

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 часу на
власливості карбонізованих електродів

Виконав: студент II курсу, групи MET-18-2119
спеціальності 136-металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія кольорових металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Тютрашок О.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц. Беретина О.В.

(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

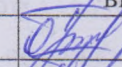
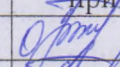
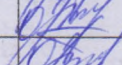
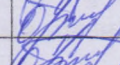
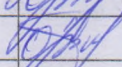
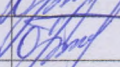
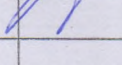
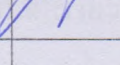
Завідувач кафедри металургії
Терновий Ю.Ф.
« 10 » 01 20 20 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Татрашук Олегу Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Аналіз впливу температури на час на властивості карбонізованих електродів
- керівник роботи к.т.н доц. Березина О.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 01 20 19 року № 1540 - с
- 2 Строк подання студентом роботи 30.12.2019р
- 3 Вихідні дані до роботи Пресовані заготовки електродів, вугільно-графітова черепиця, багатоканерна кінцева ніч.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технології карбонізації електродів. Дослідження процесів, що протікають при карбонізації. Вплив швидкості підігріву температури на процеси при карбонізації. Дослідження способів обігріву електродних заготовок. Дослідження температурних полів при карбонізації електродів. Осорота краї та механізм безпеки
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схеми виробництва графітованих електродів. Схеми багатоканерної печі. Попередній переріз по камері обігрівальної печі. Температурний режим випалу тривалістю 420 години. Властивості електродних виробів, обраних в залежності з різних матеріалів. Усадка виробів при випалюванні. Зміна механічної міцності заготовок на стиск у процесі випалу. Залежність електроопору від температури випалу

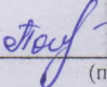
6 Консультанти розділів роботи

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

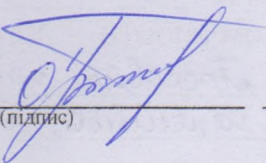
7 Дата видачі завдання 01.10.2019р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технології карбонізації електродів	01.11.19	
2	Дослідження процесів, що протікають при карбонізації	15.11.19	
3	Дослідження впливу температурних полів на властивості карбонізованих електродних заготовок	1.12.19	
4	Охорона праці та техногенна безпека	15.12.19	
5	Оформлення графічного матеріалу	30.12.19	

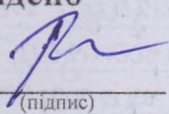
Студент 
(підпис)О.В. Статрашок
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

О.Р. Березица
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

С.В. Башкіс
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Патрашок О.В. Аналіз впливу температури та часу на властивості карбонізованих 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.

Розглянуто технологічні особливості формування структури і властивостей карбонізованих заготовів електродів. Встановлено параметри процесів карбонізації залежно від температури і часу, визначено механізми об'ємних процесів усадки, виділення низькомолекулярних летючих і кількості залишкового вмісту коксу в процесі карбонізації пекових та феноло-формальдегідних зв'язуючих.

Ключові слова: КАРБОНІЗАЦІЯ, ПЕК, ЗВ'ЯЗУЮЧЕ, ТЕМПЕРАТУРА, ЕЛЕКТРОДИ, ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГІДНІ СМОЛИ, СПІКАННЯ.

ANNOTATION

Patrashok O. V. Analysis of the influence of temperature and time on the properties of carbonized 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 formation of the structure and properties of carbonized electrode blanks are considered. The parameters of carbonization processes are established depending on temperature and time, the mechanisms of volumetric processes of shrinkage, the release of low molecular weight volatiles

and the amount of residual coke content during carbonization of pitch and phenol-formaldehyde binders are determined

Keywords: CARBONIZATION, PITCH, BINDER, TEMPERATURE, ELECTRODES, PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS, SINTERING

АННОТАЦИЯ

Патрашок О. В. Анализ влияния температуры и времени на свойства карбонизованных 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.

Рассмотрены технологические особенности формирования структуры и свойств карбонизованных заготовок электродов. Установлены параметры процессов карбонизации в зависимости от температуры и времени, определены механизмы объемных процессов усадки, выделения низкомолекулярных летучих и количества остаточного содержимого кокса в процессе карбонизации пековых и феноло-формальдегидных связующих

Ключевые слова: КАРБОНИЗАЦИЯ, ПЕК, СВЯЗУЮЩЕЕ, TEMPERATURE, ЭЛЕКТРОДЫ, ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫЕ СМОЛЫ, СПЕКАНИЕ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ КАРБОНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОДІВ.....	11
1.1 Зв'язуюче для електродів.....	11
1.2 Значення засипки для процесу карбонізації.....	13
1.3 Режим карбонізації виробів.....	20
1.4 Схеми конструкції і принцип роботи печей.....	23
1.5. Температурний режим карбонізації електродів.....	35
1.6 Схема завантаження заготівель в піч.....	40
Висновки до розділу 1.....	44
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ ПРИ КАРБОНІЗАЦІЇ.....	45
2.1 Процеси, що протікають при випалюванні.....	45
2.2 Вплив швидкості підйому температури на процеси при карбонізації.....	47
2.3 Усадка виробів при карбонізації.....	54
Висновки до розділу 2.....	59
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КАРБОНІЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ ЗАГОТОВОК.....	60
3.1 Дослідження способів обігріву електродних заготовок.....	60
3.2 Дослідження температурних полів при карбонізації електродів.....	67
3.3 Вплив зовнішнього і внутрішнього обігріву стінок.....	73
3.4 Вплив температурного поля печі на зміну властивостей по довжині електроду.....	79
Висновки до розділу 3.....	87
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	88
4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху карбонізації.....	88
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху карбонізації.....	91

4.3 Мікроклімат.....	94
4.4 Освітлення виробничих приміщень.....	94
4.5 Заходи з електробезпеки.....	95
4.6 Заходи пожежної безпеки.....	96
4.7 Розрахунок блискавко-захисту приміщень і споруд.....	97
Висновки до розділу 4.....	102
ВИСНОВКИ.....	103
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	104

ВСТУП

Вугільні і графітові матеріали мають високу вогнетривкість, інертність до багатьох металів, шлаків вище за температуру їх плавлення і інших корозійних середовищах. Вони мають високу механічну міцність, яка зберігається, а у графіта навіть росте з підвищенням температури.

