

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні

О.Г. Кириченко, Д.В. Прутцьков

ВОГНЕТРИВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Навчально-методичний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності 136 «Металургія»
освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів»,
«Металургія кольорових металів», «Обробка металів тиском»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № ____ від _____

**Запоріжжя
2023**

УДК 666.76(075.8)

К431

Кириченко О.Г., Прутцьков Д.В. Вогнетриви металургійного виробництва : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів», «Металургія кольорових металів», «Обробка металів тиском». Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 78 с.

Навчально-методичний посібник призначений для закріплення теоретичних знань про процеси, що мають місце при виробництві металургійних вогнетривів, а також для набуття дослідницьких навичок вогнетривного виробництва. Навчально-методичний посібник містить загальні відомості про способи виробництва вогнетривів, фізико-хімічні закономірності цих процесів, а також лабораторні роботи та завдання для самостійної роботи.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів», «Металургія кольорових металів», «Обробка металів тиском».

Рецензент

В.О. Скачков, доктор технічних наук, професор кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Відповідальний за випуск

Ю.О. Белоконь, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

ЗМІСТ

С.

ВСТУП	5
Розділ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	
ПРО ВОГНЕТРИВКУ ПРОМИСЛОВІСТЬ	7
1.1 Короткий нарис історії вогнетривкої промисловості. Роль вогнетривів у металургійних процесах	7
1.2 Критерії вибору матеріалів для вогнетривкого виробництва.....	8
1.3 Класифікація вогнетривких матеріалів	9
1.4 Сировинна база вогнетривкого виробництва України	11
Розділ 2 ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ	14
2.1 Вогнетривкість.....	15
2.2 Макроструктура (текстура) вогнетривких виробів.....	15
2.2.1 Пористість	15
2.2.2 Газопроникність	15
2.3 Температура деформації під навантаженням	16
2.4 Теплопровідність і електропровідність вогнетривких матеріалів	16
2.5 Термостійкість і термічна стійкість.....	17
2.5.1 Методика визначення термостійкості	17
2.6 Шлакостійкість (хімічна стійкість)17	
Розділ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ВОГНЕТРИВІВ	19
3.1 Принципова схема вогнетривкого виробництва	19
3.1.1 Дроблення й здрібнювання сировини	19
3.1.2 Розсів порошоків	20
3.1.3 Змішування.....	20
3.1.4 Пресування вогнетривких виробів	20
3.1.5 Сушіння вогнетривких матеріалів.....	21
3.1.6. Випал вогнетривких виробів.....	22
3.1.7 Електроплавка вогнетривів	22
3.2 Технологія виробництва динасових вогнетривів.....	23
3.3 Технологія виробництва алюмосилікатних вогнетривів.....	24
3.3.1 Технологія виробництва шамотних вогнетривів	24
3.3.2 Технологія виробництва високоглиноземистих вогнетривів	24
3.4 Технологія теплоізоляційних матеріалів (вогнетривких легковагів)	26
3.5 Технологія виробництва магнезійних вогнетривів	29
3.5.1 Особливості виробництва магнезитових (періклазових) вогнетривів ...	29
3.5.2 Долімітові вогнетривкі матеріали й вироби	31
3.5.3 Форстеритові вогнетривкі вироби	33
3.5.4 Магнезитохромітові й хромомагнезитові вогнетриви.....	33
3.6 Вуглецеві вогнетриви.....	34
3.7 Технологія цирконієвих вогнетривів	38
3.8 Технологія карбідних і нітридних вогнетривів	38
3.9 Технологія вогнетривких бетонів	38

3.10 Технологія плавлених вогнетривів	39
Розділ 4 ВИКОРИСТАННЯ ВОГНЕТРИВІВ У ЧОРНІЙ МЕТАЛУРГІЇ..	42
4.1 Вогнетриви в доменному виробництві	42
4.2 Вогнетриви для мартенівських печей	43
4.3 Вогнетриви для кисневих конвертерів.....	44
4.4 Вогнетриви для дугових сталеплавильних печей	44
4.5 Вогнетриви для сталерозливних ковшів	45
ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ	47
ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	55
ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ	60
ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ.....	62
Лабораторна робота № 1 Визначення фізико-хімічних властивостей легкоплавких глин.....	62
Лабораторна робота № 2 Визначення гранулометричного складу глинистої сировини	67
Лабораторна робота № 3 Вогнетриви та їх використання в металургії	72
ВИКОРИСТАНА ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	74
Додаток.....	75

ВСТУП

Вогнетривами називаються матеріали на основі мінеральної сировини й одмінні здатністю зберегти без істотних змін свої функціональні властивості в різноманітних умовах служби при високих температурах.

Без вогнетривів немає іншого практично прийняттого способу одержувати й підтримувати тривалий час високі температури в більших об'ємах.

Споживання вогнетривів:

- ✓ чорна металургія 60...70 %;
- ✓ кольорова металургія приблизно 5 %;
- ✓ машинобудування приблизне 10 %;
- ✓ будівництво приблизне 8 %;
- ✓ хімічна промисловість приблизно 4...5 %;
- ✓ інші споживачі приблизно 10 %.

За видами виробництва в металургії витрата вогнетривів становить:

- ✓ доменне до 3 кг/т;
- ✓ прокатне до 6 кг/т;
- ✓ конвертерне 9,9...10,4 кг/т;
- ✓ електросталеплавильне 17,6...18,2 кг/т;
- ✓ мартенівське 21,6...22,8 кг/т;
- ✓ ковшова металургія до 9 кг/т.

В Україні середня витрата вогнетривів становить 13,8...16 кг/т сталі.

Навчально-методичний посібник призначений для закріплення теоретичних знань та отримання практичних навичок самостійного та творчого виконання фізико-хімічних і технологічних розрахунків з виробництва металургійних вогнетривів, підготовки до якісного виконання кваліфікаційної роботи магістра.

Все це спричинило необхідність включення до навчального плану підготовки здобувачів ступеня вищої освіти магістра зі спеціальності «Металургія» дисципліни «Вогнетриви металургійного виробництва».

Дисципліна «Вогнетриви металургійного виробництва» відповідає сучасним тенденціям створення фундаментальних теоретичних основ і математизації технічних дисциплін і росту значимості досліджень як для теорії, так і для підвищення ефективності металургійного виробництва.

Метою викладання навчальної дисципліни «Вогнетриви металургійного виробництва» є формування у здобувачів системи знань про сучасний стан сировинної бази України, класифікацію та властивості вогнетривких матеріалів, технології виробництва основних видів вогнетривких матеріалів, які потрібні під час проходження виробничої практики та роботи на промислових підприємствах.

Завданнями вивчення дисципліни «Вогнетриви металургійного виробництва» є:

- набуття здатності розуміти фізико-хімічну сутність процесів виробництва вогнетривких матеріалів;

- вивчення класифікації і технології виробництва сучасних видів вогнетривких матеріалів;
- оволодіння експериментальними методами визначення властивостей вогнетривів;
- знайомство зі сучасними технологіями виготовлення і профілактичних ремонтів вогнетривкої кладки металургійних агрегатів.

Виконання лабораторних робіт знайомить здобувачів з методиками досліджень та розрахунків фізико-хімічних параметрів різних процесів виробництва, вчить користуватися відповідним фізико-математичним апаратом для вирішення проблем відповідних технологій, інтерпретувати результати і робити висновки, що є корисним як для подальшої підсумкової атестації, так і для майбутньої професійної діяльності.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВОГНЕТРИВКУ ПРОМИСЛОВІСТЬ

1.1 Короткий нарис історії вогнетривкої промисловості.

Роль вогнетривів у металургійних процесах.

Перше спеціалізоване виробництво шамотних вогнетривів було організовано в Німеччині в 1810 році. У Росії в 1865 році й далі. В Україні в місті Годин-Яр в 1887 році.

Динасові вогнетриви – уперше виготовлені в Уельсі в 1822 році, у Росії – в 80-х роках 19 століття в Україні на Донбасі – в 1889 році.

Доломітові – в Англії в 1878 році.

Магnezитові – в Австрії в 1860 році.

На сьогоднішній день світовий обсяг виробництва вогнетривів становить приблизно 30 мільйонів тонн:

- ✓ Китай – 18,7 мільйонів тон;
- ✓ США – 3,5 мільйонів тон;
- ✓ Росія – 2,4 мільйонів тон;
- ✓ Японія – 1,4 мільйонів тон;
- ✓ Європа – 5,7 мільйонів тон;
- ✓ Україна – 0,8-1,0 мільйонів тон.

На сьогодні в Україні працюють близько 18 вогнетривких підприємств.

Найбільші з них:

- ✓ Запоріжвогнетрив (найбільший, заснований в 1933 році)
- ✓ Годин-Ярський комбінат;
- ✓ Пантелеймонівський;
- ✓ Красногорівський;
- ✓ Великоанадольський (самий старий, 115 років)
- ✓ Червоноармійський динасовий завод;
- ✓ Микитовський і інші.

Наукову базу забезпечує галузевий інститут -УкрНДІвогнетривів ім. Бережного (м. Харків).

Основними проблемами Української вогнетривкої галузі є:

- 1) Надлишок потужностей при їхній переважній орієнтації на випуск традиційної тобто застарілої продукції (алюмосилікатні й кремнеземисті вогнетриви);
- 2) Економічна криза в результаті якого металургійні комбінати закуповують вогнетриви тільки для поточних потреб;

- 3) Високі ціни на природний газ і імпортна сировина;
- 4) Частка, що збільшується з кожним роком, імпортих вогнетривів (на сьогодні 120 тисяч тонн у рік).

Але сировинна база України досить багата й підприємствам можна освоювати випуск нової продукції за рахунок сировини яке раніше не використовувалося у виробництві вогнетривів:

- ✓ Руди цирконію;
- ✓ Графіту;
- ✓ Ставроліту;
- ✓ Руди хрому
- ✓ Дістена;
- ✓ Талько-Магнезити й інші.

Основні тенденції розвитку світової вогнетривкої промисловості:

- 1) Розширення сортаменту матеріалів, які забезпечують високі показники експлуатації в сучасних металургійних агрегатах: переклазовуглецеві, багатоглиноземісті, карбидокремнієві й інші;
- 2) Розширення області застосування вогнетривких наливних мас і бетонів не потребуючі для формування футерівки дорогого встаткування;
- 3) Розширення області застосування вогнетривів мінімальна втрата, що наносить, навколишньому середовищу й не потребуючих спеціальних заходів щодо утилізації;

Створення вогнетривких систем, що мають високий потенціал у частині забезпечення поточних ремонтів футерівки в процесі її експлуатації.

1.2 Критерії вибору матеріалів для вогнетривкого виробництва

Критеріями вибору матеріалів для вогнетривкого виробництва є:

- 1) Температура плавлення. Для одержання вогнетривів підбирають вихідні речовини (сировина) вогнетривкістю не нижче 1580 °С або такі, які в результаті переробки дають нові речовини високої вогнетривкості. Найбільшу температуру плавлення має вуглець (графіт) – вище 5000 °С. З хімічних сполук найбільшу температуру плавлення мають карбіди, нітриди й ряд оксидів. Найменші температури плавлення мають кислі оксиди, найбільші – основні, температури плавлення амфотерних оксидів займають проміжне значення.
- 2) Поширеність речовин у природі. Найпоширенішими елементами є (%): кисень – 49,13, кремній – 26, алюміній – 7,45, залізо – 4,2, кальцій 3,24, на-

трій – 2,4, калій – 2,35, магній – 2,35, титан – 0,61. Усі інші елементи становлять менш 1%

Найбільші значення для технології вогнетривів на сьогодні мають шість оксидів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Температура плавлення оксидів

Оксид	Температура плавлення, °С
SiO ₂	1710
CaO	2614
Al ₂ O ₃	2049
MgO	2852

Для виробництва матеріалів вищої вогнетривкості мають значення карбіди (SiC, температура плавлення 2500 °С) і нітриди (AlN, температура плавлення 2150 °С, Si₃N₄, температура плавлення 2200 °С).

Речовина з високою температурою плавлення, що втримується у вогнетривкому матеріалі, становить його вогнетривку основу. Природою вогнетривкої основи і її кількістю визначаються властивості матеріалу – вогнетривкість, кислотність або основність, будівельна міцність і інші властивості.

1.3 Класифікація вогнетривких матеріалів

Вогнетривкі матеріали підрозділяють:

- 1) Формовані, що мають певну геометричну форму й розміри;
- 2) Неформовані, що випускаються без певної форми у вигляді порошків або у вигляді мас (мертелі, засипки, маси для набивання, наливні суміші і так далі).

На сьогодні у світі неформовані вогнетриви визнані перспективними й випускаються в більших кількостях.

Їхні переваги:

- безшовність футерівки;
- повна механізація процесу виготовлення футерівки, менше витрат часу й робочої сили;
- економія енергії, завдяки відсутності випалу;
- висока термостійкість.

Але є й недоліки:

- великий розкид властивостей футерівки, особливо при тривалій експлуатації;

- труднощі із сушінням (рівномірність, тривалість);
- висока вартість деяких зв'язувань;
- труднощі повторного використання неформованих вогнетривів;
- необхідність застосування спеціальних машин (торкрет-машин).

Усі вогнетривкі матеріали класифікують:

1) за ступенем вогнетривкості:

- вогнетривкі (1580...1770 °С);
- високовогнетривкі (1770...2000 °С);
- вищої вогнетривкості (більше 2000 °С).

2) за пористістю:

- особливо щільні з відкритою пористістю;
- високощільні;
- щільні;
- ущільнені;
- середньопористі;
- підвищенопористі;
- легковагі із загальною пористістю;
- ультралегковагі із загальною пористістю.

3) за способом формовання:

- пиляні – із природніх гірських порід або попередньо підготовлених блоків;

- литі й вібролиті – виготовлені способом лиття з рідкого шлікера, пеношлікера, газошлікера в гіпсові або інші форми;

- плавлено-литі – одержувані з розплаву шляхом електроплавки;

- напівсухого пресування – виготовлені з порошкоподібних або ма-лопластичних мас методами механічного, гідравлічного, ізостатичного, вібра-ційного пресування, трембування й інші;

- пластичного формовання – виготовлені із пластичних мас методами пластичного формовання - видавлюванням, термопластичним пресуванням (ви-готовлені з мас із застосуванням термопластичних добавок - парафіну, воску);

- гарячепресовані.

4) за способом зміцнення:

- обпалені – піддані спіканню в процесі випалу для одержання зада-них властивостей. Найпоширеніші;

- безвипалювальні, що полягають із вогнетривкого компонента й зв'язування задані властивості, що здобувають, при сушінні або коксуванні при температурах не вище 600 °С або прямо в кладці;

- гарячепресовані – піддані спіканню в процесі пресування;

- плавлені – затвердіваючі з розплаву;

- бетонні – складаються з вогнетривкого заповнювача, зв'язувача й додаткових добавок (пластифікаторів) задані властивості, що здобувають, у результаті твердіння при кімнатній температурі або нагріванні не вище 600 °С.

5) за формою й розмірам:

- прямі нормальних розмірів – 230х(114, 115)х(65, 75) мм;

- клинові нормальних розмірів – 230х(114, 115)х(65Х55, 65х45, 75х55) мм;

- дрібноштучні різного призначення масою до 1 кг;

- фасонні простій, складної конфігурації;

- рулонні й листові;

- блокові масою від 20 до 1000 кг; великоблочні масою вище 1000 кг.

6) за хіміко-мінералогічній сполуці (табл. 1.2).

7) за призначенням:

- для кладки доменних печей;

- виробу для розливання стали (сталерозливний припас);

- ковшевої цегли й інші.

8) за походженням:

- природні;

- штучно отримані.

