %).

4. Вироби цирконисті (баддеилитові) вищої вогнетривкості для печей повиробництва кварцового скла марок: ЦКС-1 (призначені для футеровки газоплазмових печей безперервної дії в комплекті із кварцовим склом), ЦКС (призначені для футеровки індукційних печей періодичної дії без контакту із кварцовим склом).

5. Вироби цирконисті підвищеної термостійкості для високотемпературних футеровок марок: ЦТС (цирконисті термостійкі середньощільні), ЦТЕС (цирконисті термостійкі з електроплавленого диоксиду цирконію середньощільні, призначені для футеровки високотемпературних установок, температурою служби до  $2300^{\circ}C$  у окисному слабовідновлювальному або нейтральному газовому середовищі). Фізико-хімічні показники:  $(Zr_2 + Hf_2)$  – 92 %,  $Ti_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Ca$ . Відкрита шпаристість (21 - 30 %).

### 3.10. Вироби карбідкремнієві

До карбідкремнієвих відносять вироби із вмістом кремнію більше 70 %. Для цих виробів характерні високі теплопровідність і термостійкість. Розрізняють вироби на силікатному, нітридній або оксонітридній зв'язуванні та рекристалізовані без домішок. Карбідкремнієві вироби застосовують у рекуператорах, муфелях для високотемпературного нагрівання, у топленнях судових парових казанів, у футеровці нижньої частини шахти доменних печей (на нітридному і оксидному зв'язуванні) та в інших теплових агрегатах, наприклад, для етажерок на вагонетках тунельних печей при випалі фарфорофаянсових виробів.

Шамот для виробництва карбідкремнієвих виробів, а також тиглів для плавки металів до 1500°С.

1. Вироби карбідокремнієві марок: КК-1,2 (на кремнеземистому зв'язуванні без мінеральних добавок або з добавкою металевого кремнію), КА (на алюмосилікатному зв'язуванні з добавкою глини), КН (на нітридному зв'язуванні). Фізико-хімічні показники: вміст Si складає 70 – 82 %,  $Al_2O_3$  – 1,2 - 3,0 %. Шпаристість відкрита (19 - 24 %), температура розм'якшення – 1600 -1700°С.

### 3.11. Вироби вуглецеві

Вуглецеві вироби (містять більше 85 % вуглецю) можуть бути вугільними та графітованими. Вуглецеві вироби виготовляють із різних видів коксу на вуглецевих складових з відпалом. Вони відрізняються високою теплопровідністю та електричною провідністю, високою термостійкістю, низьким коефіцієнтом термічного розширення, сталістю розмірів при високих температурах, гарною стійкістю проти розплавів шлаків і металів. Застосовують вуглецеві блоки в тих місцях промислових печей, де метал стикається із кладкою, а доступ кисню обмежений, наприклад, для кладки лещаді і горну доменних печей, у шахтних печах для плавки свинцю. Вуглецеві електроди різної форми застосовують в електродугових печах. Вуглецеві блоки використовують для футеровки стін і поду електропечей для виробництва карбиду кальцію, феросплавів, кріоліту.

У промисловості виготовляється велика кількість різноманітних вуглецевих виробів. Найбільш поширені вироби, виготовлені із графіту вогнетривкої глини, шамоту (у тому числі високоглиноземистого та електрокорунду), карбиду кремнію, периклазового порошку та ін. Вироби формують напівсухим або пластичним способом залежно від складності форми і обпалюють у відбудовних або окисних умовах при температурах не вище 600 - 800°С. Часто вироби глазурують перед випалом для уникнення окислювання графіту. Застосовують глиноземографітові або інші склянки для розливання стали, тиглі та реторти

для плавки металів, виливниці для біметалічних злитків, шамотографітові пробки, вкладиші та інші деталі.

1. Блоки вуглецеві для футеровки доменних печей марок: ДБУ та ДБУ-0 призначені для печей обсягом до 2200 м<sup>3</sup> і печей при електротермічних процесах. Довжина блоків – до 3300 мм, ширина – 400 - 550 мм.

2. Пластини графітіровані (80 × 500 мм) марки ПГ застосовують у якості футеровки виливниць.

3. Труби шамотографітові для захисту струменю металу Марки ШГТ призначені для захисту струменю металу на ділянці сталерозливний ківш - проміжний ківш машин безперервного лиття заготівель.

4. Блоки периклазографітові безвипалювальні для конверторів і електропечей марок: БПК-84 (з масовою часткою Mg не менше 84 %), БПК-72 (з масовою часткою Mg не менше 72 %), БПЕ (блоки для електропечей). Призначені для конвертерів з комбінованою продувкою при подачі знизу нейтрального газу і для футеровки відповідальних ділянок стін високоміцних дугових сталеплавильних печей.

### 3.12. Високотемпературні неформовані матеріали

Група високотемпературних неформованих матеріалів є розвинутою та перспективною. Загальною ознакою високотемпературних неформованих матеріалів є відсутність певної заданої форми при виготовленні на підприємстві. Найбільш часто такими матеріалами є порошкоподібні тіла, які поєднуються в процесі використання.

До неформованих високотемпературних неформованих матеріалів відносять:

– маси й суміші, у тому числі бетонні, які випускають переважно сухими для введення рідинних компонентів при використанні;

2) вогнетривкі порошки, що є іноді заповнювачами для бетонних сумішей.

3) мертели різних хімічного та зернового складів, що відрізняються від мас і сумішей своїм призначенням, зерновим і речовинним складом;

4) кускові матеріали різного складу та призначення;

5) матеріали для покриттів, виконуваних обмазкою та ін.

Застосування неформованих вогнетривких матеріалів спричиняє механізацію процесу виконання футеровок. Найбільш важливі області застосування неформованих вогнетривких матеріалів: набивні та наливні футеровки сталерозливних ковшів, монолітні футеровки нагрівальних печей, наприклад: агрегатів для спікання руди, набивні тиглі індукційних печей, заправлення подин сталеплавильних агрегатів, нанесення захисних покриттів на футеровки, заповнення швів кладки. Використання таких матеріалів дозволяє збільшити термін їх служби у теплових агрегатах і витрати на виконання ремонтних робіт.

1. Масу набивну кварцевапняну для виконання монолітної футеровки сталерозливних ковшів марки МКГФ виготовляють на основі кварцових пісків зі зв'язуванням з ортофосфорної кислоти. Призначена для футеровки піскометної машиною. Фізико-хімічні показники: масова частка  $Si_2$  – не менш 95 %,  $Al_2O_3$  – 5 – 8 %,  $Fe_2O_3$  – не більше 11 %. Вогнетривкість – не нижче 1690°C.