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

Фізико-хімічні і механічні властивості вуглеграфітових матеріалів формуються на всіх етапах виробництва, починаючи від вибору і приготування сировини і кінчаючи високотемпературною обробкою заготовок в печах графітації. Введення нових додаткових технологічних операцій, використання досконалішого сучасного устаткування, поліпшення рецептури, ведення процесів випалення і графітування по науково обґрунтованих температурно-часових режимах. Все це значно змінює властивості вуглеграфітових виробів, дозволяє отримувати останні з необхідним поєднанням фізико-хімічних і механічних властивостей.

Використання сучасного устаткування для процесів графітації значно підвищить техніко-економічні показники виробництва графітової продукції, понизить енергоємність і собівартість штучного графіту.

Мета роботи: є аналіз та дослідження впливу технологічних параметрів процесу високотемпературної обробки на фізичні, хімічні та механічні характеристики карбонізованих заготовок.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити значення засипки заготовок в процесі карбонізації.
2. Проаналізувати схему завантаження заготовок в багатокамерних кільцевих печах.
3. Дослідити фізико – хімічні процеси які відбуваються під час карбонізації заготовок.
4. Провести дослідження температурних полів та їх вплив на властивості карбонізованих заготовок електродів.

Об'єкт дослідження: фізико - хімічні закономірності в процесі карбонізації заготовок електродів.

Предмет дослідження: технологія процесу карбонізації заготовок електродів.

Методи дослідження: визначення температурних полів та оцінка їх розподілу в залежності від способу розміщення заготовок та методів нагріву в багатокамерних кільцевих печах.

Наукова новизна:

1. Проаналізовані фізико-хімічні процеси при карбонізації заготовок електродів.
2. Встановлено вплив зовнішнього та внутрішнього нагріву на розподіл температурних печей за об'ємом камери печі.
3. Встановлено вплив розподілу температури на властивості карбонізованих електродів.

Практичне значення:

1. Розроблено варіанти схем встановлення заготовок електродів в камерах печей.
2. Запропоновано раціональні схеми способів обігріву заготовок електродів.
3. Визначено механізм впливу температурних полів на властивості карбонізованих електродів.

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 109 сторінках машинописного тексту, включаючи 31 рисунок, 22 таблиці.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ КАРБОНІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОДІВ

1.1 Зв'язуюче для електродів

Основними функціями зв'язуючого при виробництві вуглеграфітових матеріалів є пластифікація електродної маси і спікання спресованих з неї виробів [2]. Пластифікація здійснюється шляхом змочування сполучною вуглецевого наповнювача, створення адгезійного зв'язку з ним при збереженні когезійної міцності плівки сполучного, що і додає зв'язність електродної маси. При змішанні і пресуванні плівка сполучного повинна залишатися досить рухомий, щоб забезпечити можливість рівномірного розподілу компонентів шихти, а потім і пластичної течії маси. При охолодженні спресованих заготовок завдяки високій в'язкості плівки пов'язує і міцності зв'язку її з наповнювачем зберігається форма виробу, стає можливим транспортування спресованих виробів.

При наступному процесі карбонізації під дією високих температур зв'язуюче переходить у якісно новий стан – кокс. Зміцнюється вуглецевий наповнювач шляхом фізичного склеювання його знову утворюється коксом і створення хімічних зв'язків на кордоні наповнювач - кокс. При цьому формується структура та властивості готового продукту.

Таким чином, функції сполучної різноманітні, причому головні з них - пластифікація і спікання - є незалежними, зумовленими різними властивостями пов'язує.

В ряду відомих сполучних речовин, що застосовувалися в технології вуглеграфітових матеріалів, - кам'яновугільна смола і пек, нафтові залишки, штучні смоли, каніфоль, патока та ін. Кам'яновугільний пек найбільш повно задовольняє всім вимогам до сполучній. Пеки дають при термічному розпаді велика кількість коксу високої міцності. Ці продукти здатні цементувати будь-які сипкі тіла, нездатні до спікання. Крім того, ці печи володіють високими пластифікуючими властивостями.

Карбонізація - одна з найважливіших технологічних операцій, в процесі якої формуються якісні характеристики та експлуатаційні властивості електродних матеріалів різного призначення .

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

Як видно з визначення, основним при карбонізації 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.

Цільове призначення операції карбонізації полягає в перетворенні сполучних речовин (наприклад, кам'яновугільний пек) у кокс, в результаті нагріву спресованих (зелених) заготовок до високої температури (близько 1000°C).

Виходячи з призначення операції карбонізації 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 карбонізації 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.

1.2 Значення засипки для процесу карбонізації

Для оберігання в процесі карбонізації, електродів від деформації і згоряння їх пересипають зернистими матеріалами, які називають засипанням.

У електродної промисловості засипку відносять до розряду допоміжних. Звідси історично склалося ставлення технологічної служби заводів до засипання. Вважають, що вона не робить впливу на перебіг основних процесів при випалюванні електродів. Тому при виборі матеріалів і способів підготовки засипки керуються міркуваннями дешевизни, зручності та місцевими умовами, не враховуючи значення технологічного боку і навіть економіки процесу.

У випалювальних печах нагрів, електродних матеріалів проводиться побічно, тобто через стінку муфеля. Отже, при карбонізації (випалюванні)

тепло від газового потоку передається стінці муфеля, потім засипці і нарешті електроду. Виходить, що в залежності від властивостей засипки, створюються умови для більш активної або навпаки - неактивній передачі тепла обпалювати виробу. Засипка, що володіє кращою теплопровідністю, завжди призводить до кращих результатів випалу.