1.4 Сировинна база вогнетривкого виробництва України

Сировинна база вогнетривкого виробництва України наведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Класифікація вогнетривів за хіміко-мінералогічною сполукою

Тип	Група	Масова частка визначальних хімічних компонентів (на прожарену речовину, %)
Кремнеземисті	З кварцового скла	$\text{SiO}_2 \geq 97$
	Дінасові	$\text{SiO}_2 \geq 93$
	Дінасові з добавками	$80 \leq \text{SiO}_2 < 93$
	Кварцові (бетонні й безвипалювальні)	$\text{SiO}_2 \geq 85$
Алюмосилікатні	Напівкислі	$\text{SiO}_2 < 85, \text{Al}_2\text{O}_3 < 28$
	Шамотні	$28 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 45$
	Мулітокремнеземисті	$45 < \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 62$
	Мулітові	$62 < \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 72$
	Мулітокорундові	$72 < \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 90$
	З глиноземо - кремнеземистого скла (волокнисті)	$40 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 90$
Глиноземисті	Корундові	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 90$
Глиноземовапняні	Алюмінаткальцієві	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 65, 10 < \text{CaO} < 35$
Магнезіальні	Періклазові	$\text{MgO} \geq 85$
Магнезіально-вапняні	Періклазовапняні	$50 < \text{MgO} < 85, 10 < \text{CaO} < 45$
	Періклазовапняні стабілізовані	$35 < \text{MgO} \leq 75, 15 < \text{CaO} < 40, \text{CaO}/\text{SiO}_2 > 2$
	Вапняноперіклазові (доломітові)	$10 < \text{MgO} \leq 50, 45 \leq \text{CaO} \leq 85$
Вапняні	Вапняні	$\text{CaO} \geq 85$
Магнезіально-шпінелідні	Періклазохромітові	$\text{MgO} \geq 60, 5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 20$
	Хромітоперіклазові	$40 \leq \text{MgO} \leq 60, 15 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 < 35$
	Хромітові	$\text{MgO} < 40, \text{Cr}_2\text{O}_3 > 30$
	Періклазошпінелідні	$50 \leq \text{MgO} \leq 85, 5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 20, \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 25$
	Періклазошпінельні	$\text{MgO} > 40, 5 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 55$
	Шпінельні	$25 \leq \text{MgO} < 40, 55 \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 70$
Магнезіально-силікатні	Періклазофорстерітові	$65 < \text{MgO} < 85, \text{SiO}_2 \geq 7$
	Форстерітові	$50 \leq \text{MgO} \leq 65, 25 \leq \text{SiO}_2 \leq 40$
	Форстерітохромітові	$45 \leq \text{MgO} \leq 60, 20 \leq \text{SiO}_2 \leq 30$
Хромисті	Хромоксидні	$5 \leq \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 15, \text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 90$
Цирконісті	Бадделітові	$\text{ZrO}_2 > 90$
	Бадделітокорундові	$20 \leq \text{ZrO}_2 \leq 90, \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 65$
	Цирконові	$\text{ZrO}_2 > 50, \text{SiO}_2 > 25$
Оксидні	Спеціальні з вогнетривких оксидів: BeO, MgO, CaO, Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ Оксидів РЗЕ: Y ₂ O ₃ , Sc ₂ O ₃ , SiO ₂ , SnO ₂ , ZrO ₂ , HfO ₂ , ThO ₂ , UO ₂ , Cs ₂ O інші	Максимальний досяжний вміст перерахованих оксидів, сполук і твердих розчинів на основі цих оксидів не нижче 98% (по сухій масі)
Вуглецеві	Графітовані	$\text{C} > 98$
	Вугільні	$\text{C} > 85$
	Вуглецевмісні	$8 \leq \text{C} \leq 82$
Карбидокремнієві	Карбидокремнієві	$\text{SiO}_2 > 70$
	Карбидокремнійвмісні	$15 \leq \text{SiC} \leq 70$
Безкисневі	З нітридів, боридів, силіцидів і інших безкисневих сполук (крім вуглецю)	Максимальний досяжний зміст безкисневих сполук
Сіалони Si-Al-O-N	Вогнетриви системи Si-Al-O-n, тверді розчини Al ₂ O ₃ , AlN Si ₃ N ₄	
	Метало-сіалонові-Тверді розчини впровадження металу в сіалон	Наприклад, Y-Сіалону ₁₂ Si ₁₅ Al ₁₂ O ₄₉ N ₁₂
Вогнетриви систем Si-C-O-n, Me-C-O-n, де Me – метал	Вуглець цих систем захищає оксиди металів від змочування шлаками й іншими реагентами, а оксиди захищають вуглець від окиснення	

Таблиця 1.3 – Сировинна база вогнетривного виробництва України

Тип вогнетриву	Сировина	Основні родовища	Небажані домішки
Кремнеземисті	Кварцити, піщаники, пісок кварцовий	Кварцитів – 4 (Овручське, Васильківське, Толкачівське); Піщанику – 1; Піску - 2	Слюди, польові шпати, >0,5% (Na ₂ O+K ₂ O)
Алюмосилікатні	Глини вогнетривкі	Донецька область – 12; (Годин-Ярське, П'ятихатське, Пологівське та інші)	Пісок, кальцит, пірит, гіпс, сидерит
	Каолін вторинний	Новоселицьке, Пологівське, Володимирське	
	Каолін первинний	Присяновське, Глуховецьке, Береговське	
Високоглиноземисті	Силіманіт, дістен, ставроліт	Малишевське (Дніпропетровська область), Вовчанське	>2% (CaO+MgO+K ₂ O+Na ₂ O+Fe ₂ O ₃)
	Боксити	Смелянське, Високопольське	
Магнезіальні	Талько-магнезит	Веселівське (Запорізька область), рапа Сіваша	>2% CaO >3% SiO ₂ >5% Fe ₂ O ₃
	Бішофіт	Затуринське (Полтавська область)	
Магнезіально-вапняні	Доломіт	Донецька область – 6; Микитівське, Оленівське, Стильське і інші	> 5% SiO ₂ >3% (Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ +Mn ₃ O ₄)
Хромомагнезитові	Хроміт	Капітанівське (Кіровоградська область)	>6% SiO ₂ >1% CaO
Вуглецеві	Природний графіт	Завальєвське (Кіровоградська область)	зола

Контрольні питання

1. Наведіть історичні етапи формування вітчизняної вогнетривкої промисловості.
2. Вкажіть критерії вибору вогнетривких матеріалів.
3. Сформулюйте принципи класифікації вогнетривких матеріалів.
4. Охарактеризуйте сировинну базу вогнетривного виробництва України.
5. Наведіть класифікацію вогнетривів за хіміко-мінералогічною сполукою.

РОЗДІЛ 2

ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕТРИВКИХ МАТЕРІАЛІВ

Вибір того або іншого вогнетривкого матеріалу залежить від умов, у яких буде проходити служба вогнетривів.

Необхідно враховувати:

- температуру процесу, можливі її коливання, тривалість впливу;
- атмосферу середовища (нейтральна, відбудовна, окисна), швидкість і сполука минаючих газів, зміст у них пилу і її характеристика;
- вплив металевих розплавів і шлаків, їх хімічний склад, в'язкість;
- механічні впливи на вогнетриви – тиск верхніх шарів кладки, завантаженої шихти, удари при завантаженні, стирання від пересування матеріалів;
- перехід вогнетриву в готову продукцію;
- вартість вогнетриву.

Придатність вогнетривкого матеріалу для служби в даних конкретних умовах визначається, насамперед, хіміко-мінералогічною сполукою й властивостями вогнетриву. Однак виробу того самого хімічного складу залежно від технології виробництва, хімічного складу вихідної сировини, добавок можуть суттєво відрізнятися друг від друга за рядом властивостей.

Хімічний склад вогнетривкого матеріалу дає можливість визначити тип вогнетриву – кислий, нейтральний, основний і залежно від цього можливі області його застосування.

Крім хімічного складу вогнетрив характеризується рядом фізико-механічних властивостей, які визначають його придатність до служби. Усі властивості підрозділяють на 6 груп:

- вогнетривкість;
- макроструктура;
- термомеханічні властивості;
- термічні властивості;
- теплофізичні властивості;
- хімічна стійкість.

2.1 Вогнетривкість

Вогнетривкість – властивість матеріалу протистояти, не розплавляючись, впливу на нього високих температур. Вогнетривкість залежить головним чином від його хіміко-мінералогічної сполуки.

Чим вище температура плавлення, тем вище вогнетривкість. Домішки знижують вогнетривкість – це досить важливий показник, однак, не єдиний.

2.2 Макроструктура (текстура) вогнетривких виробів

Під макроструктурою або текстурою розуміють кількісне співвідношення й взаємний розподіл зерен речовини й пор. Макроструктура характеризується пористістю, газопроникністю, питомою поверхнею й типом структури.

2.2.1 Пористість

Практично всі вогнетривкі матеріали пористі. Пори можуть займати від 0 до 90 % загального об'єму виробу. Пору – вільний об'єм у виробі, не заповнений вогнетривкою масою. Пористість теплоізоляційних вогнетривів 60...80 %, обпалених вогнетривів – 15...30 %, щільних вогнетривів – 5...12 %, особливо щільних вогнетривів – 2...5 % і нижче.

Пористість підрозділяється на відкриту й загальну. Більша частина пор у вогнетривких виробках повідомляються між собою, виходять на поверхню – це пори відкриті. Є й закриті пори, але їх загальна кількість менше.

Виріб у цілому характеризується загальною пористістю.

Від пористості вогнетриву у великому ступені залежать його шлакостійкість і теплопровідність.

2.2.2 Газопроникність

Газопроникність визначають для оцінки текстури виробів, для визначення швидкості фільтрації газів через вогнетрив, шлакостійкості. Найбільша газопроникність відповідає розміру пор 20...100 мкм. Оскільки при службі вогнетривів їх поверхня в багатьох випадках глазурується в результаті впливу шлаків, те первісний показник проникності вже не відповідає фактичному значенню. Проте, відомості про газопроникність містять кошовну інформацію про можливе насичення вогнетривів газами, парами металів і тому газопроникність нормується для деяких виробів (наприклад, при кладці доменних печей).

2.3 Температура деформації під навантаженням

Вогнетрив під час роботи зазнає високі статистичні і динамічні навантаження. Цегла в кладці (стіні) плавильного або нагрівального агрегату випробовує різні види навантаження:

- розтягання (у склепінні);
- стиск – нижчі шари від верхніх і т.д.

Ці навантаження вогнетрив випробовує як при кімнатних температурах, так і при робочих температурах, що досягають 1000...1500 °С и вище.

Вогнетрив повинен протистояти одночасному впливу високих температур і стискаючого навантаження.

Показник, що характеризує той або інший вогнетрив – температура деформації під навантаженням визначається хіміко-мінералогічною сполукою вогнетривкового матеріалу. Цей показник визначається на стандартних зразках Ø36 мм і h=50 мм. Зразок завантажується в нагрівальну піч (криптолову), на нього створюють навантаження 2 кг/см², нагрівають із встановленою швидкістю до температури, відповідної до початку розм'якшення.

Деформація під навантаженням при високих температурах – один з найважливіших показників, що визначають можливість застосування того або іншого вогнетриву в конкретних умовах експлуатації. Деформація під навантаженням при високих температурах пояснюється утворенням у вогнетриві легкоплавких евтектик у невеликих об'ємах, що послабляють зв'язок між зернами, що сприяють зниженню механічної міцності й наступної деформації вогнетриву.

2.4 Теплопровідність і електропровідність вогнетривких матеріалів

Це здатність вогнетривкового матеріалу проводити тепло. Теплопровідність характеризується коефіцієнтом теплопровідності, що виражають кількість тепла (кДж), яке проходить через стінку товщиною 1 м, площею 1м² за 1год при різниці температур 1 °С.

Теплопровідність залежить від хіміко-мінералогічної сполуки, структури й температурних умов. На теплопровідність також впливає розмір і характер пор. З підвищенням пористості теплопровідність знижується.

Більшість вогнетривів – погані провідники тепла. Теплопровідність шамотних і динасових виробів в 50...100 раз нижче теплопровідності металів.

При кімнатній температурі більшість вогнетривів не електропровідні. При високих температурах діелектричні властивості погіршуються й вище 1200 °С вони вже є провідниками.

2.5 Термостійкість і термічна стійкість

Це здатність вогнетриву зберігати первісну форму при різких коливаннях температури.

Приблизно 30 % вогнетривів руйнуються внаслідок недостатньої термостійкості. Руйнування виробів відбувається у зв'язку з виникненням внутрішніх напружень. При нагріванні більшість вогнетривів розширюються. Сусідні цегли в кладці заважають йому розширюватися – виникають внутрішні напруження.

Найбільший лінійний коефіцієнт термічної напруги в основних вогнетривів: MgO – 13,8...15,0, Al₂O₃ – 8,5, SiO₂ – 1·10⁻⁶.

2.5.1 Методика визначення термостійкості

Стандартну цеглу (230x113x65) висушують у печі при температурі 1300 °С. Завантажують 5 цегл, витримка до прогріву наскрізь і ще 10 хв. Нагріта цеглу виймають із печі й торець занурюють на 50 мм у бак із проточною водою на 5 хв і прохолоджують на повітрі. Нагрівання й охолодження повторюють до втрати 20% маси зразка. Кожне нагрівання з охолодженням становить термозміну. Іноді охолодження роблять на повітрі. Відповідно, розрізняють повітряні й водяні термозміни. Після кожної термозміни зразок оглядають і відзначають початок появи тріщин, їх збільшення й втрату ваги.

Термічна стійкість (число термозмін): магнезит – 1...2; хромомagneзит – 2...3; хромомagneзит термостійкий – до 30; шамот – 5...12; дінас – 1...2.

2.6 Шлакостійкість (хімічна стійкість)

Це здатність вогнетривкого матеріалу протистояти руйнуючій дії шлаків, металу й газів (при температурі процесу).

Вогнетриви в основному руйнуються в результаті хімічних реакцій – корозії. Корозія полягає в розчиненні вогнетривкої футерівки. Контактуючий з вогнетривкою футерівкою шлаки вступають в хімічну взаємодію з утворенням у місці контакту легкоплавких хімічних сполук з низькою температурою плавлення. Контактний шар змивається або стікає, що сприяє вимиванню з поверхні футерівки зерен вогнетриву, що не встигнули розчинитися в шлаках. Відбувається механічне вимивання зерен – ерозія.

У контактному шарі вогнетрив-шлаки відбувається міграція компонентів шлаків у вогнетрив капілярним або дифузійним способами. Шлаки, що проникають у вогнетрив, збільшують зміст рідкої фази й також вступають в хімічну реакцію з вогнетривом.

На шлакостійкість футерівки плавильного агрегату впливає хімічна природа взаємодіючих компонентів. Футерівка основна добре протистоїть дії основних шлаків.

Також важливий температурний режим процесу: з підвищенням температури знижується в'язкість шлаків і зростає швидкість дифузійних процесів.

Пористість також впливає на шлакостійкість: чому вона нижче, тем вище стійкість вогнетриву.

На стійкість того або іншого вогнетриву істотний вплив виявляє металева рідка фаза.

На границі фаз, що мають різні властивості, виникають різні коефіцієнти теплового розширення. Внаслідок цього виникають термічні напруги, які за певних умов можуть викликати розриви в контактному шарі вогнетриву і його руйнування шляхом сколювання або відшелушення.

Механічний вплив також впливає на стійкість вогнетриву: удари твердої шихти, розтираючий вплив твердого й рідкого металу.

Ще один фактор – хімічна взаємодія складових металевої ванни: кремній може взаємодіяти зі складовими частинами футерівки (FeO).

Контрольні питання

1. Що таке вогнетривкість?
2. Поясніть, що таке макроструктура (текстура) вогнетривких виробів?
3. Надайте пояснення поняттю «пористість».
4. Що таке газопроникність?
5. Поясніть, що таке температура деформації під навантаженням?
6. Охарактеризуйте теплопровідність і електропровідність вогнетривких матеріалів.
7. Що таке термостійкість і термічна стійкість вогнетривів?
8. Наведіть методику визначення термостійкості.
9. Поясніть, що таке шлакостійкість (хімічна стійкість)?

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ВОГНЕТРИВІВ

3.1 Принципова схема вогнетривкого виробництва

Нормальний технологічний процес забезпечується наявністю на складі необхідної кількості сировинних матеріалів. Вихідні сировинні матеріали проходять попередню підготовку:

- випал природної сировини, або сушіння;
- відмивання від домішок.

Ці процеси проводяться відповідно до встановлених оптимальних режимів, що забезпечує високу якість готових виробів.

Сировина зі складу надходить у вигляді шматків різної форми й розмірів. Залежно від величини шматків матеріалу умовно розділяють за ступенем крупності:

- великий > 500 мм;
- середній – 500...100 мм;
- дрібний < 100 мм.

3.1.1 Дроблення й здрібнювання сировини

Здрібнювання великих і середніх шматків називається дробленням і здійснюється в дробарках. Здрібнювання дрібних шматків називається помелом й здійснюється в млинах.

Сутність процесу здрібнювання – розрив поверхневого шару матеріалу й роз'єднання внутрішніх часток речовини, зв'язаних між собою силами зчеплення – іонними силами.

Спочатку вихідний матеріал піддають грубому дробленню (частіше цей процес здійснюють на рудниках, що більш економічно):

- грубе – 300 мм → 50...75 мм;
- середнє – 50...75 мм → 3...5 мм;
- мливо – 5...10 мм → менш 0,1 мм.

Грубе й середнє дроблення вихідного матеріалу роблять у щоккових або конусних дробарках методом роздавлення. Середнє дроблення також можуть здійснювати на конусних дробарках валкових дробарках, бігунах. Помел роблять у кульових, відцентрових, струминних млинах.

3.1.2 Розсів порошоків

Мета розсіву у виробництві вогнетривів – поділ продукту помелу на кілька фракцій.

Розсів порошоків проводиться на механічних ситах - грохотах або повітряних сепараторах. Основний робочий елемент грохоту – сито – тонкий аркуш із отворами певного діаметра або сітка. Матеріал, що підлягає розсіву, міститься на поверхню сита. Поверхня сита рухлива. Частки матеріалу розміром менше отвору проходять через них, крупніше – залишаються на ситі.

Розібрані на фракції вогнетривкі матеріали пневмотранспортом або іншим способом подаються в бункери.

Живильні бункери забезпечують безперебійну й рівномірну роботу всіх агрегатів, зв'язаних у єдиний технологічний ланцюжок. Це запас готових порошоків на 1...3 зміни роботи.

Також бункера можуть виконувати деякі технологічні процеси – охолодження, сушіння і т.д.

За формою бункера можуть бути циліндричні або прямокутні.

З бункерів вогнетривкий матеріал різних фракцій через дозатори подається в змішувачі. Дозування матеріалів здійснюють або по масі, або за об'ємом. Для цього застосовуються гвинтові або барабанні дозатори. У системах дозування часто використовуються автоматичні ваги.

Рідкі добавки – вода й сполучні в змішувачах дозуються за об'ємом .

3.1.3 Змішування

Суміш сухих порошоків називається шихтою. Зволожена шихта, підготовлена до пресування – маса.

Кінцева мета змішування – рівномірне перемішування складових частин. Чим однорідна вихідна маса для пресування, тим якісніший й сам виріб.

Найпоширеніші двохвальні лопатеві змішувачі. Змішування може вестися сухим або мокрим способом. Завантаження вихідних матеріалів звичайно роблять у верхній частині змішувача, видача готової маси – у нижній частині.

3.1.4 Пресування вогнетривких виробів

Пресування – це одержання із пластичної або порошкоподібної маси виробів необхідної форми й можливо більшої щільності.

Основні способи пресування:

- напівсухий – зміст вологи до 10 %;

- пластичне пресування – зміст вологи 10...20 % (тільки для шамотних виробів).

Сутність напівсухого методу – у прес-форму засипають певну кількість зволоженої порошкоподібної маси: суміш різних за формою й величиною твердих часток, що перебувають один з одним у слабкому контакті під дією власної маси, сил, що її клеять, води й сполучних добавок.