2. Маси набивні кварцевапняні для набивання та торкретування футеровки сталерозливних ковшів марок: МКГ-1, МКГ-2 (для набивання піскометом), МКГН-1 (для набивання трамбуванням), МКГН-2 - (для набивання трамбуванням, з добавкою ортофосфорної кислоти), МКГТ-1 (для торкретування), МКГТ-2 - (для торкретування, з ортофосфорною кислотою). Призначені для монолітних футеровок і торкретування ковшів. Фізико-хімічні показники: вміст  $Si_2$  – 90 %,  $Al_2O_3$  – 2 - 6 %,  $P_2O_5$  – 1,5 - 2,5 %.

3. Суміші порошків із шамоту й цементу для набивної торкрет-маси й ливарних мас марки СВШЦ-3 (для набивання стін дугових печей), СВШЦ-5 (для ливарних мас). Суміші з високоглиноземистих шамоту і цементу призначені для ремонту подини та стін електропечей, витримки сірого і ковкого чавуну та ливарних мас, для футеровки індукційних тигельних печей, плавки бронзи і ро-

здавальних ковшів алюмінію. Фізико-хімічні показники: вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 63 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2 %. Вогнетривкість – не нижче  $1750^\circ\text{C}$ .

4. Маси набивні муллитові безусадкові марок: МЛМ-1 (для механізованого набивання футеровок проміжних ковшів), МЛ-2 (для футеровки проміжних ковшів), МЛ-3 (для футеровки сопел фурмених приладів доменних печей), МЛ-4 (для футеровки подин нагрівальних печей). Маси з добавкою електрокорунду на зв'язуванні з ортофосфорної кислоти призначені для монолітних футеровок проміжних ковшів установок безперервного розливання стали, футеровок фурмених приладів доменних печей і ремонту футеровок подин нагрівальних печей з температурою служби  $1350^\circ\text{C}$ . Фізико-хімічні показники: вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 67 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,5 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 3 %.

### 3.13. Технічна кераміка

Розвиток нової техніки – швидкісної реактивної авіації та ракетобудування, радіо- і електронної техніки, атомної промисловості, металургії спеціальних і чистих сплавів викликає необхідність у створенні нових видів керамічних матеріалів. Ця кераміка часто називається «технічна або спеціальна кераміка», характеризується специфічними фізико-механічними властивостями, відсутніми у звичайній кераміці.

Для реактивної авіації та ракетобудування потребує виробництва високоточної та стійкої при високих температурах конструктивної кераміки, високотемпературних теплоізоляційних матеріалів, що характеризуються високою міцністю, зносостійкістю і термостійкістю.

Для радіотехнічної промисловості необхідне створення кераміки, яка використовується для виготовлення конденсаторів, високовольтних ізоляторів, що працюють при низьких і високих температурах, кераміки для електронної апаратури, працюючої в глибокому вакуумі, при високих і надвисоких частотах, у потужному електромагнітному полі, п'єзокераміки, феромагнітної, напівпровідникової та ін.



Кераміка для атомної промисловості характеризується певними ядерними властивостями (захватом, розсіюванням або поглинанням нейтронів), а також бути високовогнетривкою, термостійкою і корозійностійкою, здатною працювати у важких агресивних середовищах. Кераміка більше стійка, ніж інші матеріали до радіоактивного опромінювання та легко регенерується.

Кераміка для металургійної промисловості, зокрема, для одержання чистих сплавів і рідких металів, повинна мати більшу хімічну стійкість при високих температурах стосовно агресивної дії різних металів, що запобігає переходу матеріалу тигля в сплав.

Технічну кераміку спеціального призначення поділяють на 2 групи: кераміка вищої вогнетривкості та радіотехнічна кераміка.

Керамічні понадвогнетривкі матеріали використовуються або в умовах агресивних впливів при найбільш високих температурах, або як конструктивний матеріал при більших і динамічних навантаженнях при порівняно помірних температурах.

Понадвогнетривкі матеріали поділяють на кераміку чистих оксидів і кераміку карбідів, нітридів, боридів, силіцидів і сульфідів.

До цієї групи відносяться кермети – кераміко-металеві вироби. Вони характеризуються наявністю металевого зв'язування (зв'язку).

Вихідною сировиною футеровочних матеріалів (шамотних, хромомагнетитових, форстеритових, вуглецевих) є природна мінеральна сировина – глина, каоліни, кварцити, кварцові піски, магнезити та ін.

Спільні та відмінні риси вогнетривких виробів наступні: всі вони мають різну кількість домішок, які можуть бути шкідливими (знижують температуру вогнетривкості CaO, Si<sub>2</sub>) і корисними (підвищують температуру вогнетривкості).

Для оцінки якості матеріалів, призначених для служби при високих температурах, і звичайних необхідно знати властивості вихідної сировини.

Оцінка робочих властивостей сучасних вогнетривких матеріалів характеризується наступними показниками:

– міцність при високих температурах, що переважно оцінюється ступенем деформації під навантаженням, перебуває в прямої залежності від будови вогнетриву і його фазового складу, тобто від сполучення кристалічної та склоподібної фаз і природних властивостей основної кристалічної речовини, що складає керамічний вогнетривкий виріб;

– хімічна стійкість – керамічний вогнетривкий виріб визначається швидкістю їхнього розчинення в розплаві шлаків, скла або металу. Для щільно-спеченого вогнетриву розчинення може бути охарактеризовано швидкістю поверхневого розчинення при гетерогенних реакціях величиною.

$$\frac{dC_x}{dt} = \frac{D}{\delta} (C_0 - C_x) Q,$$

$D$  - коефіцієнт дифузії кераміки, що розчиняється, у розплаві, що впливає, через дифузійний шар;

$\delta$  - товщина дифузійного шару;

$Z_0$  – концентрація насичення розплаву, що впливає, керамікою, яка розчиняється в ньому; при даній температурі;

$C_x$  – концентрація насичення розплаву в цей момент;

$Q$  - поверхня взаємодії, пов'язана з шпаристістю і проникністю зразка вогнетриву.

З підвищенням  $T$  величина  $D/\delta$  збільшується відповідно до зміни в'язкості.

1)  $Z_0$  – залежить від характеру взаємодії реагуючих компонентів, хімічної природи, виду продуктів, що утворюються при їх взаємодії.

2)  $Q$  - характеризує шпаристість кераміки та швидкість керамічного матеріалу, що утворюється на поверхні, приграничного розплаву та проникає в його пори.

3) термічна стійкість кераміки.

