

Лекція 5 ГРАФІТАЦІЯ ОБПАЛЕНИХ ЗАГОТІВЕЛЬ

5.1 Технологія графітації

Графітацією називають технологічну операцію дії високих температур (2500 - 3000°C) на кокс, вугілля або вироби з них. Графітації піддають головним чином напівфабрикати (заготівлі), що пройшли такі технологічні операції, як пресування і випалення. Високотемпературній обробці (графітації) можуть піддаватися кускові (наприклад, виробництво термографіта) і порошкоподібні матеріали. В результаті такої високотемпературної обробки різко змінюються властивості початкових матеріалів: підвищуються їх щільність, хімічна стійкість, електропровідність і теплопровідність, а також стають жирними і залишають слід на папері, тобто матеріали набувають властивості, характерні для природного графіту. Звідси і виник термін графітація - отримання виробів з характерними ознаками природного графіту.

Процес графітації належить до енергоємних електротермічних виробництв: витрата електроенергії залежно від виду і розмірів виробів складає 3000 - 10000кВт·ч/т.

Процес графітації складається з наступних операцій:

1. Підготовка печі до завантаження.
2. Завантаження печі.
3. Приготування пересипних і допоміжних матеріалів.
4. Графітація
5. Вивантаження і розбраковування графітованих заготівель.
6. Охолодження оборотної шихти в печах графітації
7. Штабельовання, зберігання і транспортування графітованих заготівель.
8. Сушка зволоженого графітованого коксу на печах графітації (допоміжна операція).

2.8.2 Печі для графітації

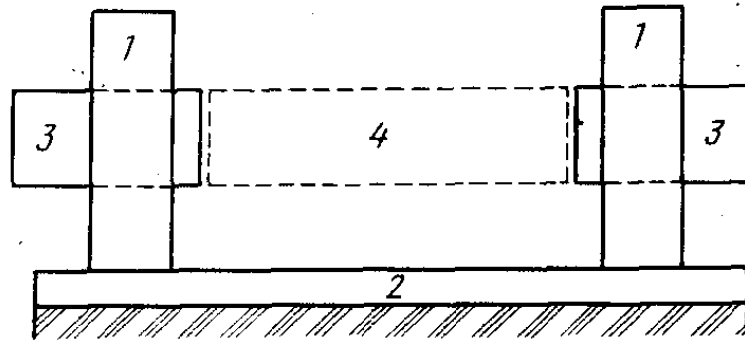
Уперше графітацію вугілля (електродів) запропонував Кастнер (США, 1893р.), проте він не розробив техніку для графітації, а обмежився пропозицією нагрівати вугільні стрижні, затискаючи їх між струмопідводящими електродами, по яких проходить електричний струм. Уперше промислові печі для графітації були сконструйовані Жираром і

Стритом (Франція, 1893 – 1895рр.). Це були дугові печі безперервної дії для графітації вугільних стрижнів невеликого діаметру. У замкнутому просторі між двома електродами запалювалася електрична дуга, через яку простягалися вироби, що графітували. Непрактичність печей цього типу очевидна, тому вони не отримали промислового розвитку. Ачесон (США, 1896р.) знайшов ефективніший спосіб графітації, застосовуючи нагрівання струмом, що протікає через оброблюваний матеріал. Ним же запропонована конструкція печі, що дозволяє одночасно графітувати великі маси матеріалів різноманітних форм і розмірів. Спосіб, розроблений Ачесоном, набув широкого поширення в усіх країнах світу. З часу Ачесона техніка його методу майже не прогресувала. Збільшилися тільки розміри печей, зросли потужності живлячих трансформаторів.

Під терміном "електрична піч" слід розуміти увесь комплекс пічного устаткування, включаючи власне пекти, трансформатор і зв'язуючу електричну, так звану коротку, мережу. Короткою електричною мережею або вторинним струмопідводом називається система провідників, які передають струм робочої напруги від джерел живлення (наприклад, трансформатор, генератор та ін.) до робочої зони електричної печі для графітації, де електрична енергія перетворюється на теплову.

Деякі ділянки короткої мережі можуть одночасно служити елементами конструкції печі (наприклад, струмопідводящі електроди).

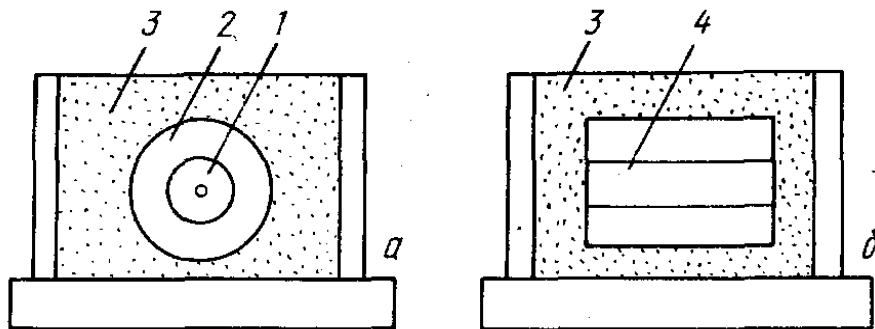
На рис. 2.14 схематично показана піч для графітації. Основними елементами конструкції печі служать дві торцеві стінки, розташовані один проти одного і сполучені між собою основою 2, яке є подиною печі. У торцевих стінках закладені струмопідводящі електроди 3, що служать для введення електроенергії в її робочий об'єм - простір між струмопідводящими електродами 4. Цей робочий об'єм завантажують виробами або матеріалами, які мають графітувати і завантажений робочий об'єм печі вже називається керном.