Вібраційне формовання. Вібрацію застосовують на стадії попереднього ущільнення при ізостатичному й гарячому пресуванні, а також у якості самостійного методу формовання виробів. Вібраційний вплив на порошки (маси) значно послабляє внутрішню тертя в них і створює сприятливі умови для рівномірного й щільного укладання часток при невисоких тисках. Збудником коливань у вібраційних машинах є звичайно вібратори, стиснене повітря або рідина.

Шлікерне лиття. Являє собою метод формовання виробів з шлікерів. Шлікерами називають висококонцентровані суспензії порошкоподібних матеріалів у рідині.

Сутність формовання методом шлікерного лиття полягає в наступному: шлікер заливають у пористу гіпсову форму. Вода зі шлікера під дією капілярних сил проникає в пори форми, а тверда фаза відкладається й упаковується на стінках (відбувається набір тіла заготовки). Після набору маси до необхідної товщини надлишок шлікеру видаляють, заготовку попередньо підсушують, потім витягають із рознімної форми, сушать і обпалюють.

Метод шлікерного лиття застосовують для одержання тонкостінних виробів або виробів більших розмірів і складної форми.

3.1.5 Сушіння вогнетривких матеріалів

Сушіння це процес видалення вологи із твердих пористих матеріалів шляхом випару при температурі, нижче крапки кипіння. Перетворення води в пару – процес ендотермічний, тому для сушіння потрібен підведення теплової енергії (на 1 кг води – 2511,6 Дж)).

Це обов'язкова операція технологічного ланцюжка для виробів отриманих пластичним формованням. У процесі сушіння вологість зменшується, а механічна міцність виробів збільшується внаслідок збільшення зчеплення між частками.

Рекомендовані параметри сушіння деяких виробів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані параметри сушіння вогнетривів

Виріб	Температура сушильного агента, °С		Відносна вологість сушильного агента на виході, %
	на вході	на виході	
Шамотні пластичного формовання			
нормальних розмірів	120...140	35...40	75...90
фасонні	100...120	30...35	80...95
Динасові фасонні	150...200	40...50	будь-яка, але менше 90
Периклазові фасонні (периклазові, хромопериклазові, доломітові)	80...120	40...50	-

3.1.6. Випал вогнетривких виробів

Завершальна стадія виробництва вогнетривких виробів. При випалі відбуваються складні фізико-хімічні процеси (збільшується щільність і міцність виробів, утворюються нові хімічні сполуки, зміни об'єму й поява внутрішніх напружень), виробу здобувають нові властивості.

Випалом вогнетривких виробів управляють регулюючи температуру, режим (максимальна температура випалу, швидкість підйому температури й охолодження), час різних стадій, характер газового середовища.

Випал вогнетривів звичайно відбувається при температурі 1300...1850 °С.

Для випалу кускових і сипучих матеріалів застосовують обертові печі, а для сирих виробів тунельні або періодичні печі.

3.1.7 Електроплавка вогнетривів

У технології вогнетривів особливе місце займають плавлені матеріали. У промисловості застосовують дві принципові схеми їх виробництва:

- вогнетривкі вироби, одержувані литтям з розплаву;
- вироби, отримані пресуванням із зернистого продукту, приготовленого шляхом дроблення й помелу розплавлених матеріалів.

Відмінною рисою плавлених вогнетривів є їхня висока щільність, закрита пористість (4...6 %) і корозійна стійкість. Для плавки вогнетривів застосовують в основному дугові печі.

3.2 Технологія виробництва динасових вогнетривів

Динасом називають вогнетривкий матеріал зі змістом 93 % SiO_2 . Залежно від призначення й властивостей розрізняють наступні види:

- 1) Коксовий (для кладки коксових батарей).
- 2) Металургійний (у чорній металургії - для електросталеплавильних печей, мартенівських печей і інших; у кольоровій металургії – відбивні й рафінувальні печі).
- 3) Динас для скловарильних печей.

Сировиною для виготовлення динасу є кварцит зі змістом більше або рівно 95 % SiO_2 . Україна цією сировиною забезпечена повністю. Кварцити являють собою тверді, щільні гірські породи. Шкідливими домішками є лужні оксиди менше 0,25 %, CaO менше 1 %, Fe_2O_3 менше 1 %.

Особливостями технології динасових вогнетривів є те, що SiO_2 може існувати в 8 модифікаціях.

Для прискорення переродження кварцу в тридиміт і кристаболіт, а також з метою зв'язування зерен у монолітну масу в суміш уводять мінералізатори – вапно, прокатну окалину, зварювальний шлаки в кількості від 0,5 до 1,5 %.

Про мінеральну сполуку готових виробів побічно судять по щільності цегли (у межах 2,38...2,42 г/см³).

Випал найбільш відповідальна стадія у виробництві динасових вогнетривів. При випалі відбувається утворення розплаву, розчинення в ньому кварцу, випадання з пересиченого розплаву тридиміту й кристаболіту, а також розширення сирцю (сирий виріб). Процес випалу характеризується вповільненнями в підйомі й зниженні температури:

1. 500...600 °С, перехід β - кварцу в α - кварц;
2. 1100...1430 °С перехід α - кварцу в α - тридиміт;
3. 300...150 °С перехід α - тридиміту й α кристаболіт в β і γ форми.

Режим випалу:

1. Підігрів до 700 °С у плинні 22 годин;
2. Нагрівання до температури 700...1000 °С у плинні 24 годин;
3. Випал при температурі 1000...1400 °С у плинні 31 години;
4. Охолодження при температурі 1400...300 °С у плинні 27 годин;
5. Охолодження при температурі 300...50 °С.

Максимальна тривалість часу при випалі становить до 150 годин.

Властивості динасових виробів. Вогнетривкість становить 1710...1730 °С; відкрита пористість: нормальні вироби 19...21 %, коксовий 18...24 %; міцність на стискування 20-30 МПа. Стійкий до впливу кислих шлаків і кольорових металів. Недоліком динасових вогнетривів є низька термостійкість.

Динасові вогнетриви застосовують:

1. Для кладки коксових батарей;
2. Для кладки електросталеплавильних і мартенівських печей працюючі з кислим процесом;
3. Повітрянагрівачі доменних печей;
4. Для відбивних і рафінувальних печей кольорової металургії.

3.3 Технологія виробництва алюмосилікатних вогнетривів

До цього типу відносять більшу групу вогнетривких виробів, основними компонентами яких є SiO_2 і Al_2O_3 у різних співвідношеннях:

- 1) Напівкислі <30% Al_2O_3 ;
- 2) Шамотні 30-45% Al_2O_3 ;
- 3) Високоглиноземисті >45% Al_2O_3 .

3.3.1 Технологія виробництва шамотних вогнетривів

Для виробництва напівкислих і шамотних вогнетривів вихідною сировиною є вогнетривкі глини й каоліни – продукти розкладання й вивітрювання граніту, гнейсу й порфіру. Корисними домішками в помірних кількостях можуть вважатися польові шпати й слюди, що знижують температури спікання (глин), глиноземисті мінерали, що підвищують вогнетривкість. Шкідливими домішками в складі глини є гідрослюди, кварц, оксиди й сульфід заліза, карбонати магнію й кальцію. Якщо вміст домішок у сировині більше 5...7 % то необхідно його збагачення. Для цього застосовують мокрий або сухий, комбінований, електромагнітний і інші способи.

Найважливішими фізико-керамічними властивостями глини і каолінів є:

- Пластичність;
- Сполучна здатність;
- Повітряна й вогнева усадка;
- Співвідношення вогнетривкості і вогнетривкості.

Пластичність – це здатність глини у вологому стані змінювати свою форму під впливом зовнішніх впливів без розриву сплосності.

За пластичністю глини ділять на:

- Високопластичні (водозатворення 25...30 %);
- Середньої пластичності (водозатворення 20...25%);
- Малопластичні (водозатворення 15...20%).

Під сполучною здатністю розуміють здатність глин зв'язувати непластичні матеріали в загальну досить міцну однорідну масу, з якій надалі можуть формуватися вироби.

Співвідношення це температура при якій глина перетворюється в камінь:

- Високоспікливі 1350...1440 °С;
- Низькоспікливі (легкоспікливі) 1150...1250 °С.

Вогнетривкість глин:

- Вогнетривкі – більше 1580 °С;
- Тугоплавкі – 1350...1580 °С;
- Легкоплавкі – менше 1350 °С.

Шамот готують шляхом випалу глини.

У напівсухих масах співвідношення шамоту й глини може досягати широких меж. Кращі результати виходять при виготовленні виробів з багатошамотних шихт, коли вміст шамоту досягає 70...90 %. При напівсухому пресуванні маса воложитья до 5...8 %. Час витримки під тиском становить 3...4 с. Маса утримуючі 50 % глини-зв'язування, пресують під тиском 25 МПа. Багатошамотні маси пресують при 80...100 МПа.

Найбільше часто виникаючий брак – тріщини й порушення розмірів і форм сирцю. Причини – недотримання технології, зношування прес-форм, несправність преса.

Співвідношення глини й шамоту в масах для пластичного формовання визначається формувальними властивостями глини й характером виробів. Звичайний зміст шамоту становить 45...65 %. Масу для преса наготовлюють у дві послідовно розташованих двохвальних змішувачах. У першому з них змішують глину й шамот, а в другому воложать суміш.

Грубе формовання здійснюють на стрічкових пресах. Потім допресовка й вакуумування.

Спосіб пластичного формовання застосовують для одержання сифонних виробів, а також виробів особливо складної форми. Вироби пластичного формовання сушать на поличкових вагонетках у спеціальних сушилах.

Недоліки способу:

- Більша усадка виробів при сушінні й випалі (8...9 %);
- Тривале сушіння сирцю, його низька міцність;
- Менша термічна стійкість готового виробу.

Шамотні, напівкислі й каолінові вироби одержують також методом шлікерного лиття, термопластичного й гідростатичного пресувань.

Сушіння й випал шамотних виробів. Сформовані вироби містять залежно від способу формовання від 6 до 21 % вологи. Для видалення вологи їх сушать при температурах 120...200 °С до 1...2 % залишкової вологості в тунельних сушилах. Залежно від розміру й вологості час сушіння становить 12...100 годин.

Випал проводять у тунельних печах, в окисній атмосфері. Якість виробу буде тим краще, чим більше у виробі утворюється кристалічної фази (муліту) і чим менше склоподібної (SiO_2).

Властивості шамотних виробів: вогнетривкість – 1610...1750 °С; загальна пористість – 18...28 %;

Вироби характеризуються низькою температурою деформації під навантаженням, мають низьку шлакостійкість, а також мають задовільну термостійкість.

3.3.2 Технологія виробництва високоглиноземистих вогнетривів

Високоглиноземистими називають вироби, що містять більше 45 % Al_2O_3 . Залежно від змісту глинозему вони підрозділяються на:

- 1) Мулітокремнеземісті (силіманітові) 45...62 % Al_2O_3 ;
- 2) Мулітові 62...72 % Al_2O_3 ;
- 3) Мулітокорундові 72...90 % Al_2O_3 ;
- 4) Корундові більше 90 % Al_2O_3 .

Сировиною для виробництва високоглиноземистих виробів є мінерали силіманітової групи:

- 1) Кіаніт (дістен) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (62,9 % Al_2O_3 і 37,1 % SiO_2);
- 2) Андалузит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; (62,9 % Al_2O_3 і 37,1 % SiO_2);
- 3) Силіманіт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; (62,9 % Al_2O_3 і 37,1 % SiO_2);
- 4) Дюмортьєрит (зустрічається рідко) $8\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Мінерали силіманітової групи зустрічаються в основному у кварцитах одночасно з іншими мінеральними домішками (у тому числі лугами). Тому ці породи попередньо збагачують. У добре збагаченому концентраті повинно знаходитися близько 60 % Al_2O_3 , а сума домішок ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{N}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 2...3$ %).

Вироби на основі мінералів силіманітової групи. Технологія цієї групи виробів ґрунтується на зв'язування дрібноздрібненого збагаченого концентрату вогнетривкою глиною. Для зв'язування придатні тільки найбільш чисті й багаті глиноземом глини.

Виробу на основі гідратів глинозему. Гідрати глинозему – гидроаргіліт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), беміт ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), діаспор - відповідають загальній формулі $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

У природі ці мінерали входять до складу бокситу й діаспорової породи. Боксити залягають разом з їх домішками, що засмічують: оксиди й гідроксиди заліза, кварц, каолінит, кальцит і інші. Вміст в них Fe_2O_3 становить не менш 2...3 %, а частіше 5 %, що рідко дозволяє використовувати їх для виробництва високоглиноземистих вогнетривів.

Особливості технології високоглиноземистих вогнетривів

1. ВГВ роблять за технологією багатошамотних вогнетривів з додаванням 10...20 % високоякісної глини-зв'язування;
2. У якості високоглиноземистого наповнювача використовують усі вищезгадані види сировини, деякі з них попередньо обпалюють в обертових печах;
3. Часто застосовують спільний помел глини й високоглиноземистого шамоту для поліпшення якості виробів, що дозволяє уникнути росту виробів і розпушення структури;
4. Найчастіше вироби формують напівсухим пресуванням ($W=5...7$ %, $P=100...120$ МПа);
5. Для поліпшення спікливості маси й зниження температури спікання вводять до 1% добавок – TiO_2 , MgO ;
6. Підвищення температури випалу до 1650 °С сприяє повноті кристалізації муліту.

Вихідну шихту завантажують у піч у вигляді порошку або брикетів, розраховану на певну сполуку вогнетриву. Якщо в глиноземистій сировині є домішки оксидів заліза, то вводять невелику кількість коксу.

Плавку ведуть при $2000...2200$ °С, випуск сплаву роблять через 1...1,5 години нахилом печі через льотку в одноразові піщані або піщано-глинисті форми, або у форми із пластин графіту (багаторазові).

Технологія корундових вогнетривів. Вихідною сировиною є технічний глинозем (штучний) і електрокорунд.

Для виробництва корундових вогнетривів використовуються методи напівсухого пресування й виливки з водних шлікерів або гарячого лиття зі шлікерів на органічній основі.

Властивості високоглиноземистих виробів: вогнетривкість $1750...1950$ °С; температура початку деформації під навантаженням $1450...1580$ °С; межа міцності на стиск $30...100$ МПа; пористість відкрита 14...30 %.

Високоглиноземисті вироби стійкі до розплавлених шлаків і застосовуються для кладки лещаді й повітрянагрівачів доменних печей, міксерів, ковшів.

Властивості корундових вогнетривів: вогнетривкість 1900...2000 °С; температура початку деформації під навантаженням 1900...1920 °С; межа міцності на стиск від 120 до 3000 МПа.

Відрізняються високою стійкістю до розплавлених металів, що дозволяє використовувати їх для виготовлення тиглів для плавки чистих металів.

Застосування: фурми для продувки металу, кладка камер вакуумування установок позапічного вакуумування, подини нагрівальних печей, тиглі для плавки кольорових металів.

3.4 Технологія теплоізоляційних матеріалів (вогнетривких легковагів)

Теплоізоляційні матеріали розділяють на:

1. по походженню:

Природні матеріали:

Діатоміт – аморфний кремнезем пухкої структури (зі шкарлупок кістяків і водоростей);

Інфузорна земля (80...85 % SiO₂) інфузоріт – тваринного походження, кістяки;

Трепіл – кремнеземиста гірська порода;

Азбест – водний силікат магнію, застосовується у вигляді засипань, картону, вати й шнура.

Штучні матеріали: каолінові, напівкислі, шамотні, динасові, корундові, високоглиноземісті.

2. За робочою температурою експлуатації легковаги розділяють на три групи:

Низькотемпературні – до 900 °С;

Середньотемпературні 900...1200 °С;

Високотемпературні 1200...1550 °С.

Виробництво шамотних, напівкислих і каолінових вогнетривів.

Існують наступні способи виробництва легковагів:

1. З використанням вигоряючих добавок;
2. З застосуванням перліту;
3. З використанням піни;
4. Хімічний.

Спосіб № 1. У якості вигоряючих добавок застосовують тирсу (бажано перегнилі), лігнін (відхід гідролізного виробництва), коксік, антрацит і їх комбінації.

Спосіб № 2. Перліт – це гірська порода, сировиною для якої є кислі вулканічні водомісткі гірські породи.

Хімічний склад перліту: $\text{SiO}_2=70\dots75 \%$; $\text{Al}_2\text{O}_3=11\dots15 \%$; $(\text{CaO}+\text{MgO})=0,8\dots2,5 \%$; $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}=2,5\dots6,5 \%$; оксиди заліза $0,4\dots4 \%$.

При нагріванні до $760\dots1260 \text{ }^\circ\text{C}$ перліт спучується, збільшується в об'ємі в $3\dots15$ раз.

Спосіб № 3. У масу при змішанні вводять піну. Сполука піни: 17 % канифольного мила; 12 % клею; 71 % води.

Технологія полягає в:

1. готуванні шлікера з шамоту й глини. Вологість шлікера 51 %. Плюс додають ошурки;
2. готування маси шляхом змішання шлікера з піною. Вологість $35\dots45 \%$;
3. розливання в металеві форми;
4. Сушіння й випал (температура $1250\dots1350 \text{ }^\circ\text{C}$).

3.5 Технологія виробництва магнезіальних вогнетривів

3.5.1 Особливості виробництва магнезитових (періклазових) вогнетривів

Магнезитовими (періклазовими) називають вогнетриви, що містять не менш 85 % оксиду магнію. Вогнетривкою основою магнезитових матеріалів служить мінерал періклаз MgO . Головні домішки (CaO , SiO_2 , Fe_2O_3), що втримуються в сировину, зв'язані в мінерали монтічелліт, форстерит і магнезіоферит.

Магнезитові вогнетриви ділять на штучні вироби й порошки. Головне призначення штучних – це вироби для кладки різних печей, футерівка яких контактує з розплавленими основними шлаками, склянки для розливання стали.

Магнезитові порошки служать матеріалом для обладнання подин металургійних печей, торкретування, заправлення електропечей, і сировиною для виробництва магнезійних виробів і вогнетривких бетонів.