При різкому розігріві та охолодженні керамічні вироби розтріскуються через недостатню термічну стійкість. При змінах температури в тілі керамічного виробу виникає температурний градієнт, величина якого залежить від умов

передачі тепла, а також від коефіцієнтів температуропровідності  $\alpha$  або теплопровідності  $\lambda$ .

У результаті виникнення температурного градієнта і розбіжностей у величині термічного розширення нагрітих шарів кераміки в тілі виробу виникають напруги. Здатність матеріалу кераміки вогнетриву протистояти, не руйнуючись, напругам залежить від пружних і механічних його властивостей, а також від здатності матеріалу при даній температурі до пластичної деформації.

4). Сталість обсягу керамічного виробу при високих температурах залежить від завершеності рекристалізаційного спікання, а в матеріалах, що містять рідку фазу або різні кристалічні утворення, від досягнутого стану рівноваги.

Ці два фактори є залежними від температури і тривалості її впливів при випалівиробу.

### 3.14. Кераміка чистих оксидів

При виробництві кераміки чистих оксидів використовують не природну сировину, а штучно отримані оксиди, у яких мінімальна кількість домішок.

Для досить широкого використання як сировина найбільш припустимим є глинозем, окис магнію, окис кальцію та двоокис цирконію. Електропереплавка дозволяє синтезувати окисли таких високовогнетривких матеріалів як муллит, форстерит і деякі шпінелі.

Для металургії чистих сплавів має більше значення кераміка з окису магнію та окису кальцію ( $T_{\text{пл}}$  окислів 2600 – 2700°C), тому що ці окисли найбільш стійкі проти взаємодії з металами під час плавлення.

Двоокис торію  $\text{Th}_2$  ( $T_{\text{пл}}$  – 3050 – 3300°C) є найбільш вогнетривким матеріалом, що має також, найбільш високу питому вагу при зберіганні. Двоокис торію виділяє радіоактивний газ, тому працювати з ним потрібно в певних умовах.

Технологія виготовлення виробів із двоокису торію подібна технології виготовлення звичайної кераміки чистих оксидів: попередній випал порошку,

подрібнювання і оформлення виробів з непластичних порошків, випал при температурі 2000 °С.

Галузі застосування кераміки чистих оксидів: виготовлення тиглів для високотемпературної плавки чистих металів та сплавів, пірометричної апаратури, деталей високотемпературних печей.

Двоокис церію  $\text{CeO}_2$  – температура плавлення (2600 – 2800 °С) характеризується відсутністю поліморфних перетворень, стійкий при нагріванні в окисному середовищі. Церієвій кераміці властива висока електропровідність. Окис ітрію  $\text{I}_2\text{O}_3$  ( $t_{\text{пл}} = 2400$  °С) використовується рідко, є дефіцитним. Окис лантану  $\text{La}_2\text{O}_3$  має температуру плавлення близько 2300 °С. Окис гафнію  $\text{Hf}_2\text{O}_3$  –  $t_{\text{пл}} = 2770$  °С – дефіцитний, має високу вартість.

### 3.15. Матеріали вищої вогнетривкості

Реальні температури служби жаростійких сплавів, що містять Fe, Cr, Ni, Co, Mo, Ti не перевищують 900 - 1000 °С. Для захисту металів від окислювання і корозії рекомендуються покриття, які наносяться іонно-плазмовим лазерним напилюванням.

Останнім часом використовуються керамічні покриття на основі карбідів, нітридів, боридів, силіцидів і сульфідів. Більшість з них характеризуються високими температурами плавлення 3000 - 4000 °С.

Найбільше значення в цій групі високовогнетривких матеріалів мають карбіди, які характеризуються високою твердістю, зносостійкістю, теплостійкістю, електропровідністю та рівномірним коефіцієнтом розширення.

Матеріалом, який має вказані властивості, є карбід кремнію (карборунд) Si. Одержують його шляхом плавки суміші піску та коксу в електродуговій печі. За твердістю карбід кремнію поступається лише алмазу та карбиду бору ( $\text{B}_4\text{C}$ ). Тому карборунд використовується як абразивний матеріал на керамічному і органічному зв'язуваннях.

Одержання інших видів кераміки цього типу відбувається більше складним шляхом гарячим пресуванням, що обмежує форми та розміри продукції, що виготовляється.

Нітриди кремнію ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) використовуються як зв'язування в карборундових вогнетривах. Це зв'язування надає матеріалу більшу стійкість проти окислювання і полегшують виготовлення виробів складної конфігурації. Найбільше промислове застосування із групи силіцидів одержали дисиліцид молібдену  $\text{MoSi}_2$  (характеризується високою температурою окислювання ( $1500 - 1800^\circ\text{C}$ ) і великою електропровідністю. Застосовується як нагрівальні стрижні опору, придатні для служби при більш високих температурах, ніж карборундові.

Сульфіди ряду металів характеризуються високою стійкістю до розплавлених металів, мають гарні електроізоляційні властивості.

### 3.16. Радіотехнічна кераміка

Ці матеріали призначені для експлуатації в умовах слабких струмів і струмів високої частоти.

Електропровідність у керамічних матеріалах обумовлена пересуванням іонів, виникненням струмів наскрізної провідності. З підвищенням температури під впливом теплового руху і ослаблення зв'язків у структурі матеріалів струми значно зростають, а опір матеріалів зменшується.

Для виготовлення радіофарфору до складу склоподібної фази вводять окисли важких металів, що приводить до значного збільшення опору.

Механічні властивості радіотехнічної кераміки оцінюються за межею міцності при стискуванні, розтягненні, статичному та ударному вигинах.

Радіофарфор являє собою порцеляну, склоподібна фаза якого збагачена окисом барію.

Основною кристалічною фазою є мулліт і кристобалліт.

Ультрафарфор має у своєму складі до 80 - 85 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і залежно від вмісту окису алюмінію має відповідні позначення: УФ-46, УФ-50, УФ-80.

Діелектричні властивості ультрафарфору значно вищі, ніж діелектричні властивості радіофарфору.

Корундова кераміка застосовується для виготовлення деталей, що працюють в особливо відповідальних умовах експлуатації. Вміст  $Al_2O_3$  – 93 - 99 %. Ця кераміка має різні торговельні назви: алюмініюоксид, корундиз, синоксаль, миналунд та ін. Вміст склоподібної фази мінімальний, отже, корундова кераміка має високі діелектричні властивості.

Конденсаторна кераміка характеризується підвищеним значенням діелектричної проникненості. Використовується для виготовлення конденсаторів високої та низької напруг. Основою конденсаторної кераміки є двоокис титану і титанолужноземельних металів Ca, Ba, Mg з добавками цирконію і глини.

