

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему аналіз впливу температури на якість графітованих
електродів

Виконав: студент II курсу, групи МЕТ-18-2 мг
спеціальності 136 - металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія кольорових металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Алексейчик С. О.

(ініціали та прізвище)

Керівник К.Т.Н. доц. Березина О. Р.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент К.Т.Н. доц. Харченко О. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет металургії
Кафедра металургії
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 136 - металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія кольорових металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургії
Терновий Ю.Ю.
« 10 » 01 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Алексійчику Брайю Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз впливу температури на якість графітованих електродів

керівник роботи К.Т.Н. доц. Терезина О.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 01 2019 року № 1540-С

2 Строк подання студентом роботи 30.12.2019р

3 Вихідні дані до роботи заготовки карбонізованих електродів, піг для графітації, матеріали для пересипки

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технології отримання графітованих електродів.

Технологія графітації обпалених заготовків. Піг для графітації. Режими графітації. Дослідження залежності електропровідності від температури. Дослідження залежності лінійної на власивості електродів. Дослідження теплопровідності електродів. Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху графітації

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Технологічна схема електродного виробництва. Піг для графітації нормальна проба. Схема укладання електродів в піг. Матеріали для пересипки. Залежність потужності, що плавиться до піг графітації від часу. Топограма розподілу температур в печі для графітації. Механічні характеристики графіту при різних температурах. Різні характеристики графіту залежно від температури. Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	К.Т.Н. доц. Березина О.Р.	<i>О.Р. Березина</i> 01.10.19	<i>О.Р. Березина</i>
2	К.Т.Н. доц. Березина О.Р.	<i>О.Р. Березина</i> 01.10.19	<i>О.Р. Березина</i>
3	К.Т.Н. доц. Березина О.Р.	<i>О.Р. Березина</i> 01.10.19	<i>О.Р. Березина</i>
4	К.Т.Н. доц. Березина О.Р.	<i>О.Р. Березина</i> 01.10.19	<i>О.Р. Березина</i>

7 Дата видачі завдання 01.10.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1	Аналіз технології об'єднання графитованих електродів	01.11.19	
2	Технологія графітації карбонізованих електродів.	15.11.19	
3	Дослідження впливу режимів графітації на властивості електродів	01.12.19	
4	Охорона праці та техногенна безпека	15.12.19	
5	Оформлення графітного матеріалу	30.12.19	

Студент *А.В. [підпис]*
(підпис)

С.О. Алексійчук
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *О.Р. [підпис]*
(підпис)

О.Р. Березина
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[підпис]*
(підпис)

С.В. Бокань
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Алексейчик С.О. Аналіз впливу температури на якість графітованих електродів.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 - Metallurgy, науковий керівник к.т.н., доц. О.Р. Бережна. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра металургії, 2020.

Проаналізовано технологічні особливості виробництва графітованих електродів. Проведено дослідження по визначенню залежності температури нагріву на властивості графітованих електродів. Проведено дослідження по визначенню механічних властивостей графіту при різних температурах, залежності питомого електроопору вуглецевих тіл від температури графітування, визначенню залежності теплопровідності від температури та залежності модулю Юнга від температури.

Ключові слова: ГРАФІТ, ЕЛЕКТРОДИ, ГРАФІТАЦІЯ, ВУГЛЕЦЕВІ МАТЕРІАЛИ, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ANNOTATION

Alekseychik S.O. Analysis of the effect of temperature on the quality of graphite electrodes

Qualification work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 136 - Metallurgy, scientific adviser Ph.D., associate professor. O.R. Berezhnaya. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy, 2020.

The technological features of the production of graphite electrodes are analyzed. A study was conducted to determine the dependence of the heating temperature on the properties of graphitized electrodes. A study was carried out to

determine the mechanical properties of graphite at different temperatures, the dependence of the electrical resistivity of carbon bodies on the temperature of graphitization, to determine the dependence of heat conductivity on temperature and the dependence of Young's modulus on temperature.

Keywords: GRAPHITE, ELECTRODES, GRAPHITATION, CARBON MATERIALS, HEAT CONDUCTIVITY, TEMPERATURE, MECHANICAL PROPERTIES

АННОТАЦИЯ

Алексейчик С.О. Анализ влияния температуры на качество графитованных электродов.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 - Metallurgy, научный руководитель к.т.н., доц. О.Р. Бережная. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра металлургии, 2020.

Проанализированы технологические особенности производства графитированных электродов. Проведено исследование по определению зависимости температуры нагрева на свойства графитированных электродов. Проведено исследование по определению механических свойств графита при разных температурах, зависимости удельного электросопротивления углеродных тел от температуры графитации, определению зависимости теплопроводности от температуры и зависимости модуля Юнга от температуры.

Ключевые слова: ГРАФИТ, ЭЛЕКТРОДЫ, ГРАФИТАЦИЯ, УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ, TEMPERATURE, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ГРАФІТОВАНИХ	
ЕЛЕКТРОДІВ.....	11
1.1 Технологічна схема виробництва електродної продукції.....	11
1.2 Підготовка сировини та приготування електродної маси для виробництва електродної продукції.....	16
1.3 Пресування електродних заготівель.....	24
1.3.1 Литне пресування.....	24
1.3.2 Пресування порошкоподібних мас в пресформу.....	29
1.4 Випалення заготівель.....	36
Висновки до розділу 1.....	41
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ГРАФІТАЦІЇ КАРБОНІЗОВАНИХ	
ЕЛЕКТРОДІВ.....	42
2.1 Технологія графітації обпалених заготівель.....	42
2.2 Печі для графітації.....	43
2.3 Режими графітації.....	52
Висновки до розділу 2.....	60
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ГРАФІТАЦІЇ НА	
ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ.....	61
3.1 Дослідження залежності електропровідності від температури.....	61
3.2 Дослідження залежності міцності на властивості електродів.....	63
3.3 Дослідження теплопровідності електродів.....	66
Висновки до розділу 3.....	67
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	
4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху графітації обпалених заготовок.....	68

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху графітації обпалених заготовок.....	70
4.3 Заходи з електробезпеки.....	72
4.4 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій світарії в цеху графітації обпалених заготовок.....	73
4.4.1 Освітлення виробничих приміщень.....	73
4.4.2 Мікроклімат.....	74
4.5 Заходи пожежної безпеки.....	76
4.6 Розрахунок блискавкозахисту приміщень і споруд.....	78
Висновки до розділу 4.....	82
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	84

ВСТУП

Безліч технологічних процесів промислового виробництва супроводжуються високими рівнями теплових, електричних і механічних навантажень. Це обумовлює необхідність застосування конструкційних матеріалів з такими фізичними властивостями, що характеризуються високою термостійкістю і електропровідністю, хімічною інертністю, високою міцністю, антикорозійністю і антифрикційністю і так далі. Матеріалом, що володіє такими властивостями, є штучний графіт [1-4].

Вуглеграфітові матеріали знайшли широке застосування в чорній і кольоровій металургії, в ядерній енергетиці і ракетній техніці, в електротехніці і хімічному машинобудуванні. На даний час спостерігається подальше розширення сфер застосування виробів з вуглеграфітових матеріалів.

Використання цих матеріалів в різноманітних областях техніки і промисловості обумовлене їх унікальними властивостями. Вугільні і графітові матеріали володіють високою вогнетривкістю, інертністю до багатьох металів, шлаків за температурою вище їх плавлення у корозійному середовищі. Вони мають високу механічну міцність, яка зберігається з підвищенням температури, а у графіту навіть росте.

До найбільш важливих виробів з штучного графіту відносяться електроди електротермічної і електрохімічної промисловості, блоки футерування ядерних реакторів, агрегатів чорної і кольорової металургії і так далі.

Мета роботи: є аналіз та оцінка температурно-часових режимів процесу графітації карбонізованих електродів та їх вплив на кінцеві властивості графітованих електродів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Оцінити технологічні особливості виробництва карбонізованих електродів.
2. Розробити технологічні режими процесу графітації.
3. Розглянути варіанти заправки керна печей графітації.
4. Дослідити вплив розподілу температурних полів по об'єму керна на характеристики графітованих електродів.

Об'єкт дослідження: структурно – механічні закономірності в процесі графітації карбонізованих електродів.

Предмет дослідження: технологія процесу графітації карбонізованих електродів.

Методи дослідження: експериментальне визначення температурних полів по об'єму керна в процесі графітації електродів, оцінка впливу температурно-часових параметрів на властивості графітованих електродів.

Наукова новизна:

1. Визначено механізми розподілу температури по об'єму керна та електродам в процесі графітації.
2. Встановлено вплив температури на міцність, теплопровідність та електропровідність електродів в процесі графітації.

Практичне значення:

1. Розроблені схеми формування керна печі для заготовок електродів з різними геометричними параметрами.
2. Запропоновано технологічні режими графітації електродів.

3. Досліджено механізми формування необхідних фізико – механічних властивостей.

Апробація результатів роботи: результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри Металургії.

Відомості про публікації: основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і статей, і 1 тезах конференцій.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 57 найменувань, викладена на 89 сторінках машинописного тексту, включаючи 24 рисунка, 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1 Аналіз технології отримання графітованих електродів

1.1 Технологічна схема виробництва електродної продукції

Принципова технологічна схема електродного виробництва складається з таких основних операцій:

- прийом і підготовка сировинних матеріалів;
- приготування електродної маси;
- пресування заготівель;
- випалення;
- ущільнення;
- графітація;
- механічна обробка заготівель.

За цією схемою виробляють графітовану продукцію. При виробництві вугільних виробів виключенням є процес графітації, а товарні маси після змішування і брикетування відправляють споживачеві.

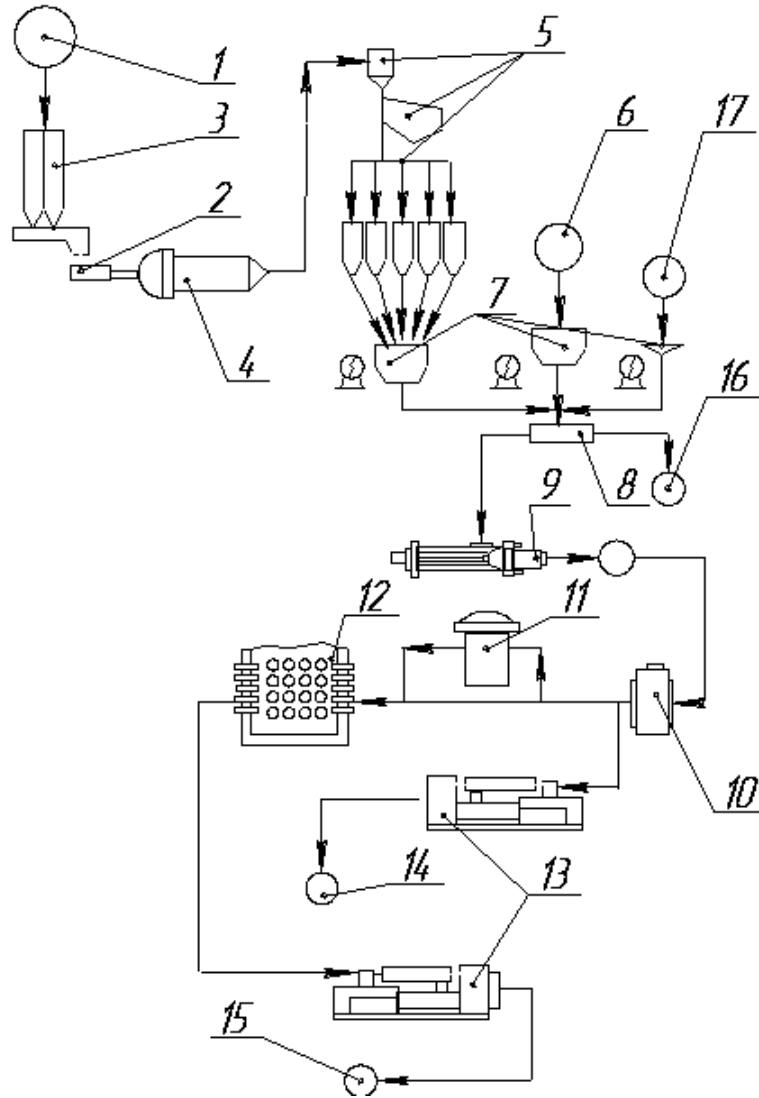
Незважаючи на різноманітність виробів електродного виробництва вони виготовляються за загальним способом. Процес полягає в спекаючому випаленні виробів, відформованих з суміші сипкого вугільного матеріалу з добавкою єднальних речовин.

На рис. 1.1 приведена принципова схема виробництва електродних виробів усіх видів. Проте залежно від початкової сировини, а також від наявності того або іншого технологічного устаткування схема виробництва може змінюватися.

Виробництво електродної продукції характеризується великою кількістю операцій і значною тривалістю процесу, що досягає, наприклад, при виробництві графітованих виробів більш 2-х місяців.

Дуже важливо чітко організувати роздільний прийом і закрите зберігання сировинних матеріалів різних за властивостями. Це дозволить

забезпечити точне дозування сировини на наступних стадіях виробництва, що є основою для отримання виробів стабільної якості.



1 - склад сировини; 2 - попереднє дроблення; 3 - прожарення; 4 - подрібнення; 5 - розсівання по фракціях в сортові бункери; 6 - склад єднальних матеріалів; 7 - дозування; 8 - змішування; 9 - пресування заготівель; 10 - випалення; 11 - просочення; 12 - графітація; 13 - механічна обробка; 14 - склад готової продукції; 15 - склад графітованих електродів; 16 - товарні маси; 17 - склад добавок

Рисунок 1.1 - Технологічна схема електродного виробництва

Тверді вуглецеві матеріали, що поступили на завод, зберігаються в спеціальних, обов'язково закритих, складах, де оберігаються від зволоження і засмічення.

Зазвичай ці матеріали прибувають на завод в шматках розміром 25 - 70мм. На заводі матеріали заздалегідь дробляться на зубчастих вальцових або щічних дробарках. Міра попереднього дроблення визначається технологічними операціями і наявністю устаткування. Для великих шматків існує операція ручного піддроблення на колосникових решітках перед попереднім дробленням.

Зберігання кам'яновугільного пека визначається способом застосування його у виробництві. Зазвичай пек застосовується в рідкому стані, тому його зберігають в спеціальних бункерах, що обігріваються, їх називають пекоплавителями. Якщо пек використовується в твердому виді, його зберігають в критих приміщеннях. При роботі на твердому печі в складських приміщеннях встановлюють дробарки для подрібнення пека.

Розчинники (антраценове масло) зберігаються в цистернах і поступають безпосередньо в відділення змішування.

Усі види єднальних матеріалів, пройшовши стадію попередньої підготовки, поступають безпосередньо на переділ змішування, звідки після зважування подаються в змішувальні машини.

Вуглецеві матеріали після попереднього дроблення поступають на прожарення.

Після прожарення виробляють подрібнення і класифікацію матеріалів.

Середнє подрібнення може вироблятися на кульових млинах з ситами або вальцових дробарках з наступною класифікацією на грохотах. Для отримання тонких фракцій застосовуються трубчасті млини.

Розділені по класах крупини вуглецеві матеріали зберігаються в дозувальних бункерах. Для кожного виду матеріалу і для кожного розміру зерна має бути свій бункер. Бункерне відділення обладнано спеціальними дозувальними вагами.

Бій електродів, що утворюється при пресуванні, випаленні, графітуванні і механічній обробці, повертається у виробництво, пройшовши операцію дроблення. Технологія переробки уточнюється залежно від виду бою і умов його застосування.

Після зважування усі матеріали поступають в змішувальні машини, де з окремих компонентів вуглецевих матеріалів і єднальних готується однорідна суміш, звана електродною масою. Електродна маса або поступає для наступної переробки на електродні вироби, або видається як готова товарна продукція.

Для зручності транспортування і застосування електродну масу формують (брикетують). Відформована маса, пройшовши випробування, поступає на склад зберігання готової продукції.

Маса, що призначається для виробництва електродів, після змішування передається в пресовий цех і, після того, як в ній буде досягнута рівномірна температура, піддається трамбуванню. Ця операція здійснюється або безпосередньо в контейнері пресу, або на окремих машинах, з яких затрамбований блок завантажується в контейнер пресу.

Після охолодження спресовані електроди зберігаються на проміжному складі. З цього складу вони поступають на випалення. Виробничий цикл для одних виробів закінчується цим переділом, і після випробування вони поступають на склад готової продукції. До таких виробів відносяться аноди для електролізу алюмінію, деякі види футерувальних блоків.

Інші обпалені вироби перед вступом на склад готової продукції повинні піддаватися механічній обробці для надання їм товарної форми.

Деякі обпалені вироби призначаються для графітування. Графітовані вироби або поступають безпосередньо на склад готової продукції, або ж передаються на завершальну операцію - механічну обробку. Тут вироби поступають на різні верстати залежно від необхідної форми обробки. Переділ механічної обробки оснащується необхідним набором верстатів різних типів, щоб забезпечити різноманітні вимоги до готових виробів.