Сировиною для виробництва магнезитових вогнетривів служить гірська порода магнезит (MgCO_3), а також морська вода, з якої шляхом хімічної й термічної переробки одержують оксид магнію у вигляді чистого порошку ($95,0\dots98,5 \%$ MgO).

Чистий мінерал магнезит містить 47,6 % MgO й 52,4 % CO_2 .

Сирий магнезит піддають випалу для видалення O_2 у результаті розкладання карбонату й одержання «намертво» обпаленого періклазу. При наявності

у порошку вільної СаО до пресування необхідно провести її гідратацію. Цей процес здійснюють у бункерах, куди надходить попередньо зволожений порошок. При вилежуванні температура порошку не повинна перевищувати 40...45 °С. Після вилежування протягом 2...3 доби порошки перемішують і воложать.

Магnezитові вогнетриви звичайно пресують на гідравлічних пресах напі-всухим способом. При дуже високих тисках (800 кг/см² і вище) відбувається деяке здрібнювання крупних зерен маси, що забезпечує одержання більш щільного осаду напівфабрикату. Процес пресування відбувається у дві стадії: максимальний тиск на першій – 200 кг/см², на другій – 900 кг/см². Середня продуктивність цих пресів 6000, а максимальна – 8000 виробів за зміну.

Сушіння магnezитових виробів ускладнюється триваючими процесами гідратації окиси магнію. Нормальні вироби сушать на грубних вагонетках у тунельних сушилах. При температурі повітря 110...120 °С час сушіння 12...15 год при кінцевій вологості 0,6...1,0 %.

Магnezитові вироби обпалюють у тунельних печах. Випал роблять у слабоокислювальному середовищі, оскільки окисне залізо краще інтенсифікує процес спікання магnezитових виробів, чим закисне. Більша кількість браку виникає в процесі випалу при нагріванні, а не при охолодженні. Тунельні печі для випалу магnezитових виробів мають довжину 150 м, ширину грубого каналу 3 м, висоту садки 1,0 м, склепіння печей підвісне; температура випалу 1600...1650 °С. При нагріванні більш 1200 °С вироби спікаються; при 1450...1500 °С рідка фаза усуває або зменшує напруги у виробах; наприкінці випалу при 1500...1600 °С міцність виробів внаслідок збільшення рідкої фази знову сильно знижується; вироби можуть деформуватися з утвором тріщин, хоча при випалі усадка магnezитових виробів не перевищує 1...2 %. У міру підвищення температури поряд зі зменшенням пористості відбувається збільшення розміру пор. При випалі при 1600...1750 °С пористість зменшується незначно, а розмір пор збільшується.

Обпалені вироби можна охолоджувати швидко, поки у виробах перебуває рідка фаза. Нижче температури кристалізації й затвердіння рідкої фази (1300 °С) вироби стають більш тендітними.

У виробу згідно зі стандартом повинне вміщуватися 89...91 % MgO, менш 4% СаО. Температура початку деформації під навантаженням у магnezитових виробів набагато нижче вогнетривкості (1500...1550 °С). Ця температура залежить від тиску пресування, мінералогічної сполуки й кількості та властивостей зв'язування. Вироби з монтічеллітовим зв'язуванням мають температуру початку деформації під тиском < 1500 °С, а з форстеритової - > 1600 °С. Термостійкість магnezитових виробів становить 4...9 повітряних тепломін або 1...2 водних. Це обумовлене більшим термічним коефіцієнтом лінійного розширення

й високим модулем пружності. Шлакостійкість магнезитових виробів стосовно шлаків, багатих окисом заліза й вапном, винятково висока.

Звичайні магнезитові вироби застосовують переважно в сталеплавильних печах, що працюють за основному процесі. У мартенівських і електросталеплавильних печах з магнезитових вогнетривів викладають подину й стіни печей. Магнезитові сталерозливні склянки виготовляють з тієї ж маси.

3.5.2 Долітові вогнетривкі матеріали й вироби

Долітовий вогнетривкий матеріал – це окис кальцію CaO , періклад MgO і домішки SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , пов'язані із CaO .

Використовується цей вогнетривкий матеріал у вигляді:

- порошку (сирого або обпаленого);
- виробів (обпалені, безвипалювальні, смолодолітові).

Доліт – гірська кристалічна порода – подвійна вуглекисла сіль Ca і Mg – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (30 % CaO , 30 % MgO , 40 % CO_2).

Сірий (не обпалений) металургійний доліт фракції 5...30 мм використовують для підсипання порогів завалочних вікон мартенівських печей. Обпалений – фракції 4...20 мм і $< 0,3$ мм одержують в обертових випалювальних печах при 1500...1700 °С при витраті 300 кг/т умовного палива.

Використання обпаленого доліту:

- виготовлення долітових виробів;
- у якості заправних матеріалів і трамбувальних мас.

У звичайних долітових виробках частина CaO може бути у вільному стані, тому строк зберігання обмежують 2...10 цілодобово. Для великого зберігання й підвищення експлуатаційних характеристик виготовляють безвипалювальні смолодолітові вогнетривкі вироби.

Вихідна сировина:

- високовипалювальний доліт – фракції 2...8 і 8...15 мм;
- спечений магнезит – фракції $< 0,088$ мм;
- кам'яновугільна смола.

Маса для пресування складається з 33 % доліту, 30...33 % тонкомолотого магнезиту й 4...5 (понад 100) смоли.

Потім здійснюють підігрів порошоків до 60...70 °С, смоли – до 120 °С и змішування в лопатовому змішувачі з паровим обігрівом. На преса маса надходить нагріта до 70 °С. Після пресування виходять досить міцні вироби, після остигання їх міцність збільшується.

Строк остигання виробів у закритому приміщенні – до 12 діб. Випал проводиться на місці споживання.

3.5.3 Форстеритові вогнетривкі вироби

По хімічному складу магнезіальносилікатні вогнетриви складаються з MgO – 50...65 %, SiO_2 – 25...35 %.

Вихідною сировиною служать магнезіальносилікатні породи на основі MgO , SiO_2 і домішок – NiO , CaO , MnO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 . Найбільш шкідливими домішками є CaO і Al_2O_3 , присутність яких сприяє утворенню легкоплавких сполук з MgO і SiO_2 .

На Україні промислових родовищ магнезіальносилікатних руд немає.

При виробництві виробів вихідна сировина попередня обпалюють і дроблять. Особливістю процесу є те, що шихта для виготовлення виробів дуже дрібної фракції (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 – Фракційна сполука шихти

Фракція	0,5...2,0	0,5...0,1	< 0,1
Вміст, %	50	10...15	35...40

Вологість маси перед пресуванням 3...4 %. Пресування й сушіння здійснюється також як і для магнезитових виробів. Випал проводиться в тунельних печах.

Форстеритові вогнетривкі вироби використовують у якості насадочних виробів у верхніх рядах повітряних регенераторів мартенівських печей з магнезито-хромітовими склепіннями. Це дозволяє збільшити температуру нагрівання насадок до 1350...1400 °С. Також вони використовуються для футерівки мідеплавильних печей, для футерівки гарячої зони цементно-випалювальних печей.

У періклазофорстеритних вогнетривах поряд з основним мінералом форстеритом, крім магнезіофериту знаходиться періклаз. Для виробництва цих виробів сировиною можуть служити магнезити з високим вмістом кремнезему. Періклазофорстеритові вогнетриви виготовляють із шихти, що складається з 30 % сирого дуніта й 70 % магнезиту. Режим виготовлення такий же як і для магнезитових виробів. Ці вироби використовують у склепіннях електросталеплавильних печей, у повітряних регенераторах мартенівських печей.

Магнезіальношпінелідні або шпінельні вогнетриви складаються в основному з шпінелі $MgO \cdot Al_2O_3$ і містять домішки Fe_2O_3 і Cr_2O_3 . Так як шпінель в природі зустрічається рідко, то для виготовлення шпінельних вогнетривів беруть тонко розмолоті глинозем и каустичний магнезит в співвідношенні 70:30, що забезпечує утворення шпінелі. В шихту додають 2% хроміту, 3-4 % вологи, 0,5 % сульфітно-спиртової барди. З цієї маси готують брикети, які обпалюють при температурі до 1650 °С. Обпалені брикети тонко здрібнюють, змішують с

20% зв'язки (необпалена маса для брикетів с 10 % хроміту), зволожують розчином хлористого магнію та з цієї маси формують вироби. Сформовані вироби сушать і обпалюють при температурі до 1650 °С. Шпинельні вогнетриви характеризуються високою вогнетривкістю (1900 °С), задовільною хімічною стійкістю к основним шлакам и гарною термічною стійкістю.

3.5.4 Магnezитохромітові й хромомагnezитові вогнетриви

Хромомагnezитовими й магnezитохромітовими називають вогнетриви, які одержують з хроміту й спеченого магnezиту, основою яких служать періклаз (MgO) і хромисті руди. Промислових запасів для виробництва вогнетривів цього типу на Україні немає.

У магnezитохромітових вогнетривах – MgO > 60 % і Cr₂O₃ – 5...20 %, у хромомагnezитових – MgO-40...60 % і Cr₂O₃ – 15...30 (до 50) %. Такий підрозділ чисто умовний й іноді всі вироби із хроміту й магnezиту називають хромомагnezитовими.

Сировиною для виробництва служать природні хромітові руди, які містять Cr₂O₃ – 35...50 (до 62) % і оксиди Fe, Al, Mg, Ti, Ca, Si.

Виробництво хромомагnezитових виробів здійснюється за схемою й режиму аналогічному з виробництвом магnezитових вогнетривів.

Шихта полягає переважно із дрібних фракцій: 1,0...3,0 мм – 30...70 %; < 0,06 мм – 30 %. Вологість маси 3,0...3,5 %. Застосовується двостороннє пресування з підвищеним зусиллям – до 1500 кг/см². Випал виробів здійснюють у тунельних печах. Режим випалу від 1600...1650 до 1750 °С, з витримкою при цій температурі протягом 50 год.

Випускають також безвипалювальні хромомагnezитові вироби з добавками, що клеять: сульфітно-спиртова барда, глина, рідке скло. Питомий тиск пресування при цьому - до 1000 кг/см². Іноді шихту запресовують у залізні форми.

Магnezитохромітові вироби характеризуються високою термо- і шлакостійкістю й застосовують їх у вигляді більшої цегли у склепіннях плавильних печей.

Властивості й поведінка цих вогнетривів у металургійних печах аналогічно магnezитовим вогнетривам і вони з успіхом їх заміняють. У порівнянні з магnezитовими вони характеризуються кращими показниками за шлакостійкістю, термічною стійкістю й вартістю.

Заміна динасу у склепінні й інших елементах кладки мартенівських печей основними магnezитохромітовими вогнетривами привела до швидкого зростання виробництва сталі й дозволила суттєво інтенсифікувати процес сталеваріння.

Магнетитохромітові склепіння порівняно з динасовими допускають підвищення температури в плавильному просторі мартенівської печі приблизно на 100 °С, що полегшує виплавку сталей легованих марок. Одночасно магнетитохромітові склепіння сприяють збільшенню тривалості кампанії печей.

3.6 Вуглецеві вогнетриви

До даної групи відносять вогнетривкі й інші вироби, до складу яких у різному виді входить вуглець. По змісту вуглецю розрізняють вогнетриви:

- вугільні або вуглецеві – більш 85 %;
- графітовані – більш 98 %;
- вуглецевмісні – 5...70 %.

Сировиною для виробництва вуглецевих матеріалів служить термоантрацит, кокси, графіт.

Термоантрацит – продукт, одержуваний з антрациту шляхом термообробки його при 1250...1300 °С протягом 18...24 год. Випал відбувається за рахунок згоряння 15...20 % антрациту.

Кокси всіх видів є штучними вугільними матеріалами. Розрізняють нафтові, пекові й кам'яновугільні кокси.

Нафтові кокси – тверді вугільні продукти, які одержують з нафтових залишків при температурі 500...700 °С. При нормальному тиску цей процес називають піролізом, при підвищеному – крекінгом.

Пековий кокс одержують із кам'яновугільного пеку.

Кам'яновугільні кокси одержують шляхом коксування кам'яного вугілля або їх сумішей. Якість цих коксів сильно залежить від якості вугілля. Коксовий дріб'язок, який одержують при виробництві коксу, називається коксіком і використовується в якості засипки.

Графітові матеріали підрозділяють на дві групи: срібlistі графіти й аморфні графіти. До перших відносять доменний графіт, до других – натуральні графіти. Температура плавлення графітів – порядку 3800 °С, температура розм'якшення під навантаженням – 2000 °С.

Сполучними матеріалами у виробництві вуглецевих виробів служать кам'яновугільна смола й пік окремі зерна, що зв'язують, і надають виробам міцність.

Кам'яновугільна смола – рідина темно-коричневого або чорного кольору, щільністю 1,05...1,25, яку одержують при коксуванні вугілля.

Пік – тверде, блискучого чорного кольору речовина, яку одержують у вигляді залишку після відгону останніх фракцій кам'яновугільної смоли при 360 °С.

Схема виробництва вугільних виробів.

Попереднє прожарювання. При виробництві вугільних виробів відбувається прожарювання при високій температурі (1360...1400 °С) без доступу повітря всієї вуглецевої сировини, крім графіту. При цьому в матеріалах сировини відбуваються складні фізико-хімічні зміни, що приводять до збільшення їх щільності, механічної міцності й електропровідності й до зменшення вмісту летучих речовин.

Дроблення. Усі вуглецеві вироби виготовляють із сипучих матеріалів зі спеціально підібраною зерною сполукою. Величина найбільш великих зерен не перевищує 10 мм.

Розсів і дозування. Гарна якість виробів забезпечується зерною сполукою, що містить 40 % великої фракції й 60% дрібної. Графіт вводять у шихту для підвищення пластичності маси, збільшення електропровідності й теплопровідності виробів. Сполучні матеріали пластифікують масу. Кількість зв'язуючих в суміші становить 20 % для грубозернистих, 25 % - для тонкозернистих.

Змішування з обігрівом. Для змішування мас застосовують двохвальні змішувачі й змішувальні бігуни - обладнання для обігріву паром. Нагрівання маси для пресування повинно бути на 20...30 градусів вище температури розм'якшення зв'язуючих.

Пресування або трамбування. Вироби з різних вуглецевих мас виготовляють пресуванням на гідропресах і методом трамбування. Для цього застосовують гідравлічні преси: із глухою матрицею й прошивні.

Прошивні (мундштукові) преси застосовують для одержання великорозмірних вуглецевих виробів. Принцип дії – продавлювання маси через мундштук, при цьому маса в результаті поступового обтиснення здобуває форму поперечного перерізу. Температура маси повинна бути 90...100 °С, величина зусилля пресування – 200 кг/см².

При пресуванні в глухій прес-формі величина тиску залежить від розміру виробу, сполуки й в'язкості маси: грубозернисті маси пресують при 500...600 кг/см², тонкозернисті – при 1000...2000 кг/см².

Після пресування відбувається охолодження виробу до кімнатної температури.

Випал. При випалі кожна частка виробу, покрита плівкою сполучного матеріалу, зв'язується із сусідніми частками тонким шаром коксу. Коксовий каркас, що утворився, надає виробам механічну міцність. При температурі вище 350 °С відбувається розкладання сполучного й виділення основної маси летучих. При 450...500 °С внаслідок коксування починається зміцнення виробів. При температурах вище 600 °С зміна властивостей уповільнюється, відбувається перетворення напівкоксу в кокс і його термостаріння, зменшення усадки й

збільшення щільності й міцності виробу. Вуглецеві виробу обпалюють у різних печах – періодичних, тунельних і електричних. Температура випалу – до 1500 °С, час випалу – порядку 100 год. Гартовані вуглецеві вироби засипають антрацитом або коксіком.

Після випалу вугільні вироби або піддають графітуванню, або механічній обробці. Властивості вуглецевих виробів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Властивості вуглецевих виробів

Властивість	Значення
Зольність, %	2,5...7,0
Щільність, г/см ³	1,91...1,94
Термічний коефіцієнт термічного розширення при 0...700 °С	$3,7 \cdot 10^{-6}$
Термостійкість, водяні теплотміни	>25

Також слід зазначити важливу властивість вуглецевих виробів – це незмочуванність їх шлаками.

Застосування вуглецевих матеріалів

Для вуглецевої кладки лещаді й горна доменної печі використовують великі блоки масою до 700 кг і розміром до 3000 мм. Вуглецеві блоки через незмочуванність чавуном застосовують для футерівки випускних жолобів доменних печей і вагранок. Вуглецеві вироби застосовують для футерівки феросплавних печей. Також вони знаходять широке застосування в кольоровій металургії: в алюмінієвій промисловості застосовують вуглецеві блоки для футерівки подин електролізних ванн. Шви вуглецевої кладки зашпаровують вуглецевими масами й пастами. Такі матеріали також широко використовуються в хімічній промисловості.

Графітовані вироби. Основним видом даного типу продукції є електроди для електричних печей. Схема виробництва аналогічна розглянутої раніше з однією зміною – випал ведуть при температурі більш 2000 °С без доступу кисню.

Порівняльна характеристика вугільних і графітованих матеріалів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Характеристика вугільних і графітованих матеріалів

Властивості	Вугільні матеріали	Графітовані матеріали
Питома вага, кг/дм ³	1,5...1,7	1,6...1,8
Коефіцієнт теплопровідності, кДж/м·год·град	90...100	500...600
Питома теплоємність при 100 °С, кДж/кг·град	0,8...0,9	0,9...1,0
Вміст золи, %	1...5	не більш 0,2
Електричний опір, (Ом·мм ²)/м	45...50	10...15
Припустима щільність струму, А/см ²	7...9	13...15
Механічна оброблюваність	Погана	Гарна

З графітованих матеріалів виготовляють тиглі для плавки кольорових металів, нагрівальні елементи високотемпературних печей, щітки електродвигунів.