П'єзоелектрична кераміка є матеріалом, що має п'єзоелектричні властивості, сутність яких полягає в перетворенні електричної енергії в механічну і навпаки.

При додаванні до матеріалу деформуючого зусилля на поверхні виникає певна різниця потенціалів (іскра, яка може вимірюватись).

Найбільш характерним матеріалом, що використовується для виготовлення п'єзоелектричної кераміки, є титанат барію  $BaTi_2$ . Його отримують штучним шляхом синтезу  $Ti_2$  та вуглекислого барію  $BaCO_3$  при температурі  $1400^\circ C$ .

П'єзоелектрики служать для виготовлення малогабаритних конденсаторів, різних перетворювачів, у мікрофонах, звукознімачах і приймачах ультразвуку та ін.

Феромагнітна кераміка – матеріали, які мають високу магнітну проникненість.

Ферити – це з'єднання типу  $Me_2PRO + Fe_2O_3$  або  $Me + Fe_2O_3$ , де  $Me_2PRO$ ,  $MeO$  – окисли одно- та двовалентних металів. Магnezит  $Fe + Fe_2O_3$  є природним мінералом.

Ферити називають іноді «оксиферами», позначаються буквою  $\Phi$  – 2000, цифра означає величину початкової магнітної проникненості.

Магнитотверді ферити використовуються для виготовлення постійних магнітів. Барієвий ферит  $\text{BaO} \times 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  має назву фероксдюр. За допомогою феритів комплектують печі СВЧ.

#### 4. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ

##### 4.1. Неорганічні теплоізоляційні матеріали та вироби

Вироби, що мають загальну шпаристість 45% і більше, та знижену щільність ( $0,4 - 1,4 \text{ г/см}^3$ ) використовують для зовнішньої або внутрішньої теплоізоляції промислових печей та інших теплових агрегатів.

Теплоізоляційні вироби бувають динасові, шамотні, високоглиноземисті, корундові у вигляді цегл нормальних розмірів і фасонні відносно простої форми. Вироби виготовляють пресуванням (напівсухим і пластичним способами) і литтям із глин, каолінів, технічного глинозему та інших видів вогнетривкої сировини із введенням органічних добавок вигоряючих під час відпалу або відповідних піно- та газоутворювачів у суспензію вогнетривкого матеріалу.

Велике значення набули в останні роки вироби з волокнистоюбудовою та з низькою теплопровідністю, які виготовляють у вигляді плит прямокутної форми з вогнетривкої вати у складі з різними добавками, а також у вигляді картону, матів, рулонного матеріалу.

Ці скловолокнисті вогнетриви рекомендуються для використання до  $t = 1150^\circ\text{C}$  та успішно застосовують для зовнішньої та внутрішньої теплоізоляції.

##### 1. Вироби легковагітеплоізоляційні

Марки: ДЛ-1,2, ДЛ 1-1,2 – динасові температура експлуатації  $> 1550^\circ\text{C}$

$\left. \begin{array}{l} \text{ШЛА} - 1,3, \text{ШКЛ} - 1,3 \\ \text{ШЛ} - 1,3 - \text{шамотные} \end{array} \right\}$  вогнетривкість  $1450 - 1400^\circ\text{C}$ , щільність  $1,2-1,3 \text{ г/см}^3$

МКРЛ-0,8 – муллитокремнеземисті ( вогнетривкість  $1200^\circ\text{C}$ )

$\left. \begin{array}{l} \text{МЛЛ} - 1,3 - \text{муллитовые} \\ \text{КЛ} - 1,3; \text{КЛ} - 1,1 - \text{корундовые} \end{array} \right\}$  вогнетривкість  $1550^\circ\text{C}$

Ці вироби застосовують у робочій (незахищеній) футерівці печі, що не піддається дії розплавів, зношувальних зусиль і механічних ударів, або в проміжній (захищеної) ізоляції.

2. Вироби бетонні теплоізоляційні, алюмосилікатні марок: ШТБ-1,1, ШТБ-1,0, ШТБ-0,9 – шамотні, МКРТБ-1,1 та МКРТБ-0,9 – муллитокремнеземисті. Вони мають щільність від 0,9 до 1,1 г/см<sup>3</sup> і призначені для футеровки теплових агрегатів у зонах з температурою до 1250°С, що не піддаються дії розплавів, зношувальних зусиль і механічних ударів.

3. Вироби муллитові легковагімарки МЛЛ-1,25 виготовляють на основі електрокорунду. Застосовують їх або в робочій (незахищеної) футеровці печей, що не піддається дії розплавлених шлаків, металів, скла, золи і глазури, або в проміжній (захищеній) ізоляції при наявності в робочому просторі печі розплавлених сполук при температурі експлуатації не вище 1550°С, вміст Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – не < 65 %.

4. Вкладиші теплоізоляційні кремнеземисті та магнезійносиликатні марки КРТВ-1 (на основі кремнеземистих матеріалів, вогнетривкої глини, целюлози (паперової макулатури), карбідної смоли МСТВ-I, МСТВ-II, призначені для футеровки верхньої частини або прибуткових надставок виливок, які використовуються при розливанні спокійної сталі.

5. Матеріали виробу теплоізоляційні муллитокремнеземисті скловолонисті марок: МНВ, МКРР-130, МКРРХ-150 – муллитокремнеземисті матеріали (вата, рулонний матеріал, хромозмістовний рулонний матеріал), МКРБ-500, МКРІ-500, МКРВ-340 - муллитокремнеземисті вироби (повсть, фетр, плити на органічному та неорганічному зв'язуванні, картон). Вказані матеріали застосовують у робочому (незахищеному) шарі футеровки теплових агрегатів, що не піддаються дії розплавів, агресивних газових середовищ, зношувальних зусиль, механічних ударів і газових потоків зі швидкістю більше 10 м/с, у проміжному (захищеному) шарі футеровки і для утеплення головної частини злитків.

Температура експлуатації марок МКРЕ – 1600°С; МКРРХ-150 – 1300°С; МКРВ, МКФ-100, МКРП-400 – 1150°С.



6. Фетр муллитокремнеземистий теплоізоляційний скловолокнистий марки МКРФ-100 призначений для теплоізоляції нагрівальних і термічних печей, повітрянагрівачів доменних печей та інших теплових агрегатів при температурі не вище 1150°С, з наступними фізико-хімічними показниками:  $Al_2O_3$  – 50 %;  $(Al_2O_3 + SiO_2)$  – 97 %, щільність – 100 кг/м<sup>3</sup>.