Роль засипки не обмежується захисними функціями; вона має великий вплив на склад і тиск газової атмосфери в печі. Виділяються летючі речовини - продукти коксування пеку - частково адсорбуються засипанням, а частково піролізу, і піролітичний вуглець тонким шаром відкладається на поверхні зерен засипки. Тому залежно від її адсорбційних властивостей може змінюватися газова атмосфера в печі, що в свою чергу впливає на властивості опалюваних виробів.

Адсорбційні властивості залежать від природи засипки та її дисперсності (табл. 1.1). Чим активніше в адсорбційному відношенні засипка, чим вище її дисперсність, тим більше поглинається газів з атмосфери печі, тим більше втрати маси виробами при спіканні.

Таблиця 1.1 - Властивості електродних виробів, обпалених в засипці з різних матеріалів

Матеріал засипки	Властивості засипки		Вихід кокса зі зв'язуючого, %	Об'ємна маса, %	Питомий електроопір, Ом·м	Опір на стиск, МПа
	Розмір фракції, мм	Адсорбційна властивість, мг/г				
Кварцевий пісок	До 1,5	6,0	63	1,58	36	68,7
Термоантрацит	0,5 – 6	6,9	61	1,55	41	65,7
	0,5 – 2	7,3	62	1,56	40	67,0
Кокс каменновугільний	0,5 – 6	11,0	59	1,50	49	53,9
	0,5 – 2	11,7	60	1,53	42	60,1
Кокс каменновугільний графітований	0,5 – 6	14,6	50	1,46	48	49,0
	0,5 – 2	21,3	51	1,48	47	50,5
Сажа	-	23,0	46	1,26	65	12,4

Наприклад, дослідженнями доведено, що застосування засипки з активованого вугілля показало погіршення якості обпалених виробів через зниження коксового числа пеку.

Були досліджені: активований вугілля, лінійний кокс і пісок. Гранулометричний склад цих матеріалів був однаковий. Вихід коксу отриманий наступний: для активованого вугілля 59,3%; для ливарного коксу 60,7%; для піску 61,3%. Теплопровідність цих матеріалів різна, тому дані слід розглядати як сумарний ефект.

Для приготування засипки можуть бути використані різні матеріали (табл. 1.2), проте всі вони повинні відповідати таким вимогам: не повинні плавитися і спікатися при температурах випалу електродів; не повинні вступати в хімічні сполуки як з обпалювати електродами, так і з вогнетривами, з яких складена піч [1]. Необхідно віддати перевагу тим матеріалам, які володіють кращою теплопровідністю. Для того щоб були відтворені результати при випалюванні електродів, необхідно застосовувати засипку постійної якості як за матеріалом, так і за гранулометричним складом.

Таблиця 1.2 - Характеристика матеріалів, які можуть бути використані для виготовлення засипки

Матеріал	Наспна маса, кг/м ³	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/К
Кокс металургійний	-	0,06 – 0,12	0,88
Антрацит прокалений	600	0,18	0,92
Шлак котельний	1000	0,29	0,75
Шлак доменний гранульований	500	0,14	0,75
Пісок	1900	2,3	3,77

Оскільки в процесі випалу мають місце втрати засипки, необхідно виробляти її заповнення завжди в однаковій пропорції і рівномірному перемішуванні з оборотною частиною засипки. Краще якщо втрати засипки будуть компенсуватися завантаженням у верхні горизонти муфелів, де свіжа засипка не контактуватиме з обпалювати електродами.

При проектуванні та будівництві цехів випалу повинні створюватися спеціальні установки, що гарантують постійність властивостей засипки. (Найкращим матеріалом для засипки є крупнозернистий річковий пісок. Як видно з табл. 1.1 і 1.2, він володіє найбільшою теплопровідністю з усіх можливих до використання матеріалів. Пісок володіє і найменшою адсорбційною здатністю. Він порівняно дешевий і не вимагає попередньої обробки. Але в чистому вигляді його застосовувати не можна, тому що він володіє великою плинністю і, через нещільність в кладці печі витікає в подподове простір.

Щоб уникнути цього, до піску слід подшихтовувати прожарений антрацит відповідної грануляції у співвідношенні 1:1.

На наших електродних заводах досить часто в якості матеріалу для засипки використовується металургійний кокс. Це найгірший вид засипки, тому що він має дуже низьку теплопровідність, підвищеної адсорбційної здатності, а також великою схильністю до спікливості і прикоксуванню до тіла випалювального електрода.

Треба уникати присутності тонких фракцій (дрібніше 0,5 мм), щоб не збільшувати сорбційну поверхню засипки, а також занадто великих зерен (крупніше 6 мм), тому що вони можуть викликати зовнішні дефекти в випалюються, електродах.

Найбільш ґрунтовні дослідження засипки та її впливу на властивості обпалених електродів були виконані співробітниками ГосНШЕП [12].

З даних табл. 1.3 слід, що чим вище адсорбційні властивості засипки, тим нижче вихід коксу з сполучного при випалюванні електродів. Великий

вплив на властивості обпалених електродів надає природа матеріалу, з якого готується засипка. Хороші результати отримані при застосуванні засипки з піску і антрациту, що підтверджують дані наших досліджень.

При експлуатації випалювальних печей доводиться стикатися з вельми небажаними явищами - спікання засипки і прикоксовування її до тіла електрода. Спікання засипки відбувається навіть в деякому віддаленні від випалювального електрода. Видалення спеченого засипки з камер випалювальних печей - дуже трудомістка і дорога операція, тому що в цьому випадку виключається застосування пневматичного видалення засипки. Очищення поверхні електрода від прикоксовувальної засипки також трудомістка операція.