Вуглецевмісні вогнетриви

Ці вироби, виготовлені з вуглецю (кокс, графіт, кам'яновугільна смола, антрацит), шамоту, вогнетривкої глини й інших добавок (кварц, пісок). Вміст вуглецю в таких вогнетривах коливається від 5 до 70 %. Сполука шихти:

- вуглець – 5...70 %;
- шамот або кварц – 10...40 %;
- вогнетривка глина – 30...40 %.

Матеріали, що йдуть на виготовлення виробу, тонко подрібнюють (0,5...0,15 мм). Масу ретельно перемішують всуху, потім зволожують і перемішують ще раз. Далі зволожену масу витримують у сирому приміщенні 15...20 діб. Після чого її кілька раз пропускають через стрічковий прес і тільки після цього формують виріб – тиглі, реторти, пробки, ливарні склянки й т.п. Сформовані вироби сушать при температурі 30...50 °С протягом 8...20 днів. Випал ведуть у капсулах із засипанням коксу при температурі 900...1300 °С.

Вогнетривкі вироби такого типу мають гарну термічну стійкість, можуть працювати при температурі до 1700 °С і є досить стійкими до розплавлених металів.

Вуглецевмісні вироби застосовують у ливарній справі для плавки й розливання сталі, кольорових і благородних металів і сплавів. Випаленні смолодомітові цегли використовують для футерівки конвертерів.

3.7 Технологія цирконієвих вогнетривів

Цирконієві вогнетриви виготовляють на основі ZrO_2 або $ZrSiO_2$ мінералів, що зустрічаються в природі у вигляді, бадделіту та циркону. Промислові родовища досить рідкі й вартість цирконієвих виробів висока.

При виготовленні вогнетривів на основі ZrO_2 спочатку готують брикети з добавкою 4...5 % MgO або $MgCl_2$, які обпалюють при $1700\text{ }^\circ\text{C}$. Випаленні брикети подрібнюють до 0,5...2,0 мм і із цього порошку виготовляють різні вироби – тиглі, склянки, обмазки. У якості зв'язувача додають 10 % сирих брикетів, вироби пресують при тиску до 500 кг/см^2 , обпалюють при температурі $1700\text{ }^\circ\text{C}$.

При виготовленні вогнетривів із силікату цирконію основою є цирконовий концентрат. Його обпалюють при $1600\text{ }^\circ\text{C}$ і обробляють соляною кислотою для видалення домішок. Вироби готують із додаванням органічного клею. Після пресування обпалюють при $1550\text{ }^\circ\text{C}$.

Вогнетривкість цирконієвих матеріалів – $2000\text{ }^\circ\text{C}$, температура розм'якшення – вище $1700\text{ }^\circ\text{C}$, висока механічна міцність і хімічна стійкість стосовно розплавів. Застосовують для плавки й лиття металів і сплавів підвищеної чистоти, тому що не забруднюють ванну домішками.

3.8 Технологія карбідних і нітридних вогнетривів

Карбідні й нітридні вогнетриви готують із карбідів і нітридів деяких тугоплавких металів: ZrC -3800, PuC -4160, Mo_2C -2960, TaC -4150, W_2C -3130, ZrN -3255, HfN -3580, TiN -3220, TaN -3360. Такі вироби відносять до класу зверхвогнетривних матеріалів і мають обмежене застосування.

3.9 Технологія вогнетривких бетонів

Вогнетривкі бетони, що зберігають високу механічну міцність при високих температурах, застосовують для спорудження печей. Основні вимоги до бетонів: 1) швидке твердіння при звичайній температурі; 2) мале зниження міцності при нагріванні; 3) термічна стійкість; 4) мала усадка при сушінні й випалі; 4) достатня вогнетривкість і температура деформації під навантаженням.

Вогнетривкі бетони готують за схемою, як і для звичайних бетонів: 1) готування сирого бетону в бетономішалках змішанням цементу, заповнювача й води; 2) заповнення форм сирим бетоном; 3) витримка бетону у формах для затвердіння протягом 5...14 діб. Після затвердіння виробу сушать при $110\text{ }^\circ\text{C}$

протягом 2...3 діб й обпалюють при 1300...1500 °С. У якості цементів для вогнетривких бетонів застосовують глиноземистий цемент, портланд-цемент із тонкомолотими добавками глини, шамоту, кварцу або рідке скло з добавками кремнійфтористого натрію.

Вогнетривкі бетони застосовують для спорудження низькотемпературних і середньотемпературних печей (нагрівальні й термічні печі, печі для сушіння й випалу, електричні печі опору), футерівка яких працює при температурі 800...1400 °С.

Вогнетривкі розчини застосовують при кладці різних вогнетривких цегл для заповнення швів між цеглами. Такі розчини тверднуть тільки при розігріві печей. При цьому маса розчинів сушиться й обпікається й утворюється твердий вогнетривкий черепок, що зростається із прилягаючими до нього поверхнями цегл.

Вогнетривкі заводи випускають готові сполуки розчинів (мертелі) для кожного виду вогнетривкої кладки.

Набивні маси – пластичні маси, що виготовляються з різних вогнетривких порошків: кварцу, шамоту, магнезиту, хроміту, доломіту й коксу на зв'язуванні з вогнетривкою глини, рідкому склі, збезводненій кам'яновугільній смолі, органічному клеї.

Набивні маси набивають у ділянки печей ручними або пневматичними трамбувальниками або торкрет-машинами.

Захисні гарнісажі, що утворюються в металургійних плавильних печах зі спечених або розплавлених матеріалів, - дешевий і ефективний засіб захисту й заміни вогнетривкої кладки.

Захисні гарнісажі на внутрішній поверхні печей утворюються з напіврозплавлених або розплавлених матеріалів, за умови, якщо віддача тепла через стінки печей у зовнішнє середовище перевищує прихід тепла на внутрішню поверхню стінки. При цьому утворюється шар спечених або застиглих матеріалів і продуктів, який може надійно й довгостроково захищати стінки від руйнування.

3.10 Технологія плавлених вогнетривів

Плавленими називають вогнетриви, які одержують шляхом виливання розпавленої маси у спеціальні форми, у яких потім відбувається кристалізація й проводиться відпал виробів.

У цей час найпоширенішими є магнезитові, високоглиноземисті, корундові, мулітові й муліто-цирконові вироби. Випускають також кварцові (кварцове скло), магнезитохромітові, шпінельні й форстеритові.

У цей час застосовують три різні способи:

- 1) плавка в електричній дуговій печі;
- 2) розплав за допомогою екзотермічної реакції;
- 3) плавка в електричних печах опору.

Найпоширеніший перший спосіб. Другий спосіб застосовують у виробництві корундових, а третій – кварцових виробів.

Виробництво плавлених мулітових і муліто-цирконових вогнетривів

Основною вогнетривкою фазою плавлених мулітових виробів (Al_2O_3 , SiO_2) служить муліт; у мулітово-цирконових виробках, крім муліта, утримується бадделіт. Сировиною для виробництва таких виробів служать боксити, циркон і деякі оксиди. Шкідливими домішками вважаються CaO , MgO , TiO_2 , оксиди заліза, що знижують кількість муліта у виробках і підвищений вміст скла, який утворюється при взаємодії домішок з основною фазою.

Оксиди заліза ускладнюють і здорожують процес плавки. Під час плавки їх відновлюють і видаляють, як і частина кремнезему, у вигляді феросиліцію.

Техніка плавки: шихту завантажують у піч так, щоб утворювалась лійка навколо електродів; спочатку шихта плавиться на шарі шматків коксу між електродами. Після утворення рідкої ванни переходять до плавки з одержанням тепла для неї при проходженні струму через розплав. Для того щоб другу плавку можна було вести по цьому режиму, після виливання виробів частина розплаву залишають у печі. Плавку масою 300...400 кг ведуть 1...1,5 год. Розплав випускають через верхній жолоб поворотом печі навколо горизонтальної осі. Через нижній жолоб періодично випускають феросиліцій. Форми для виливка виготовляють із високоякісного піску.

Розплав слід заливати в холодну тонкостінну неізольовану форму при можливо більш низькій температурі. Після заливання форму добре ізолюють сухим розмеленим діатомітом. Кристалізація в ізольованій формі триває протягом 2,5...3,5 год і усуває транскристалізацію й ліквідацію. Але при ізоляції кристалізація в зовнішніх і внутрішніх шарах литого бруса різна. Зовнішні шари остивають набагато швидше внутрішніх, тому в них кристалізуються дрібні кристали волокнистого характеру, а у внутрішніх – більші кристали величиною до декількох сантиметрів.

У відлитих виробках частина розплаву застигає у вигляді скла, тому вироби після виливання випалюють. Це роблять у тунельній випалювальній печі; при температурі її гарячого кінця 900...1000 °C и холодного 250...300 °C, випалення завершують протягом 1,5...2 діб.

Відлитим виробам надають правильну форму й точні розміри шляхом шліфування. Це роблять карборундовими кругами ($Al_2O_3+ZrO_2$) на бакелітовій основі.

Мулітові вироби сприйнятливі до різких змін температури, добре почуваються як з кислими, так і основними шлакам. Їх використовують там, де від вогнетривів потрібна низька пористість, стійкість проти деформації при високих температурах, високий опір стиранню, підвищена шлакостійкість. Мулітові вогнетриви застосовують для футерівки подини нагрівальних печей прокатного виробництва, нижньої частини шахти доменної печі

Контрольні питання

1. Надайте загальну характеристику принципової схеми вогнетривкового виробництва.
2. Опишіть етап дроблення й здрібнювання сировини.
3. Охарактеризуйте стадію розсіву порошків.
4. Опишіть процедуру змішування.
5. Оцініть стадію пресування вогнетривких виробів.
6. Охарактеризуйте етап сушіння вогнетривких матеріалів.
7. Що таке випал вогнетривких виробів.
8. Опишіть електроплавку вогнетривів.
9. Надайте характеристику технології виробництва динасових вогнетривів.
10. Опишіть технологію виробництва алюмосилікатних вогнетривів.
11. Опишіть технологію виробництва шамотних вогнетривів.
12. Наведіть технологію виробництва високоглиноземистих вогнетривів.
13. Оцініть технологію теплоізоляційних матеріалів.
14. Опишіть технологію виробництва магнезійних вогнетривів.
15. Охарактеризуйте технологію вуглецевих вогнетривів.
16. Опишіть технологію цирконієвих вогнетривів.
17. Надайте характеристику технології карбідних і нітридних вогнетривів.
18. Опишіть технологію вогнетривких бетонів.
19. Опишіть технологію плавлених вогнетривів.

РОЗДІЛ 4

ВИКОРИСТАННЯ ВОГНЕТРИВІВ У ЧОРНІЙ МЕТАЛУРГІЇ

4.1 Вогнетриви в доменному виробництві

На кладку доменної печі об'ємом 5000 м³ витрачається 3.5 тис. т. вогнетривів; на три повітрянагрівачі й інші допоміжні обладнання доменного цеху – 27,5 тис. т. Витрата вогнетривів на виробництво чавуну становить 1,6...3,0 кг/т.

У доменному виробництві вогнетривкі матеріали застосовують для будівництва й ремонту доменної печі, повітрянагрівачів, повітропроводів гарячого дуття, на ливарному дворі в жолобах для випуску чавуну й шлаків, у чавуновозних ковшах і міксерах.

Для футерівки лещаді застосовують два типи кладки – цільновуглецеву (вуглецеві й графітовані блоки) і комбіновану (комбінація вуглецевих і високоглиноземістих виробів). Загальна товщина вогнетривкої кладки лещаді на великих печах досягає 5 м.

Для футерівки горна застосовують більш різноманітний асортимент вогнетривів – вуглецеві блоки, вироби на основі корунду з добавками SiC, C, Cr₂O₃, карборундові вогнетриви.

Фурмені прорізи, чавунні й шлакові льотки викладають шамотними цеглами, тому що, вуглецеві блоки в цих місцях кладки можуть зазнати окислення. Льотки відкривають за допомогою свердлильної бурмащини й забивають спеціальною льоточною масою за допомогою електрогармати при кожному циклі випуску чавуну й шлаків.

Кладку заплічків і тонкостінної частини распару виконують із використанням карбидокремнієвих вогнетривів на різних зв'язуваннях (Si₃N₄, Si₂ON₂, самозв'язані) або шамотної цегли (Al₂O₃=37...42 %). Охолоджувана вогнетривка кладка заплічків досить швидко покривається шаром гарнісажу, який захищає її від прогару.

Товстостінна частина распара й шахта викладаються високощільними високоглиноземістими блоками або щільною шамотною цеглою (Al₂O₃≥42 %). Для кладки верхньої частини шахти можна також використовувати вогнетривкий бетон на основі мулітокорундового шамоту й карбиду кремнію.

Кладка колошникової частини печі виконана із шамотної цегли (Al₂O₃=37...39 %) і захищена сталевими плитами від ударних навантажень, що виникають при падінні шихтових матеріалів із засипного апарата.

Для футерівки повітрянагрівачів доменних печей застосовують шамотні ($Al_2O_3=28...42\%$), мулітокорундові ($Al_2O_3\geq 72\%$) і динасові вогнетриви.

4.2 Вогнетриви для мартенівських печей

На сьогоднішній день на металургійних підприємствах України ще функціонують мартенівські печі.

Футерівку мартенівської печі можна умовно підрозділити на верхню (вище рівня робочого майданчика) і нижню будова. До верхньої будови відноситься – подина, передня й задня стінки, укуси, головне склепіння і склепіння голівки, вертикальні канали. Нижня будова – шлаковики, регенератори, насадки регенераторів і димовий тракт.

Подину печі виконують багат шаровою: ізолюючий шар – кілька рядів шамотної цегли, арматурний шар – периклазові вироби й робочий шар подини основних печей роблять монолітним шляхом наварки або набивання його магнетитовим порошком. Товщина набивного шару 200...300 мм. У цілому подина - 1000...1200 мм.

Термін служби подини – 7...9 років, він визначається зупинкою печі на капітальний ремонт.

Задню й передню стінки основної печі викладають із магнетитової цегли до рівня шлаків, а вище – з магнетитохромитового; кислої печі – з динасового. Задня стінка для зменшення втрат тепла частково ізолювана легковаговою шамотною цеглою. Для підвищення стійкості передньої стінки передбачають водяне охолодження.

Канал сталевипускного отвору виконують із периклазових втулок.

Склепіння виконують зі спеціального периклазохромитової або периклазошпинелідної цегли розпорно-підвісної конструкції. Вона поєднує підвіски, що перешкоджають просіданню арки склепіння й обмежники, що обмежують спучування при нерівномірному зношуванні. Завдяки цьому забезпечується будівельна міцність, запобігається деформація й обвалення склепіння. Стійкість склепіння печі часто визначає тривалість кампанії печі.

Стіни й склепіння голівок, а також вертикальні канали викладають із периклазохромитової цегли. Їм же футерують і стіни шлаковиків.

У найбільш важких умовах працюють верхні ряди насадок регенераторів, їх викладають із форстеритової цегли. Середні й нижні ряди насадок викладають із шамотної цегли.

Кладка боровів звичайно складається із двох шарів: внутрішній – шамотна цегла, зовнішній – звичайна червона цегла.

4.3 Вогнетриви для кисневих конвертерів

Останнє десятиліття характеризується значним підвищенням стійкості футерівки конвертерів за рахунок застосування комбінованої збалансованої схеми кладки, у якій урахуються особливості зношування окремих зон, що в остаточному підсумку, приводить до збалансованого зношування футерівки в цілому. Нормальною стійкістю футерівки конвертера на сьогодні прийнято вважати 2000...2500 плавок, рекордні показники досягають оцінки 10000 плавок і більш.

Футерівка робочого простору двошарова. Арматурний шар товщиною 100...250 мм виконують із магнезитової або магнезитохромітової цегли й не міняють кілька років. Для футерівки робочого шару (500...800 мм) можна використовувати смолодоломітові або смоломагнезитові вогнетриви. Але найкращі показники стійкості футерівки забезпечуються застосуванням периклазо-вуглецевих високоміцних вогнетривів і виробів стандартної якості (з порошку магнезиту зі змістом MgO 94...98 % і вуглецю в кількості 10...14 %); виробів системи «Mgo-C», виготовлених з використанням плавленого периклазу; виробів з пековим просоченням. Присутність вуглецю, який поблизу робочої поверхні перетворюється в кристалічний графіт, що не змочується шлаками, обмежує глибину проникнення шлаків у вогнетрив.

Верх горловини й днище конвертера виконують із периклазошпинелідних вогнетривів. Найбільшому зношуванню піддається сталевипускний отвір. Його футерівку виконують кільцями або блоками із плавленого периклазу.

Підвищенню стійкості футерівки конвертерів сприяють наступні заходи:

- автоматизація процесу, що сприяє зменшенню кількості завалок конвертера й запобігання перегріву сталі наприкінці плавки;
- застосування технології роздмухування шлаків у конвертері;
- профілактичні ремонти методом напівсухого або смолоскипового торкретування.

При ошлакуванні футерівки і її торкретуванні зменшується кількість холодних ремонтів, що вимагають витрат ручної праці й знижується витрата формованих вогнетривів.

4.4 Вогнетриви для дугових сталеплавильних печей

Типові ємності дугових печей на сьогодні становлять від 6 до 300 т.

Футеровка електросталеплавильних печей може бути основною і кислою.

Футеровка всіх ділянок крім склепіння складається з теплоізоляційного, арматурного й робочого шарів. Робочий шар подини основної печі виконують

із набивних магнезитових мас, арматурний шар - з декількох рядів магнезитової цегли, а для виготовлення теплоізоляційного шару використовують шамотну цеглу й порошок, аркушевий азбест. Для виготовлення робочого шару подини й укосів кислих печей використовують кремнеземисті маси на різних сполученнях, арматурного шару – динасова цегла. Стійкість подини становить від 1500 до 6000 плавок.