7. Картон гнучкий теплоізоляційний марки МКРКГ – картон муллитокремнеземистий, призначений для теплоізоляції нагрівальних і термічних печей та інших теплових агрегатів при температурі вище 1150°С. Розміри рулонів: 1500 - 15000 мм – довжина, ширина 600 - 750 мм, товщина 5 - 9 мм. Фізико-хімічні показники: щільність – 400 кг/м<sup>3</sup>, вміст  $Al_2O_3$  – 48 %,  $(Al_2O_3 + SiO_2)$  – не менш 97 %.

8. Матеріал глиноземистий теплоізоляційний волокнистий марки ГВ-3 – матеріал із середнім діаметром волокон 3 мкм для високотемпературних газостатів і електропечей при робочій температурі до 1500°С; ГВ-8 – матеріал із середнім діаметром волокон 8 мкм для електро- і водневих печей при температурах до 1400°С; ЦВ-3 – цирконовий волокнистий матеріал із середнім діаметром волокон 3 мкм.

#### 4.2. Класифікація теплоізоляційних матеріалів

Основною характеристикою теплоізоляційних матеріалів є низька теплопровідність, яка досягається дуже низькою теплопровідністю газів в порах матеріалу. Теплоізоляційні матеріали, поряд з основною теплоізолюючою функцією мають наступні корисні властивості:

- механічна влагостійкість та хімічна стійкість;
- пожежна безпека;
- паропроникність;
- звукоізоляція;
- зручний монтаж.

В залежності від технічних умов застосовується необхідний теплоізоляційний матеріал, характеристики якого відповідають кожному конкретному технічному заданню. Теплоізоляційні матеріали класифікують за:

- видом вихідної сировини (органічні, мінеральні, змішані);
- структурою (волокниста, зерниста, комірчаста);
- наявністю зв'язуючої речовини;
- зовнішньою формою вигляду;
- щільністю (особливо легкі, легкі, важкі);
- жорсткістю (м'які, напівжорсткі, жорсткі, тверді);
- теплопровідністю (низька, середня, підвищена).

Теплоізоляційні будівельні матеріали за видом основної сировини поділяють на органічні, неорганічні та змішаного типу. Для виготовлення органічних теплоізоляційних матеріалів використовується сировина природного походження (відходів деревини, торфа, а також на основі полімерів). До складу *органічних теплоізоляторів* входять деякі види пластика та цементу. Розрізняють наступні види органічних теплоізоляційних будівельних матеріалів: деревно-стружкова плита (ДСП), деревно-волокниста плита (ДВП), арболітовий утеплювач та ін.

Для виготовлення *неорганічних теплоізоляційних матеріалів* (мінеральної вати, комірчастого бетону, матеріалів на основі асбесту та кераміки) використовуються наступні мінеральні речовини: асбест, шлак, скло, горні породи.

*Змішані теплоізоляційні матеріали* виробляють із асбестових сумішей, в які додано слюду, доломіт, діатоміт. Також в матеріал додають мінеральні складові для зв'язування основного матеріалу. Вихідна сировина є пухкою, тому до твердіння її наносять на потрібне місце для висихання. Виготовляють із цього матеріалу формовочні вироби. Прикладом такого матеріалу є фіброліт.

## 5. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для правильного вибору і ефективного використання високотемпературних матеріалів в різних галузях необхідно враховувати найважливіші їх властивості та умови роботи. Документом, що систематизує численні різновиди вогнетривких матеріалів, є стандартна класифікація вогнетривких виробів ДСТУ 2211:2009. За цією класифікацією високотемпературні вироби розділяють, в залежності від фізико-хімічної природи вихідної сировини, на 18 основних груп. Окремі групи, як видно з таблиці 5.1, крім того, об'єднуються загальними найменуваннями з більш широкою характеристикою природи у деякі групи. Групи підрозділяються на підгрупи і розрізняються, головним чином, за якістю сировини, що використовується.

Таким чином, у кожній групі об'єднані вогнетривкі вироби з цілком визначеним хіміко-мінералогічним складом і властивостями. Крім того, відповідно до класифікації, всі вогнетривкі вироби розділяють ще за наступними ознаками:

- за ступенем вогнетривкості на: вогнетривкі (1580-1770 °С), високотривкі (1770-2000 °С), вищої вогнетривкості (вище 2000 °С);
- за формою та розмірами на: нормальну цеглу (прямокутна та клиновидна) і фасонні вироби (прості, складні, особливоскладні, великоблочні);
- за способом виготовлення на вироби, отримані пластичним формуванням (пресуванням), напівсухим чи пресуванням трамбуванням з порошкоподібних непластичних мас, литтям зі шликера, литтям з розплаву, випилюванням з гірських порід;
- за характером термічної обробки на безвипалювальні, обпалені і відкрити з розплаву.

Температура нагріву в сучасних промислових печах і топках коливається в межах 1000-1800 °С, тому вогнетривкі матеріали повинні бути здатними

протистояти дії високих температур і не розплавляться. Однак, дія високих температур на вогнетривкі матеріали не обмежує їх розплавлення, що для більшості вогнетривів відбувається при температурах вище 1650-1750 °С. При більш високих температурах вогнетривкі матеріали починають розм'якшуватись і втрачати будівельну міцність. Тому вогнетривкі матеріали оцінюються також за їх здатність протистояти дії будівельного навантаження при визначених температурах.

Під впливом високих температур велика частина вогнетривких матеріалів починає скорочуватись в обсязі через додаткове спікання і ущільнення. Деякі вогнетривкі матеріали, насамперед динас, збільшуються в об'ємі. Зміна об'єму вогнетривкового матеріалу може викликати ушкодження навіть руйнування кладки печі. Тому вогнетривкі матеріали повинні бути сталими при температурах експлуатації.

Таблиця 5.1

#### Класифікація високотемпературних виробів

Кремнеземисті		Алюмосилікатні			Магнезійальні			
А	Б	У	Г	Д	Е	Ж	З	І
динасові	кварцові	напівкислі	шамотні	високоглиноземисті	магнезитові (периклазові)	доломітові	форситові	шпинельні
хромисті		вуглецеві		цирконієві		оксидні	карбідні нітриди	
ДО	Л	М	Н	ПРО	П	Р	З	Т
хромітові	хромомагнезитові	графітові	коксові	цирконисті	цирконієві	окисні спеціальні	карбондові	інші

Зміна температур при розігріві і охолодженні теплових агрегатів і, як наслідок цього, нерівномірний розігрів викликають розтріскування вогнетривкового матеріалу. Здатність вогнетривких матеріалів витримувати коливання температур не розтріскуючись, називається **термічною стійкістю**. Недостатня терміч-

на стійкість є одним з найбільш важливих факторів, що скорочують термін служби футеровки багатьох промислових печей.