1 - торцева стінка; 2 - основа печі; 3 - струмопідводящі електроди; 4 - робочий об'єм (кern)

Рисунок 2.14 – Схема печі для графітації

На рис. 2.15 приведені поперечні розрізи карборундової печі (а) і печі для графітації (б). У карборундової печі в центрі робочого об'єму розташовані kern 1, навколо нього - шихта 2, з якої утворюється карбід кремнію (SiC). Kern в цьому випадку є нагрівачем (через нього тече електричний струм) і елементом, який створює теплове поле для виникнення і завершення процесу утворення карбиду кремнію з шихти 2. У печі для графітації завантажені вироби також називають kernом 4, але функції його абсолютно інші, чим в карборундовій. У тому ж об'ємі, де виділяється тепло за рахунок протікаючого струму, протікає і основний процес - графітація.

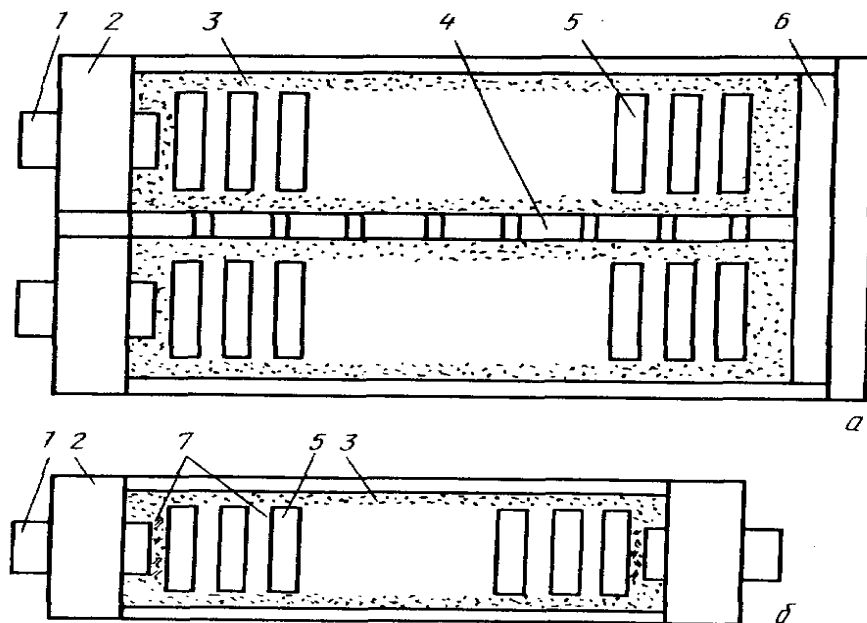


а - карборундової; б – для графітування; 1 - kern; 2 - шихта; 3 - теплова ізоляція; 4 - робочий об'єм (кern)

Рисунок 2.15 – Схематичні поперечні розрізи електричних однофазних печей опору

Піч Ачесона має великі недоліки, обумовлені в основному періодичністю її дії. Це - низький к.к.д. і мала продуктивність із-за тривалого процесу графітації простоїв при охолодженні, розвантаженні і завантаженні. Із-за малої продуктивності однієї печі вимагається установка великої

кількості печей, спорудження для них великій площі будівлі, довгі магістралі струмопідводящих шин. Крім того, потрібні величезні кількості допоміжних матеріалів - теплоізоляційної шихти і пересипки. Нині в промисловості використовуються дві характерні конструкції печей графітації: нормальні (прямі) або, як їх іноді називають, печі Ачесона і П-образні печі. На рис. 2.16 приведені схеми цих печей. Нормальні печі набули найбільшого поширення; вони працюють як на змінному, так і на постійному струмі, а П-образні печі застосовуються лише на потужних установках, що працюють на постійному струмі.