Як показує багаторічний досвід роботи заводів, усі технологічні операції мають велике значення для забезпечення високого виходу якісної продукції.

Дотримання режимів змішування, охолодження і пресування електродної маси, а також застосування мундштуків заданої геометрії при формуванні дає можливість отримувати заготівлі з високим виходом придатного. При випаленні, найтривалішому процесі, заготівлі зазнають значні термохімічні зміни, в результаті яких формуються основні властивості майбутніх виробів. Для забезпечення збереження форми і цілісності заготівель, отримання міцного однорідного по структурі обпаленого матеріалу, необхідно строго витримувати усі технологічні параметри випалення.

При наступній термообробці заготівель в печах графітації вони придбають високу електро- і теплопровідність. В даному випадку вимагається дотримання не лише електричних режимів графітації, але і схем завантажень заготівель і упаковки печі пересипним і теплоізоляційним матеріалами.

Точна обробка ніпеля і ніпельного гнізда досягається в процесі механічної обробки, значною мірою впливає на питому витрату електродів у споживача.

У отриманні якісних виробів електродного виробництва важливу роль грає контроль дотримання технологічного режиму і властивостей сировини, напівпродуктів і готової продукції на кожному переділі.

1.2 Підготовка сировини та приготування електродної маси для виробництва електродної продукції

Підготовка вуглецевих матеріалів значною мірою визначає стабільність технологічного процесу виробництва електродної продукції і виходу придатного на переділах пресування, випалення, графітації і механічної обробки. При підготовці сировини здійснюється ряд технологічних операцій: витримка пека при температурі, сушка прожареного вуглецевого наповнювача або прожарення вуглецевого наповнювача, дроблення, розмол і розсівання на сортові фракції вуглецевого наповнювача.

На електродний завод пек поставляють в рідкому виді в залізничних термоцистернах, що обігріваються, і у разі потреби розігрівають до температури не менше 120 - 130°C (марки А і Б) і 160-180°C (марка В). Після цього пек зливають в пекоприймники або пекоплавители, місткість яких від 50 до 500т. Загальна місткість пекосклада має бути не менш 15-добового запасу.

Перед подачею у виробництво пек вистоюється в пекоплавителях при наступному режимі: температура не нижче 125°C, тривалість вистоювання пека не менше 3 годинпісля досягнення заданої температури. Потім пек подають в напірні баки змішувально-пресового переділу або у відділення просочення при вмісті вологи не більше 0,3% і у вспучуваності не більше 15%. Стабільність властивостей пека, що подається на дозування, багато в чому визначається стабільністю температурного режиму напірних баків.

Основне призначення витримки пека при температурі, використовуваний на "зеленому" переділі, - це стабілізація його властивостей в цьому температурному інтервалі.

У виробництво пек поступає через сітчастий фільтр (осередки розміром 1мм). У бачках стабілізації (напірні бачки), що обігріваються, оснащених мішалками, усереднюється температура циркулюючого в них пека. При

досягненні заданих температур пек з бачка стабілізації через дозатор подається в змішувачі.

Усі вуглецеві матеріали, що поступають на електродний завод, підлягають термообробці: сушці або прожаренню. Сушать термоантрацити і прожарений кокс. Прожарюють антрацити і кокс, отриманий при температурах коксування ні нижче 1000°C.

В результаті термічної обробки сировини формується комплекс властивостей, що визначають значною мірою кінцеві характеристики вуглеграфітових виробів.

Сушка. Термоантрацит, що поступає на завод, або прожарений кокс після відбору проб і перевірки їх на відповідність сертифікатам вивантажують з вагонів в закриті склади сировини. При цьому необхідно стежити, щоб різні види сировини не змішувалися між собою.

Вологість прожареного матеріалу перед наступними технологічними стадіями його переробки не повинна перевищувати 0,3%, а за час зберігання і транспортування він може набрати до 10% і більше вологи. Сушка є процесом видалення вологи з твердих матеріалів випаром її і відведенням пари, що утворюється.

Теплову сушку здійснюють двома основними способами: конвективним, тобто безпосереднім зіткненням сушарного агента (нагрітого повітря, паливневих газів) з висушуваним матеріалом; контактним, тобто нагріванням висушуваного матеріалу яким-небудь теплоносієм через теплопровідну стінку. Для сушки вуглецевої сировини застосовують барабанні сушарки.

Прожарення. Для стабілізації властивостей вуглецевої сировини, що визначають його поведінку при подрібненні, взаємодії з єднальними при змішуванні і гомогенізації, пресуванні, випаленні і графітації, його необхідно прожарювати.

Прожарення - це термічна обробка сировини, при високих температурах без доступу повітря або у відновній атмосфері. В процесі

прожарення з сировини повністю віддаляються волога і значна частина летючих речовин, що складаються в основному з горючих газів, збільшується коксуюча і пікнометрична (істинна) щільність, підвищується електропровідність і механічна міцність матеріалів.

При прожаренні відбувається зміна розмірів і маси шматків вуглецевої сировини. Спад маси пов'язаний з видаленням з матеріалу вологи і летючих речовин. Зміна розмірів, пов'язана з ущільненням структури, є складним фізико-хімічним процесом, на ранніх стадіях якого переважають хімічні зміни, а потім структурні перетворення.

При нагріванні в інтервалі температур 100-400°C сировина як би повертається до температури коксування, кокс розм'якшується і спучується. Від 400°C починається постійне виділення летючих, а приблизно 500°C - об'ємна усадка коксу. Найбільш інтенсивні усадкові явища в крекінговому і піролізному коксі відбуваються при температурах максимального виділення летючих (550-700°C). В інтервалі температур 700-1000°C летючі речовини, що виділяються, майже повністю зазнають пірогенетичне розкладання до елементного вуглецю і водню. У цьому інтервалі швидкість газовиділення зменшується, але зростає глибина піролізу.

Об'ємна усадка антрацитів, що містять від 2 до 4,5% летючих речовин, коливається в межах 7,5-13,5%. При прожаренні антрацитів в інтервалі до 900°C зміна структурних параметрів фактично майже не спостерігається. З подальшим підвищенням температури до 1300°C відзначаються значні структурні перебудови. Виділення летючих речовин починається при 200-250°C. Швидкість газовиділень для усіх вуглецевих матеріалів з підвищенням температури росте неоднаково. Газовиділення наростає до певного інтервалу температур, наприклад для нафтового коксу до 650-700°C, антрацитів до 700-800°C. При подальшому підвищенні температури газовиділення різко знижується і при 1100-1300°C в основному завершується.

Зміна змісту летючих у вуглецевих матеріалах при прожаренні залежить від швидкості нагріву і хімічній перебудові речовини, що протікає при цьому.

У електродному виробництві електричні прожарювальні печі (електрокальцінатори) використовують для прожарення антрацитів.

Нагрів матеріалу в електрокальцінаторі здійснюється внаслідок перетворення електричної енергії на теплову. Електрокальцінатор є однофазною піччю опору. Гріючим електроопором є сам прожарюваний матеріал.

Технологічні умови обслуговування електрокальцінаторів зводиться до завантаження і розвантаження матеріалу і підтримки теплового режиму регулюванням кількості електроенергії, введеної в піч. Завантаження і вивантаження здійснюють періодично малими порціями по 10-20кг або постійно. Тепловий режим регулюють за свідченнями амперметра або лічильника електроенергії при періодичному завантаженні. Вивантаження виконують при максимальних свідченнях амперметра, що вказує на зниження електроопору матеріалу. Витрата електроенергії на 1т прожарених матеріалів складає 400-1200кВт/год.

Сировинні матеріали, що поступають на завод, повинні відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов. Сировину завантажують в критий склад на спеціально обладнані майданчики окремо по видах. Умови зберігання сировини повинні унеможливити його забруднення і змішування різних його видів.

Повернення в виробництво ("зелені", обпечені, графітовані) зберігають по видах, змішування їх заборонене.

Операції дроблення, подрібнення і грохочення наповнювачів є поширеними і дуже енергоємними в процесі підготовки фракцій будь-яких матеріалів. Дроблення і подрібнення в будь-якому виробництві не є ланками технологічних процесів, а є лише підготовчими операціями.

У електродному виробництві технологічні процеси дроблення і подрібнення виконують основну мету - скорочення лінійних розмірів наповнювачів і забезпечення в достатній кількості сортових фракцій наповнювача, необхідних для складання виробничих рецептур.

Різноманітність фізико-механічних властивостей і розмірів шматків наповнювачів і різних вимог, що пред'являються до продуктів дроблення, зумовили різноманіття типів дробарок. У виробництві електродної продукції увесь процес отримання різних класів можна розділити на велике (попереднє) дроблення, середнє дроблення і тонке подрібнення.

Для великого дроблення (700-100мм) використовують щічні і зубчасті дробарки. Для середнього дроблення (15-0,5мм) застосовують конусні, молоткасті і валкові дробарки.

Тонше дроблення частіше називають подрібненням. Для подрібнення використовуються кульові і вібраційні млини. Розмір подрібнення складає від 0,5мм і менш.

Класифікація наповнювачів за фракціями. Класифікація - це розподіл подрібненого матеріалу по фракціях, до складу яких входять зерна, ближчі по розмірах, чим в початковій суміші. На електродному заводі для класифікації використовують грохоти різних типів: вібраційні, плоскі що коливаються, барабанні і колосникові.

Матеріал який поступає на грохочення, називається початковим, що залишається - надрешітним (верхнім) продуктом, провалюється через отвори сита - підрешітним (нижнім) продуктом.

На ефективність грохочення істотно впливають вологість матеріалу, форма отворів сит, нахил сит, швидкість руху зерен по ситі, амплітуда і частота коливань короба віброгрохотів. Нахил сита і швидкість руху зерен по ньому підбирають залежно від матеріалу.

Дозування сировинних матеріалів виконують двома способами: по масі або об'єму. Дозування за об'ємом застосовують у виробництві вуглецевих мас на змішувачах безперервної дії. Об'ємне дозування пека здійснюється

рідинними дозаторами ДЖА- 20/2,5; дозування крупки - гвинтовими живильниками ПВ-200Э1, подача аспіраційного пилу і тонкого помелу - шлюзовими живильниками ШП-400Э. Подана шихта збирається і транспортується до безперервного змішувача шлаковим гвинтовим конвеєром. Спосіб об'ємного дозування найбільш простий в реалізації. Проте він не забезпечує високу точність дозування, оскільки маса дозованого матеріалу залежить від об'ємної щільності.

Останнім часом у зв'язку із збільшеними вимогами до якості електродної продукції великого поширення набув перший, точніший спосіб - вагове дозування компонентів шихти і звязуючого. Точність дозування фракції коксу і звязуючого відповідно до прийнятого рецепту і у поєднанні з точністю гранулометричного складу наповнювача грає важливу роль в забезпеченні стабільності властивостей продукції.

Для дозування пеку застосовують ваги циферблатів РП-3Ц або індивідуальні дозувальні пекові бачки, підвішені на тензометричний вимірювальний пристрій. Останнім часом впроваджується автоматична система дозування пека, розроблена Запорізькою філією ВНИКИЦМа. Система дозволяє контролювати кількість звязуючого, що задається.

Дозування сухих компонентів шихти виробляється за допомогою електровагового візка ЭВТ- 1,5 або Т105 Т- 2-2. Ваги циферблатів забезпечують зважування з точністю $\pm 2\%$. Візок переміщається по рейках під рядом бункерів з матеріалом. Виробляється наростаючий набір окремих фракцій матеріалу через дисковий затвор в гирло сортових бункерів.

Мета змішування - отримання маси у вигляді однорідної суміші, здатної добре сприймати пластичну деформацію.

Процес приготування електродної маси полягає в перемішуванні і нагріванні сипких компонентів наповнювача, введення звязуючого і змішування його з шихтою.

Приготована суміш компонентів наповнювача зі звязуючим характеризується механічною і структурною однорідністю. Механічна

однорідність досягається перемішуванням сипучих компонентів за порівняно короткий час (5-10хв). Після введення звязуючого механічна однорідність досягається в результаті багатократного ділення маси і рівномірного розподілу пека за об'ємом змішувача. У міру підвищення температури суміші і зростання рухливості звязуючого внаслідок інтенсивних зрушень деформацій настає структурна однорідність, але маса ще не придатна до деформації; вимагається додатковий час на рівномірний розподіл в ній пластичних властивостей. На цьому, завершальному етапі змішування зерна наповнювача обволікаються плівкою пека; пек заповнює мікропори коксу, витісняючи з них повітря.

Електродну масу готують в змішувачах періодичної дії.

Найбільшого поширення набули двороторні змішувачі періодичної дії із зетоподібними лопатями місткістю 2000л з паровим обігрівом і нижнім вивантаженням. Машина змішувача складається з двох роторів, що обертаються в протилежних напрямках, розташованих в очкоподібному броньованому днищі з двох напівциліндрів. Напівциліндри розділені по середній лінії знімальним литим гребенем. У змішувачі відбувається змішування і одночасний розподіл маси, що забезпечується напрямом обертання ротора на розділяючий гребінь. При зворотному обертанні ділення маси не відбувається, вона спучується під кришкою змішувача і не промішується. У кришці передбачені люки для завантаження сухих компонентів шихти, пека, видалення летючих речовин і пилу; а також оглядовий люк, що має гідравлічний привід. Маса вивантажується через люк в днищі корита.

Технологією змішування електродних мас передбачений наступний порядок роботи. Перед пуском устаткування встановлюють тиск пера 0,25-0,35МПа, що забезпечує прогрівання корпусу змішувальної машини до 130-140°C. Правильність їх налаштування перевіряють, контролюючи температуру паропроводів на вході і виході з машини. Якщо різниця температур складає 3-5°C, то це свідчить про нормальний режим обігріву.

При більшій різниці температур вимагається регулювання лінії скидання конденсату. Температуру паропроводів вимірюють термошупом з точковим датчиком на основі терморезистора КМТ- 14.

У розігріту змішувальну машину вводять суху шихту і нагрівають її протягом 15-20хв, після чого додають розплавлений до 135-140°C кам'яновугільний середньотемпературний пек. Час зливу пека повинен забезпечувати рівномірне зростання завантаження електродвигунів. Час зливу пека не повинен перевищувати 10хв, оскільки буде потрібно збільшення загального часу змішування маси.

Після змішування внаслідок підвищеної температури маса формується з недостатньою мірою ущільнення. Тому вимагається її охолодження до температури формування.

Якщо в контейнер пресу завантажується маса з декількох змішувальних машин, то додатково виникає необхідність в усереднюванні маси за властивостями.

Для одночасного охолодження і усереднювання використовують міксери-усереднювачі різної місткості, по конструкції що мало відрізняється від змішувальних машин. У ряді випадків як охолоджувач застосовують змішувачі типу Анод- 4.

Для пресів великої потужності (35 і 63МН) застосовуються міксери-усереднювачі типів М4- 4000 і М4- 8000 по завантаженню, кратному завантаженню двома і чотирма змішувальними машинами відповідно.

Міксери-усереднювачі в основному застосовують для виробництва графітової продукції. Для вугільної продукції використовують барабанні охолоджувачі, у вигляді труби, що обертається. На внутрішній поверхні труби по гвинтовій лінії встановлені ребра. Обертання барабана реверсивне з трьома швидкостями. Маса охолоджується повітрям, що пропускається усередині барабана, в якому вона повергається грудкуваною і охолодженню.

1.3 Пресування електродних заготівель

1.3.1 Литне пресування

На переділі пресування електродних заготівель закладаються в основному усі спадкові властивості, що визначають якість готових виробів. В цілому на властивості електродних пресованих заготівель впливають чинники технологічного і конструктивного характеру, супроводжуючі процес підготовки і пресування вуглецевих мас. До технологічних чинників відносяться енергосилові умови змішування і пресування мас, температурно-швидкісний режим змішування, підготовки і пресування мас, пластичні властивості мас.

Найбільшого поширення набув спосіб гідравлічного пресування, здійснюваного витискуванням маси через мундштук у виробництві вугільних і графітованих електродів, футерувальних блоків і багатьох видів конструкційних виробів для різних галузей промисловості. Спосіб дозволяє отримати заготівлі з поперечним розміром від 30 до 1200мм і забезпечує найбільшу продуктивність процесу при досить рівномірних фізико-механічних властивостях готових виробів. Відомий традиційний спосіб виробництва заготівель в промислових умовах потребує глибшого його аналізу.

Уперше розрахунково-експериментальним шляхом інженером Ж. Гролле отримана залежність питомого тиску пресування в мундштуку у виді:

$$P' = \frac{P \cdot S \cdot k}{S'}, \quad (1.1)$$

де P' и P - тиск на масу в мундштуку і контейнері пресу, МПа;

S и S' - переріз контейнера і мундштука відповідно, мм;

k - досвідно-розрахунковий коефіцієнт.