Вогнетривка футеровка печей сильніше всього руйнується в результаті хімічної взаємодії із золюю палива, що спалюється, чи з тими матеріалами, що плавляться і обпікаються в тих печах. Ступінь такого руйнування вогнетривких матеріалів залежить від хімічного складу матеріалу, впливає на футеровку, а також від хімічного складу і шпаристості вогнетриву.

### 5.1. Властивості будівельних вогнетривких матеріалів

Властивості будівельних вогнетривких виробів, що визначають їх придатність для служби в тих чи інших умовах, залежать, у першу чергу, від хіміко-мінералогічного складу матеріалу. Отже, кожна з вказаних в таблиці 5.1 груп вогнетривких виробів характеризується певними, специфічними для даної групи властивостями. Наприклад, карборундові вогнетривкі матеріали відрізняються найбільш високою теплопровідністю і термічною стійкістю, динас – будівельною міцністю при високих температурах, магнезит – шлакостійкістю та ін.

Всередині кожної групи вогнетривкі вироби можуть також значно різнитись за своїми властивостями, в залежності від якості сировини та прийнятої технології. Правильний вибір якості сировини, її сталість і дотримання усталеного технологічного режиму визначають властивості продукції того чи іншого підприємства і стійкість її в службі.

Важливими властивостями вогнетривких матеріалів є ті, які безпосередньо визначають здатність протистояти руйнуючим факторам в процесі їх роботи у промислових печах і топках: вогнетривкість, будівельна міцність при високих температурах, сталість обсягу при високих температурах, термічна і шлакостійкість.

Вогнетривкість різних матеріалів і температура плавлення деяких чистих кристалічних речовин, що входять до складу найголовніших вогнетривких матеріалів, наведено в таблицях 5.2 і 5.3.

Таблиця 5.2

Вогнетривкість матеріалів

Найменування матеріалу	Температура
Кварц жильний	1750-1770 °С
Кварцит	1730-1750 °С
Динас	1710-1720 °С
Вогнетривка глина	1580-1750 °С
Каолін	1740-1770 °С
Шамотні вироби	1610-1750 °С
Напівкислі вироби	1610-1710 °С
Високоглиноземисті вироби	1780-2000 °С
Магнезитові вироби	вище 2300 °С
Хромитово-магнезитові вироби	вище 2000 °С
Доломітові вироби	вище 2000 °С

Вогнетривкі матеріали при досить високій температурі розм'якшуються і розтікаються у вигляді рідини тієї чи іншої в'язкості, тому вогнетривкістю називається здатність матеріалу протистояти без розплавлення впливу високих температур. Вогнетривкість визначається на зразку встановленого розміру і форми, що нагрівається із заданою швидкістю.

Вогнетривкий матеріал може складатись з різних матеріалів, що реагують між собою при високих температурах з утворенням легкоплавких евтектик, тому поверхня взаємодії тих чи інших мінералів, величина їх зерен в структурі впливає на результати визначення вогнетривкості.

Температура плавлення речовин, що входять до складу вогнетривких матеріалів

Кристалічна речовина	Температура плавлення, °С	Кристалічна речовина	Температура плавлення, °С
SiO <sub>2</sub>	1713	ZrO <sub>2</sub> · SiO <sub>2</sub>	2430
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2050	BeO	2610
3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub>	1870	ThO	3050
MgO	2800	TiO <sub>2</sub>	1850
CaO	2570	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2300
MgO · CaO	2300	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1560
MgO · SiO <sub>2</sub>	1557	FeO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1538
2MgO · SiO <sub>2</sub>	1890	MgO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>1780
2CaO · SiO <sub>2</sub>	2130	MgO · Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>1780
3CaO · SiO <sub>2</sub>	1900	FeO · Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>1780
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2135	SiC	2700
ZrO <sub>2</sub>	2715	C	3500

## 5.2. Будівельна міцність при високих температурах

Будівельна міцність при високих температурах характеризується температурою, що викликає визначений ступінь розм'якшення і виражається величиною деформації вогнетривкого матеріалу під дією статичного навантаження 20 МПа.

Практичне навантаження у вертикальних стінах промислових печей і топів значно нижче контрольної (20 МПа) і лише в окремих випадках вона досягає 5-10 МПа. До того ж, при однобічному нагріванні футеровки навантаження зазнає більш холодна її частина. Однак, у зводах і несучих опорах, що обігріваються особливо з усіх сторін, вогнетривкий матеріал розм'якшується, що є частою причиною його руйнування. Особливо велике значення має температура

деформації вогнетривких виробів при службі в розпирних зводах високотемпературних печей і топок. Розм'якшення нижньої частини зводу, що обігривається, викликає його осідання, деформацію і руйнування. Значний перегрів і відповідний ступінь розм'якшення можуть викликати деформацію і вертикальну стіну під тиском власної ваги. У більшості випадків вогнетривка футеровка одночасно руйнується і від хімічного впливу щлаків, золи палива, пилу руди, пар і газів. Ошлакування вогнетривкого матеріалу змінює його хіміко-мінералогічний склад, у зв'язку з чим знижується його будівельна міцність при високих температурах.

Температура деформації вогнетривких матеріалів в основному визначається їх хіміко-мінералогічною будовою, тобто наявністю тих чи інших кристалічних фаз, характером кристалічної будови виробу, а також кількісним співвідношенням між кристалічною і склоподібною (аморфною) фазами і в'язкістю рідкої фази, що утвориться при плавленні більш легкоплавких кристалічної і склоподібною фаз (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Температури деформації різних вогнетривких матеріалів під навантаженням 20 МПа

Найменування матеріалів	Т <sub>деф</sub> , °С	Ступінь деформації, %	
		4	40
Динасовий	1650	-	1670
Напівкислий	1400	1430	1500
Шамотний класу В	1250	1320	1500
Шамотний класу А: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 40%	1400	1470	1600
Каоліновий: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 42%	1450	1550	1650
Муллітовий спечений: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 70%	1600	1660	1800
Корундовий спечений: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 99%	1870	1900	-
Магнезитовий: Mg – 90%	1550	-	1580



### 5.3. Сталість обсягу при високих температурах

Тривала служба вогнетривкого матеріалу в печах при високих температурах викликає подальшу зміну його фазового складу, перекристалізацію і додаткове спікання. Під впливом цих змін відбувається зменшення об'єму виробів, тобто їх додаткова усадка. Додатковою усадкою вогнетривких виробів називають незворотні зміни їх лінійних розмірів в результаті повторного тривалого нагріву при високих температурах. В результаті високої додаткової усадки вогнетривких виробів відбувається розкриття швів кладки, що знижує щільність, шлакостійкість і термічну стійкість футеровки, викликає осідання зводів і стін та приводить до передчасного її руйнування. Особливо негативно позначається усадка вогнетривких матеріалів у зводах печей. Велика додаткова усадка може викликати провисання і обвал зводів.