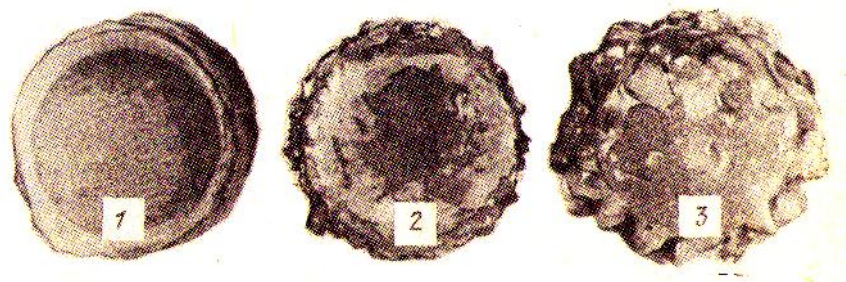
Таблиця 1.3 - Вплив гранулометричного складу засипки на вихід коксового залишку при випалюванні електродів [12]

Розмір фракції засипки, мм	Абсорбаційна властивість, мг/г			Вихід коксового залишку зі зв'язуючого при випаленні, %		
	прокалений каменувий - гільний кокс	Графітований каменувий гільний кокс	Оборот на засипка	прокалений каменувий - гільний кокс	Графітований каменувий гільний кокс	Оборот на засипка
-6+4	5,00	16,5	-	16,4	54,7	-
-4+2	5,37	17,2	15,44	63,0	54,0	58,8
-2+0,5	6,62	18,37	15,87	-	46,6	55,2
-0,5	11,50	19,31	17,25	52,2	41,9	54,2

На підставі досліджень були зроблені висновки, що спікання засипки відбувається в результаті утворення піролітичного вуглецю з газової атмосфери. Але навряд чи піролітичний вуглець може так сильно спікати засипку, як це спостерігається на практиці.

У роботі [13] причини, що викликають прикоксоване засипки до тіла випалювального електрода, були пояснені наступним чином при нагріванні заготовок сполучна розм'якшується і в рідко-текучий стан, в результаті чого змочуються здатність зростає. Зерна засипки, оточуючі тіло заготовки, впроваджуються на деяку глибину в тіло електрода і спікається з його основною масою.

У результаті було виведено припущення, чим дрібніше засипка, тим слабкіше ступінь прикоксовування (рис. 1.1). Однак автори не пояснили, чому шар, прикоксовуваний до тіла електрода, може досягнень гать від 1 до 5 см.



1 - 0-0,5; 2 - 3-4; 3 - 4-8

Рисунок 1.1 - Ступінь прикоксовування засипки в залежності від її розмірів, мм

Найбільш достовірний механізм прикоксовування засипки, висловлений Е.А.Шуваєвої [14] і [Окада] 15, що полягає в тому, що в результаті нагрівання електрода відбувається витіснення пеку назовні, що і викликає ефект прикоксовування засипки. Ними ж висловлені рекомендації для зниження цього ефекту - слід зменшити кількість сполучних у електродної шихті. На рис.1.2 показана залежність кількості прикоксовуючої засипки до тіла електрода від змісту сполучного в електродної шихті. При вмісті пеку в шихті 18-20% ефект прикоксовування майже зникає.

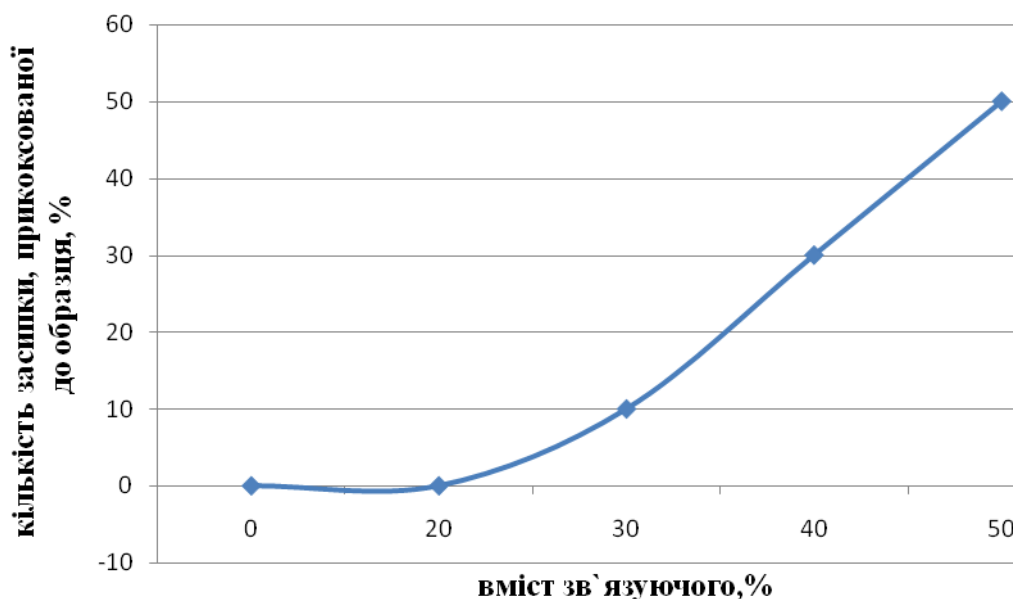


Рисунок 1.2 - Кількість прикокованої засипання в залежності від вмісту зв'язуючого в масі