Формулою (1.1) не враховується вплив контактного і внутрішнього тертя, робочої геометрії мундштука. Згідно з формулою, слід чекати деформації питомих тисків більших, ніж в контейнері пресу, що суперечить сучасним уявленням про процес деформації

Найбільший інтерес до теперішнього часу викликає робота Г.Л. Мазура по дослідженню процесу пресуванні "зелених" заготовель залежно від зміни чинників технологічного і конструктивного характеру. У цій роботі досліджений вплив форми геометрії мундштука на зусилля пресування і щільність заготовель, а також температурно-швидкісних умов деформації на витікання матеріалу і якість поверхні заготовель (рис. 1.2).

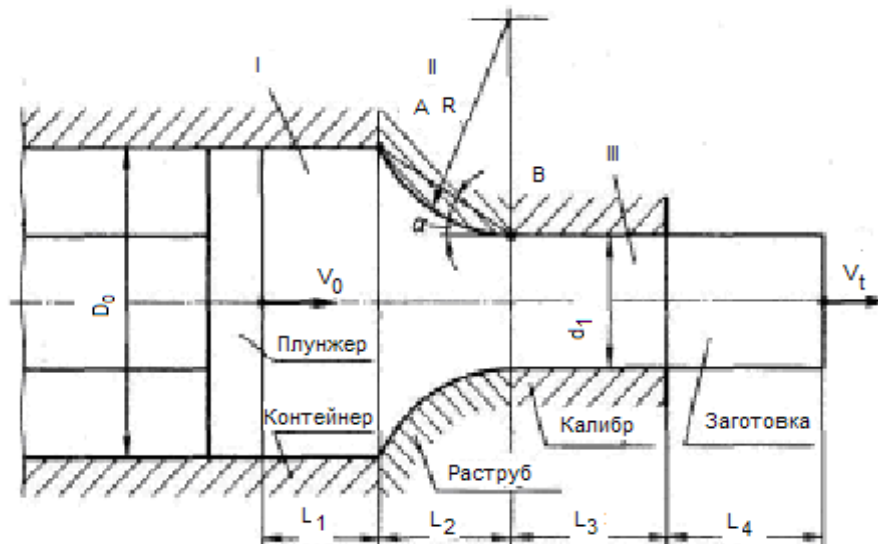


Рисунок 1.2 - Схема деформації

Виявлено, що вирівнювання температури в об'ємі заготовлі має вирішальне значення для процесу пресування. Г. Л. Мазуром показано, що пресування на мундштуках з двоякоопуклою геометрією призводить до мінімальної щільності пресованих заготовель. Найбільш оптимальною є форма геометрії формуючої зони з кутом нахилу, який утворює профіль до осі пресування близько 30° . На жаль, роботи були обмежені рамками "зеленого" переділу кінцевих фізико-механічних властивостей готових виробів.

Важливе значення має режим попередньої підпресовки мас в контейнері пресу, що впливає на якість отримуваних заготівель. Так в роботі Чалих Е.Ф. тиск підпресовування рекомендується не менше 75% зусилля пресу. Необхідність максимального зусилля підпресовування не підтверджується досвідченими даними. Слід чекати, що вибір тиску підпресовки при різній мірі анізотропії зерен наповнювача, його розміру може зробити вирішальний вплив на якість готових виробів.

Дані по дослідженню однорідності графітованих електродів із застосуванням ізотопу сірки свідчать про підвищене до 26 - 36% змісту єднального в тонкому поверхневому шарі заготівель (до 2мм). Нерівномірний розподіл єднального призводить до різнощільності по перерізу заготівель. Вказана обставина пояснюється поверхневим оплавленням матеріалу із-за вищої температури мундштука.

Якість виробів істотно змінюється залежно від недоліку або надлишку звязуючого. Недолік звязуючого призводить до низької міцності і високої пористості, а надлишок - до викривлення, спучення заготівель, погіршення механічної міцності.

Після припинення силової дії пружна деформація в заготівлі переходить в пластичну, що супроводжується об'ємними змінами - пружною післядією.

Міра пружної післядії і зміна поперечних розмірів заготівлі залежить від складу маси і її пластичності. Пружна післядія маси з коксу однакового гранулометричного складу змінюється із зміною температури розм'якшення звязуючого.

Пружне розширення коксо-пекової маси менше пружного розширення шихти без пеку того ж складу. Причина пружної післядії, мабуть, полягає в детекстуризації анізотропних зерен наповнювача після деформації в процесі релаксації матеріалу.

Контроль величини пружної післядії матеріалу і його оцінка дозволяють оперативно управляти ходом технологічного процесу підготовки і пресування.

Під пластичністю матеріалу розуміють здатність його сприймати залишкову пластичну деформацію без порушення сплошності. Пластичність залежить головним чином від фізико-механічних властивостей матеріалу, його складу, температури, швидкості, міри деформації.

Пресування здійснюють з метою заготівель із заданими геометричними розмірами. За цим способом заздалегідь ущільнена маса завантажується в контейнери пресу і видавлюється через мундштук, проходячи через три зони деформації (рис. 1.2). У зоні ущільнення I маса набуває форми круглої заготівлі діаметром D_0 , і завдовжки L_0 .

У зоні II, що формує, відбувається зміна форми заготівлі до поперечного розміру d_1 . Остаточне формування розмірів заготівлі здійснюється в калібруючій зоні III довжиною L_3 . Формуюча зона мундштука завдовжки l_1 може мати різну форму робочої геометрії радіусом R і кутом нахилу α хорди АВ до осі пресування.

Особливість пресування вуглецевої маси полягає в тому, що об'ємна щільність маси після змішування і при пресуванні дуже різна. Зміна форми матеріалу здійснюється переміщенням часток в нове стійке положення рівноваги із збереженням загальної маси матеріалу до R після деформації. Вирішивши умову постійності маси, отримаємо:

$$\left(\frac{D_0}{d_1}\right)^2 \cdot \frac{d_{k0}}{d_{kl}} = \frac{L_3}{L_0}, \quad (1.2)$$

де d_{k0} і d_{kl} - об'ємна щільність матеріалу на вході і виході з мундштука відповідно, г/см^3 .

Співвідношення в рівності (1.2) характеризують зміну геометричних розмірів тіла при деформації і мають відповідний сенс і найменування.

Відношення dk_0/dk_1 є коефіцієнтом ущільнення і характеризує зміну щільності матеріалу в процесі деформації. При існуючих режимах підпресовування зміна коефіцієнта ущільнення не перевищує 2 - 3 % і його величиною можна нехтувати.

Відношення L_1/L_0 або коефіцієнт витягу характеризує загальне подовження (витяг) заготовлі після деформації.

У загальному випадку коефіцієнти, що характеризують деформацію, можуть бути лінійними, поверхневими і об'ємними, а за своїм значенням абсолютними і відносними. Стосовно пресування вуглецевих мас найзручніше користуватися коефіцієнтом деформації витягом.

Якщо поверхня мундштука, що формує, ділиться на декілька зон з різною робочою геометрією, то сумарний витяг при пресуванні дорівнює добуток витягів в кожній зоні деформації.

З умови постійності об'ємної швидкості матеріалу на вході і виході з мундштука виходить, що швидкість витискування заготовель більше швидкості V_0 , плунжера на величину витягу.

При гідравлічному пресуванні швидкість течії часток в центрі перерізу більша, ніж на периферії. Це викликає неоднорідність деформації і напруги. Основними причинами неоднорідності деформації є: умови і величина тертя, початкова форма заготовлі і форма робочої поверхні пресінструменту, неоднорідність фізико-механічних властивостей пресованого матеріалу.

В умовах нерівномірності деформації по-різному змінюється форма окремих мікрооб'ємів тіла. В результаті цього в матеріалі виникає взаємно-урівноважуюча внутрішня напруга. І хоча схема напруженого стану носить характер усебічного стискування, в матеріалі на деяких ділянках виникає розтягуюча напруга. Це є причиною порушення сплошності пресованого матеріалу - виникнення поперечних тріщин.

Питомі тиски пресування можна визначити відомими методами, вживаними в інженерній практиці. Один з них полягає в розгляді диференціального рівняння рівноваги елементарних сил, що витрачаються на

виділений елемент центру деформації спільно і рівнянням пластичності матеріалу. За іншим способом питомі тиски знаходять з рішення рівняння енергетичного балансу потужностей деформації з урахуванням втрат на контактне тертя.

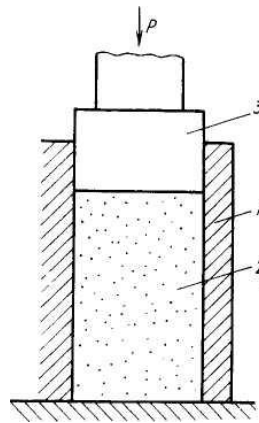
З аналізу формул питомого тиску виходить, що енерговитрати на потужність змінення форми складають 20 - 30%, інша енергія йде на подолання контактних сил опору при найбільших втратах в зоні формування. Звідси витікає, що, змінюючи умови контактного тертя в зоні формування, можна регулювати тиск пресування. Витрати на подолання сил контактного опору в контейнері пресу не перевищують 15 - 20%.

1.3.2 Пресування порошкоподібних мас в пресформу

Схема і механізм пресування. Пресування порошкоподібних матеріалів засноване на їх властивостях ущільнюватися і зміцнюватися під дією зовнішнього тиску. При пресуванні зменшується відстань між частками матеріалу, зростає число взаємних контактів між ними і збільшуються поверхні контактів. В результаті цього виникають сили зчеплення між частками, що дозволяють отримувати деталі необхідної форми, щільності і певної механічної міцності. Утворення міцного блоку пояснюється дією капілярних сил зчеплення, сил зчеплення адсорбованих плівок і частково сил молекулярного тяжіння. На рис. 1.3 схемно представлено пресування в пресформу.

Маса 2 ущільнюється в результаті зусиль P , прикладених до пуансона 3. Процеси, що відбуваються при пресуванні, можна розділити на декілька стадій, структурних елементів порошку (прес-пороша), що відрізняються поведінкою. У початковій стадії ущільнення порошку, засипаного в пресформу, рихло укладені частки переміщуються з руйнуванням "арок", "містків" і із заповненням відносно великих пор. Частки переміщуються головним чином у напрямі руху пуансона. На наступній стадії, тобто після

того, як при деякому тиску структурні елементи укладені в стійкіше положення, можливість їх подальшого зміщення, що супроводжується збільшенням поверхні контактів і щільності системи, визначається вже явищами деформації. Окрім вказаних безповоротних деформацій, необхідних для ущільнення системи, виникають і пружні, тобто оборотні деформації. Пружні деформації в стискуваному об'ємі маси наростають в особливих умовах: частки, що знаходяться під усебічним тиском, витримують підвищену напругу без руйнування; при цьому міра безповоротного ущільнення системи лімітується умовами її упаковки.



1 - прес-форма, 2 - порошкоподібна маса, 3 - пуансон рухливий

Рисунок 1.3 - Схема пресування в прес-форму

В результаті з тиском росте не лише абсолютна величина пружних деформацій часток, але і доля цих деформацій в загальному стискуванні системи.

При стискуванні прес-порошка з газовою фазою (повітрям) може відбуватися наступне: витіснення частини повітря з пресувань, стискування не витисненого повітря в порах, частковий перерозподіл повітря в об'ємі пресування (оскільки вона ущільнюється не цілком рівномірно). На початку стискування порошку повітря витісняється переважно назовні і віддаляється через проміжки між пуансоном і прес-формою. Тому великих тисків в порах

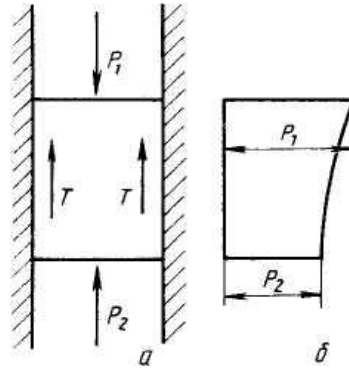
не виникає. Потім у міру звуження і закриття воздухопровідних каналів в ущільнюваній системі процес витіснення повітря сповільнюється і може (особливо в тонкозернистих масах) практично припинитися. При цьому тиск повітря, що залишилося ("запресованого", або "затисненого"), сильно зростатиме у міру зменшення об'єму пор.

Після закінчення стискування, тобто у момент зняття пресуючого тиску і при виштовхуванні з форми пресування, відбувається її "пружне" (чи "зворотне") розширення, яке спрямоване переважно уздовж пресування. Основні причини розширення: пружна напруга, накопичена деформованими частками прес-пороша, і розтягуюча напруга, створена тиском запресованого повітря. Відносна роль кожної з цих причин в процесі пружного розширення змінюється залежно від характеристики мас і умов пресування. Пружне розширення є найбільшим в тонкозернистих масах; воно веде до зменшення щільності в порівнянні з тією, яка досягнута у кінці стискування.

При пресуванні порошкоподібних матеріалів ними поглинається механічна енергія, Частина цієї енергії повертається при знятті зовнішнього тиску у вигляді пружного розширення спресованої деталі. Деяка ж кількість поглиненої механічної енергії переходить в безповоротну форму і витрачається на зміну внутрішньої фізичної структури.

Розподіл тиску і щільності. Якщо взяти спресований блок, розрізати його і відібрати проби від різних ділянок, а потім визначити щільність кожної проби, то виявимо наступну картину. Як по висоті блоку, так і по перерізу щільність неоднакова: зменшується від верхнього пуансона до нижнього (нерухомого) і від периферії до центру. Із збільшенням висоти різнощільність зростає, а із збільшенням перерізу розкид значень щільності зменшується. Причиною цього є зменшення тиску внаслідок витрати зусиль на подолання зовнішнього тертя маси об стінки прес-форми. Цей чинник діє завжди в тій або іншій мірі і є основним при виникненні нерівнощільності у виробках. Розглянемо цю причину. Якщо виріб пресується одним рухливим пуансоном при другому нерухомому, то маса при пресуванні зрушується тільки в

одному напрямі, а сили тертя діють в зворотному. Умови рівноваги пресування полягають в тому, що загальне пресове зусилля P_1 докладене з боку рухливого пуансона, урівноважується частково реакцією нерухомого пуансона P_2 і виникаючими зусиллями тертя T (рис. 1.4), тобто $P_1 = P_2 + T$.



а - схема дії зовнішнього зусилля, прикладеного до пресування,

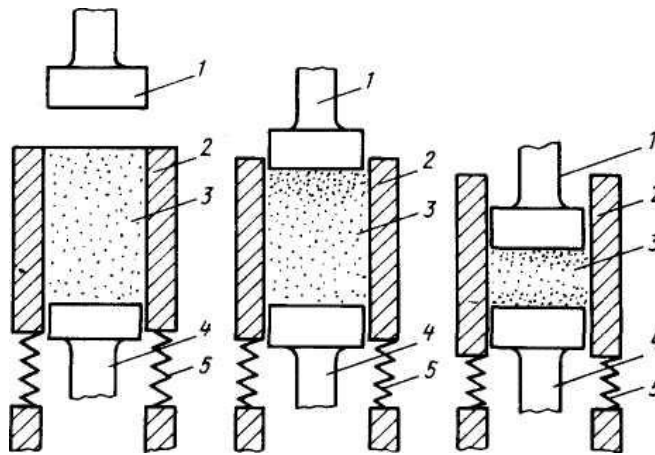
б - епюра падіння пресового зусилля

Рисунок 1.4 - Падіння пресового зусилля під впливом сил тертя об стінки прес-форми

Внаслідок дії сил тертя з усієї бічної поверхні пресування величина загального зусилля поступово зменшується від P_1 до P_2 . Відповідно зменшується від шару до шару і середній питомий тиск. Нерівномірність розподілу тиску і щільності спостерігається не лише по висоті пресування, але і по її горизонтальному перерізу. Оскільки втрати тиску викликаються тертям об стінки, то вплив цього чинника в центральних частинах перерізу пресування помітно затухає. Перепади щільності виявляються найбільшими в периферійних ділянках виробу і найменшими - в центральних. Відповідно до цього найбільш ущільненою частиною пресування виявляється периферійна частина шару, прилегла до рухливого пуансона, а найслабіше спресованою - частина шару біля нерухомого пуансона.

Чинники, сприяючі вирівнюванню щільності по висоті пресування, тобто пластифікація матеріалу, двостороннє пресування та ін., чинять сприятливий вплив на рівномірність ущільнення по її горизонтальному

перерізу. Нині двостороннє пресування визнають необхідним при виготовленні майже усіх виробів, за винятком порівняно тонких пластинок (наприклад, щіток), для яких перепади тиску і щільності по висоті не мають практичного значення. Широко поширеним способом двостороннього пресування є пресування із застосуванням рухливих (плаваючих) матриць. Цей спосіб (рис. 1.5) заснований на використанні сил тертя, що виникають між пресованим матеріалом і стінками прес-форми при стискуванні одним рухливим пуансоном.