Футерівку робочого шару стін основних печей виконують із хромітопериклазової або периклазовуглецевої цегли, кислих печей – кварцового футерувального піску. Арматурний шар – з периклазової або магнезитохромітової цегли. Тепловою ізоляцію стін виконують рідко. Для неї використовують шамотну цеглу, азбест, порошок шамоту й ін.

Стійкість стін великих печей 150...200 плавок, малих печей – до 300 плавок.

Випускний отвір виконують із блоків з плавленого або кристалічного периклазу. Кладка жолоба, що примикає до сталевипускного отвору електропечі, виконується шамотними виробами.

Склепіння ДСП виконують із периклазохромітової ($MgO \geq 65\%$; Cr_2O_3 7...18 %) або мулітокорундових ($Al_2O_3 > 62\%$) виробів. Стійкість склепінь великих електропечей становить 75...150 плавок; печей середніх і малих розмірів – 150...225 плавок. Витрата вогнетривів на кладку склепіння становить 60...65 % від загального.

На надпотужних дугових сталеплавильних печах часто використовують водоохолоджувані елементи кладки стін і склепіння, що дозволяє скоротити витрати вогнетривів, знизити час простоїв і збільшити продуктивність печі. Склепіння виготовляють із листової сталі товщиною 16...20 мм у вигляді плоского короба. Воду для охолодження подають через труби-змійовики. З боку робочого простору склепіння ізолюють набивною вогнетривкою масою. Стійкість такого склепіння з невеликими профілактичними ремонтами становить 5...7 тис.плавок.

4.5 Вогнетриви для сталерозливних ковшів

Ківш, у який випускають метал зі сталеплавильних агрегатів, служить для розливання сталі в виливниці або на установках безперервного розливання, а також для позапічної обробки металу.

Сталерозливні ковші (ємність від 5 до 480 т) є ємними споживачами вогнетривів – питома витрата становить до 9 кг/т сталі. Для футерівки ковшів характерна нерівномірність зношування – максимальне зношування має місце в шлаковій зоні, середній - у днища, а мінімальний – у середній зоні ковша.

Футерівка ковша може бути виконана зі штучних вогнетривів або спеціальних вогнетривких мас. Кладку виконують із двох шарів – арматурного й робочого, днище ковша викладають цеглою в 3...5 рядів.

Ковші для розливання сталі футерують шамотними ($Al_2O_3=32...39\%$) або мулітокремнеземистими виробами ($Al_2O_3=62...72\%$). Монолітний шар футерівки виконують із кремнеземистих, корундових або корундошпинелідних мас.

При позапічній обробці умови служби ковша погіршуються й у цих умовах стійкість шамотної або кремнеземистої футерівки виявляється недостатньою. У цих випадках ковші футерують високоглиноземистими ($Al_2O_3 \approx 72\%$) виробами або масами. У стадії випробування перебувають периклазовуглецеві, магнезитохромитові вогнетриви, тиксотропні бетони різної сполуки й ін.

Для підвищення терміну служби футерівки ковшів використовують її високотемпературну експлуатацію ($\geq 800\text{ }^\circ\text{C}$), профілактичне торкретування.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте використання вогнетривів в доменному виробництві.
2. Опишіть вогнетриви для мартенівських печей.
3. Наведіть вогнетриви для кисневих конвертерів.
4. Охарактеризуйте використання вогнетривів для дугових сталеплавильних печей.
5. Опишіть вогнетриви для сталерозливних ковшів.

ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Варіант 1

1. Історія розвитку вогнетривкого виробництва
2. Властивості вогнетривких глин і каолінів

Варіант 2

1. Сучасний стан і перспективи розвитку вогнетривкого виробництва в Україні
2. Термічна обробка вогнетривких виробів. Випал

Варіант 3

1. Сировинна база вогнетривкого виробництва в Україні
2. Виробництво магнезитового металургійного порошку.

Варіант 4

1. Класифікація вогнетривких матеріалів
2. Служба вогнетривів у сталерозливних ковшах.

Варіант 5

1. Властивості вогнетривких матеріалів. Вогнетривкість. Методи визначення
2. Найголовніші родовища вогнетривких глин в Україні.

Варіант 6

1. Макроструктура вогнетривких виробів (пористість, газопроникливість, характеристика текстури).
2. Камерні печі для випалу вогнетривів.

Варіант 7

1. Термомеханічні властивості вогнетривких виробів
2. Властивості графітвмісних вогнетривів.

Варіант 8

1. Теплофізичні властивості вогнетривких виробів
2. Вогнетривкі бетони.

Варіант 9

1. Термічні властивості вогнетривких виробів
2. Форстеритові вогнетриви.

Варіант 10

1. Хімічна стійкість вогнетривких виробів. Методи визначення
2. Вторинне використання вогнетривів.

Варіант 11

1. Взаємодія вогнетривів з кородієнтами.
2. Пластичне формування вогнетривких виробів.

Варіант 12

1. Критерії вибору вихідних речовин для виробництва вогнетривів
2. Виробництво корундових теплоізоляційних виробів.

Варіант 13

1. Процеси технології вогнетривких матеріалів. Здрібнювання й розсівання
2. Сировина для виробництва високоглиноземистих виробів.

Варіант 14

1. Процеси технології вогнетривких матеріалів. Дозування й змішування
2. Склад і головні властивості динасових вогнетривів.

Варіант 15

1. Процеси технології вогнетривких матеріалів. Пресування й формування вогнетривких виробів.
2. Властивості й галузь застосування карбідкремнієвих вогнетривів.

Варіант 16

1. Коротка характеристика методів пресування й формування вогнетривких виробів.
2. Перспективні види вогнетривких матеріалів.

Варіант 17

1. Напівсухе пресування вогнетривких виробів
2. Хімічний і мінералогічний склад глин і каолінів.

Варіант 18

1. Основи технології шамотних вогнетривів
2. Методи контролю вологості вихідної сировини й напівфабрикатів.

Варіант 19

1. Гідростатичне пресування вогнетривких виробів.
2. Застосування волокнистих матеріалів у чорній металургії.

Варіант 20

1. Вібраційне формування вогнетривких виробів
2. Сировина для виробництва магнезитових вогнетривів.

Варіант 21

1. Термічна обробка вогнетривких виробів. Сушіння.
2. Технологія виробництва динасових вогнетривів.

Варіант 22

1. Служба вогнетривів у доменному виробництві.
2. Вогнетриви на основі тугоплавких оксидів.

Варіант 23

1. Спеціальні процеси технології вогнетривів.
2. Технологія виробництва магнезитових вогнетривів.

Варіант 24

1. Сировина для виготовлення динасових вогнетривів.
2. Виробництво корундових виробів.

Варіант 25

1. Шляхи підвищення якості динасових вогнетривів.
2. Вогнетриви з діоксиду цирконію.

Варіант 26

1. Спеціальні види динасових вогнетривів.
2. Технологія виробництва графітвмісних вогнетривів.

Варіант 27

1. Технологія виробництва хромомагнезитових і магнезитохромітових вогнетривів.
2. Служба вогнетривів у мартенівському виробництві

Варіант 28

1. Економічні критерії виробництва вогнетривів
2. Пристрою для сушіння матеріалів.

Варіант 29

1. Основні властивості шамотних виробів
2. Магнезитові вогнетриви.

Варіант 30

1. Виробництво магнезійношпінелідних вогнетривів за клінкерною технологією
2. Основні шляхи підвищення якості шамотних виробів.

Варіант 31

1. Виробництво високоглиноземистих виробів.
2. Служба вогнетривів у киснево-конвертерному виробництві

Варіант 32

1. Основні властивості й область застосування високоглиноземистих вогнетривів
2. Технологія виробництва плавеного періклазу.

Варіант 33

1. Основні властивості й область застосування корундових вогнетривів
2. Типи печей для випалу вогнетривів.

Варіант 34

1. Вихідні матеріали для виробництва доломітових вогнетривів
2. Виробництво теплоізоляційних матеріалів.

Варіант 35

1. Вогнетриви для установок позапічного рафінування сталі
2. Технологія отримання виробів з діоксиду цирконію.

Варіант 36

1. Застосування магнезійношпінелідних вогнетривів
2. Склад і властивості вогнетривких бетонів.

Варіант 37

1. Технологія доломітових вогнетривких матеріалів.
2. Технологічні схеми переробки вогнетривкого лома.

Варіант 38

1. Властивості доломітових вогнетривів.
2. Тунельні печі для випалу вогнетривів.

Варіант 39

1. Сировина для виробництва форстеритових вогнетривів.
2. Вогнетриви на основі безкисневої кераміки.

Варіант 40

1. Технологія виробництва форстеритових вогнетривів.
2. Методи одержання матеріалів на основі кремнію.

Варіант 41

1. Тунельні печі для випалу вогнетривів.
2. Муліт і вогнетриви на його основі.

Варіант 42

1. Методи визначення пористості й щільності вогнетривких виробів
2. Основи технології плавлених вогнетривів.

Варіант 43

1. Методи визначення термомеханічних властивостей вогнетривких виробів
2. Мертелі.

Варіант 44

1. Методи визначення шлако- і металостійкості вогнетривів.
2. Технологія виробництва динасових вогнетривів.

Варіант 45

1. Методи випробування властивостей вогнетривких мертелей.
2. Устаткування для дроблення й здрібнювання у вогнетривкому виробництві.

Варіант 46

1. Вогнетривкі бетони
2. Технологія основних вогнетривів на смоляному в'язучому.

Варіант 47

1. Методи профілактичного ремонту футеровки сталеплавильних агрегатів.
2. Порівняльна характеристика напівкислих і шамотних вогнетривів.

Варіант 48

1. Служба вогнетривів в електродугових печах
2. Технологія магнезитових вогнетривів.

Варіант 49

1. Служба вогнетривів в індукційних печах
2. Технологія високоглиноземистих вогнетривів.

Варіант 50

1. Служба вогнетривів у доменному виробництві
2. Технологія одержання вогнетривів методом шлікерного лиття.

Варіант 51

1. Методи виготовлення футеровок металургійних агрегатів з неформованих вогнетривів.
2. Сушіння й випал вогнетривів.

Варіант 52

1. Види динасових вогнетривів.
2. Технологія виробництва графітованих вогнетривів.

Варіант 53

1. Пресування й формування вогнетривких виробів.
2. Властивості й галузь застосування карбідкремнієвих вогнетривів.

Варіант 54

1. Торкретування футеровки металургійних агрегатів.
2. Родовища сировини для виробництва основних вогнетривів в Україні.

Варіант 55

1. Вторинне використання вогнетривів
2. Плавлені вогнетриви.

Варіант 56

1. Стан вогнетривкої промисловості за кордоном
2. Властивості й галузь застосування цирконієвих вогнетривів

Варіант 57

1. Неформовані вогнетриви. Властивості мертелей.
2. Методи виготовлення футеровки індукційної печі.

Варіант 58

1. Вогнетривка кладка лещаді й горна доменної печі.
2. Сировинні матеріали для виробництва магнезитових вогнетривів.

Варіант 59

1. Методи визначення термостійкості вогнетривів
2. Сировина для виробництва форстеритових вогнетривів.

Варіант 60

1. Перспективні види вогнетривких матеріалів.
2. Напівсухе пресування.

Варіант 61

1. Ознаки класифікації вогнетривів.
2. Кремнеземисті вогнетриви. Спосіб виготовлення.

Варіант 62

1. Методи визначення пористості й щільності вогнетривких виробів
2. Муліт і вогнетриви на його основі.

Варіант 63

1. Основи технології плавлених вогнетривів
2. Тунельні печі для випалу вогнетривів.

Варіант 64

1. Теплофізичні властивості вогнетривких матеріалів
2. Вогнетриви для футеровки конвертера.

Варіант 65

1. Властивості, що характеризують текстуру вогнетривів
2. Властивості вогнетривких глин і каолінів.

Варіант 66

1. Одержання оксиду магнію з морської води
2. Властивості й застосування динасу.

Варіант 67

1. Технологія виробництва легковагих виробів
2. Властивості шамотних вогнетривів.

Варіант 68

1. Корундові вогнетриви
2. Вогнетриви в мартенівському виробництві.

Варіант 69

1. Найголовніші родовища вогнетривких глин.
2. Магнетитові вогнетриви.

Варіант 70

1. Теплофізичні властивості вогнетривких виробів
2. Пристрої для сушіння матеріалів.

Варіант 71

1. Служба вогнетривів у сталерозливних ковшах
2. Технологія виробництва хромомагнетитових вогнетривів.

Варіант 72

1. Сировинна база вогнетривкого виробництва в Україні
2. Технологія виробництва магнетитохромітових вогнетривів.

Варіант 73

1. Вибір вихідних речовин для виробництва вогнетривів
2. Технологія виробництва карборундових вогнетривів.

Варіант 74

1. Сировина для виробництва високоглиноземистих виробів
2. Технологія доломітових вогнетривких матеріалів.

Варіант 75

1. Вогнетриви для установок позапічного рафінування сталі
2. Склад і властивості вогнетривких бетонів.

Варіант 76

1. Історія розвитку вогнетривкого виробництва
2. Термічні властивості вогнетривких виробів.

Варіант 77

1. Процеси технології вогнетривких матеріалів. Дозування й змішування
2. Основні властивості й галузь застосування корундових вогнетривів.

Варіант 78

1. Форстеритові вогнетриви
2. Технологія виробництва вуглецевих вогнетривів.

Варіант 79

1. Типи печей для випалу вогнетривів. Тунельні печі.
2. Класифікація вогнетривів по хіміко-мінералогічному складу.

Варіант 80

1. Двокомпонентні діаграми складу головних оксидних систем ($\text{SiO}_2 - \text{CaO}$, $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$)
2. Проблеми сучасної вогнетривкої галузі в Україні та шляхи їх вирішення.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИНАСОВИХ ВОГНЕТРИВІВ

Завдання: розрахувати шихту для виробництва динасових виробів, визначити тип випаленого динасу за даними його хімічного складу.

Дані для розрахунку:

Склад компонентів:	ваг %
Овручський кварцит	35
Причистенський кварцит	35
Динасовий бой	30

Усього: **100.**

Більш 100 % добавки:

Мінералізатори:

Вапно (у вигляді CaO)	1,6
Піритні огарки (у вигляді Fe ₂ O ₃)	1,0
Сульфит-спиртова барда (ССБ)	1,4.

1. Хімічний склад сировини наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний аналіз сировини

№ п/п	Хімічні елементи	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п/п
1	Овручський кварцит	97,9	0,56	0,62	0,38	-	0,54
2	Причистенський кварцит	98,1	0,71	0,69	0,30	-	0,20
3	Динасовий бой	95,09	1,78	0,89	2,00	-	0,24
4	Вапно	1,32	1,18	0,82	75,90	-	20,78
5	Піритні огарки	15,3	7,10	70,37	1,06	0,55	5,62

2. Розрахунок складу шихти по хімічному аналізу її компонентів:

$$SiO_2 = 97,9 \cdot 0,35 + 98,1 \cdot 0,35 + 95,09 \cdot 0,3 = 97,127$$

$$Al_2O_3 = 0,56 \cdot 0,35 + 0,71 \cdot 0,35 + 1,78 \cdot 0,3 = 0,978$$

$$Fe_2O_3 = 0,62 \cdot 0,35 + 0,69 \cdot 0,35 + 0,89 \cdot 0,3 = 0,725$$

$$CaO = 0,38 \cdot 0,35 + 0,30 \cdot 0,35 + 2,0 \cdot 0,3 = 0,838$$

$$i / i = 0,54 \cdot 0,35 + 0,20 \cdot 0,35 + 0,24 \cdot 0,3 = 0,331$$

Усього: **99,99 = 100**

3. Визначення складу очищеного вапна

Вапно перед надходженням у виробництво піддається очищенню від піску, грудок та інших включень.

На кожні 100 г вапна у вапняне молоко увійде 75,9 г CaO, а решта компонентів – 24,1 г увійдуть до вапняного молока в кількості не більше 20 %.

Тоді склад очищеного вапна можна представити у наступному вигляді:

	ваг. %
CaO	75,9
$Al_2O_3 = 1,18 \cdot 0,2 = 0,236$	
$SiO_2 = 1,32 \cdot 0,2 = 0,264$	
$Fe_2O_3 = 0,82 \cdot 0,2 = 0,164$	
$п/п = 20,78 \cdot 0,2 = 4,156$	
<hr/>	
Усього:	80,72

Перерахуємо на 100 %, тоді отримаємо:

$$\frac{80,72 - 100}{75,90 - \delta} = \frac{75,90 \cdot 100}{80,72} = 94,027 \% \text{ CaO}$$

$$\frac{80,72 - 100}{0,236 - \delta} = \frac{0,236 \cdot 100}{80,72} = 0,292 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

Таким же чином вираховуємо, що вміст $SiO_2 = 0,328 \%$,
 $Fe_2O_3 = 0,203 \%$,
 $п/п = 5,148 \%$.

$$\text{Усього: } \underline{\underline{99,998 = 100}}$$

Вміст чистого оксиду кальцію CaO за умовами завдання в шихті 1,6 % від ваги сухої маси. Щоб забезпечити заданий вміст CaO, необхідно в вапняне молоко вводити очищене вапно із розрахунку його кількості:

$$\frac{100 \cdot 1,6}{94,027} = 1,7\%$$

Тоді з розрахунковою кількістю вапна в суху шихту вводиться (ваг. %):

$$\tilde{Na}\hat{I} = \frac{94,027 \cdot 1,7}{100} = 1,6$$

$$Al_2\hat{I}_3 = \frac{0,292 \cdot 1,7}{100} = 0,00496$$

$$Si\hat{I}_2 = \frac{0,327 \cdot 1,7}{100} = 0,00555$$

$$Fe_2\hat{I}_3 = \frac{0,203 \cdot 1,7}{100} = 0,00345$$

$$i / \hat{i} = \frac{5,148 \cdot 1,7}{100} = 0,0875$$

1,70156 приймаємо **1,7**

Гідратної води буде введено у вигляді $Ca(OH)_2$:

$M(CaO) = 56$ г/моль, $M(H_2O) = 18$ г/моль.