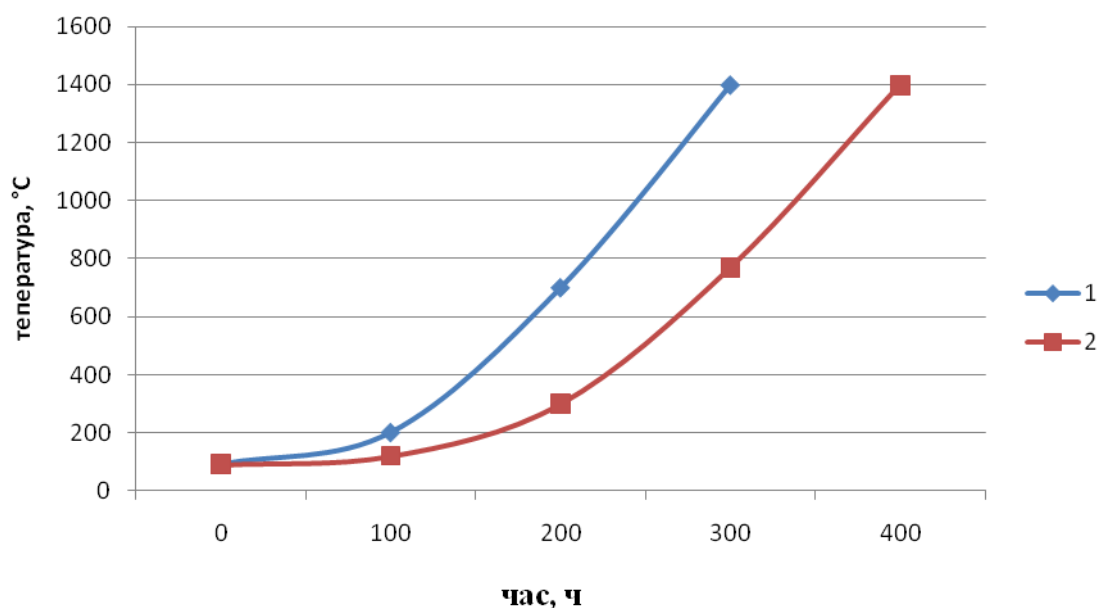
На закінчення слід сказати, що в промисловій практиці незаслужено мало приділяється уваги такому важливому елементу технології випалу електродів, як засипочні матеріали. Зовсім не враховується вплив засипки на властивості обпаленої електрода і не вживаються заходи до придбання таких засипочних матеріалів, які гарантують отримання електродів кращих якісних характеристик. Необхідно ретельно контролювати дотримання сталості гранулометричного складу та вихідної сировини для приготування засипки. Вже на стадії проектування заводу повинні закладатися умови, що забезпечують приготування засипки хорошої якості.

1.3 Режим карбонізації виробів

Режим карбонізації електродних матеріалів у печах з газовим опаленням залежить від ряду причин, обумовлених температурним режимом, тяговими зусиллями, кількістю теплоносія, технічним станом печі, а для багатокамерних печей - числом камер, що знаходяться в системі випалу, і регламентом відключення і підключення камер.

Характер температурного режиму уточнюється під час попередніх них випробувань. Однак накопичений досвід дозволяє за допомогою розрахунків встановлювати температурні режими випалу того чи іншого виду виробів.

На рис. 1.3 наведено характерні режими карбонізації електродів. В основному на тривалість режиму впливають розміри, електродів. Для дрібних застосовують найбільш короткі режими (близько 200 год), а для великих - уповільнені режими (більше 400 год). На рис. 1.3 показана тільки частина кривої (нагрівання і випал) - керована частина. Частина кривої, відповідна охолодженню обпалених електродів - не відображено. При вивантаженні з печі відбувається природне охолодження електродів. При низьких температурах випалу залежність описується пологішою кривою, при високих температурах - крутішій. У даному випадку позначається на характері кривої вплив конструкції печі. На рис. 1.3 показано зміну температур в газовому просторі печі, оскільки виключена можливість вимірювання температури в випалюються, виробих. Розбіжності між швидкостями підйому температури, а також між максимальними температурами газового середовища і обпалюють виробами досягають великих величин і залежать від розмірів і конструкції печі.



1 - швидкий режим; 2 – повільний режим.

Рисунок 1.3 -Характерні температурні режими карбонізації електродів

Отже, вироби, що знаходяться в різних ділянках печі, обпікаються в різних умовах, головним чином, при неоднакових швидкостях підйому температури і мають різні кінцеві температури.

У печах періодичної дії і при невеликих розмірах робочого об'єму легше дотримувати заданий температурний режим, тоді як у багатокамерних печах, як правило, цього зробити не вдається.

Максимальна температура, до якої повинні обпалюватися вироби, залежить від розміру і типу їх. При випалюванні заготовок, які піддаються графітуванню, температура може бути знижена до 800°C. При випалюванні всіх інших виробів, для яких ця операція є заключною, температура повинна бути вище. Однак вище 1100°C температуру піднімати не доцільно, так як властивості електродів помітно не змінюються. Якщо температура в печі вимірюється в газовому просторі, то слід ввести відповідну поправку.

Максимально допустима температура залежить також від конструкції печі і якості вогнетривів, з яких вона складена. У камерних печах, складених з шамотового вогнетриву, температура визначається якістю шамоту і може

досягати 1450°C. Для збільшення терміну служби вогнетривів температура робочого простору печі звичайно підтримується не вище 1350°C.

Максимальна температура, відповідна заданому режиму, повинна бути досягнута не тільки на поверхні виробу, але і в його внутрішніх шарах. Вирівнювання температури, що відбувається завдяки теплопровідності, займає певний час (витримка при максимальній температурі), яке тим більше, чим більше розміри випалюваних виробів.

Тривалість випалу пропорційна розмірам і щільності виробів, що випалюються. Однак вона не може бути коротшим, ніж це визначається теоретичними міркуваннями. У практиці випал виробів середнього розміру триває близько 15 діб, а тривалість випалу електродів великих розмірів може досягати 30 діб. Для деяких виробів дрібних розмірів тривалість випалу скорочується до 100 ч.

Завантажені вироби нагріваються через стінку муфеля. Гарячі гази, стикаючись з цими стінками, віддають їм частину свого тепла і нагрівають їх. Від швидкості руху газів залежить кількість тепла, що передається через стінку завантаженим виробам. Тому для правильного ведення режиму випалу температурна крива повинна бути доповнена даними тягових умов (розріджень) по камерах, що визначає швидкість руху газів.

На швидкість руху і використання гарячих газів в печі впливає число камер, включених в систему вогню, а також регламент підключення і відключення камер. Всі ці операції повинні відбуватися таким чином, щоб забезпечити постійну і максимальну віддачу тепла від газів до обпікає виробам. Технічний стан печі (щільність кладки, установка склепінь і ін) впливає на підсосі холодного повітря в піч, що несприятливо позначається на ефективності використання тепла.