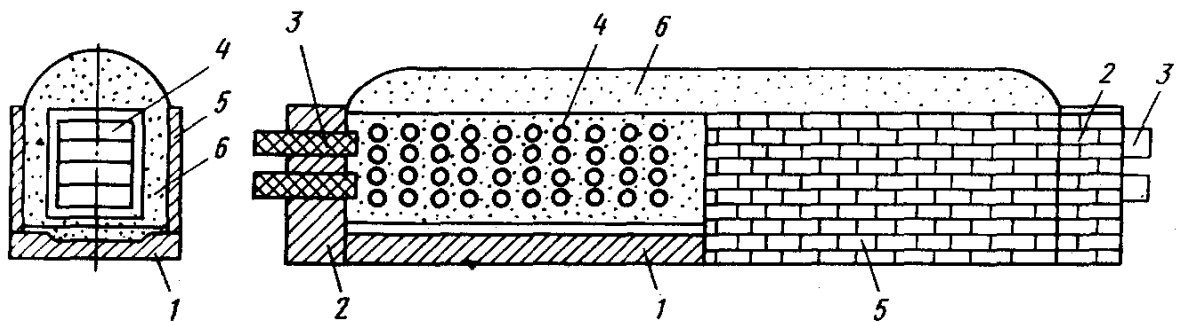


а - П-образна піч; б - нормальна піч (Ачесона); 1 - струмопідводящий електрод; 2 - торцева стіна; 3 - теплоізоляційна шихта; 4 - роз'єднувальна стінка; 5 - електроди; 6 - сполучний провідник; 7 – пересипка

Рисунок 2.16 – Схеми основних типів печей для графітації

На рис. 2.17 показана конструкція нормальної прямої печі для графітації. Піч має міцну основу у формі прямокутного корита 1 і дві торцеві стінки 2. У торцевих стінках створені отвори для укладання струмопідводящих електродних пакетів 3, до яких підводиться від потужних джерел електричний струм. В основу печі (корито) набивають спеціальні подину, що складається з суміші порошкоподібних вуглецевих матеріалів і піску. На підготовлену подину завантажують вироби (наприклад, електроди) 4, що піддаються графітації. Бічні стінки 5 служать для того, щоб утримати завантаження печі. Ці стінки - розбірні, їх кожену кампанію збирають і

розбирають. Будують також печі, в яких ці стінки нерозбірні або розбирається одна стінка для зручності обслуговування печі при розвантаженні і завантаженні. Розміри печей для графітації залежать від величини завантаження, а також від геометричних розмірів виробів, що графітують. Наприклад, при графітації електродів ширину печі визначає довжина електроду, який графітують, оскільки він укладається перпендикулярно до осі печі. Нині виробляються електроди завдовжки 1700мм, а іноді до 2000мм. Отже, ширина печі дорівнює сумі довжини електроду, товщини шару теплової ізоляції, розміри якої складають 500 - 700мм (на сторону), і товщини шунтуючих шарів і бічних стінок. При графітації конструкційного графіту і щіток для електричних машин - малотоннажної продукції, невеликих розмірів, допускаються форсовані режими графітації. Зазвичай для графітації цих матеріалів застосовуються печі малих потужностей, переріз керна в яких складає від 0,3 до 1,0м².



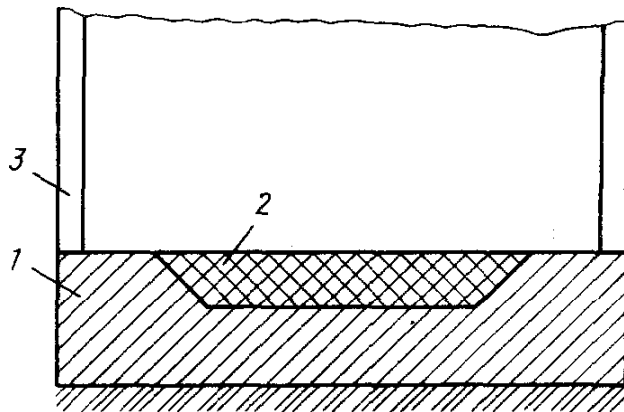
1 - подина; 2 - торцева стінка; 3 - струмопідводящі електроди; 4 - заготівлі; 5 - бічні стінки; 6 - теплоізоляційна шихта

Рисунок 2.17 – Піч для графітації нормальна пряма

Важче визначити оптимальну довжину печі. Нині застосовуються печі завдовжки від 4 до 20м, що живляться змінним струмом, і до 40м - постійним струмом. Довші печі при тій же потужності трансформатора економічніші, оскільки подовження керна призводить до підвищення теплового і електричного к.к.д. і, як наслідок, до збільшення продуктивності і зниження питомої витрати електроенергії. Із збільшенням довжини керна збільшується активний опір, що призводить до тих же результатів. Проте із збільшенням довжини печі зростає індуктивний опір (для печей, що працюють на змінному струмі), що знижує ефект, отриманий від збільшення омичного опору. Чим довша піч, тим більшою мірою зростає індуктивний опір, і на

дуже довгих печах вплив індуктивного опору стає настільки значним, що різко знижуються усі техніко-економічні показники, і експлуатація таких печей стає, не вигідною. У промисловій практиці печі для графітації довше 20м (по керну) не будують.

Подина. На рис. 2.18 приведений розріз печі по подині. Шамотова основа має ночноподібну форму, яке набивається сумішшю з піску і вуглецевого матеріалу. Висота набійки біля 300мм. Цільове призначення набійки полягає в оберіганні шамотної основи від дії високих температур. Для будівництва печей застосовується шамотовий вогнетрив, але в промисловій практиці зустрічаються печі, побудовані з вогнетривкого бетону.