а - завантаження прес-форми; б - початок зрушення; в - кінець стискування; 1 - пресуючий пуансон; 2 - рухлива прес-форма; 3 - пресована маса; 4 - нерухомий пуансон; 5 - пружини

Рисунок 1.5 - Схема двостороннього пресування з рухливою (плаваючою) прес-формою

Діючі на прес-форму сили тертя насувають її на нерухомий нижній пуансон.

Перевага цього способу - в спрощеній конструкції пресу: не потрібні два точно скоординованих пресуючих механізмів. Крім того, зміщення, рухливої прес-форми і її положення в кожен момент цілком визначається силами тертя. В результаті двостороннє ущільнення стає саморегульованим процесом, і при правильному підборі зусиль пружин, підтримуючих прес-

форму, забезпечується практично однакове ущільнення з боку рухливого і нерухомого пуансона.

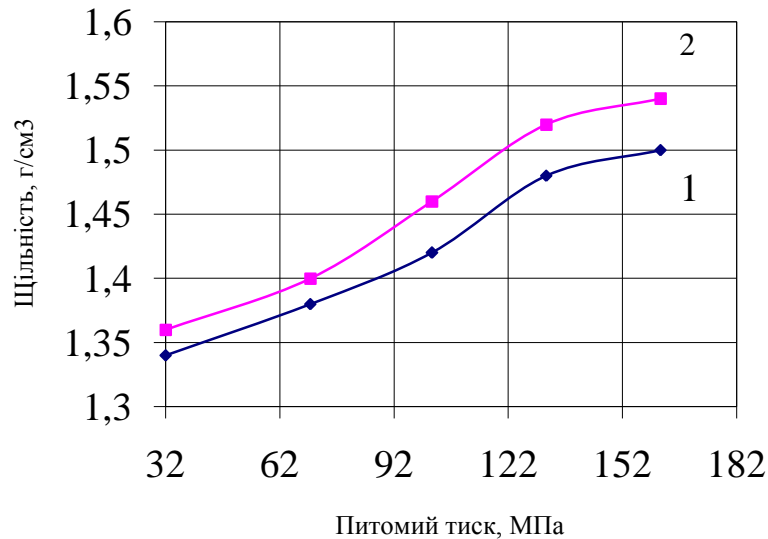
Температура і швидкість пресування. Умови, при яких виконується процес пресування, чинять великий вплив на властивості пресованих заготівель, а також на ефективність цієї операції.

Щільність і фізико-механічні властивості виробів залежать від температури, при якій протікає процес, і швидкості пресування. Зазвичай пресування виконується при кімнатній температурі ("холодне пресування"). Проте це не оптимальний варіант, хоча дуже нескладний в практичному виконанні, чим і пояснюється його повсюдне застосування. Дослідження показали, що навіть відносно невеликі коливання температури, пов'язані із зміною пори року, чинять помітний вплив на властивості виробів. Наприклад, пресування виробу з одного і того ж прес-пороша, але при різних температурах, які можна назвати кімнатними (10 - 25°C), показало неоднакові результати. Вироби, спресовані при 10°C, мали механічну міцність ~30,0МПа, а вироби, спресовані при 25°C, мали міцність біля 39,0МПа. З підвищенням температури пресування результати вийдуть більш різючими.

Чим вище температура, тим вище пластичні властивості прес-порошків, тим нижче їх пружні властивості і коефіцієнт тертя. Отже, можна досягти високих показників щільності при нижчих зусиллях пресування.

Вплив тривалості пресування вуглецевих мас вивчений недостатньо. Проте з практики відомо, що при пресуванні на швидко діючих пресах (наприклад, механічних) для отримання аналогічної щільності вимагається більший тиск, чим на повільно діючих. Швидкість пресування чинить вплив не лише на щільність, але і на рівномірність пресування. Оскільки процес переміщення окремих часток формованої маси протікає в часі, всяке уповільнення швидкості пресування призводить до позитивних результатів. Особливо це відноситься до тонкозернистих мас, які погано передають тиск. Тому крупнозернисті добавки полегшують передачу тиску.

Позитивний вплив на процес пресування чинить витримка при кінцевому тиску. На рис. 1.6 показана залежність щільності пресованого виробу від часу витримки при різних питомих тисках.



1 - без витримки, 2 - витримка 2 хв.

Рисунок 1.6 - Залежність щільності пресування від часу витримки при пресуванні

Експериментально доведено, що щільність збільшується при витримці до 60с, більш тривала витримка помітного ефекту не дає.

Для визначення значення витримки при кінцевому тиску А.С. Дбайливим запропоновано вираження:

$$P_t = P_0 - A \cdot \lg(B_t + 1) \quad (1.3)$$

де P_t - пористість пресування після витримки за час t , %;

P_0 - її пористість після пресування з тим же тиском, але без витримки, %;

A и B - постійні для цієї маси, безрозмірні.

Перевірка цього рівняння на деяких масах в технології вогнетривів дала задовільний збіг при величині до 10с. Вуглецеві маси поведуться аналогічно.

Пресування на багатьох промислових пресах здійснюється без істотної витримки при кінцевому тиску. Практично регульованим змінним чинником є загальна тривалість циклу, залежно від якої змінюється швидкість наростання тиску. Значення цієї швидкості аналітично не виражене, але відомо, що уповільнене стискування діє аналогічно витримці.

1.4 Випалення заготівель

Під випаленням розуміють процес термічної обробки пресованих заготівель, що призводить до спікання часток порошку наповнювача коксом зв'язуючого.

Як видно з визначення, основним при випаленні вуглецевих пресованих заготівель є формування зі зв'язуючого цементуючих коксових решіток. При цьому відбувається термічна деструкція зв'язуючого, утворення з нього напівкоксу і наступне перетворення його в кокс, що зв'язує в єдине ціле частки вуглецевого наповнювача. Матеріал, що утворюється в результаті спікання, представляє агломерат вуглецевих часток, скріплених коксом зв'язуючого. Це новий стан забезпечує такі цінні властивості виробів, як міцність, термічна і хімічна стійкість, висока електропровідність, завдяки яким вуглецеві матеріали широко застосовуються в різних галузях промисловості.

Виходячи з призначення операції випалення вуглецевих формованих заготівель, головними завданнями при випаленні вважають забезпечення максимального виходу коксового залишку зі зв'язуючого, що обумовлює міцність спікання часток наповнювача і кінцеву механічну міцність обпалюваних заготівель і готових виробів; отримання матеріалу з однорідної за усім об'ємом заготівлі бездефектною структурою.

Виконання цих вимог залежить від безлічі чинників, у тому числі від якості початкових сировинних матеріалів (коксу-наповнювача і зв'язуючого), умов виготовлення "зеленої" заготівлі (рецептури, параметрів змішування і пресування маси), а також від параметрів випалення: швидкості нагріву "зелених" і охолодження обпалених заготівель, рівномірності температурного поля по довжині заготівель, кінцевої температури випалення, властивостей засипочних матеріалів, схем завантаження заготівель в камери і так далі.

В процесі випалення у вуглецевих заготівлях внаслідок їх складного початкового складу протікають різні фізико-хімічні процеси, що супроводжуються зміною агрегатного стану (заготівля спочатку розм'якшується внаслідок розплавлення зв'язуючого пека, потім знову твердне в результаті коксування останнього); зміною розмірів (розширенням і усадкою); втратою маси. Ці зміни заготівель можуть відбуватися в певній послідовності і одночасно супроводжувати один одного. Результатом різноманітних дій є напруга в заготівлях, які при несприятливому поєднанні технологічних параметрів можуть привести до спотворення форми заготівель або до їх розтріскування. Тому нагріваючи і охолоджуючи заготівлі при випаленні за інших рівних умов необхідно вести так, щоб звести до мінімуму напругу, що неминуче виникає в них.

У світовій практиці виробництва електродної продукції нині використовують печі випалення декількох типів :

- 1) багатокамерні кільцеві закриті, типу Ридгаммера;
- 2) багатокамерні кільцеві відкриті, вживані переважно при випаленні анодних блоків для алюмінієвої промисловості;
- 3) багатокамерні кільцеві закриті для випалення заготівель в контейнерах при прямому нагріві їх газами (без пересипки між контейнерами);
- 4) з викочуванням подиною для випалення великогабаритних заготівель в індивідуальних і малогабаритних - в групових контейнерах з прямим нагрівом їх газами;

5) тунельних для повторного швидкісного випалення продукції, просоченої пеком;

б) електричних.

З вказаних конструкцій найбільш поширені багатокамерні кільцеві печі закриті, типу Ридгаммера.

За багато років експлуатації за кордоном вони зазнали значних конструктивних змін, спрямовані в основному на зменшення перепаду температур по висоті робочого об'єму камер, зниження теплової інерції. За останніми даними передових зарубіжних фірм печі Ридгаммера в основному будують вище за нульову відмітку і обладнують підвісними боровниками. Їх застосовують переважно для спеціалізованого випалення великогабаритних електродних заготівель. Розміри касет визначають, виходячи із строгого розрахунку завантаження: не більш за одну заготівлю по ширині касети, двох заготівель по її висоті.

Газ спалюється за допомогою пальників, вмонтованих в край зведення камери з боку руху "вогню", з напрямом факела у вогневі колодязі, що служать для перетікання продуктів згорання з попередньої камери в наступну. Вогневі колодязі, на відміну від вітчизняних конструкцій, розташовані усередині камер.

Звуження касет, спеціалізація печей на один типорозмір заготівель дозволяють не лише механізувати процес обслуговування і значною мірою інтенсифікувати випалення, але і збільшити продуктивність печей (таблиця. 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика обпалювальних печей

Характеристика	30-камерна піч, не спеціалізована	26-камерна піч, спеціалізована	Печі з викочуванням подини для контейнерного випалення
<i>Випалення великогабаритних заготівель 500-710мм</i>			
Площа подини, м ²	387	479	140
Коеф. використання, %	93,0	-	-
Подова продуктивність печей по завантаженню, т/(м ² ·год)	10,25	28,9	22,4
Питома витрата засипки на 1 т завантажених заготівель, кг/т	90-100	70-80	60-70
Питома витрата палива, МДж/т	10,48	3,35-4,19	3,14-3,35
<i>Випалення заготівель, просочених пеком</i>			
Подова продуктивність печей по завантаженню, т/(м ² ·год)	40-36,0	-	43
Питома витрата засипки, кг/т	90-110	-	60-70
Питома витрата палива, МДж/т	6,28-8,38	-	3,27-3,35

Та ж принципова особливість відрізняє і багатоканальні печі відкритого типу швейцарської фірми "Алюсвіс", французької фірми "Пешине", у яких ширина касет розрахована на один блок, що дозволяє рівномірно і швидко прогрівати його з обох боків касети.

Печі з викочуванням подиною для контейнерного випалення продукції, а також тунельні печі для випалення просоченої продукції почали

застосовувати в останні 10-15 років. В порівнянні з багатокамерними касетними печами ці пристрої відрізняються зниженою тепловою інерцією, дозволяють спалювати летючі речовини, що виділяються, що дає можливість при роботі на них отримати значну економію палива (табл. 1.1).

Відсутність засипки між контейнерами і безпересипочне випалення просочених заготівель в тунельних печах забезпечують значну економію засипочних матеріалів, а також різко знижують трудоемність операцій чищення обпаленої продукції. На печах контейнерного випалення і тунельних можна повністю механізувати трудоемні операції завантаження і розвантаження заготівель.

У вітчизняній практиці використовують в основному заглиблені в землю багатокамерні кільцеві, закриті печі. Для окремих видів малогабаритної продукції, що не вимагають повільного нагріву, застосовують індивідуальні камери. Їх відмінність від камер багатокамерних печей лише в тому, що вони забезпечені індивідуальною системою обігріву (підводу і спалювання газу і відведення продуктів згорання).

Багатокамерна обпалювальна піч складається з двох паралельних рядів камер, які розташовані в безпосередній близькості одна від одної і сполучені між собою каналами для послідовного переходу газів з однієї камери в іншу.

На вітчизняних заводах експлуатуються 20-, 30 - і 32-камерні печі, опалювальні природним газом з теплотою згорання 42,5 - 46,9 МДж/кг. З моменту будівництва перших печей і приблизно до 50-х років минулого століття вітчизняні печі конструктивно відповідали печам Ридгаммера.

Протягом багаторічної експлуатації до пристрою вітчизняних багатокамерних печей було внесено багато змін, головним з яких було перенесення вогневих колодязів з камери в міжкамерні простінки. Це дозволило підвищити продуктивність печей. Нині діючі печі мають переважно шестикасетні камери з розмірами касет 1240×1740×3800 (4000) мм. Звуження касет (реконструкцією шестикасетних камер на восьмикасетні) на окремих печах сприяло деякому збільшенню їх теплової потужності. Це

дозволило використовувати вузькокасетні печі для випалення великогабаритних заготовів з одночасним скороченням тривалості графіка випалення і витрати палива.

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз технології отримання графітованих електродів.
2. Представлено аналіз підготовки сировини та приготування електродної маси для виробництва електродної маси.
3. Визначено залежність щільності пресування від часу витримки при пресуванні заготовок електродів

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ГРАФІТАЦІЇ КАРБОНІЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

2.1 Технологія графітації обпалених заготівель

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).

2.2 Печі для графітації

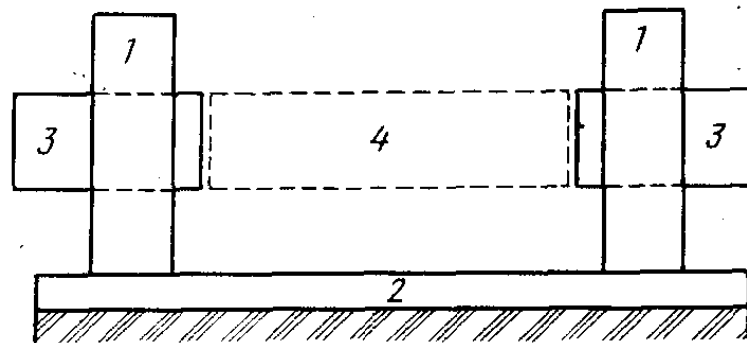
Уперше графітацію вугілля (електродів) запропонував Кастнер (США, 1893р.), проте він не розробив техніку для графітації, а обмежився пропозицією нагрівати вугільні стрижні, затискаючи їх між струмопідводящими електродами, по яких проходить електричний струм. Уперше промислові печі для графітації були 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. 2.1 схематично показана піч для графітації. Основними елементами конструкції печі служать дві торцеві стінки, розташовані один

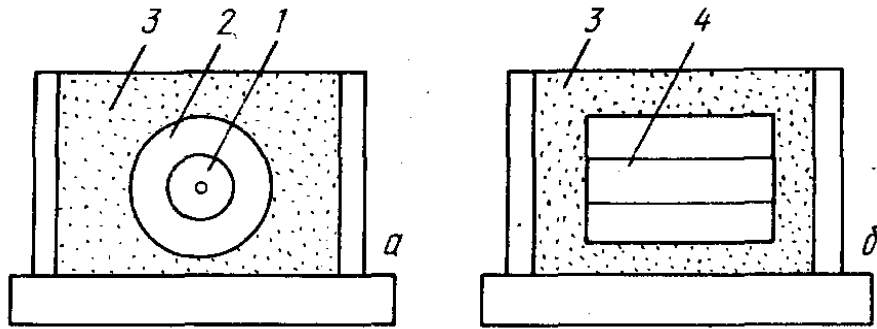
проти одного і сполучені між собою основою 2, яке є подиною печі. У торцевих стінках закладені струмопідводящі електроди 3, що служать для введення електроенергії в її робочий об'єм - простір між струмопідводящими електродами 4. Цей робочий об'єм завантажують виробами або матеріалами, які мають графітувати і завантажений робочий об'єм печі вже називається керном.



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

Рисунок 2.1 – Схема печі для графітації

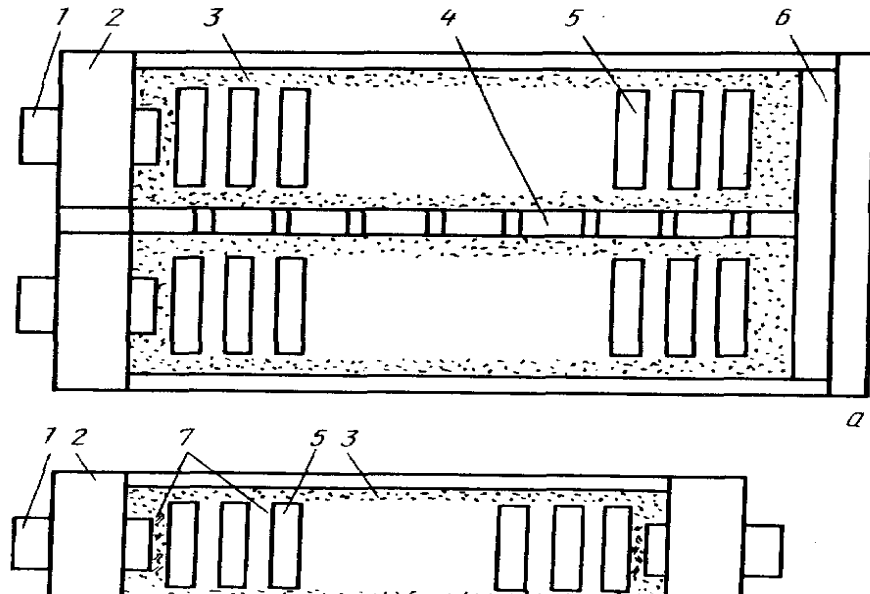
На рис. 2.2 приведені поперечні розрізи карборундової печі (а) і печі для графітації (б). У карборундової печі в центрі робочого об'єму розташовані керн 1, навколо нього - шихта 2, з якої утворюється карбід кремнію (SiC). Керн в цьому випадку є нагрівачем (через нього тече електричний струм) і елементом, який створює теплове поле для виникнення і завершення процесу утворення карбіду кремнію з шихти 2. У печі для графітації завантажені виробки також називають керном 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 - керн; 2 - шихта; 3 - тепла ізоляція; 4 - робочий об'єм (керн)

Рисунок 2.2 – 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. 2.3 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.