### 5.4. Термічна стійкість

Зміна температури нагрівання вогнетривкої футеровки в періодично діючих промислових печах і топках можуть викликати розтріскування виробів. Властивість вогнетривких матеріалів піддаватись повторним температурним коливанням без руйнування називається термічною стійкістю. Нерівномірний нагрів футеровки викликає утворення тріщин, розривів та повне руйнування футеровки.

### 5.5. Термічне розширення

Вогнетривкі вироби в результаті нагрівання розширюються, а після охолодження повертаються до первинного об'єму. Зворотне розширення, на відміну від додаткового, відбувається без зміни фазового складу та будови виробу. Від термічного розширення залежить величина напружень, що виникають у во-

гнетривкому матеріалі при швидкому нагріві і охолодженні. Термічне розширення залежить від хіміко-мінералогічного складу даного матеріалу.

Термічне розширення вогнетривких матеріалів характеризується наступними показниками: середній коефіцієнт термічного розширення ( $\alpha_{\text{ср}} = \frac{L-L_0}{L_0}$ ), відсоток термічного розширення ( $\frac{L-L_0}{L_0} \cdot 100\%$ ), де  $L_0$  – вихідна довжина зразку при  $0^\circ\text{C}$  чи кімнатній температурі,  $L$  – довжина зразку при температурі виміру.

Для характеристики властивостей вогнетривких виробів важливим є не тільки середній коефіцієнт термічного розширення при даній температурі, але і рівномірність процесу розширення (коефіцієнт термічного розширення) в окремих температурних ділянках.

## 5.6. Теплопровідність, теплоємність і температуропровідність

**Теплопровідність** вогнетривких виробів характеризується коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , що виражається звичайно в технічних одиницях – ккал/моль·град. Теплопровідність вогнетривких виробів враховують при визначенні втрат тепла через стіни і зводи печей і топків. Теплопровідність впливає на термічну стійкість та разом з коефіцієнтом термічного розширення обумовлює величину відносного руйнування вогнетривкого виробу.

Теплоємність вогнетривкого матеріалу виражається в ккал/кг·град і складає 0,18-0,22.

Температуропровідність  $a$  характеризується швидкістю поширення температури при нагріві тіла і залежить від теплопровідності  $\lambda$ , теплоємності  $c$  і об'ємної ваги матеріалу  $\gamma$ :  $a = \lambda / c\gamma$  ( $\text{м}^2 / \text{година}$ ).

Вогнетривкі матеріали при низьких температурах є провідниками третього роду, тобто можуть служити електроізоляторами. При підвищенні температури електропровідність вогнетривких матеріалів значно зростає. Особливо помітне підвищення починається при температурах вище  $1000^\circ\text{C}$ .

У таблиці 5.5 наведено величини теплопровідності, теплоємності і температуропровідності для типових груп вогнетривких матеріалів.

Таблиця 5.5.

#### Фізичні властивості вогнетривких матеріалів

Найменування матеріалу	Теплопровідність, $\lambda$			Теплоємність, с			Температуропровідність, с			Об'ємна вага, $\gamma$
	20 °С	500 °С	1000 °С	20 °С	500 °С	1000 °С	20 °С	500 °С	1000 °С	
Шамот	1,00	1,15	1,30	0,21	0,24	0,26	2,38	2,40	2,50	2,0
Динас	1,00	1,20	1,40	1,19	0,23	0,24	2,78	2,8	3,03	1,9
Магнезит	5,00	4,00	3,00	0,22	0,26	0,26	8,78	5,93	4,45	2,6

#### 5.7. Пружна і пластична деформація

Вогнетривкі вироби характеризуються певними пружними властивостями. При досить високих температурах вогнетривкі матеріали здатні до пластичної деформації, що дуже впливає на їх термічну стійкість. Для характеристики пружних властивостей вогнетривких виробів визначають модулі розтягнення ( $E = \sigma / \epsilon$ , кг / см<sup>2</sup>, де  $\sigma$  – напруга розтягнення, а  $\epsilon$  – відносне подовження) і зрушення ( $G = \tau / \gamma$ , кг / см<sup>2</sup>, дет– напруга зрушення, а  $\gamma$ – відносний зсув).

При підвищенні температури нагріву пружна деформація, що характеризується відносним подовженням чи відносним руйнуванням, частіше зменшується.

Модуль зрушення при 20 °С для різних вогнетривких матеріалів змінюється в межах від 10-20 до 100-200 кг / см<sup>2</sup>. При підвищенні температури до 700 °С модуль зрушення для деяких матеріалів збільшується. Дрібнозернисті щільні вогнетривкі матеріали мають більший модуль, ніж грубозернисті. Наприклад, модуль зрушення для шамотних вогнетривких матеріалів складає для шамоту дрібнозернистого 45000 кг / см<sup>2</sup> при 20 °С і 72000 кг / см<sup>2</sup> при 700 °С, для шамоту грубозернистого 19000 кг / см<sup>2</sup> при 20 °С і 29000 кг / см<sup>2</sup> при 700 °С.

## 5.8. Щільність

Ступінь ущільнення вогнетривких виробів характеризується водопоглинанням, об'ємною вагою та істинною шпаристістю. Окремі види вогнетривких виробів, виготовлені одним підприємством-виробником з тієї ж самої сировини, за встановленим технологічним процесом, мають незначні коливання об'ємної ваги. За цим показником визначають ступінь випалу вогнетривких виробів, якість сировини та можливе порушення технології.

**Об'ємною вагою** називається вага одиниці об'єму матеріалу, включаючи і пори. Одиниці вимірювання об'ємної ваги – г / см<sup>3</sup>.

**Водопоглинанням** називається вагова кількість води, яка поглинається матеріалом при його кип'ятінні, виражене у відсотках, до ваги у сухому стані.

**Питоною шпаристістю** називається відношення об'єму пор, які займаються водою, що поглинається при кип'ятінні матеріалу, до його об'єму. Питома шпаристість розраховують шляхом поділу ваги води, що поглинається матеріалом, на об'єм матеріалу, виражене у відсотках (чисельно вона дорівнює добутку величини водопоглинання на об'ємну вагу).

Питома вага вогнетривких матеріалів залежить від їх хіміко-мінералогічного складу і є типовим для всіх виробів даної групи. Показники щільності вогнетривких виробів наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6.