1-подина; 2 - набійка подини; 3 - бічна стіна печі

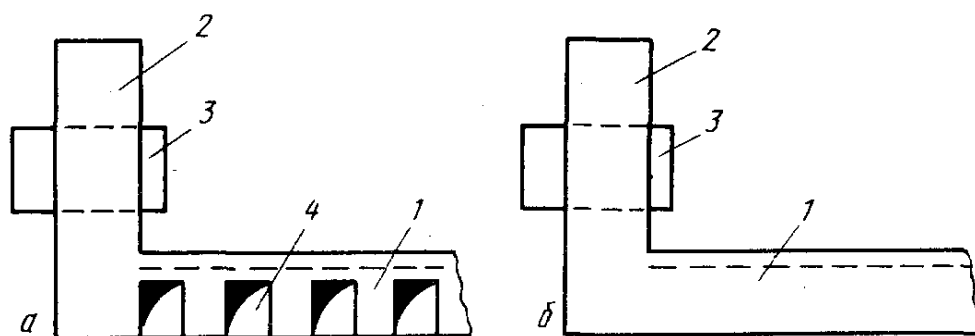
Рисунок 2.18 – Подина нормальної прямої печі (розріз)

Основні вимоги пред'являються до набойної маси, полягають в тому, щоб вона мала високі тепло- і електроізоляційні властивості і не плавилася при високих температурах. Пісок, який входить до складу маси, плавиться біля 1700°C , отже, він не задовольняє одній з вимог. Але увесь сенс комбінації піску з вуглецем полягає в тому, що при нагріванні цієї суміші до $1500 - 1600^{\circ}\text{C}$ утворюється карбід кремнію, який не плавиться і не розкладається до 2300°C . Разом з карбідом кремнію, що утворюється, може вийти сілоксикон (з'єднання кремнію, вуглецю, кисню) - вогнестійка речовина ясно-салатового кольору, яка також успішно служить в умовах експлуатації подини.

При дуже високих температурах (вище 2200°C) можливе заграфітування подини - розкладання карбїду кремнію з утворенням вуглецю. В цьому випадку набійка різко втрачає свої ізоляційні властивості: сильно

зростає її електропровідність, що супроводжується витокком струму в подину, а головне - подина руйнується. Тому при експлуатації печі мають бути створені такі умови, щоб температура в набійці не перевищувала 2000°C . Хід процесу графітації багато в чому залежить від стану подини, тому перед кожною кампанією печі проводять строгу перевірку подини і усувають виявлені дефекти.

Подини будують двох видів: охолоджувані і неохолоджувані (рис. 2.19). Неоохолоджувані подини викладають суцільним масивом на фундаментній основі. Нині їх майже не будують, лише іноді - на печах малої потужності і продуктивності. Печі з охолоджуваними подинами будують двох видів: з природним і примусовим охолодженням. У печах з природним охолодженням подини охолодження здійснюється повітрям, що протікає через спеціальні канали споруджені під подиною (рис. 2.19, а). Канали розташовуються упоперек печі.



а - охолоджувана; б - неохолоджувана; 1 - подина; 2 - торцева стінка печі; 3 - струмопідводящий електрод; 4 - канал для охолодження

Рисунок 2.19 – Подини печей для графітації

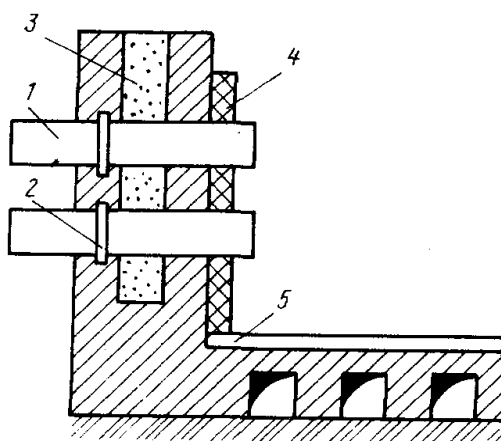
Для того, щоб посилити теплообмін, необхідно збільшити швидкість руху повітря, що протікає через канали, що досягається за рахунок створення нахилу каналу від одного краю печі до іншого. Площа охолодження, що охоплюється каналами, складає близько 40% від площі череня печі для графітації. Печі з примусовим охолодженням подин, що працюють на змінному струмі, зустрічаються рідко, оскільки простіше і дешевше в експлуатації печі з природним охолодженням подини.

Торцеві стінки. Торцеві стінки - дуже важливі елементи печі для графітації і найвразливіші її частини. Стінки мають бути легкими, міцними і надійними в експлуатації. У торцеві стінки закладені струмопідводящі

електродні пакети, а самі стінки споруджені з шамотного вогнетрива або з вогнетривкого бетону. Товщина стінки 800 - 1000мм залежно від зусиль розпирання, що створюються в печі, числа і розмірів струмопідводящих електродів.

Найбільш відповідальною ділянкою є контакт електроду із стінкою. При недостатній герметизації цієї ділянки поверхні електродів згорають, а в щілини, що утворилися, безперервним потоком поступає повітря, інтенсифікуючи процес згорання електродів. Ремонт торцевої стінки, що полягає в заміні струмопідводящих електродів, дуже дорогий і вимагає тривалої зупинки печі. Тому потрібна герметичність електродного пакету.