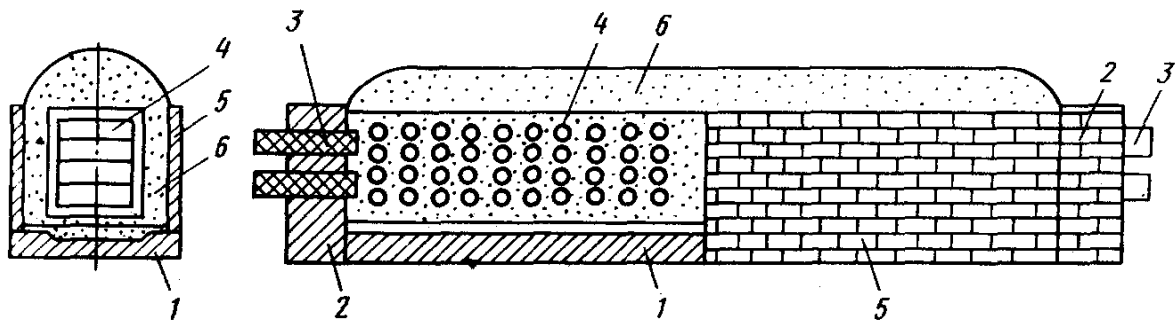


а - П-образна піч; б - нормальна піч (Ачесона); 1 - струмопідводящий електрод; 2 - торцева стіна; 3 - теплоізоляційна шихта; 4 - роз'єднувальна стінка; 5 - електроди; 6 - сполучний провідник; 7 – пересипка

Рисунок 2.3 – Схеми основних типів печей для графітації

На рис. 2.4 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 керн в яких складає від 0,3 до 1,0м².



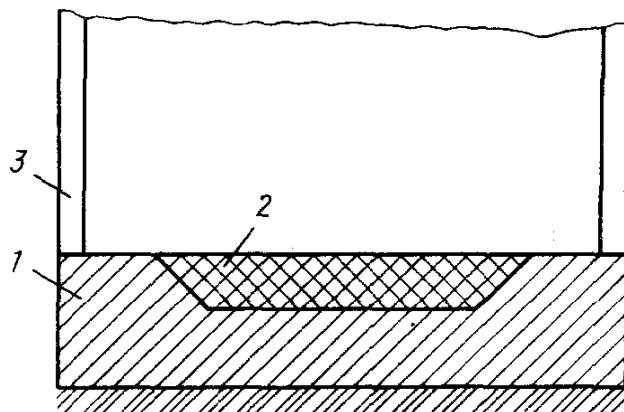
1 - подина; 2 - торцева стінка; 3 - струмопідводящі електроди; 4 - заготівлі; 5 - бічні стінки; 6 - теплоізоляційна шихта

Рисунок 2.4 – 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 керн призводить до підвищення теплового і електричного к.к.д. і, як наслідок, до збільшення продуктивності і зниження питомої витрати електроенергії. Із збільшенням довжини керн 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. 2.5 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

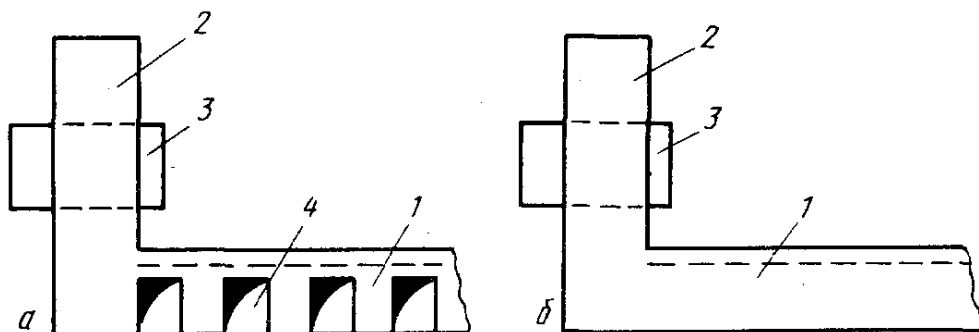
Рисунок 2.5 – Подина нормальної прямої печі (розріз)

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°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 карбіду кремнію з утворенням вуглецю. В цьому випадку набійка різко втрачає свої ізоляційні властивості: сильно зростає її електропровідність, що супроводжується витоком 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. 2.6). Неохолоджувані 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. 2.6, а). Канали розташовуються упоперек печі.



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

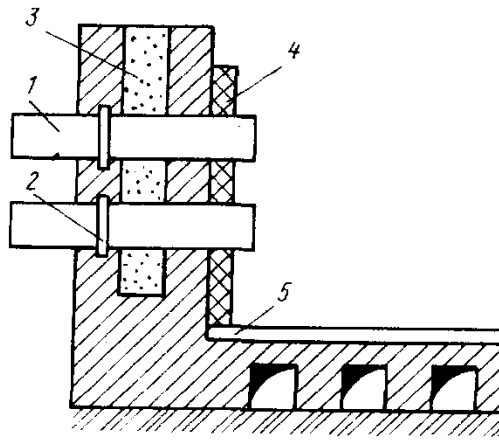
Рисунок 2.6 – Подини печей для графітації

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 струмоопідводящі 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. 2.7 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 2.7 – 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. 2.7). 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. Струмопідводящі 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.

2.3 Режими графітації

Завантаження печі складається з ряду послідовних операцій: підготовки подину, 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 заграфіченність 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 зоповнюють увесь укладений керн.

Для зручності і більшої точності укладання виробів користуються дерев'яними шаблонами, які встановлюють між вертикальними рядами (рис. 2.8). 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.

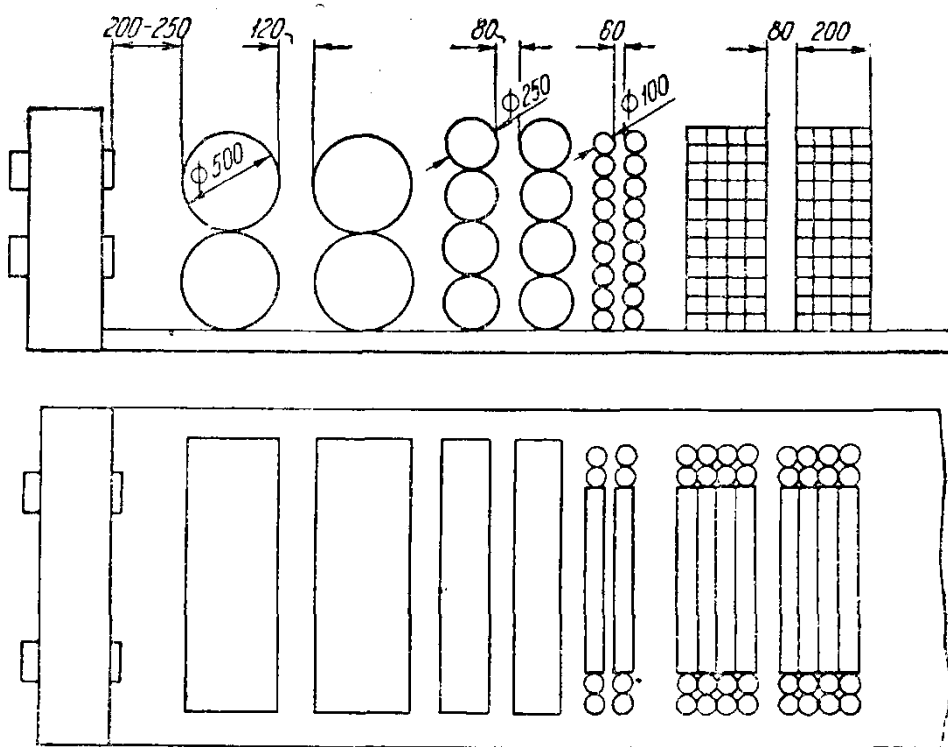


Рисунок 2.8 – Схема укладання електродів в піч

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 виробках карборунда і забруднення зольними домішками коксу матеріалів, що піддаються термічній обробці.

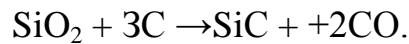
Гранулометричний склад пересипного матеріалу різний. При графітуванні великих електродів максимальна величина шматків досягає 30мм. При графітуванні дрібних виробів максимальне зерно знижується до 6-10мм. Бажано, щоб усі зерна по своїх розмірах були близькі. Для електричного режиму печі дуже важливо 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 $800-900\text{кг/м}^3$.

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.

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 виробах 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.

Таблиця 2.1 – Вживана сировина і матеріали.

Найменування матеріалу	Технічні вимоги	Призначення
1	2	3
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 Вміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 1, не більше, % - 9,0 Вміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 2, не більше, % - 12,0 Вміст шматків розміром менше 10 мм марки КО 3, не більше, % - 15,0 Вміст шматків розміром більше 25 мм марки КО 1, КО 2, КО 3, не більше, % - 10,0	Керновая пересипка
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 Вміст шматків розміром більш 10 мм марок МК 1, МК 2, не більше, % - 8,0 Вміст 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 графітований	Відсутність шматків, що спеклися, бою цеглини, сміття	Кернова пересипка

Продовження табл. 2.1

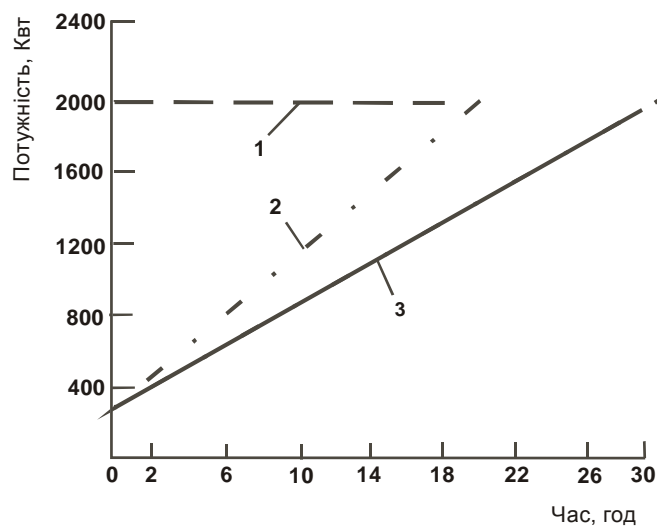
1	2	3
Дерев'яні щити	Відсутність сторонніх предметів	Теплоізоляційні захисні шари
Тирса дерев'яна	Відсутність сторонніх предметів	Теплоізоляційні захисні шари

При однаковому струмі, що протікає через піч, кількість тепла, що виділяється, в завантаженні пропорційно опору. 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. 2.9 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 2.9 - 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. 2.10 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.

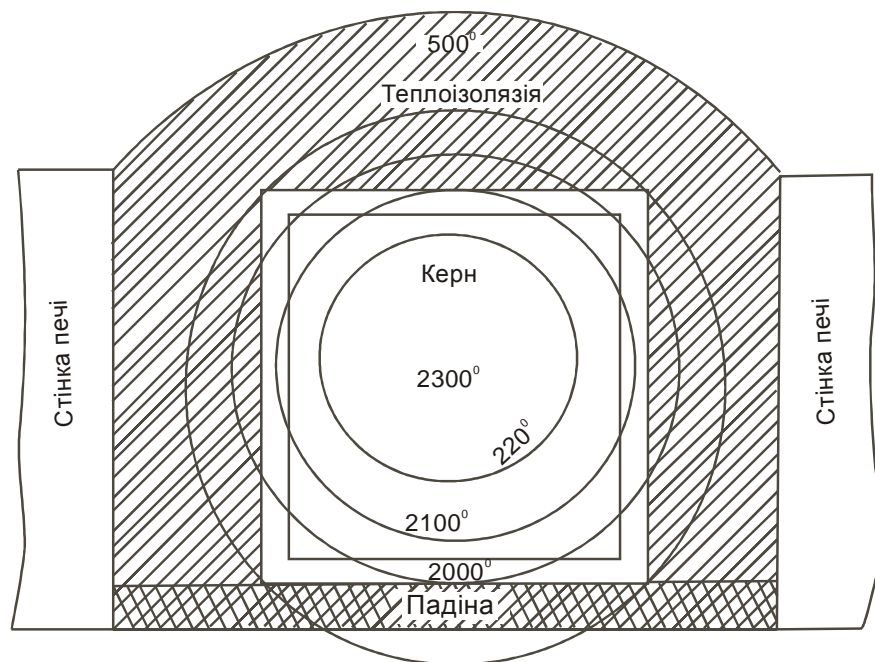


Рисунок 2.10 - Топограма розподілу температур в печі для графітації

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.

Висновки до розділу 2

1. Досліджено технологічні режими та визначено температурні поля по об'єму керна в процесі графітаціх електродів.
2. Розглянуто варіанти загрузки керна печі.
3. Розглянуто схеми формування керна печі для заготовок електродів з різними геометричними параметрами.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ГРАФІТАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ

3.1 Дослідження залежності електропровідності від температури

Електропровідність відноситься до властивостей, які широко використовуються для оцінки якості графіту завдяки простоті методів виміру [49]. Крім того, електропровідність надзвичайно чутлива до змін структури. Досить відзначити, що в процесі випалення електропровідність штучного графіту зростає на декілька порядків. В процесі графітування електропровідність збільшується ще на порядок. Саме це привертає увагу дослідників. Зазвичай на практиці користуються величиною, зворотною електропровідності - питомим електроопором. Для формованих заготовок ця величина складає $10^7 - 10^9$ мкОм·м. Після випалення питомий електроопір матеріалу досягає 50-80 мкОм·м. В процесі графітування питомий електроопір знижується до 5-20 мкОм·м (рис. 3.1). Відмінність у величинах питомого електроопору графітованих матеріалів обумовлена відмінністю в щільності і ступені дефектності мікроструктури. Різна поведінка питомого електроопору залежно від температури. Електроопір обпалених вуглецевих матеріалів зменшується при підвищенні температури. Складну температурну залежність електроопору з екстремумом мають графітовані матеріали. Питомий електроопір спочатку знижується, досягаючи мінімуму в інтервалі температур 300-1300, а потім майже лінійно збільшується (рис. 3.2).

При термічній обробці в інтервалі від 800 до 1100° С електроопір вуглецевого матеріалу зменшується на 9 порядків. Після графітування структура вуглецевого матеріалу стає досконалою, значно збільшуються середні розміри кристалітів і істотно скорочується зміст нерегульованого, аморфного вуглецю, розташованого, в основному, на межах кристалітів. По структурі і властивостям штучний графіт наближається до монокристала.