Характеристика щільності вогнетривких виробів

Найменування вогнетривких виробів	Об'ємна вага, г / см <sup>3</sup>	Питома шпаристість, %	Межа міцності при стискуванні, кг / см <sup>2</sup>
Звичайні шамотні	1,8-2,00	30,0-24,0	100-200
Щільні шамотні	2,05-2,2	22,0-16,0	300-500
Особливо щільні шамотні	2,25-2,3	15,0-10,0	> 600
Динасові	1,8-1,95	22,0-19,0	250-450
Магнезитові	2,60-2,70	24,0-22,0	300-500
Хромомагнезитові	2,75-2,90	26,00-22,00	250-400

## 5.9. Газопроникність

Газопроникність служить для оцінки щільності будови виробів і залежить від розміру відкритих пор та їх взаємного зв'язку. По газопроникності розраховують середній розмір пор. Величини газопроникності деяких вогнетривких матеріалів наступні: шамот грубозернистий –  $2,0-5,0 \text{ м}^2 / \text{год} \cdot \text{мм вод.ст.}$ , шамот дрібнозернистий –  $0,1-0,5 \text{ м}^2 / \text{год} \cdot \text{мм вод.ст.}$ , шамот особливощільний –  $0,01-0,05 \text{ м}^2 / \text{год} \cdot \text{мм вод.ст.}$ , динас –  $0,5-2,0 \text{ м}^2 / \text{год} \cdot \text{мм вод.ст.}$

## 5.10. Межа міцності при стискуванні

Межа міцності при стискуванні більшості вогнетривких виробів, особливо високих класів, складає більше 2500 МПа. Вогнетривкі вироби, що знаходяться в кладці промислових печей і топок, зазнають невеликі навантаження, що не перевищують у кладці стін 10 МПа, а у зводі – 40-50 МПа. Таким чином, висока міцність вогнетривких матеріалів не викликається необхідністю забезпечити опір статичним навантаженням, що виникають у футерівці печей. Однак, у багатьох випадках вогнетривкі матеріали повинні протистояти ударам, стиранню, а також впливу інших механічних факторів. Велика міцність деяких видів вогнетривких виробів часто досягається при завершенні в них процесів перекристалізації і спікання, що відбувається при високій температурі випалу.

Висока міцність при стискуванні є важливим показником, що характеризує якість обробки маси для пресування виробів, однорідність їх будови та ін. Через простоту і швидкість визначення межі міцності при стискуванні ця властивість є однією з основних для оцінки якості виробів. Межа міцності при стискуванні, на додаток до шпаристості, є надійним контрольним показником дотримання встановленого технологічного процесу і однорідності продукції тому, що порушення технології в більшості випадків приводить до зниження міцності виробів.

## **ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ**

### **для студентів по дисципліні «Будівельні та теплоізоляційні матеріали»**

Варіанти завдань відповідають останній цифрі номеру залікової книжки

#### **ВАРІАНТ 1**

1. Вироби теплоізоляційні.
2. Матеріали вищої вогнетривкості.
3. Хімічний склад та вогнетривкість шамотних виробів.
4. Пояснити поняття «загальна шпаристість».
5. Яка сировина вживається для виготовлення вогнетривких виробів?

#### **ВАРІАНТ 2**

1. Установити класифікаційні ознаки вогнетривів.
2. Які вироби можна отримати з цинкованого концентрату?
3. Пояснити поняття «відкрита пористість».
4. Які типи вогнетривів виробляють на підприємствах металургії та теплоенергетики?
5. Що таке доломіт?

#### **ВАРІАНТ 3**

1. Які вогнетриви підрозділяються по шпаристості?
2. Що таке каолін?
3. Перелічите легковажні теплоізоляційні матеріали?
4. Поясніть термін «температура розм'якшення».
5. Які вироби виготовляють з кварцового скла?

#### **ВАРІАНТ 4**

1. Який існує метод для визначення відкритої шпаристості керамічних матеріалів?
2. Які фізико-хімічні показники мають перекладові вироби?
3. В чому різниця між каолінами та вогнетривкими глинами?
4. Яку вогнетривкість мають шамотні вироби?
5. Умови використання вогнетривких неметалевих матеріалів в металургійній галузі.

## **ВАРІАНТ 5**

1. При проектуванні теплових агрегатів які умови пред'являють вогнетривким виробам.
2. Поясніть термін «температура розм'якшення».
3. Кремнеземисті вогнетривкі матеріали.
4. Шамотні вироби.
5. При яких температурах використовують вогнетриви?

## **ВАРІАНТ 6**

1. З якої сировини виготовляють вогнетривкі матеріали?
2. Яка вогнетривка сировина зустрічається в Україні?
3. Що таке брусит?
4. Що таке «відкрита шпаристість»?
5. Що таке межа міцності при стискуванні?

## **ВАРІАНТ 7**

1. Теплопровідність та теплоємність вогнетривких матеріалів.
2. Радіотехнічна кераміка.
3. Кераміка для атомної промисловості.
4. Вуглецеві вогнетривкі матеріали.
5. Корундові вироби.

## **ВАРІАНТ 8**

1. Вироби карбідокремнієві та карбідокремнійутримуючі.
2. Цирконієві вироби.
3. Кварцити, кварцитові піски.
4. Щільність вогнетривів.
5. Температуропроворність вогнетривів.

## **ВАРІАНТ 9**

1. Шлакостійкість вогнетривів.
2. Вогнетривкість вогнетривів.
3. П'єзоелектрична кераміка.
4. Оцінка робочих властивостей вогнетривів.
5. Визначення капілярної та тупикової пористості.

## **ВАРІАНТ 10**

1. Кераміка чистих окислів.
2. Вогнетривкі матеріал неформовані.
3. Вироби переклазохромітові та переклазові.
4. Теплоізоляційні вироби.
5. Доломіт та цирконієвий концентрат.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Огнеупорные изделия, материалы и сырье. Справочник под ред. А.К. Карклита. – М.: «Металлургия», 1991. – 416 с.
2. Плотников Л.А. Огнеупоры в черной металлургии. –М.: «Металлургия», 1973. – 273 с.
3. Ротенберг Г.В. Огнеупорные материалы. –М.: «Металлургия», 1980. – 344 с.
4. Огнеупоры. Справочник, пер. с японс. В.Я. Серебрякова, А.Н. Сеницина. – М.: «Металлургия», 1967. – 191 с.
5. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. –М.: «Металлургия», 1972. – 216 с.
6. Гасан Ю.Г., Пащенко Т.М. Будівельні матеріали. Навч. посібник: у 2 ч. — Київ: КНУБА, 2013. — 227 с. Режим доступа: <https://lib.iitta.gov.ua/10436/1/%D0%91%D1%83%D0%B4%20%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%862013.pdf>