На рис. 2.20 приведено два способи герметизації: або за допомогою спеціальних герметизуючих "сальників" 2, або шляхом засипки вільного простору в середині кладки порошкоподібним графітом. Шар графіту перешкоджає прониканню повітря, а якщо навіть припустити, що гаряче повітря все ж проникне, то окислюватиметься раніше порошкоподібний графіт.



1 - електрод; 2 - сальникове ущільнення; 3 - графітовий порошок; 4 - вугільна плита; 5 - набійка подини

Рисунок 2.20 – Закладення струмопідводящих електродів в торцевій стінці

Готовий (обпалений) блок встановлюється в спеціальному отворі торцевої стінки. Для оберігання внутрішньої поверхні торцевої стіни від дії високих температур вона захищена вугільними плитами завтовшки 80 - 100мм (див. рис. 2.20). Цей шар струмопровідний, це необхідно враховувати при розрахунках і експлуатації печей.

Бічні стінки. Бічні стінки виконують менш відповідальні функції, чим торцеві. Головне їх завдання полягає в збереженні об'єму завантажених виробів і допоміжних матеріалів. У промисловій практиці можна зустріти печі, у яких бічні стінки мають примусове охолодження повітрям. Це практикується у тому випадку, коли ширина печі невелика і шар теплоізоляційної шихти занадто малий. Такі конструкції печей нераціональні, вони дорогі в споруді і експлуатації.

При будівництві торцевих і бічних стін слід уникати застосування залізобетону і сталевих конструкцій, оскільки сталеві конструкції збільшують індуктивність контура печі і витрату електроенергії.

Електрична енергія підводиться до робочого об'єму печі для графітації (керна) за допомогою електродів. Струмopідводящі електроди, закладені в торцеву стінку, називають електродним пакетом. Сила струму в сучасних графітованих печах досягає декількох десятків тисяч ампер, електродний пакет має бути складений з такого числа електродів, щоб загальний їх переріз задовольняв вимогам, що пред'являються до електричних провідників по допустимій щільності струму.

Як струмопідводящі електроди використовуються графітовані електроди. Вони мають високу електропровідність і допускають високу щільність струму (до $12\text{A}/\text{cm}^2$) в умовах печі для графітації. Тому переріз таких електродів може бути прийнятий невеликим. Це дуже важливо, оскільки чим менше переріз електродів, тим більше легкою може бути конструкція торцевої стінки. Графітовані електроди легко обробляються і з великою точністю, що забезпечує високу якість контакту з металевими провідниками, а отже, знижують втрати в контактних з'єднаннях і збільшуються терміни служби.

При визначенні оптимального перерізу електродів слід мати на увазі, що із зменшенням перерізу електродів зростають електричні втрати.

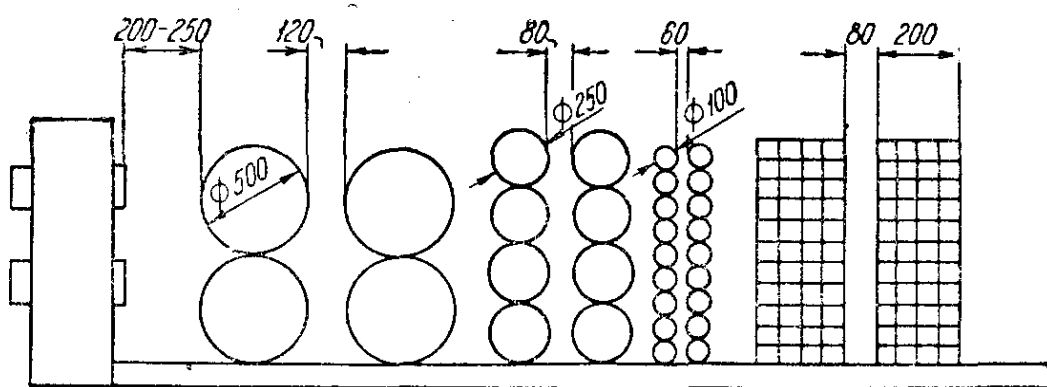
2.8.3. Режими графітації

Завантаження печі складається з ряду послідовних операцій: підготовки подини, укладання виробів, завантаження пересипки і теплоізоляційної шихти.

Щоб уникнути теплових втрат і витоку струму через подину, перед кожною кампанією її контролюють і відновлюють. Якщо виявлено, що заграфіченість подину проникла глибоко і ізоляційні властивості її майже втрачені, її видаляють і набивають нову подину.

В середині печі, між струмопідводящими електродами, укладають вироби, призначені для графітування. Їх укладають перпендикулярно осі печі одне на інше на пересипку, насипану рівним шаром на подину. Перший ряд укладають на відстані 250-300мм від кінців струмопідводящих електродів. Відстань між кожним рядом укладених виробів повинна складати 20% від діаметру виробу, що графітується. Проміжки між рядами заповнюють пересипкою. Невеликим шаром пересипки зопвнюють увесь укладений керн.