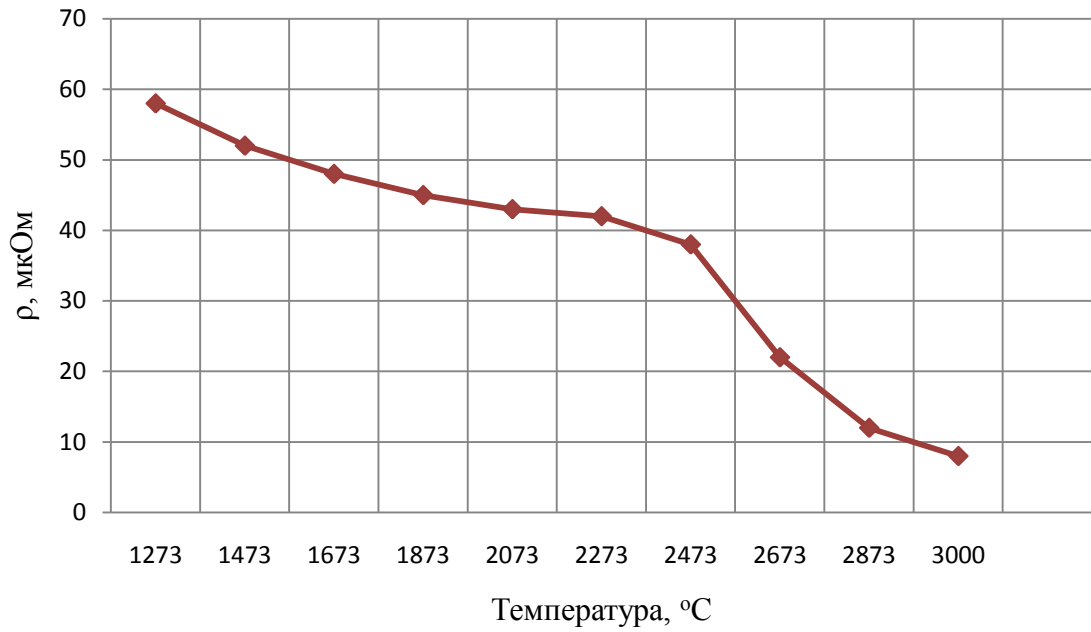


Рисунок 3.1 - Залежність питомого електроопору вуглецевих тіл від температури графітування

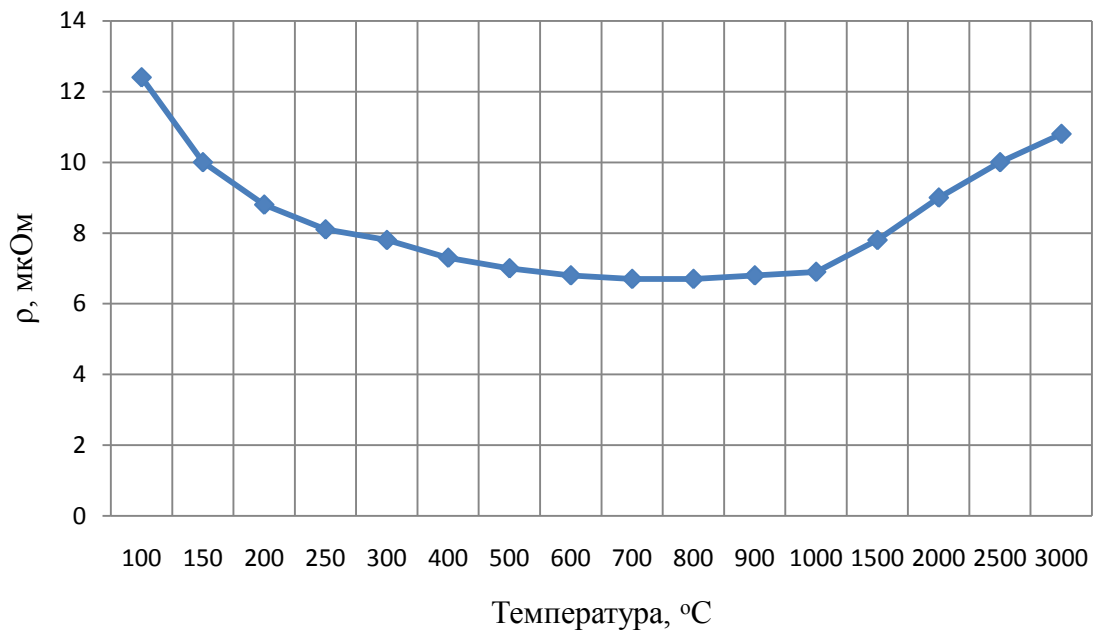


Рисунок 3.2 – Залежність питомого електроопору графіту від температури

3.2 Дослідження залежності міцності на властивості електродів

Щільність. Щільність є цінним показником, що характеризує не лише склад матеріалу, але і особливості його структури [6]. По зміні щільності вуглецевих матеріалів, що піддаються термічній обробці, часто судять про минулих структурних змін в них. На практиці розрізняють зазвичай дійсну і об'ємну щільність.

Найбільша зміна щільності спостерігається в інтервалі 1273-1673° С. Надалі щільність монолітів залишається майже незмінною, і лише при температурах обробки вище 2473° С вона знову починає зростати. При дослідженні щільності порошоків, що графітують, виявилось, що перед кристалізаційна стадія графітування в цьому випадку виявляється яскравіше. Якщо щільність монолітів майже не міняється на цій стадії, то щільність порошоків зменшується і досягає мінімуму при температурі обробки біля 2300° С. Об'ємна щільність більше 1,55 г/см³ може бути отримана просоченням графіту кам'яновугільним пеком або смолою.

На рис 3.3 графічно змальована температурна залежність об'ємної щільності графіту від температури.

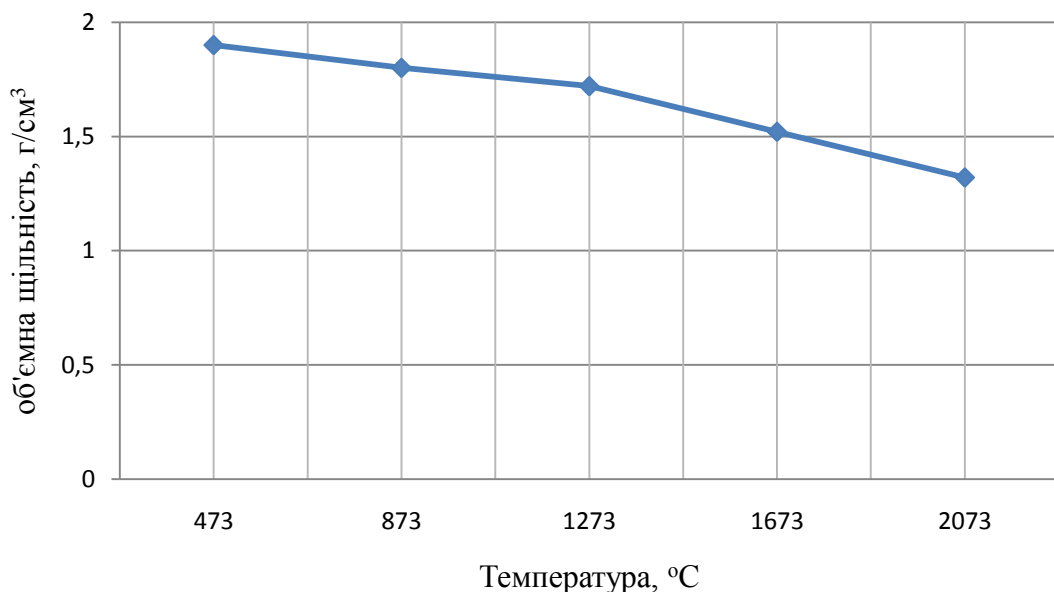


Рисунок 3.3 – Залежність об'ємної щільності графіту від температури

Міцність. Межа міцності при стискуванні матеріалів знижується з підвищенням температури обробки немонотонно: у інтервалі 2100- 2400° С є максимум (рис. 3.4), який викликаний деяким розу порядкуванням структури із-за тих, що віддаляються при графітуванні гетеро - атомів. Величина максимуму обумовлена особливостями матеріалу [10].

Міцність матеріалу залежить разом із ступенем досконалості кристалічної структури від співвідношення структурних компонентів.

Міцність вуглецевих матеріалів можна змінювати в широких межах технологічними прийомами. Направлене регулювання дисперсної і кристалічної структури в процесі технологічного циклу вже сьогодні дозволяє отримувати матеріали на основі вуглецю, що істотно розрізняються по фізико-механічним і іншим найважливішим експлуатаційним властивостям.

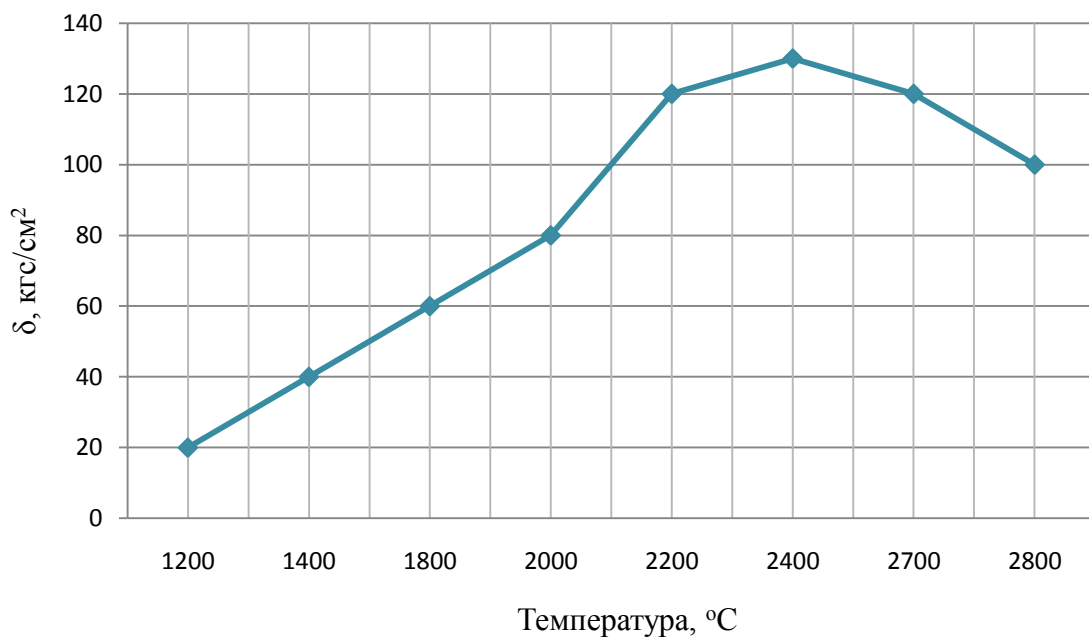


Рисунок 3.4 - Механічні властивості графіту при різних температурах

Пружні властивості графітованих виробів в значній мірі визначаються пружними властивостями сировини, що йде на їх виготовлення, і тими технологічними операціями, які зазнають вироби в процесі свого виготовлення [6]. Особливо чутливі фізико-механічні властивості

отримуваних виробів до пористості останніх. Відомо, проте, що пористість пресованих тіл залежить від виду використовуваної сировини (наповнювача і що пов'язує), гранулометричного складу, умов пресування, випалення і графітуванні. У пористості як би концентруються впливи багатьох чинників на властивості полікристалічного графіту. Дослідження показують, що певні фізико-механічні властивості графітованих виробів, у тому числі і пружні властивості, закладаються в процесі виробництва через формування величини і характеру пористості монолітів.

Проте не підлягає сумніву, що формування заданих пружних властивостей пресованих виробів в промислових умовах повинне вестися з урахуванням пружних властивостей кристалів графіту. Модулі пружності кристалів графіту і залежність деяких з них від ступеня досконалості і величини останніх роблять вплив на макроскопічні пружні властивості виробів.

Зазвичай пружність однорідних ізотропних тіл описується трьома параметрами - модулем Юнга, модулем зрушення і коефіцієнтом Пуассона.

Для практики представляє інтерес вивчення формування пружних властивостей графітованих виробів в процесі їх отримання. З цією метою необхідно досліджувати, як міняються пружні властивості вуглецевих матеріалів залежно від температури їх обробки під час переходу вуглецевих заготовок через проміжні стани від стадії випалення до стадії графітування. Криві показують (рис. 3.5), що модуль Юнга вуглецевих матеріалів зменшується з температурою обробки, досягає мінімуму біля 2273°C , а потім знову збільшується.

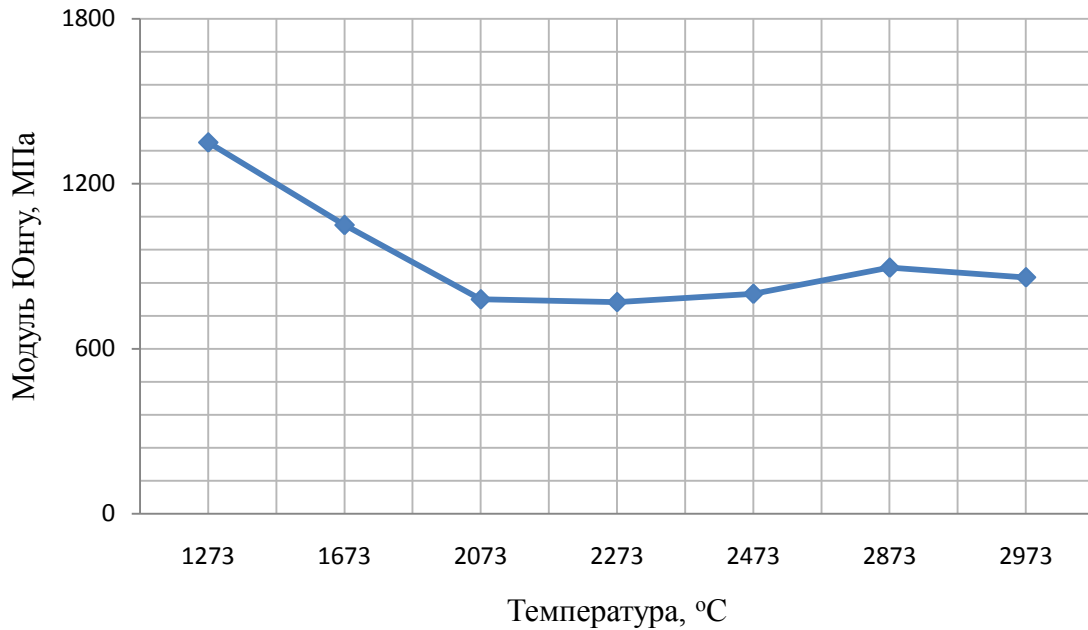


Рисунок 3.5 – Залежність модулю Юнга від температури

3.3 Дослідження теплопровідності електродів

Теплопровідність вуглецевих матеріалів може змінюватися більш ніж на чотири порядки. Це дає можливість використовувати їх не лише як провідників тепла, але і як високотемпературні ізолятори. Конструкційні графітові матеріали є хорошими провідниками тепла, займаючи по теплопровідності проміжне положення між алюмінієм і м'якою сталлю.

Теплопровідність графіту є одним із структурно-чутливих властивостей і залежить від технологічних чинників: виду використовуваної сировини, великої зерен наповнювача, ущільнюючих просочень і особливо від температури обробки.

Термообробка вуглецевого матеріалу, тобто кінець кінцем від стадії напівфабрикату до графіту збільшує теплопровідність в 10-30 разів [10]. Видно, що приблизно до 1600° С теплопровідність трохи збільшується з підвищенням температури обробки. Вище 1800° С відбувається різке зростання теплопровідності, оскільки вона відповідає зміні ступеню досконалості кристалічної структури матеріалу (рис. 3.6).

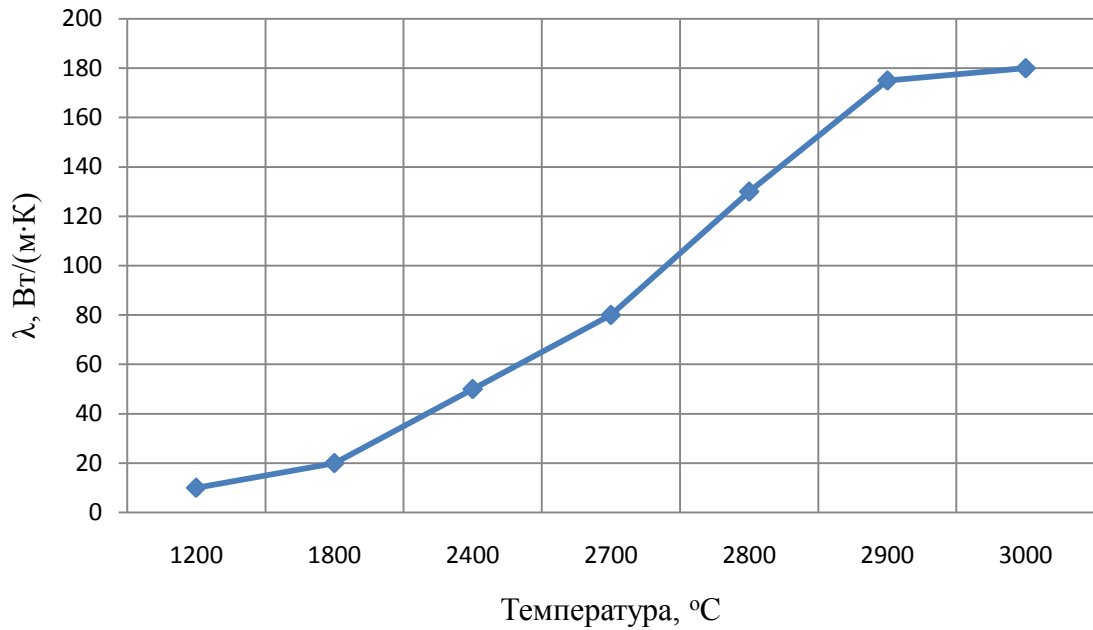


Рисунок 3.6 – Залежність теплопровідності від температури

Ступінь досконалості вище 1800° С також інтенсивно росте. Між зворотними величинами теплопровідності і діаметру кристалітів графітових матеріалів існує залежність, близька до лінійної.