1.4 Схеми конструкції і принцип роботи печей

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 (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика обпалювальних печей

Характеристика	30-камерна піч, не спеціалізована	26-камерна піч, спеціа лізована	Печі з викочуванням подини для контейнерного випалення
Випалення великогабаритних заготівель 500-710мм			
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
Випалення заготівель, просочених пеком			
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 викочуваною подиною для контейнерного випалення продукції, а також тунельні печі для випалення просоченої продукції почали застосовувати в останні 10-15 років. В порівнянні з багатоканальними 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. 1.4).

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 багатоканальні кільцеві, закриті печі. Для окремих видів малогабаритної продукції, що не вимагають повільного нагріву, застосовують індивідуальні камери. Їх відмінність від камер багатоканальних печей лише в тому, що вони забезпечені індивідуальною системою обігріву (підводу і спалювання газу і відведення продуктів згорання).

Багатоканальна 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-канальні 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.

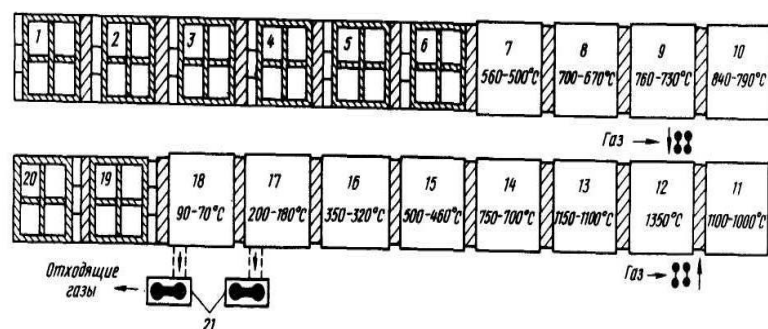
Протягом багаторічної експлуатації до пристрою вітчизняних багатокамерних печей було внесено багато змін, головним з яких було перенесення вогневих колодязів з камери в міжкамерні простінки. Це дозволило підвищити продуктивність печей. Нині діючі печі мають переважно шестикасетні камери з розмірами касет 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 заготівель з одночасним скороченням тривалості графіка випалення і витрати палива.

Для випалення великих електродних виробів застосовують багатокамерні обпалювальні печі, а для дрібних електродних і електровугільних матеріалів - тунельні печі. Для найбільш відповідальних конструкційних і щіткових матеріалів застосовуються печі періодичної дії.

Необхідно звернути увагу на деякі властивості вуглецевих матеріалів, що підлягають випаленню. Передусім вони повинні обпалюватися у відновному або нейтральному середовищі, щоб оберігти їх від згорання. Усі електродні матеріали мають здатність деформуватися під власним навантаженням при нагріванні. Ці умови накладають відомі вимоги до будь-якої конструкції обпалювальної печі.

Усі обпалювальні печі будують з непрямим обігрівом через захисну стінку. Проте цього недостатньо, необхідно ввести в завантажувальну камеру пакувальний зернистий матеріал (засипку), який оберігав би вироби від згорання і деформації. Захисні стінки є своєрідним муфелем, в якому розміщуються обпалювані вироби і пакувальний матеріал, а зовні виробляється обігрів муфеля. Ці обставини зумовили конструкцію печі, яка у свою чергу зробила істотний вплив на розподіл температурного поля в об'ємі камери.

На рис. 1.4 представлена схема багатокамерної обпалювальної печі.



1-20 - камери; 21 - перекидний патрубок

Рисунок 1.4 – Схема багатоканальної печі

На цій схемі видно, що піч складається з великого числа окремих камер (20 камер), розташованих в безпосередній близькості одна до одної і сполучених між собою каналами для послідовного протікання газів з однієї камери в іншу.

Багатоканальні печі будуються з числом камер 30, у минулому будувалися двадцятиканальні печі. Проте залежно від виробничих умов число камер може бути збільшене. Печі працюють на газоподібному паливі, яке підводиться до кожної камери по газопроводах, розташованих по обидві сторони кожного ряду. За допомогою розводячої арматури газ може бути спрямований в будь-яку камеру. Уздовж печі по обох зовнішніх сторонах камер розташовані борови для виведення димових газів. Будь-яка камера за допомогою спеціальних пристроїв може бути приєднана до борова. Боров з'єднаний з димарем для викиду димових газів в атмосферу.

Багатоканальні печі відносяться до печей безперервної дії. Уважно подивившись на схему, можна переконатися, що кожна камера працює по періодичному циклу, тільки піч в цілому працює по безперервному циклу.

Щоб представити роботу багатоканальної печі, скористаємося схемою печі, зображеної на рис. 1.4. Уявимо собі, що в якийсь момент газоподібне паливо підведене до камери 12, де газ змішується з повітрям і згорає. Отже, в камері 12 температура максимальна або, як то кажуть, камера знаходиться "на вогні". Продукти згорання газу не викидаються відразу в трубу, а

заздалегідь проходять через ряд камер (камери 14 - 18) і, підігриваючи завантажені в них вироби, значно охолоджуються. Продукти згорання, що відходять, пропускають через таке число камер, щоб їх температура знизилася до 180...200°C і їх подальше використання стало недоцільним.

Необхідне для спалювання газу повітря проходить заздалегідь через ряд камер (камери 7 - 11), в яких знаходяться вже обпалені, але такі, що мають досить високу температуру вироби. Повітря, охолоджуючи вироби, само нагрівається і поступає в камеру випалення (камера 12) при температурі 600...800°C.

З описаного виходить, що камери з 7 по 18 знаходяться в системі випалення і охолодження, а інші камери розвантажуються, завантажуються або ремонтуються.