Для зручності і більшої точності укладання виробів користуються дерев'яними шаблонами, які встановлюють між вертикальними рядами (рис. 2.21). З боків керна, що укладається, встановлюють металеві щити. Після того, як вироби укладені, простір між рядами і металевими щитами заповнюють пересипкою. Простір між металевими щитами і бічними стінками печі заповнюють теплоізоляційною шихтою. Після цього видаляють шаблони і щити, а згори завантаженого керна виробів насипають шар теплоізоляційної шихти. Одночасно збирають бічні стіни.



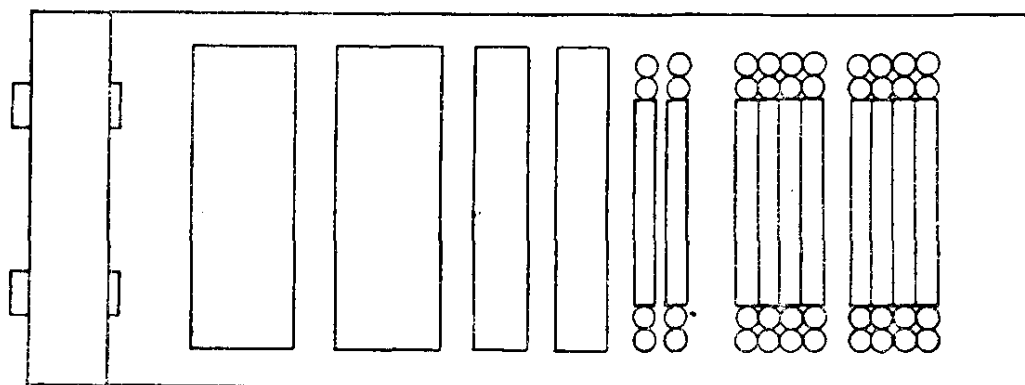


Рисунок 2.21 – Схема укладання електродів в піч

У печах регульованого опору можливе графітування тільки пластин невеликого розміру, наприклад щіткових блоків. Вироби укладають між струмопідводящими електродами щільно одне до іншого широкою площиною. Пересипка не застосовується. Як теплова ізоляція застосовують сажу, якою укривають керн з усіх боків.

До допоміжних матеріалів відносяться: пересипка, теплоізоляційні матеріали і шихта для набивання подини.

Як пересипка застосовують кокс. При графітуванні електродів використовують ливарний кокс.

При графітуванні щіток або спеціальних матеріалів застосовують малозольний кокс з метою запобігання утворенню на виробі карборунда і забруднення зольними домішками коксу матеріалів, що піддаються термічній обробці.

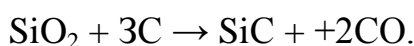
Гранулометричний склад пересипного матеріалу різний. При графітуванні великих електродів максимальна величина шматків досягає 30мм. При графітуванні дрібних виробів максимальне зерно знижується до 6-10мм. Бажано, щоб усі зерна по своїх розмірах були близькі. Для електричного режиму печі дуже важливо мати постійність гранулометричного складу пересипки.

Як теплоізоляційна шихта найчастіше застосовують суміш коксової дрібниці, піску і деревної тирси. Співвідношення цих матеріалів за об'ємом рівне 2:2:1. Суміш повинна добре перемішуватися. Теплопровідність такої шихти рівна $0,15\text{ кал/см}^2$ і близька до теплопровідності азбесту. Насипна вага шихти 800-900кг/м³.

Як теплова ізоляція застосовують тонкоподрібнений кокс, який по теплопровідності близький до теплоізоляційної суміші. Чим дрібніше кокс,

тим менше його теплопровідність. Іноді для цих цілей застосовують сажу. Але це дуже дорогий матеріал. Застосування сажі і дрібного коксу погіршує умови роботи по завантаженню і розвантаженню печей.

Шихту для подини готують з суміші піску і коксової дрібниці. Не можна допускати надлишку коксу, тому що провідність подини може зрости, але не можна допускати і надлишку піску, бо це призведе до швидкого виходу з ладу подини в результаті плавлення надлишкового піску. Шихту складають по стехіометричній формулі:



Гранична температура, при якій повинен закінчуватися процес графітації, практично коливається в межах 2300-3000°C. Менш ясна проблема швидкості підйому температури. Швидкість нагрівання обмежується, з одного боку, прагненням отримати щільніші вироби, а з іншої - не допустити утворення тріщин. Ці вимоги знаходяться в протиріччі з теплотехнікою процесу і встановленим електротехнічним устаткуванням. З цієї точки зору найбільш ефективним є швидкий процес нагрівання. Всяке уповільнення знижує граничну температуру і збільшує витрату електроенергії.

Таблиця 2.4 – Вживана сировина і матеріали.