Висновки до розділу 3

1. Представлено аналіз способів нагріву заготовок електродів в процесі графітації.
2. Проведено дослідження температурних полів по поперечному та продольному перерізі печі графітації.
3. Встановлено зміна характеристик міцності і пружності, коефіцієнтів теплопровідності та питомого електричного опору заготовок електродів в залежності від температури процесу графітації.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху графітації обпалених заготовок

Створення найбільш сприятливих умов праці, запобігання виробничому травматизму і професійним захворюванням, виробничих аварій і усунення будь-якої шкідливої дії виробничих процесів на персонал, навколишнє середовище і населення - це важливі чинники, від яких кінець кінцем залежить виробництво.

Технологічні процеси, устаткування, режим роботи повинні забезпечити сприятливі умови праці і його безпека і нешкідливість.

Основними особливостями процесу графітування роботи по завантаженню-вивантаженню і розбраковуванню заготовок, перемиканню печей графітування, ці роботи пов'язані з наступними небезпеками:

- пічні агрегати, верстатний парк і підйомно-транспортне устаткування підключені в силову мережу напругою 380 В;

- джерелом теплових виділень є печі графітування обпалених заготовок. Згідно [50] допустима інтенсивність теплових виділень складає 348 Вт/м^2 . Теплове випромінювання шкідливо впливає на організм людини, викликаючи теплове виснаження, удар, швидке стомлення, зниження працездатності, ослабляє опірність організму людини до різних захворювань. Наявність великої кількості гарячих поверхонь при неприйнятті відповідних заходів може з'явитися причиною опіків. Шкідливий вплив на робочий персонал надає шум і вібрація;

- шум впливає на органи слуху, викликає у людини головні болі. Гранично допустимий рівень шуму 85дБ [51]. Рівень шуму на робочих місцях не перевищує 70 дБ. Це значно нижче за допустиме значення, що дозволяє персоналу вести роботу в нормальних умовах. Рівень вібрації не перевищує нормативного значення 92 дБ [51], що дозволяє обслуговувати

агрегати без значного збитку для здоров'я. Так само в цеху можливі поразки електричним струмом;

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого трудового процесу

№ п/ п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	3 клас: шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : 2 клас небезпеки сірководень	10,0	25,0		2,5 рази		92,36
	3 клас небезпеки вуглецю оксид	6,0	4,0	0,67 рази			
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	2	8,0		4 рази		92,36
3	Шум, дБА	80	85	5			92,36
4	Вібрація(загальна),дБ	92	94		2		92,36
5	Мікроклімат у приміщенні (теплий період):						16
	- температура, °С;	13-26	42				
	- швидкість руху повітря, м/с;	0,2-0,5	0,3				
	- відносна волога повітря, %;	40-60	32				
6	Тяжкість та напруженість праці	категорія праці – важка, напружена					

- при дії електричного струму виникають електротравми, електричний удар.

Порогові значення електричного струму:

- найменший відчутний струм – 0,6-1,5 мА;
- що не відпускає струм – 10-25мА;
- смертельний струм – 100 мА і більш.

Фахові захворювання викликаються несприятливими умовами праці, наприклад ненормальними метеорологічними умовами, надмірною запиленістю повітря, наявністю шкідливих випромінювань, впливом шуму і вібрацій, неправильної організації праці.

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху графітації обпалених заготовок

Інженерні заходи.

а) Для зниження шкідливого впливу тепловиділень цех обладнаний аераційними ліхтарями з вітровідбійними щитами і фрамугами, що відкриваються. Вентиляція приміщення розрахована на зменшення тепловиділень і здійснюється за допомогою аерації.

Шкідливий вплив тепловипромінювань слід знизити в жаркий час року за допомогою вентиляційних установок, в холодний час - слід знижувати вплив протягів ізоляцією цеху від зовнішньої середовища воротами з тепловими повітряними завісами. Уникнення опіків устаткування з температурою більше 45° С забезпечується теплоізоляцією.

б) Для зниження запиленої і загазованості передбачені електрофільтри і димососи (на печі), вакуум відсмоктування, аспіраційні установки, пневмоуборочні пристрої, аспіраційні зонти над кришкою автоклава.

в) Для запобігання механічним пошкодженням постійно відкриті канали, що підносяться над нульовою відміткою устаткування обгороджується. Схід з майданчика печі здійснюється по сходах з поручнями, на відкриті камери встановлюються огорожі поручнів. Камери,

на яких проводяться роботи, накриваються запобіжними металевими ґратами. Захищаються рухливі частки верстатів.

Для запобігання травматизму у відділенні просочення всі операції максимально механізовані, застосовують спеціальні траверси, процеси відкриття - закривання кришок автоклавів автоматизовані.

г) Для попередження пожеж в газоходах застосовується практика запланованого випалювання смоли, контроль температури в газоходах здійснюється самописними реєструючими приладами, при загрозі пожежі (підвищена температура) знижують температуру газів, що відходять, зменшенням подачі газу.

При гарячій продукції між рядами її мають бути прокладки з матеріалів, що не згорають. На практиці автоклави працюють під тиском, тому передбачені блокування безпеки і пристрою контролю для запобігання пожеж і вибухів.

д) Вибухопожежна ситуація можлива при проскакуванні полум'я в пальнику печі або його відриві від пальника, тому при проскакуванні необхідно відключити пальник і охолодити його, при відриві полум'я - вимкнути всі пальники, провентилювати топку. На практиці запобігання вибухам здійснюється шляхом установки контрольної-вимірювальної апаратури на автоклаві.

е) Електродії запобігають шляхом застосування захисного заземлення.

Організаційні заходи.

а) Рухливі частки верстатів, що не підлягають огорожі повинні мати попереджувальне забарвлення;

б) Огорожі забарвлюються в червоний або оранжевий колір.

в) До роботи допускаються робітники старше 18 років з посвідченням на право роботи стропальником вантажів, посвідченням на звання «Правил безпеки в газовому господарстві», знанням правил техніки

експлуатації і техніки безпеки при роботі в електроустановках в об'ємі 1 групи;

г) Ремонтні роботи в камерах печі і усередині автоклавів вирішуються проводити бригадою з оформленням наряду-допуску;

д) Робітники забезпечуються спецодягом і засобами індивідуального захисту;

е) Проводиться інструктажі робітників;

ж) Раз на рік проводиться атестація на знання правил роботи стропальником, в газовому господарстві, в електроустановках.

4.3 Заходи з електробезпеки

Приміщення цеху графітування відносять до класу В-Ia, оскільки при нормальній роботі не утворюється вибухонебезпечні суміші, але це можливо при аваріях, тому при монтажі і ремонті електроустаткування необхідно дотримувати Правила Установки Електроустаткування. Всі електроустановки, електродвигуни, електропускові апарати мають бути виконані у вибухозахищеному варіанті з маркіровкою 2ExeIIIb. Електричні світильники можуть застосовуватися при встановленні, що рівень їх вибухозахищених властивостей відповідав класу В-Ia. Для приміщення класу В-Ia допускаються масляні пускачі підвищеної надійності проти вибуху серії ПМ-700. Допускається прокладка приводів усередині вибухонебезпечних приміщень по стінах і найменш небезпечних місцях. Застосовуються кабелю ВРГ.

4.4 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій світлярії в цеху графітації обпалених заготовок

4.4.1 Освітлення виробничих приміщень

Освітлення приміщень і робочих місць відповідає вимогам СНиП 23-05-95 “Природне та штучне освітлення”. Цех графітування відноситься до VIII розряду зорових робіт. Згідно [52] для VIII розряду значних робіт коефіцієнт природного освітлення рівний 0,5 %. Фактично коефіцієнт природного освітлення рівний 0,45 %, що нижче за норму. Штучне освітлення приміщення цеху забезпечується світильниками прямого світла з лампами типу ДРЛ-80, потужністю 500 Вт. Нормативна освітленість робочої поверхні для VIII розряду значних робіт складає 50 Лк [53]. Фактично ця вимога в цеху виконується. Для запобігання затемненню робочих місць мостовими кранами повинне бути передбачене додаткове підкранове освітлення світильниками, підвішеними до ферм крана. Для аварійного освітлення застосовують лампи розжарювання типу МО, потужністю 15 Вт, з світловим потоком 180 Лм, напругою 36 и 12 В. Освітленість коридорів і допоміжних приміщень (вмивальні, вбиральні і т.д.), а також сходів складає 30 Лк [53]. Природне освітлення в світлий час доби здійснюється через бічні отвори.

При виконанні поточного ремонту виникає необхідність додаткового освітлення. Для цього передбачено використання переносних світильників СПВ-27.

4.4.2 Мікроклімат

Метеорологічні параметри повітряного середовища виробничих будівель і на робочих місцях повинні забезпечуватися виконанням вимог СНиП II-33-75, ДСП 173-96 і стандартів ССБТ ГОСТ12.1.005-88, ДСТУ Б А.3.2-12:2009. Відповідно до вимог стандарту ССБТ метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Згідно [53] метеоумови в цеху мають бути наступними: швидкість руху повітря 0,2-0,4 м/с, відносна вологість 79-82%, категорія робіт 3 (важка).

У цеху передбачена аерація, суміщена з механічною вентиляцією. Повітрообмін здійснюється через аераційно-світлові ліхтарі і віконні отвори. Надходження зовнішнього повітря здійснюється через стулки вікон і видалення забрудненого повітря через стулки в ліхтарі. Оскільки в гарячих цехах аерації недостатньо, то для видалення тих, що утворилися пилу і газів в процесі виробництва застосовується місцева вентиляція витяжна. Система складається з димососів, газоходів, вентиляторів, аераційних установок. Кратність повітрообміну у відділенні графітування складає 4. Для поліпшення умов праці в літній час застосовуються душируючі вентиляційні установки.

У цеху також передбачена загальнообмінна припливна-витяжна вентиляція з механічною спонудою. Вентиляція забезпечує чотирикратний повітрообмін. У кімнаті майстра встановлений кондиціонер. Якісне регулювання системи кондиціонування допомагає підтримувати задані мікрокліматичні параметри в приміщенні (температуру, вологість і швидкість руху повітря).

Побутові і допоміжні приміщення

По санітарній характеристиці цех графітування відносять до Пб групи виробництва [54].

До складу побутових приміщень входять:

- 1) Вбиральні (чоловічі і жіночі), 2 приміщення;
- 2) Душові (чоловічі і жіночі), 4 приміщення із загальною кількістю 25 (5-6 чоловік на 1 сітку);
- 3) Умивальники (чоловічі і жіночі), 10 одиниць;
- 4) Убиральні (чоловічі і жіночі), 4 приміщення;
- 5) Кімнати для відпочинку, 2 приміщення площею по 10 м²;
- 6) Їдальня, 300 м від будівлі цеху;
- 7) Буфет, там же, де і їдальня;
- 8) Медпункт, там же.

Індивідуальні засоби захисту

Основні засоби індивідуального захисту забезпечуються відповідно до «Каталогу на спецодяг, спецвзуття і інші засоби захисту для працівників підприємства». Для захисту тих, що працюють в цеху графітування передбачені наступні засоби:

- 1) захист шкіри від пилу і шкідливих речовин - бавовняні костюми (у холодний час - ватяна куртка);
- 2) захисні окуляри;
- 3) захист від опіків - рукавиці брезентові;
- 4) захист голови - каска «Праця» з підшоломником;
- 5) захист органів дихання - респіратор;
- 6) валянки і черевики з шкіро замінювача;
- 7) основні засоби захисту - ізолюючі, ізолюючі і електровимірювальні кліщі, покажчики напруги, діелектричні рукавички.

4.5 Заходи пожежної безпеки

Відповідно до класифікації виробництв по вибухопожежній, вибуховій і пожежній небезпекам приміщення цеху графітування відносяться до вибухопожежної категорії виробництва Б [55]. Будівля цеху має I-II ступінь вогненебезпечності.

Джерелами пожеж і вибухів є:

- 1) Неправильне ведення технологічних процесів;
- 2) Неправильна експлуатація пальників печі;
- 3) Пожежонебезпечні матеріали на ділянці графітування - коксик;
- 4) Небезпека утворення вибухонебезпечних суміщів горючих речовин і пилу з повітрям.

У цеху має місце постійна небезпека виникнення пожежі. Відстань від найбільш видаленого місця до найближчого евакуаційного виходу складає 20 м, що відповідає нормі [55]. Пожежний зв'язок і сигналізація організовані так, щоб швидко сповістити персонал що трапився.

Інженерні заходи:

- приміщення цеху будуються з матеріалів I ступеня вогнестійкості, що не згорають;
- контрольно-вимірювальні прилади і блокування на печях;
- датчики для найбільш раннього виявлення пожежі, що почалася;
- по пристрою молніезахисту цех відноситься до III категорії [56], оскільки клас В-Ia захищає від прямого удару блискавки, електричної індукції і занесення високих електропотенціалів через наземні і підземні комунікації.

Організаційні заходи:

- організація пожежної дружини і пожежно-технічної комісії;
- проведення протипожежного інструктажу і занять по пожежно-технічному мінімуму;

- установка строго пожежного режиму;
- прибирання робочих місць ослові закінчення робіт;
- забезпечення справного змісту і постійної готовності до дії засобів пожежогасінні, зв'язку і сигналізації.

Вказані первинні засоби пожежогасінні прийняті відповідно до нормативів залежно від категорії виробництва і площі виробничого приміщення [57]. Вживані засоби пожежогасінні в цеху графітування представлені в таблиці. 4.2.

Таблиця 4.2– Засоби гасіння пожеж

Засоби гасіння	Документи	Місце установки
Вогнегасники порошкові	ГОСТ 16.005-70	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Вогнегасники вуглекислотні ОУ-8	ГОСТ 11154-74	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Установки парового пожежогасіння	ГОСТ 12.4.009-83	Газоходи печей, приміщення просочення
Пристрої автоматичного або дистанційного відключення газу і димососів	ГОСТ 12.4.009-83	Цех графітування
Установки автоматичного сповіщення і гасіння пожеж типа 12АМ, ТОЛ-10/100	ГОСТ 12.4.009-83 ГОСТ 17590-72	Склади в цеху
Гідранти пожежники	ГОСТ 8220- 67	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Крани пожежні	СНиП II-К1- 70	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Пожежне устаткування	ГОСТ 7499- 71	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Пожежний інвентар	ГОСТ 8777- 80	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади
Пожежний ручний інструмент	ГОСТ 16714-71	Виробничі приміщення цеху, побутові приміщення, склади

4.6 Розрахунок блискавкозахисту приміщень і споруд

До аварій і пожеж може привести струм лінійної блискавки, який обумовлює електромагнітну, теплову і механічну дії на об'єкт, через який проходить розряд електрики. Статистичні дані про шкоду, нанесену блискавками, та високу грозову діяльність на даній території обумовлюють необхідність вживання блискавкозахисту приміщень і споруд.

З метою попередження прямого удару і другорядних проявів блискавок, будівлю цеху графітації пропонується обладнати системами блискавкозахисту. Розглянемо участок графітації.

Схема участку зображена на рисунку 4.1. Розміри участка графітації:

$$b = 40 \text{ м.}, \quad a = 15 \text{ м.}, \quad c = 10 \text{ м.}, \quad H = 18 \text{ м.}, \quad H' = 25 \text{ м.}$$

Вибираємо тип блискавковідводу: подвійний стержневий блискавковідвід, який складається з двох стержневих блискавковідводів різної висоти.

Оскільки будівля змінної висоти, то приймаємо що блискавковідводи встановлені на мачтах, розташованих на осі будівлі на відстані 4 м від краю самої будівлі.

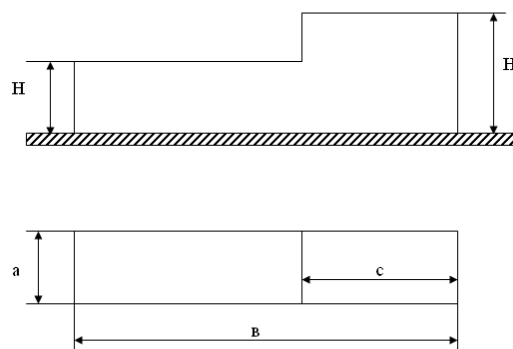


Рисунок 4.1 – Схема цеху графітації

Відстань міжблискавковідводами:

$$L = B + 4 + 4 = 40 + 8 = 48 \text{ м},$$

$$\text{тоді } L / 2 = 24 \text{ м}.$$

Зона захисту – А, значить, зона захисту має надійність 99,5%. Ширина внутрішньої області зони захисту r_c в середині між блискавковідводами визначається по формулі [4]:

$$r_{cx} = r_c \frac{h_c - h_x}{h_c}, \quad (4.1)$$

де r_c – ширина внутрішньої області зони захисту; визначається по формулі:

$$r_c = (r_{o1} + r_{o2}) / 2, \quad (4.2)$$

де r_{o1} , r_{o2} – радіуси торцевих областей зон захисту кожного із стержневих блискавковідводів на рівні землі, м [4]:

$$r_{o1} = (1,1 - 0,002h_1)h_1; \quad (4.3)$$

$$r_{o2} = (1,1 - 0,002h_2)h_2, \quad (4.4)$$

де h_1 , h_2 – висоти блискавковідводів над землею, м.

h_c – висота зони захисту над землею в середині між блискавковідводами, м [4]:

$$h_c = \frac{h_{c1} + h_{c2}}{2}. \quad (4.5)$$

Висота зони захисту кожного з блискавковідводів над землею, м:

$$h_o = 0,85h.$$

Радіус зони захисту на висоті h_x для такого виду блискавковідводу визначається по формулі [4]:

$$R_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85). \quad (4.6)$$

На відстані $h_{x1} = h_x = 18\text{м}$ ширина зони (мінімальна) із запасом повинна складати:

$$r_{x1} = r_x = a/2 + 1,5 + 1,5 = 15/2 + 3 = 7,5 + 3 = 10,5 \text{ м},$$

тоді

$$\begin{aligned} r_x &= (1,1 - 0,002h_1)(h_1 - h_{x1}/0,85); \\ 10,5 &= (1,1 - 0,002 \cdot h_1)(h_1 - 18/0,85). \end{aligned}$$

Вирішимо рівняння відносно h_1 , отримаємо $h_1 = 31,3\text{м}$.