Після закінчення випалення в камері 12 в неї припиняється подача газу і вона перестає бути вогневою, а живлення газом переводиться на камеру 13, яка стає вогневою. При цьому камера 7 буде відключена, оскільки вона досить охолоджена, і поставлена під розвантаження, а камера 19, тільки що завантажена, буде підключена на підігрівання (у систему випалення). Разом з цим пристрої для приєднання печі до борова будуть переведені з 18 камери на 19. Ці операції проводяться по замкнутому циклу.

Таким чином, в багатокамерних печах використовується тепло продуктів спалювання палива, що відходять, і тепло остигаючих виробів, тому багатокамерні печі є рекуперативними. З описаного вище витікає також, що вироби знаходяться увесь час в стані спокою, а пересуваються з камери в камеру по ходу випалення зони вогню, тому ці печі називають ще печами з рухливою зоною вогню.

У багатокамерних печах розрізняють три зони - підігрівання, випалення і охолодження. Протягом одного циклу, який триває чотири - шість тижнів, кожна камера послідовно проходить стадію попереднього нагріву, стадію випалення і нарешті, повільного охолодження повітрям. При великому числі камер печі може працювати одночасно на двох і більше "вогнях". Наприклад,

якщо піч складається з 30 камер, то при роботі "на двох вогнях" кожна обпалювальна система складається з 15 камер. Отже, в кожній системі є камери, що знаходяться і на підігріванні, і на випаленні, і на охолодженні. В цьому випадку треба строго дотримуватися синхронного пересування вогневої камери і усіх операцій в системах. Продуктивність печі при роботі на двох вогнях відповідно зростає.

Продуктивність багатокамерної печі визначається по наступній формулі (для одного вогню):

$$Q = 24 (q/t), \quad (1.1)$$

де Q - продуктивність печі, т/доб;

q - завантаження однієї камери, т;

t - час знаходження камери на випаленні ("темп вогню"), год.

"Темп вогню" визначається діленням тривалості випалення в одній камері (режим випалення), вираженою в годинах, на число камер, що знаходяться на підігріванні і вогні. Цією ж формулою користуються при визначенні продуктивності печі, що працює на двох або трьох вогнях, тільки кінцевий результат множиться на число "вогнів".

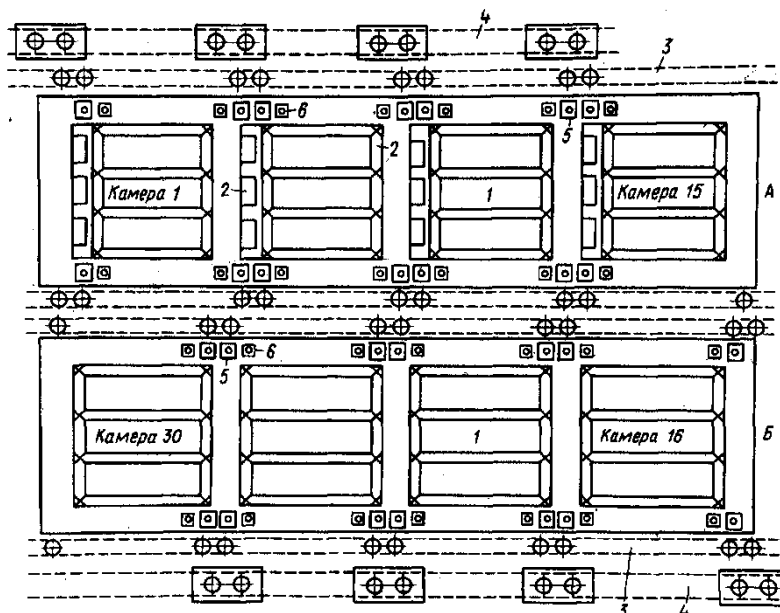
У електродній промисловості застосовуються обпалювальні печі двох видів - склепінні і безсклепінні. Найбільшого поширення набули склепінні печі.

Склепінні багатокамерні печі часто називають закритими на відміну від безсклепінних печей, які називають відкритими. Піч на усю висоту заглиблена в ґрунт. Для зручності обслуговування печі обладнують знімними склепами.

Основним елементом закритої обпалювальної печі, так само як і всякій багатокамерній печі, являється камера. У печі окремі камери сполучені між

собою каналами, через які протікають газоподібні продукти і повітря, а також пристроями для виведення димових газів в трубу.

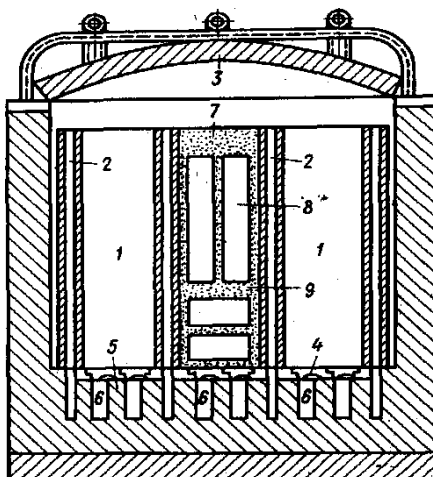
На рис. 1.5 показаний план обпалювальної печі, в якій умовно приведено дві характерні конструкції камер.



- 1 - муфель; 2 - вогнева шахта; 3 - газопровід; 4 - димовий боров;
5 - газовий канал; 6 – воздуховод

Рисунок 1.5 – Багатокамерна піч зі знімним зведенням

Верхній ряд А відповідає печам, у яких є вогневі колодязі (шахти) 2; камери нижнього ряду Б не мають цих колодязів, вони винесені в простінок. Нині рідко можна зустріти печі з вогневими колодязями; вони перебудовані за типом камер Б. Кожна камера складається з камер, в яку завантажуються обпалювані матеріали, бічних стін і простінок, по якій камера граничить з сусідньою. Камера розділена на три або шість муфелів (касет), розміри яких визначаються розмірами обпалюваних виробів (рис. 1.6).