Найменування матеріалу	Технічні вимоги	Призначення
Горішок коксівний (марок КО 1, КО 2, КО 3.)	Масова доля загальної вологи марок КО 1, КО 2, КО 3, не більше, % - 20,0 Зольність марки КО 1, не більше, % - 11,0 Зольність марки КО 2, не більше, % - 13,0 Зольність марки КО 3, не більше, % - 15,0 Зміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 1, не більше, % - 9,0 Зміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 2, не більше, % - 12,0 Зміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 3, не більше, % - 15,0 Зміст шматків розміром більше 25 мм марки КО 1, КО 2, КО 3, не більше, % - 10,0	Керновая пересыпка

Дрібниця коксівна (марок МК 1, МК 2, МК 3)	Масова доля загальної вологи марок МК 1, МК 2, не більш, % - 22,0 Масова доля загальної вологи марки МК 3, не більше, % - 24,0 Зольність марки МК 1 не більше, % - 13,0 Зольність марки МК 2, не більше, % - 16,0 Зольність марки МК 3, не більше, % - 18,0 Зміст шматків розміром більш 10 мм марок МК 1, МК 2, не більше, % - 8,0 Зміст шматків розміром більше 10 мм марки МК 3, не більше, % - 6,0	Компонент шихти теплоізоляційної
Тирса дерев'яна	Відсутність сторонніх предметів (сміття, тріски)	Компонент шихти теплоізоляційної
Пісок річковий	Відсутність сторонніх предметів	Компонент шихти теплоізоляційної
Шихта оборотна	Відсутність шматків, що спеклися, бою цеглини, сміття	Компонент шихти теплоізоляційної
Кокс графітовани й	Відсутність шматків, що спеклися, бою цеглини, сміття	Кернова пересипка
Дерев'яні щити	Відсутність сторонніх предметів	Теплоізоляційні захисні шари
Тирса дерев'яна	Відсутність сторонніх предметів	Теплоізоляційні захисні шари

Критичний інтервал температур, в якому протікають найбільш важливі процеси, що супроводжуються усадкою, 1300-2100°C. Деякі фахівці рекомендують цей інтервал проходити повільно, з швидкістю близько 30°/години. Якщо цей інтервал температур пройдений з більшою швидкістю, то усадка у виробх різко знижується, а отже, знижується щільність і механічні властивості. Нижче і вище вказаних меж температур швидкості можуть бути значно збільшені.

Основна причина утворення тріщин при графітації полягає в нерівномірному нагріванні виробу по довжині і перерізу. В результаті створюється величезна напруга, що розриває виріб.

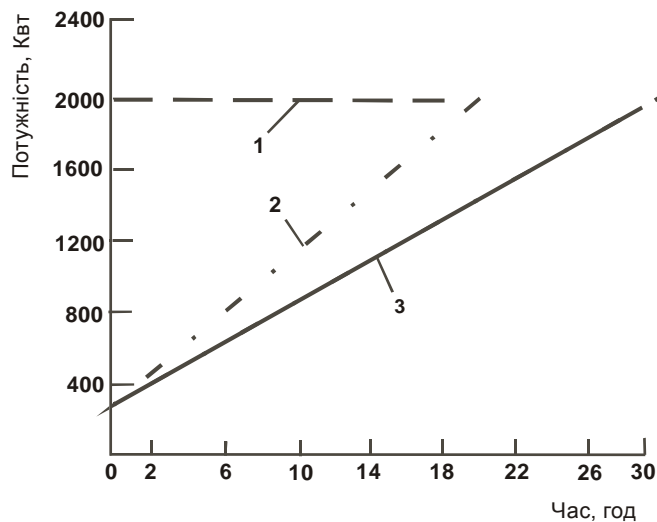
Розглянемо це явище на прикладі графітування електродів. Нагрівання електродів в печі починається з поверхні і поступово поширюється до центру. Це пояснюється наступним: kern печі складається з послідовно сполучених опорів пересипки з високим опором і електродів з відносно низьким опором.

При однаковому струмі, що протікає через піч, кількість тепла, що виділяється, в завантаженні пропорційно опорю. Оскільки опір пересипки складає в середньому 98%, отже, і кількість тепла, що виділилося в пересипці, відповідає цій же величині. Внаслідок досить низької теплопровідності коксових електродів при швидкому підйомі температури в печі відбуватимуться значні перепади температур на периферії і в центрі електроду, що може стати причиною його руйнування.

У печі для графітації унеможливлено ведення режиму графітування по виміру температури в оброблюваному виробі. У практиці процес графітування визначається графіком потужності, що підводиться до печі. Цей метод заснований на тому, що температура в керні знаходиться в прямій залежності від кількості енергії, введеної в піч. Кількість енергії, споживана піччю, також не дає ясного уявлення про швидкість підйому температури в печі. Проте чим коротше час, за який введена задана кількість енергії, тим різкіше під'їм температури і тим більше високі температури зможуть бути досягнуті в печі. При уповільненому режимі введення енергії в піч спостерігаються зворотні явища.

Незважаючи на вказані недоліки ведення режиму по приладах електровимірювань, в промисловій практиці цей метод особливо широко застосовується, бо усі інші методи страждають ще більшими недоліками. Графік потужності встановлюють експериментально, в основі його лежить отримання виробів високої якості, великий вихід придатного і відносно невеликі витрати електроенергії.