Відповідно $\hat{I}_2\hat{I} = \frac{1,6 \cdot 18}{56} = 0,51\%$;

Витрата вапна буде складати $\frac{1,7 \cdot 100}{80} = 2,125 \approx 2,1\%$.

4. Розрахунок складу піритних огарків

С піритними огарками необхідно ввести 1 % Fe_2O_3 зверх 100 % шихти.

На кожні 100 г піритних огарків в шихту увійде 70,37 г Fe_2O_3 , а для забезпечення вводу в шихту 1 % Fe_2O_3 необхідна кількість піритних огарків складе:

$$\frac{1,0 \cdot 100}{70,37} = 1,42\%$$

Тоді з піритними огарками на 1,42 % ввійдуть наступні компоненти:

$$\tilde{Na}\hat{I} = \frac{1,06 \cdot 1,42}{100} = 0,015 \quad Al_2\hat{I}_3 = \frac{7,10 \cdot 1,42}{100} = 0,100$$

$$Si\hat{I}_2 = \frac{15,3 \cdot 1,42}{100} = 0,217 \quad Mg\hat{I} = \frac{0,55 \cdot 1,42}{100} = 0,0078$$

$$\ddot{i} / \dot{i} = \frac{5,62 \cdot 1,42}{100} = 0,0797$$

0,419 приймаємо **0,42**

5. Склад невивпаленого динасу (сира маса) покажемо у вигляді таблиці

Таблиця 2 – Склад необпаленого динасу

№ п/п	Сировина	Хімічний склад						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	п/п	Σ
1	Шихта	97,127	0,978	0,725	0,838	-	0,331	99,99
2	Вапно	0,00555	0,00496	0,00345	1,60	-	0,0875	1,70
3	Гідратна вода	-	-	-	-	-	0,510	0,51
4	Піритні огарки	0,217	0,100	1,000	0,015	0,0078	0,079	1,42
5	ССБ	-	-	-	-	-	1,40	1,40
	Усього:	97,349	1,083	1,728	2,453	0,0078	2,407	105,02
	В перерахунку на 100 % сирої маси	92,695	1,036	1,64	2,335	0,007	2,291	100

Виконаємо перерахунок сирої маси на 100 %:

$$Si\hat{I}_2 = \frac{97,349 \cdot 100}{105,02} = 92,695$$

$$\tilde{Na}\hat{I} = \frac{2,453 \cdot 100}{105,02} = 2,335$$

$$Al_2\hat{I}_3 = \frac{1,083 \cdot 100}{105,02} = 1,036$$

$$Mg\hat{I} = \frac{0,0078 \cdot 100}{105,02} = 0,007$$

$$Fe_2\hat{I}_3 = \frac{1,728 \cdot 100}{105,02} = 1,640$$

$$\ddot{i} / \dot{i} = \frac{2,407 \cdot 100}{105,02} = 2,291$$

Усього: 100,004 приймаємо **100**

6. Перерахунок на вивпалений динас

При вивпалі із динасу видаляються витрати при прокалюванні – 2,29 %. З урахуванням цього приймаємо:

$$100 \% - 2,29 \% = 97,71 \%$$

Перерахуємо на 100 % для отримання хімічного складу випаленого динасу (ваг. %):

$$Si\hat{I}_2 = \frac{92,695 \cdot 100}{97,71} = 94,87$$

$$\tilde{N}\hat{a}\hat{I} = \frac{2,33 \cdot 100}{97,71} = 2,38$$

$$Al_2\hat{I}_3 = \frac{1,03 \cdot 100}{97,71} = 1,06$$

$$Mg\hat{I} = \frac{0,007 \cdot 100}{97,71} = 0,007$$

$$Fe_2\hat{I}_3 = \frac{1,64 \cdot 100}{97,71} = 1,68$$

Усього: 99,95 приймаємо **100**

За даними хімічного складу динасу за Держстандартом відноситься до динасових виробів I групи (для мартенівських печей) - SiO₂ повинно бути не менш 94 %, CaO - не більше 3 %, Al₂O₃ - не більше 1,5 %.

ПИТАННЯ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Сировинна база вогнетривкого виробництва в Україні
2. Класифікація вогнетривких матеріалів
3. Властивості вогнетривких матеріалів. Вогнетривкість і макроструктура вогнетривких виробів.
4. Властивості вогнетривких матеріалів. Термомеханічні властивості вогнетривких виробів
5. Властивості вогнетривких матеріалів. Теплофізичні і термічні властивості.
6. Властивості вогнетривких матеріалів. Хімічна стійкість.
7. Вибір сировини для виробництва вогнетривів
8. Основи технології вогнетривких матеріалів. Подрібнення і класифікація.
9. Основи технології вогнетривких матеріалів. Дозування і змішування.
10. Основні методи пресування і формування вогнетривких виробів.
11. Термічна обробка вогнетривких виробів. Сушка.
12. Термічна обробка вогнетривких виробів. Випалення.
13. Фізико-хімічні основи технології динасу.
14. Технологія виробництва динасових вогнетривів.
15. Склад і властивості динасових вогнетривів.
16. Спеціальні види динасових вогнетривів.
17. Служба динасових вогнетривів в металургійних печах.
18. Сировина для виробництва нейтральних і напівкислих вогнетривів.
19. Фізико-хімічні основи виробництва нейтральних і напівкислих вогнетривів.
20. Технологія шамотних вогнетривів.
21. Основні властивості шамотних і напівкислих вогнетривів.
22. Використання шамотних вогнетривів в металургії.
23. Сировина для виробництва високогліноземістих виробів.
24. Фізико-хімічні основи технології високогліноземістих виробів.
25. Основні властивості високогліноземістих виробів.
26. Використання високогліноземістих виробів в металургії.
27. Класифікація вогнетривких легковагих виробів.
28. Виробництво корундових легковагих виробів.
29. Виробництво шамотних і напівкислих легковагих виробів.
30. Виробництво легковагих вогнетривів методом лиття.
31. Волоконні вогнетривкі матеріали.
32. Використання волоконних вогнетривких матеріалів.
33. Сировина для виробництва магнезитових вогнетривів.
34. Фізико-хімічні основи виробництва магнезитових вогнетривів.
35. Технологія магнезитових вогнетривів.
36. Виробництво магнезитового металургійного порошку.
37. Властивості магнезитових виробів.

38. Фізико-хімічні основи виробництва магнезійно-шпінелідних вогнетривів.
39. Технологія магнезійно-шпінелідних вогнетривів.
40. Властивості магнезійно-шпінелідних вогнетривів.
41. Використання магнезійно-шпінелідних вогнетривів.
42. Вихідні матеріали для виробництва доломітових вогнетривів.
43. Фізико-хімічні основи технології доломітових вогнетривів.
44. Властивості і область вживання доломітових вогнетривів.
45. Технологія доломітових вогнетривів.
46. Вогнетривкі бетони і мертелі.
47. Склад і властивості вогнетривких бетонів.
48. Сировина для виробництва форстеритових вогнетривів.
49. Технологія форстеритових вогнетривів.
50. Властивості і область вживання форстеритових вогнетривів.
51. Служба вогнетривів в доменному виробництві.
52. Служба вогнетривів в сталеплавильних агрегатах (киснево-конвертерний процес)
53. Служба вогнетривів в сталеплавильних агрегатах (електропічний спосіб виплавки)
54. Служба вогнетривів в сталерозливних ковшах.
55. Служба вогнетривів в установках МБЛЗ.
56. Служба вогнетривів в установках позапічного вакуумування сталі.
57. Вживання перспективних видів вогнетривких виробів.
58. Перспективи і напрями розвитку вогнетривкого виробництва.
59. Економічні критерії виробництва вогнетривів.
60. Вторинне використання вогнетривів.

ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Визначення фізико-хімічних властивостей легкоплавких глин

Мета роботи: ознайомитися з типами текстур глинистої сировини, освоїти методику визначення грубих включень і вивчити характер розподілу карбонатних включень в глиністій сировині.

1.1 Теоретичні відомості

Вогнетривкими глинами називають землісті уламкові гірські породи осадкового походження, які складаються, в основному, з високодисперсних гідроалюмосилікатів, дають з водою пластичне тісто, що зберігає при висиханні форму, і набувають після випалення міцність каменю.

Найголовніші первинні породи, з яких утворені вогнетривкі глини – граніти і гнейси. При вивітрюванні спочатку відбувається їх розпад на складові мінерали – кварц, слюду і польові шпати, потім під дією водних розчинів вуглекислоти більш глибоке розкладання двох останніх матеріалів. Але відмінності в умовах утворення глин настільки великі, що, не дивлячись на велику їх кількість, важко знайти глини різних родовищ з однаковими в усіх відношеннях складом і властивостями. Залежно від будови головні глинисті мінерали підрозділяють на групи:

- 1) Мінерали каолінітової групи (каолінит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, діккіт, накріт, галуазит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$);
- 2) Мінерали монтморілонітової (монтморилоніт $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, нонтроніт) і гідро слюдистої (гідромусковіт, ілліт, глауконіт і ін.) груп;
- 3) Мінерали хлоритової групи (хлорит);
- 4) Мінерали-зростки (монотерміт $0,5 \text{ Me}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O} + \text{aq}$, бейделіт).

В природі рідко зустрічаються моно мінеральні глини, тобто такі, в основі яких знаходиться один мінерал (каолінітові, гідро слюдисті та ін.). Найчастіше глини мають змішаний склад (гідрослюдисто-каолінітові, гідрослюдисто-бейделітові та ін.), але обов'язково з перевагою одного з мінералів.

Знати мінералогічний склад глини дуже важливо, оскільки це дозволяє заздалегідь судити про властивості і поведінку глинистої сировини при технологічній обробці. Для вивчення мінерального складу глин застосовують різні

методи дослідження – петрографічний, рентгеноструктурний, електронно-мікроскопічний, термографічний та ін.

Макроскопічну характеристику глинистої сировини дають на основі огляду валової проби масою 2,5 кг глини (за допомогою лупи або неозброєним оком). При цьому наголошують на наступних даних: колір і відтінок (в сухому і вологому стані), структуру і текстуру глини, наявність вапняку і його розподіл, зміст інших домішок і включень (слюди, кварцу, гіпсу, піриту, органічних включень).

Колір. Забарвлення глин різноманітне і залежить від мінерального складу основної маси глин і присутності в ній фарбувальних компонентів. Домішки ряду з'єднань надають глинам певного кольору: тонкодисперсні оксиди і гідроксиди заліза забарвлюють глини в різні відтінки жовтого, червоного і фіолетового кольорів; оксиди титана – в сірий колір; оксиди марганцю – в чорний і коричневий кольори; органічні домішки – в сірий або чорний кольори.

Структура і текстура. Характер будови частинок мінеральних порід називається структурою, а їх взаємний розподіл - текстурою.

По структурі розрізняють тонкодисперсні, грубозернисті, алевритові, піскуваті породи.

Тонкодисперсні глини, в основному, складаються з частинок розміром менше 0,001 мм, при скачуванні з маси формувальної вологості (глина, зачине на водою, не липне до рук) вона утворює довгі шнури завтовшки менше 0,5 мм. При розкочуванні в руках окремі її частинки не відчуються, а при розрізанні ножом не чутно характерного хрускоту і ком на зрізі гладкий.

Грубозернисті глини при скачуванні дають товщі і коротші шнури, при розкочуванні в руках відчувається домішка більш крупних частинок, при розрізанні чутний хрускіт, злам проби слабошершавий.

У алевролітових породах злам нерівний, зернистий. При скачуванні ці породи утворюють ще коротші шнури. При розрізанні ножом вони сильно хрустять, а при візуальному огляді можна помітити включення крупних мінеральних часток, які легко відділяються відмиванням глини на ситі 0,5 мм.

Піщані глини при розкочуванні майже не утворюють зв'язного джгута, непластичні, при натисненні на кульку глини легко утворюються тріщини. Злам зразка - зернистий, нерівний.

Текстура глинистих порід буває:

- безладна (неорієнтовна) - грудкувата, щільна, характерна для грубозернистих, зрідка - для тонкозернистих порід;
- мікрошарувата - частинки розташовані орієнтовно, мов би шарами;

- флюїдальна (сплутана) - типу сланцевої; мало поширена і є результатом вторинного руйнування шаруватої структури.

Домішки і включення. Найбільш поширені в глинах, особливо низької якості, карбонати кальцію (CaCO_3) і магнію (MgCO_3). Тонкодисперсні карбонати нешкідливі, а грубі включення карбонатів (більш 0,5 мм) приводять до утворення при випаленні глин шматочків CaO , які гідратуються в готових виробах, поглинаючи вологу з повітря.

Кварц (SiO_2) - звичайно присутній в глинах у вигляді безбарвних окатаних або забарвлених зерен, які можна побачити неозброєним оком або за допомогою лупи; пірит (FeS_2) зустрічається в глинистих породах у вигляді скупчень іноді значних розмірів і відрізняється металевим ясно-жовтим блиском. При випаленні пірит сплавляється в чорній залістий легкоплавкий шлак і витікає з виробу, утворюючи на поверхні пустки.

Гіпсовий камінь, або двоводний гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), часто міститься в глинах, утворюючи іноді скупчення. При випаленні гіпс сплавляється з глиною в прозоре скло у вигляді виплавок.

Органічні домішки (дрібні частинки гумусу і вугілля) збільшують пористість глин, а при нерівномірному розподілі знижують міцність керамічного черепка.

Включення за змістом і розмірам часток підрозділяються на: дрібнозернисті включення - зерна менше 2 мм, середньозернисті - зерна розміром 2...5 мм і грубозернисті - більше 5 мм. За змістом розрізняють глини з низьким вмістом включень - не більше 1%, середнім - 1...5% і високим - більше 5%.

1.2 Методика проведення експерименту

1.2.1 Обладнання і матеріали.

Сушильна шафа, електрична плитка, терези технічні з важками, сито з розміром отворів 0,5 мм, лупа 3-бх збільшення, фарфорові чашки місткістю 1000 мл, фарфорові кухлі на 1000 мл, дерев'яні лопатки і молотки, піпетка, 10%-й розчин HCl .

1.2.2 Відбір середньої проби

Для макроскопічного дослідження і фізико-керамічних випробувань відбирають середню пробу методом квартування валової проби (2...3 кг). Для цього глину розстиляють тонким шаром на площі 1 м², крупні грудки розбивають дерев'яним молотком, після чого глину ділять двома діагоналями на чотири рі-

вні трикутники. Відбирають пробу з двох протилежних трикутників, ретельно перемішують, розстилають тонким шаром і знову ділять діагоналями на чотири трикутники. Операцію квартування повторюють 2...3 рази до отримання середньої проби сировини в кількості, необхідній для досліджень.

1.2.3 Послідовність макроскопічного дослідження глинистої сировини

З відібраної проби частина глини масою 500...600 г помістити на лист білого паперу і провести візуальний контроль. Визначити колір, характер розташування і будову глинистих часток в зламі, наявність домішок, включень. Візуальний контроль повторити на трьох паралельних пробах, середній результат занести в звіт по лабораторній роботі.

Приготувати з глини пластичну масу формувальної вологості, для визначення структури розкотити в джгути, оцінити їх однорідність, товщину, розрізати ножом. При розрізанні звернути увагу на характерний хрускіт (або його відсутність), оцінити поверхню зрізу. По цих ознаках визначити структуру глинистої сировини.

Для визначення карбонатних включень шматочок глини помістити у фарфорову чашку і з піпетки крапнути на нього 10%-ю соляною кислотою. Якщо відбувається бурхливе скипання проби - карбонатів багато (відмітка "+++"), рівномірне газовиділення по всій поверхні - середній вміст карбонатів (відмітка "++"), малий вміст карбонатів - трохи помітне спінювання HCl (відмітка "+"); якщо крапля HCl не скипає - карбонатів не має (відмітка "-"). Результати випробувань занести в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Макроскопічне дослідження глинистої сировини

Вид сировини	Колір	Структура	Текстура	Наявність карбонатних включень
--------------	-------	-----------	----------	--------------------------------

1.2.4 Послідовність визначення включень

Відповідно до вимог ГОСТ 9169-75 грубі включення в глині розміром більше 0,5 мм визначають методом відмивання проби на ситі 0,5 мм.

Пробу глини близько 500 г зважити на технічних терезах, помістити у фарфорову чашку, залити підігрітою до 50...55 °С водою. Перемішуючи дерев'яною лопаткою довести пробу до однорідної пульпи. Сито з розміром отворів 0,5 мм заздалегідь промити, пульпу малими порціями перенести на сито, постійно відмиваючи струменем водопровідної води. Відмивання вважається закінченим, коли стік води стане прозорим. Промитий залишок висушити на

ситі, охолодити, перенести на лист паперу, зважити. Визначити розмір включень (візуально). Результати занести в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Визначення наявності грубих включень (часток більш 0,5 мм)

Вид сировини	Вміст включень		Вигляд включень	Розмір зерен включень, мм
	г	%		

1.2.5 Аналіз результатів досліджень

За результатами визначення якісних характеристик глинистої сировини вказати можливу область вживання дослідженої сировини.

Контрольні питання

1. Мета роботи.
2. Що називається вогнетривкими глинами?
3. Основні групи глинистих мінералів.
4. Параметри макроскопічної характеристики глинистої сировини.
5. Типи структури глинистої сировини.
6. Типи текстури глинистої сировини.
7. Домішки і включення в глинах.
8. Методика відбору проб для випробувань.
9. Методика визначення грубих включень в глині.
10. Методика макроскопічного дослідження глинистої сировини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення гранулометричного складу глинистої сировини

Мета роботи: ознайомитися з методами визначення гранулометричного складу глин, провести аналіз гранулометричного складу методом Б.І. Рутковського і визначити тип глинистої сировини.