Тоді

$$\begin{aligned} h_{o1} &= 0,85 \cdot 31,3 = 26,6 \text{ м}; \\ r_{o1} &= (1,1 - 0,002 \cdot 31,3)31,3 = 32,5 \text{ м}. \end{aligned}$$

При $l = 24\text{м} < h_1 = 31,3 \text{ м}$ фіктивна висота міжблискавковідводами:

$$h_{c1} = h_{o1} = 26,6 \text{ м}.$$

Приймаємо $h_{x2} = H' = 25\text{м}$, тоді:

$$\begin{aligned} r_x &= (1,1 - 0,002h_2)(h_2 - h_{x2}/0,85); \\ 10,5 &= (1,1 - 0,002 h_2)(h_2 - 25/0,85). \end{aligned}$$

Вирішимо рівняння відносно h_2 , отримаємо $h_2 = 39,7$ м, тоді визначимо ширину зони захисту (мінімальну) r_{x2} на відстані $h_x = 18$ м:

$$r_{x2} = (1,1 - 0,002h_2)(h_2 - h_x/0,85) = (1,1 - 0,002 \cdot 39,7)(39,7 - 18/0,85) = 18,9 \text{ м.}$$

Тоді,

$$h_{o2} = 0,85 \cdot 39,7 = 33,8 \text{ м;}$$

$$r_{o2} = (1,1 - 0,002 \cdot 39,7)39,7 = 40,5 \text{ м.}$$

При $l = 24$ м $< h_2 = 39,7$ м фіктивна висота міжблискавковідводами:

$$h_{c2} = h_{o2} = 33,8 \text{ м.}$$

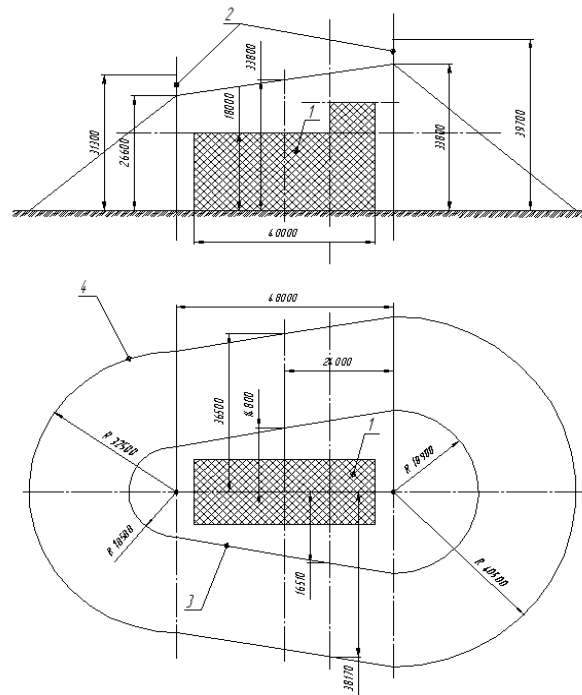
Таким чином,

$$h_c = \frac{26,6 + 33,8}{2} = 30,2 \text{ м;}$$

$$r_c = (32,5 + 40,5) / 2 = 36,5 \text{ м;}$$

$$r_{cx} = 36,5 \frac{30,2 - 18}{30,2} = 14,8 \text{ м.}$$

Будинок входить в зону захисту (це видно з розрахунків), значить обраний подвійний стрижневий блискавковідвід забезпечить необхідний блискавкозахист. На рисунку 4.2 показана розрахункова схема блискавкозахисту.



- 1 – будівля ділянки цеху графітації; 2 – стержневий блискавковідвід;
 3 – кордон зони захисту на рівні землі; 4 – кордон зони захисту на рівні
 висоти будинку

Рисунок 4.2 – Розрахункова схема блискавкозахисту ділянки цеху графітації.

Висновки до розділу 4

1. Проведено аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху графітації. Розроблено заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху графітації заготовок

2. Проведено розрахунок блискавкозахисту приміщень і споруд цеху графітації, розроблена схема і встановлені параметри вузлів і елементів системи блискавкозахисту.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз технологічної схемивиробництва електродної продукції, розглянутопитання підготовки сировинних матеріалів приготування пресмассита пресування заготівельелектродної продукції.
2. Наведено аналіз технології графітації обпалених заготівель, запропоновано варіанти печей для графітації.
3. Проведено дослідження по визначенню механічних властивостей графіту при різних температурах, залежності питомого електроопору вуглецевих тіл від температури графітування, визначенню залежностітеплопровідності від температури та залежності модулю Юнга від температури.
4. Визначено основні шкідливості і небезпеки при роботі у цеху графітування обпалених заготовок. Проведено розрахунок блискавкозахисту приміщень і споруд цеху графітації, розроблена схема і встановлені параметри вузлів і елементів системи блискавкозахисту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнецов, Д. М. Процесс графитации углеродных материалов [Текст]. Современные методы исследования : монография / Д. М. Кузнецов, В. П. Фокин.- Новочеркасск : ЮРГТУ, 2001. — 132 с.
2. Тарасевич, М. Р. Электрохимия углеродных материалов [Текст] / М. Р. Тарасевич. - М. : Наука, 1984. - 253 с.
3. Банников, Г. К. Применение углеграфитовых изделий в промышленности [Текст] / Г. К. Банников, Э. Э. Немировский. - М. : ЦБТИ, 1959. - 22 с.
4. Чалых, Е. Ф. Оборудование электродных заводов [Текст] : учебное пособие для вузов / Е. Ф. Чалых - М.: Металлургия, 1990. - 238 с.
5. Чалых, Е. Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий [Текст] / Е. Ф. Чалых. - М.: Металлургия, 1972. - 432 с.
6. Шулепов, С. В. Физика углеграфитовых материалов [Текст] / С. В. Шулепов - М.: Металлургия, 1972. - 256 с.
7. Красюков, А. Ф. Нефтяной кокс (Производство, свойства) : [изд. 2-е, доп. и перераб.] / А. Ф. Красюков- М.: Химия, 1966. — 277 с.
8. Степаненко, М. А. Исследование обжига заготовок в многокамерных печах [Текст] / М. А. Степаненко, Е. М. Солдатенко, Н. И. Матусяк [и др.] // Кокс и химия. - 1958. - № 2. - С. 22 - 27.
9. Чалых, Е. Ф. Технология углеграфитовых материалов [Текст] / Е. Ф. Чалых - М. : Metallurgizdat, 1963 - 304 с.
10. Островский, В. С. Искусственный графит [Текст] / В. С. Островский, Ю. С. Виргильев, В. И. Костиков - М.: Металлургия, 1986. - 272 с.
11. Данцис, Я. Б. Электротермические процессы в химической технологии [Текст] / Я. Б. Данцис, В. А. Ершов, Г. М. Жилов - М. : Химия, 1984. - 464 с.

12. Сюняев, З. И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса [Текст] / З. И. Сюняев. - М. : Химия, 1973. - 296 с.
13. Санников, А. К. Принцип управления формирования структуры и свойств графитированных электродов [Текст] / А. К. Санников // Цветные металлы. - 1990. - № 9. - С. 58-61.
14. Квливидзе, В. И. Исследование бутадиеновых каучуков и систем каучук - сажа методом ядерного магнитного резонанса [Текст] / В. И. Квливидзе, С. К. Ракова, Н. Н. Лежнев // Производство и свойства углеродных саж. - Омск: Зап.- Сиб. кн. изд-во, 1972. - С. 380-389.
15. Zazula Jan M. On Graphite Transformations at High Temperature and Pressure Induced by Absorption of the LHC Beam.: LHC Project Note 78/97, CERN–SL/BT(TA), 1997.
16. Franklin R. E. The structure of graphitic carbons / R. E. Franklin. // Acta Crystallographica. - 1951. Vol. 4.- P. 253-261.
17. А.С. 1755025 СССР. Способ укрытия теплоизоляционной шихты печи графитации [Текст] / П. П. Сапко, В. П. Овсянников (СССР). - Открытия. Изобретения ; опубл. 1992, Бюл. №30.
18. Угольные и графитовые электроды для электропечей и электролизеров [Текст] / (Систематическое собрание патентов, сост. М. Б. Шварцберг). - Л.-М., 1938.
19. Сухоруков, И. Ф. Температурный график обжига заготовок в многокамерных печах [Текст] / И. Ф. Сухоруков // Цветная металлургия. - 1963. - № 22.
20. Маринеску, Н. Исследование возможности снижения потребления электроэнергии при графитировании углеродистых материалов [Текст] / Н. Маринеску, К. Споиту, В. Чуку // Metalurgia. - 1980. - Vol. 32, No. 10. -P. 530-534.
21. Капелянов, В. Я. Об оптимизации температуры смешивания компонентов электродных и анодных масс [Текст] / В. Я. Капелянов // Цветные металлы. - 1990. - №7. - С. 75.

22. Полисар, Э. П. Формирование упругих свойств графита в процессе прессования [Текст] / Э. П. Полисар, В. П. Савченко, В. Я. Котосонова // Цветные металлы. - 1983. - № 6. - С. 59-61.
23. Усовершенствование технологии обжига электродных материалов [Текст] / [В. П. Фокин, А. А. Малахов, С. А. Малахов и др.] // Цветные металлы. - 2002. - № 4. - С. 48-51.
24. Ахметшин, Н. Ф. Сравнение графитировочных печей различной конструкции [Текст] / Н. Ф. Ахметшин // Вопросы графитации углеродистых материалов. - М., 1968, Ч. II. - С. 21-23.
25. Чичулин, Н. И. Факторы, влияющие на радиальную разность температур электрической графитировочной печи [Текст] / Н. И. Чичулин, Е. И. Евсеев // Вопросы графитации углеродистых материалов. - М. : 1968, Ч. I. - С. 42-47.
26. Лутков, А. И. Влияние температуры графитации на структуру и электрические свойства искусственного графита [Текст] / А. И. Лутков, Г. А. Пешкова // Химия твердого топлива. - 1977. - №6. - С. 36-41.
27. Соседов, В. П. Экспериментальное определение температурных полей керна печи при графитации углеродных материалов [Текст] / В. П. Соседов, Г. Н. Матюшенко, М. А. Авдеенко // Конструкционные материалы на основе углерода : тем. отр. сб. тр. №10. - М. : Metallurgy, 1975. - С. 42-47.
28. Чичулин, Н. И. Исследование режимов нагревания электродных заготовок при графитации [Текст] / Н. И. Чичулин, В. П. Соседов, Е. Ф. Чалых // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : сб. научн. тр., Вып. 6. - Челябинск : ГосНИИЭП, 1974. - С. 128-134.
29. Негуторов, Н. В. Влияние температуры коксования связующего на скорость нагрева углеродных заготовок при графитации / Н. В. Негуторов, Д. М. Кузнецов // Кокс и химия. -1990. -№10. - С.19-21.
30. Соседов, В. П. О рациональном графике подъема мощности и температуры в процессе графитации [Текст] / В. П. Соседов, В. Б. Сасс-Тисовский, А. С. Карманов // Цветные металлы. - 1967. - № 2. - С. 62-63.

31. Павловский, А. М. Интенсификация процесса графитации электродов на Челябинском электродном заводе [Текст] / Павловский А. М., Столяров З. В., Подольская Н. П. // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : сб. научн. тр., Вып. 8. - Челябинск : ГосНИИЭП, 1976. - С. 48-53.

32. Чилулин, Н. И. К вопросу графитации крупногабаритных электродов [Текст] / Н. И. Чилулин, Е. И. Евсеев // Вопросы технического прогресса в электродной промышленности : сб. научн. тр., Вып. 3. - Челябинск : ГОСНИИЭП, 1971. - С. 162-169.

33. Карзунова, Р. В. Влияние способа прессования на свойства графита [Текст] / Р. В. Карзунова // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : сб. научн. тр., Вып. 5. - Челябинск : ГосНИИЭП, 1973. - С. 71-91.

34. Соседов, В. П. Графитация углеродистых материалов [Текст] / В. П. Соседов, Е. Ф. Чалых. - М. : Metallurgy, 1987. - 187 с.

35. Котосонов, А. С. Измерение термо ЭДС как способ неразрушающего контроля конечной температуры обработки изделия из углеродных материалов [Текст] / А. С. Котосонов, В. И. Волга, Е. В. Рогачева // Цветная металлургия. - 1985. - № 6. - С. 41-43.

36. Методика моделирования тепловых полей печей графитации [Текст] / А. М. Фридман, М. Г. Аветьян, Н. А. Михайлова [и др.] // Конструкционные материалы на основе углерода : тем. отр. сб. тр. - М. : Metallurgy, 1978. - С. 6-11.

37. Бреббия, К. Методы граничных элементов [Текст] / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел ; пер. с англ. Корнейчука Л. Г. ; под ред. Э. И. Григолюка. - М. : Мир, 1987. - 524 с.

38. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред [Текст] : [изд. 4-е, стереотипное.] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - М. : Физматлит, 2003. - 656 с. - («Теоретическая физика», Т. VIII)

39. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы [Текст] : учебник для вузов / Виктор Павлович Преображенский. - М. : Энергия, 1978. - 704 с.
40. Панов, Е. Н. Комплекс сбора данных для высокотемпературных промышленных агрегатов [Текст] / Е. Н. Панов, С. В. Лелека, М. В. Коржик // ПиКАД. - 2005. - № 2. - С. 28 - 30.
41. Карзунова, Р. В. Влияние способа прессования на свойства графита [Текст] / Р. В. Карзунова // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции : сб. научн. тр., Вып. 5. - Челябинск : ГосНИИЭП, 1973. - С. 71-91.
42. Аленькин, Д. А. Пути повышения экологических характеристик процесса графитации [Текст] / Д. А. Аленькин, М. Г. Распопов, Т. Б. Власова // Технологические процессы и оборудование электродного производства : сб. научн. тр. НИИГрафит. - М. : ГосНИИЭП, 1989. - С. 77-81.
43. Фиалков, А. С. Углеграфитовые материалы [Текст] / А. С. Фиалков. - М. : Энергия, 1979. - 320 с.
44. Веселовский, В. С. Угольные и графитные конструкционные материалы [Текст] / В. С. Веселовский. - М.: Наука, 1966. - 227 с.
45. Негуторов, Н. В. Влияние температуры коксования связующего на скорость нагрева углеродных заготовок при графитации [Текст] / Н. В. Негуторов, Д. М. Кузнецов // Кокс и химия. -1990. -№10. -С.19—21.
46. Производство электродной продукции [Текст] / [А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др.]. - М.: Металлургия, 1985. - 129 с.
47. Исследования по жароупорным железобетонным и армокирпичным конструкциям [Текст]. Под ред. акад. Мурашева В.И. – ГИЛ по строительству и строительным материалам. – М.:1959, 132 с.
48. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме [Текст] / Е. С. Платунов - Ленинградское отделение: «Энергия». - 1973, 144 с.

49. Лутков, А. И. Тепловые и электрические свойства углеродных материалов [Текст] / А. И. Лутков.- М. : Metallurgiya, 1990. -176 с.
50. Бабалов, А. Ф. Промышленная теплозащита в металлургии [Текст] / А. Ф Бабалов - М.: Metallurgiya, 1971.- 359 с.
51. Алексеев, В. Г. Шум и вибрация на производстве [Текст] / В. Г. Алексеев - М: Энергия, 1980. – 352 с.
52. Естественное и искусственное освещение. Система нормативных документов в строительстве. Строительные нормы и правила Российской Федерации [Текст]: СНиП 23-05-95: утв. Минстроем России 02.08.95 : ввод. в действие с 01.01.96. – 40 с.
53. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: – Увед.1999-12-01. – 9 с.
54. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст]: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010.- 28 с.: «Укрархбудінформ». – УКНД 91.040.99
55. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. – К. : УкрНДІПБ. 2002. – 44 с.
56. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]. – Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. – 65 с. :
57. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. – 143 с.