На рис. 2.22 приведені зразкові графіки потужності при графітуванні виробів різних розмірів. Показана тільки ліва керована частина графіків. Графік застосовують для графітування дрібних виробів. В цьому випадку піч підключають на максимальну напругу і з трансформатора знімають максимум потужності. Процес протікає досить швидко. Це дуже економічний графік, при якому різко знижуються теплові втрати і забезпечується низька витрата електроенергії.



1 - для дрібних виробів; 2 - для середніх виробів; 3 - для великих виробів
 Рисунок 2.22 - Криві потужності при графітуванні різних виробів

Графік 3 застосовується для великих виробів. Він характеризується великим розтягненням і невеликою початковою потужністю. Такий режим графітування зв'язаний з великою витратою електроенергії і зниженням продуктивності. Графік 2 займає проміжне місце і служить для графітування виробів середнього розміру.

Одне з найважливіших завдань укладання керна полягає в тому, щоб добитися рівномірного розподілу температур по перерізу і довжині керна. Досліди показують, що при невдалому укладанні керна різниця температур в межах 300 - 400°C в різних ділянках його зберігається на всьому протязі кампанії, незважаючи на її тривалість. Проте викласти kern настільки однорідно, щоб забезпечити рівномірну температуру за усім обсягом, практично неможливо. Тому в практиці вимушені зважати на ці обставини і організовувати режим графітування так, щоб мінімальні температури знаходилися в межах, що забезпечують отримання графіту необхідної якості.

На рис. 2.23 зображена топограма розподілу температур по перерізу печі, отриманих при балансових випробуваннях. Для різних кампаній розподіл температур в керні різний. В деяких випадках різниця досягає 1000°C. Основна причина такого розбігу температур полягає в неоднорідності укладання керна. До кінця кампанії температура дещо вирівнюється, але вона ніколи не досягає однакового значення. Найбільш низькі температури спостерігаються у верхній частині печі, що пояснюється великим електричним опором верхніх шарів керна. Найменшого опору завжди виділятиметься велика потужність.

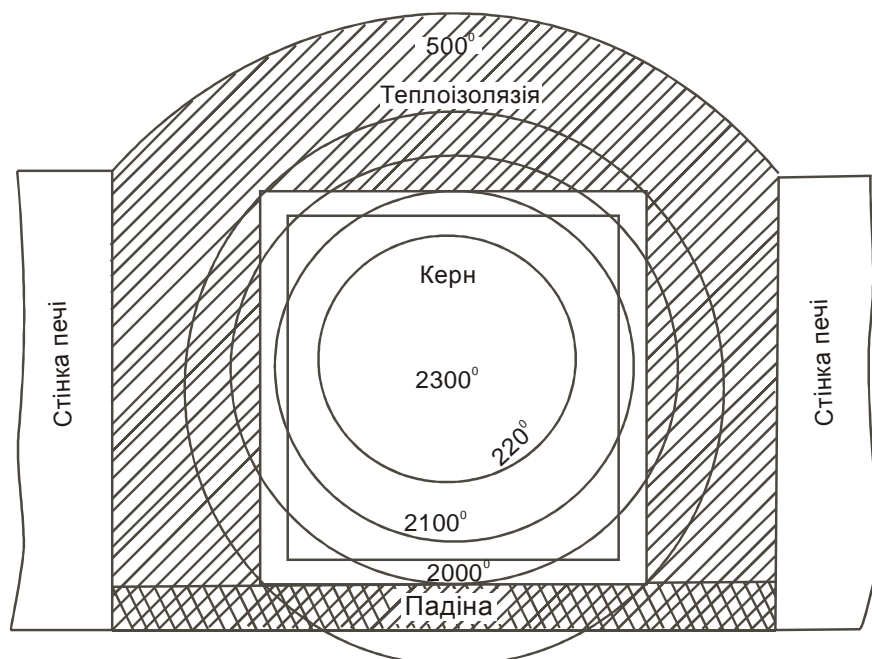


Рисунок 2.23 - Топограма розподілу температур в печі для графітації

Отримання однакових температур по усьому перерізу і по усій довжині керна можливо тільки за умови виділення в кожній одиниці об'єму керна однієї і тієї ж кількості енергії. Для цього потрібний рівномірний по усьому перерізу керна розподіл струму і однаковий по довжині печі опір. Добитися рівномірного розподілу струму по перерізу керна дуже складно. При цьому необхідно враховувати, окрім самих властивостей матеріалів, можливі коливання початкових температур, тисків в нижніх і верхніх шарах, електродинамічний ефект взаємодії струму печі із струмом в зворотних шинах, явище скін-ефекту і тому подібне.

Керн печі має явно виражену властивість наростаючого ефекту. Будь-яка нерівномірність укладання керна, незначна в холодному стані, неминуче розростається в значній нерівномірності розподілу струму при високих температурах. Це пояснюється негативним температурним коефіцієнтом опору вуглецевих матеріалів і тим, що по лінії найменшого опору завжди виділятиметься велика потужність.