2.1 Теоретичні відомості

Глинисті породи складаються з окремих складових частин різної величини, форми і складу. Головна задача аналізу – визначити кількісний вміст часток різних розмірів, що характеризує гранулометричний (зерновий) склад глинистої породи. Від нього залежать такі важливі характеристики, як пластичність, опір зсуву, усадка, набухання і т.д.

Всі відомі методи аналізу гранулометричного складу розділені на дві групи: прямі і непрямі.

Прямі методи дозволяють безпосередньо встановити розмір і зміст часток, що складають породу. До них відноситься ситовий метод, метод підрахунку частинок різних розмірів під мікроскопом і електронно-мікроскопічний метод з обробкою фотографій.

Ситовий аналіз можна проводити двома способами – сухим і мокрим, за допомогою ручного або механічного просіву. Ручний просів може здійснюватися трясінням і биттям (найчастіше вживається), за допомогою пензликів (рекомендується для глин), промивкою (для матеріалів, схильних до злипання або стирання під дією електростатичних зарядів). Механічне розсівання вимагає значно меншого часу, виключає індивідуальні помилки, але утруднює умови розсівання на тонких ситах, що для глин має дуже важливі значення. Тому його застосовують для поточних аналізів.

Непрямі методи дозволяють встановити розмір часток по якій-небудь непрямій ознаці: масі, швидкості падіння часток у воді або в іншій рідині, здібності до набухання, віддзеркалюванню світла і т.д. Непрямі методи можна розділити на дві групи:

- 1) Методи визначення часток різних розмірів з повним виділенням фракцій – методи каламучення Рутковського, Сабаніна;
- 2) Методи визначення часток різних розмірів без видалення фракцій – метод Робінзона, заснований на різній швидкості падіння часток різних розмірів; метод Фігуровського і метод із застосуванням торсіонних терезів, заснований на безперервному зважуванні осаду, що випадає з суспензії; метод нефелометрії, пов'язаний з вимірюванням

ступеня каламутності глинистої суспензії, коли по номограмі визначають кількість частинок в суспензії; аерометричний метод з вимірюванням густини суспензії ареометром через певні проміжки часу і інші методи.

Визначення гранулометричного складу глин по методу Б.І. Рутковського засновано на здатності глинистих частинок набухати у воді і на різній швидкості падіння частинок у воді залежно від їх розміру.

Як відомо, речовинний склад глин представлено власне глинистими мінералами (каолінит, монтморилоніт, гідрослюда та ін.) і домішками (кварц, польовий шпат, карбонати, гіпс, пірит, органічні включення та ін.). При взаємодії з водою здатні набухати тільки глинисті мінерали.

Фізичне значення набухання полягає в наступному: кристалічні грати глинистих мінералів відносяться до типу шаруватих, причому деякі мінерали (наприклад, каолініти) мають асиметричну будову пакету, тобто на одній стороні пакету розташовані водневі іони, на іншій – іони кисню. Примикаючи різними шарами один до одного такі пакети зв'язуються достатньо міцно, тому вода дуже слабо проникає між шарами монокристала, не збільшуючи міжплощинні відстані, і в основному адсорбується на поверхні шарів. Інші мінерали (типу монтморилоніта) мають симетричну будову пакету, тобто на обох його поверхнях розташовані іони кисню, тому між пакетами є дуже слабкий зв'язок, і вода, проникаючи туди, розширює кристалічні грати мінералу. Найбільша величина набухання характерна для монтморілонітових глин, як найменша – для каолінітових.

Швидкість падіння або осадження глинистих і дрібних піскуватих частинок залежать від ряду чинників і пропорційна квадрату їх радіусу. По швидкості падіння можна визначити розмір часток.

Найпростішою залежністю є формула Стокса:

$$v = \frac{2r^2 g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}})}{9\eta} \quad (2.1)$$

де v – швидкість падіння часток в рідині, м/с;

r – радіус часток, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

$\rho_{\text{ч}}$ – щільність частки, кг/м³;

$\rho_{\text{ж}}$ – щільність рідини, кг/м³;

η – в'язкість рідини, Н с/м².

Для орієнтовних розрахунків формулу можна спростити, якщо прийняти: $\rho_{ж}=1000 \text{ кг/м}^3$ та $\eta=0,00114 \text{ Н с/м}^2$ (для води при $15 \text{ }^\circ\text{C}$), $\rho_{ч}=2650 \text{ кг/м}^3$. Тоді діаметр часток можна представити рівнянням:

$$d = 0,1127\sqrt{v} \quad (2.2)$$

В результаті експериментальних робіт встановлена залежність між діаметром частинок і швидкістю їх падіння у воді (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Залежність між діаметром частинок і швидкістю їх падіння

Діаметр частинок, мм	Швидкість падіння часток у воді, 1 см за годину
0,05...0,2	5 с
0,01...0,02	50 с
0,005...0,0046	36 хв
0,001...0,00012	2 год 24 хв

За допомогою методу Б.І. Рутковського можна виділити три основні фракції: глинисту з розміром часток менше 5 мкм; пилювату з розміром часток 5...50 мкм; піщану з розміром часток від 50 мкм і більше.

Недоліком методу Б.І. Рутковського є прямо пропорційна залежність між величиною набухання і змістом глинистих часток в породі. Насправді ця залежність значно складніша, оскільки об'єм набряклої у воді породи визначається не тільки кількістю глинистих часток, але також їх мінеральним складом (вмістом каолініта, монтморілоніта, гідрослюди та ін.)

2.2 Методика проведення експерименту

2.2.1 Обладнання і матеріали

Сито з розміром вічків 2 мм, мірний циліндр місткістю 100 мл, скляний стакан, секундомір, дерев'яна лопатка, скляна паличка, розчин .

2.2.2 Аналіз фракційного складу глинистої сировини методом Б.І. Рутковського

2.2.2.1 Визначення вмісту глинистих часток

Підготовлену для аналізу сировину в легко-сухому стані розтерти дерев'яною лопаткою в порошок і просіяти через сито діаметром 063. Приготова-

ну пробу всипати в циліндр місткістю 100 мл в такій кількості, щоб після ущільнення постукуванням 15...16 разів об м'яку підставу (долоня, зошит), проба в циліндрі зайняла об'єм 10 мл (V_0).

Пробу в циліндрі розпушити, залити 50...60 мл води і помішувати скляною паличкою з гумовим наконечником до тих пір, поки на стінці циліндра при розтиранні проби не зникнуть мазки глини.

До одержаної суспензії додати 2,5...3,0 мл розчин CaCl_2 (5,5 г на 100 мл води) як коагулятора. Суспензію перемішати і додати до 100 мл води. Витримати в спокійному стані 24...48 годин для відстоювання.

Після витримки визначити об'єм набряклої проби (V_1) і розрахувати коефіцієнт набухання (приріст об'єму в cm^3 на 1 cm^3 первинного об'єму):

$$K_v = \frac{(V_1 - V_0)}{V_0} \quad (2.3)$$

де V_0 – початковий об'єм ($V_0 = 10 \text{ cm}^3$).

Вміст глинистих часток визначають за виразом, %:

$$x = 22,7K_v \quad (2.4)$$

де x – коефіцієнт набухання.

2.2.2.2 Визначення вмісту піщаних часток

Суспензію, що була одержана в попередньому експерименті, ретельно перемішати, дати відстоятися протягом 90 с з розрахунку, що частинки піску крупніші ніж 0,05 мм проходять 1 см шляху за 5 с. По закінченню вказаного часу 70...75 мл суспензії злити в скляний стакан. При цьому не допускати «каламучення» шару, що відстоювався.

Залишок в мірному циліндрі долити чистою водою до 100 мл, перемішати, і через 90 с знов злити в стакан всю рідину над осадом, і так далі до повного освітлювання рідини.

Після закінчення «каламучення» долити циліндр до 100 мл водою, дати відстоятися 30...60 с і визначити об'ємну частку піщаних частинок (1 cm^3 об'єму піску в циліндрі дорівнює 10 % проби).

2.2.2.3 Визначення вмісту пилюватих часток

Об'ємну частку пилюватих частинок визначають як різницю між 100 % проби і об'ємними частками глинистих і піщаних частинок. Результати визначення гранулометричного складу (табл. 2.2) двох паралельних проб можуть відрізнятися не більше ніж на 5 %.

Таблиця 2.2 – Визначення гранулометричного складу глин

Номер проби	Найменування досліджуваної сировини	Гранулометричний склад глин, %		
		Піщані 1,0...0,05 мм	Пилюваті 0,05...0,005 мм	Глинисті дрібніші 0,005 мм

2.2.3 Визначення типу глинистої сировини

Дані аналізу гранулометричного складу наносять на потрійну діаграму В.В. Охотіна, по якій встановлюють тип суглинку або глини. Склад будь якої системи, що складається з трьох компонентів, можна зобразити крапкою, що лежить усередині трикутника. Для знаходження положення, відповідного даній породі, що складається з піщаних, глинистих і пилюватих часток, з крапок, що лежать на сторонах трикутника і відповідають вмісту цих компонентів, проводять лінії, паралельні основам трикутника.

Контрольні питання

1. Мета роботи.
2. Прямі методи аналізу гранулометричного складу.
3. Типи непрямих методів.
4. Сутність методу Б.І. Рутковського, його переваги і недоліки.
5. Фізична сутність процесу набухання.
6. Формула Стокса і її практичне вживання.
7. Порядок визначення типу глини за потрійною діаграмою В.В. Охотіна.
8. Методика визначення вмісту глинистих частинок.
9. Методика визначення вмісту піщаних і пилюватих частинок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Вогнетриви та їх використання в металургії

Мета роботи: навчитися визначати тип вогнетривких виробів за зовнішніми ознаками.

3.1 Теоретичні відомості

Вогнетривами називають неметалічні матеріали, призначені для використання в умовах високих температур у різних теплових агрегатах, що й мають вогнетривкість не нижче 1580 °С.

Вогнетривкі матеріали застосовуються майже у всіх галузях промисловості, але чорна металургія основний споживач вогнетривів, вона витрачає від 60...80 % усіх вогнетривких матеріалів, причому 70 % цієї кількості витрачається при виплавці сталі. Прийнято виражати питому витрату вогнетривів на тонну сталі – кг/т сталі. Цей показник характеризує технічний рівень чорної металургії, асортименти і якість вогнетривів.

Економічна ефективність вогнетривів визначається безперервністю служби вогнетривів, тому що тривалість кампанії доменних і сталеплавильних печей лімітується стійкістю вогнетривів. І, нарешті, без вогнетривів взагалі неможливо виплавляти сталь.

Часто доводиться пізнавати вогнетривкі матеріали, сировину, не прибігаючи до лабораторних випробувань, орієнтовно визначати деякі властивості. Навчитися цього можна тільки шляхом глибокого вивчення зовнішніх ознак і окремих властивостей вогнетривів, доступних для нашого сприйняття (колір, блиск, звук, твердість, колір зламу, форма, вага й інші властивості).

3.2 Методика проведення експерименту

Порядок виконання роботи:

- ознайомитися з наявною в лабораторії колекцією вогнетривких виробів;
- описати тип, призначення й зовнішні властивості наданих матеріалів;
- Дані спостережень і вимірів представити у формі табл. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1 – Зовнішні ознаки вогнетривких виробів

№ з/п	Тип вогнетриву	Вогнетривка основа	Сировина для виробництва	Зовнішні ознаки вогнетривів		
				колір	форма	розмір

Таблиця 3.2 – Класифікація й призначення вогнетривких виробів

№ з/п	Тип вогнетриву	Маркування	Класифікація за хіміко-мінералогічним складом	Класифікація за вогнетривкістю	Призначення

Контрольні питання

1. Мета роботи.
2. Які матеріали називають вогнетривками.
3. Де використовуються вогнетривкі вироби.
4. Зовнішні ознаки вогнетривких матеріалів.
5. Класифікація та призначення вогнетривких виробів.

ВИКОРИСТАНА ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Клінкерні керамічні матеріали на основі природної і техногенної сировини України : монографія / О. Ю. Федоренко та ін. Харків : Планета Принт, 2018. 185 с.
2. Керамічні, композиційні матеріали й вогнестійкі покриття на основі гібридних гелів : монографія / О. Б. Скородумова та ін. Харків : НУЦЗУ, 2017. 102 с.
2. Лічконенко Н. В., Безпалов Р. І. Вогнетриви металургійного виробництва : навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА напряму 6.050401 «Металургія». Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 70 с.

Додаткова:

1. Семченко Г. Д. Вогнетривкі вироби для футерування теплових технологічних агрегатів : навч. посібник. Харків : НТУ «ХШ», 2009. 176 с.
2. Бережний А. С., Пітак Я. М., Пономаренко О. Д., Соболев Н. П. Фізико-хімічні системи тугоплавких, неметалічних і силікатних матеріалів : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1992. 172 с.
4. Лічконенко Н. В. Вогнетриви металургійного виробництва : методичні вказівки до виконання контрольних і самостійних робіт та підготовки до тестування. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 31 с.
5. Цибенко Н. О., Лічконенко Н. В. Виробництво периклазовуглецевих вогнетривів для футеровки кисневих конвертерів. *Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2019»*. Запоріжжя: ЗНУ, 2019. Т. Том V. С. 114-115. URL: http://sites.znu.edu.Ua/stud-sci-soc//2019/moloda_nauk.pdf.
6. Refractory Linings : ThermoMechanical Design and Applications / edited by Charles Schacht. New York : Marcel Dekker Inc., 480 p.
7. Hhloben P. Refractory materials major industrial applications. Published by Rexxon Corporation, 2011. 350 p.

ДОДАТОК А

Таблиця А1 - Властивості сировини для виробництва динасу

№ п/п	Вид сировини	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	п/п
1	Овруцьке родовище (I сорт)	98,0	< 1,1	< 0,6	0,13	0,17
2	Овруцьке родовище (II сорт)	97,0	< 1,6	не норм.	0,50	0,50
3	Красногорівське родовище (I сорт)	96,0	не норм.	< 0,5	0,08	0,27
4	Красногорівське родовище (II сорт)	94,0	0,94	< 0,8	0,17	0,52
5	Латненське родовище	➤ 90	5 – 9	< 1,1	0,18	0,48
6	Причистенське родовище	98,1	0,71	0,69	0,30	0,20
7	Антоновське родовище	99,2	0,24	0,11	0,20	0,25

Таблиця А2 – Хімічний склад вапна для металургійного виробництва (ТУ 26.5-00193714-042-2001)

№ п/п	Марка вапна	Масова частка, %			
		CaO+MgO, не менш	MgO, не більш	SiO ₂	ппп
1	ИС 1 (сорт I)	92,0	6,0	1,8	5,0
2	ИС 1 (сорт II)	90,0	6,0	2,0	7,0
3	ИС 2 (сорт I)	88,0	6,0	2,0	8,0
4	ИС 2 (сорт II)	85,0	6,0	2,5	12,0
5	ИС-ТШС	94,0	6,0	1,8	3,0
6	ИСД-1 (I сорт)	92,0	22,0	2,0	4,0
7	ИСД-1 (II сорт)	90,0	22,0	2,5	6,0

Таблиця А3 - Види динасових виробів

Найменування виробу	Вміст основних компонентів, %			Вогнетривкість, °С
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	
Вироби динасові для електросталеплавильних печей ГОСТ 1566-96	96	2,0	1,5	1720
Вироби динасові I групи (для мартенівських печей) ГОСТ 4157-79	94,5	-	1,5	1710
Вироби динасові II групи (для нагрівальних печей прокатних цехів, печей випалу вогнетривів) ГОСТ 8691-73	93,5	-	не норм.	1690
Вироби динасові для кладки скловарених печей ГОСТ 3910-75	95	2,5	не норм.	1710

Таблиця А4 - Варіанти завдання для розрахунку

№ варіанту	Хімічний склад шихтових матеріалів			Вміст вихідних матеріалів у шихті, % ваг.					
				Кварцит		Динасовий бой	Більш 100 %		
	Кварцит (табл. А1)	Вапно (т. А2)	І	ІІ	Вапно		Піритні огарки	ССБ	
1	1	2	1	40	60	-	1,5	1,0	1,6
2	1	3	2	40	40	20	1,6	0,98	1,2
3	1	4	3	40	45	15	1,7	0,96	1,4
4	1	5	4	40	30	30	1,8	0,94	1,0
5	1	6	5	35	45	20	1,9	0,92	1,5
6	1	7	6	45	40	15	2,0	0,90	1,45
7	2	3	7	35	50	15	1,95	0,91	1,35
8	2	4	1	50	30	20	1,85	0,93	1,25
9	2	5	2	30	35	25	1,75	0,95	1,30
10	2	6	3	35	35	30	1,65	0,97	1,15
11	2	7	4	42	40	18	1,55	0,99	1,10
12	3	4	5	40	36	24	2,05	1,0	1,05
13	3	5	6	40	39	21	2,10	1,05	1,0
14	3	6	7	44	40	16	2,15	1,10	1,6
15	3	7	1	33	37	30	2,20	1,15	1,2
16	4	5	2	35	39	26	2,25	1,20	1,4
17	4	6	3	36	36	28	2,30	1,25	1,0
18	4	7	4	30	50	20	2,35	1,30	1,5
19	5	6	5	45	35	20	2,40	1,35	1,45
20	5	7	6	42	42	16	2,50	1,40	1,35
21	6	7	7	43	40	17	2,45	1,45	1,25
22	7	3	6	41	40	19	2,55	1,45	1,30
23	6	5	5	30	45	25	2,60	1,50	1,15
24	4	2	4	35	35	30	2,70	1,48	1,10
25	3	1	3	35	40	25	2,80	1,46	1,05

Навчально-методичне видання
(українською мовою)

Кириченко Олексій Геннадійович
Прутцьков Дмитро Володимирович

ВОГНЕТРИВИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Навчально-методичний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності 136 «Металургія»
освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів», «Металургія
кольорових металів», «Обробка металів тиском»

Рецензент *В.О. Скачков*
Відповідальний за випуск *Ю.О. Белоконь*
Коректор *О.Г. Кириченко*