1 - муфель; 2 - нагрівальні канали; 3 - знімне склепіння; 4 - подина муфеля;
5 - стовпчики для подини; 6 - підподовий простір; 7 - завантажений муфель;
8 - електрод; 9 – засипка

Рисунок 1.6 – Подовжній розріз по камері обпалювальної печі

Стінки муфелів викладаються з фасонної шамотної цеглини з каналами 2 усередині, через яких протікають гарячі гази, нагріваючи стінку і завантажені вироби (електроди) 8. Стінки і подина 4 муфелів споруджуються на цегляних стовпчиках 5, складених на фундаментній плиті. Стовпчики розташовані таким чином, що забезпечують міцну основу для муфелів і створюють умови для вільного проходження газів під подиною камери. Згори камера накривається знімним склепінням 3. Знімне склепіння складається з жорсткого металевого каркаса, викладеного для зменшення маси і теплових втрат легковагою вогнетривкою фасонною цеглиною.

На рис. 1.7 показаний розріз розділового простінка для камер, в яких вогневі шахти винесені в камеру, а на рис. 1.4 цих каналів розміщені в самому простінку.

Видалення вогневих камер в простінок збільшує корисну місткість печі. Простінки з одного боку сполучені трьома невеликими боровами 1 з сусідньою камерою, а з іншої - глуха стінка (рис. 1.8) або розташовуються сполучні канали з вогневими шахтами.

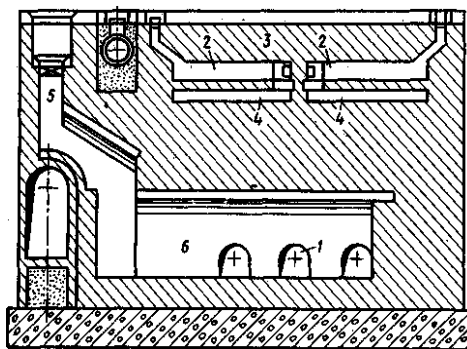
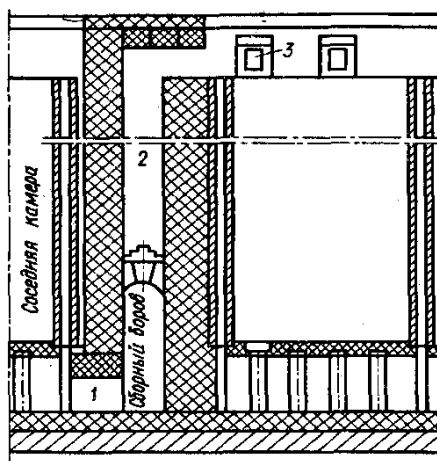


Рисунок 1.8 – Розділяючий простінок камери з вогневою шахтою



1 - сполучний боров; 2 - канал для повітря і газів, замінюючий вогневу шахту; 3 – пальник

Рисунок 1.9 – Розділяючий простінок камери без вогневої шахти

У простінку (рис. 1.7) є канали, за допомогою яких продукти згорання, що відходять, можуть змінювати свій напрям, тобто прямувати не в сусідню камеру, а в димовий боров. Для цієї мети уздовж розподільного простінка розташовується збірний боров 6, в який гази поступають з сусідньої камери через три сполучних борова 1, а потім через похилий боров 5 у вертикальну шахту. Вертикальна шахта може з'єднуватися з димовим бором за допомогою переносного патрубка. Для того, щоб направити димові гази в трубу, необхідно камеру приєднати до димового борова, а вогневі шахти закрити шиберами.

Простінок для камер з виносними шахтами має додаткові пристрої, як це показано на рис. 1.7. У ній розташовані газові канали 2, пальники 3 і

канали 4 для підведення холодного повітря до пальників. Ці пристрої були потрібні для того, щоб підвести газ до середньої вогневої шахти. Крайні вогневі шахти живляться газом через пальники, розташовані в бічних стінках. Пальники вбудовуються у верхній частині шахт. Повітря для горіння поступає з сусідньої камери через сполучний боров і піднімається вгору по шахті в зону розташування пальників.

Рух газів в цій конструкції камери здійснюється таким чином. Гарячі гази, що утворюються в результаті згорання опалювального газу у вогневих шахтах, прямують під зведення печі, потім проходять вертикальні отвори в стінках муфелів, віддаючи тепло (через стінку муфеля) завантаженим виробам. Далі гази, змішуючись під подиною камери, через сполучні борони поступають у вогневі шахти сусідньої камери і так далі, поки їх не відведуть в димовий боров.

Ліквідація вогневих шахт привела до спрощення конструкції простінка, але одночасно викликала деякі зміни конструкції камери, що відносяться до опалювальної системи. Відмінність полягає в тому, що вогневі шахти перенесені в простінок. Їх тепер уже не можна назвати вогневими шахтами, оскільки паливним простором став увесь підсклепінний простір камери, а вони стали каналами, через які рухаються продукти згорання і повітря. По суті, вони стали продовженням сполучних боронів.

Розташування пальників також змінилося (див. рис. 1.6). Вони тепер розташовані уздовж бічної стінки з обох боків камери. Газ поступає через ці пальники, а необхідне повітря - з отворів, розташованих в простінку. Процес спалювання газу відбувається під склепінням, а продукти згорання розподіляються по вертикальних каналах, що обігрівають стінки муфелів.

Пальники, вживані в обпалювальних печах, є шамотною пластиною з щілинами (щілиновидні пальники), через які широким фронтом в піч поступає газ. Щілиновидні пальники закладаються в кладку у кінці отвору, через який газ вводиться в піч. Газовими пальниками називають пристосування для підготовки і подачі в камеру згорання газо-повітряної

суміші. У обпалювальних печах електродної промисловості газ і повітря вводяться окремо. Змішування газу і повітря відбувається в процесі горіння в підсклепінному просторі. Наявність великого паливного об'єму (підсклепінний простір) дозволяє раціонально використовувати такий спосіб спалювання газу, а можливість створення довгого факела більш рівномірно обігрівати камери по висоті.

У промисловій практиці в кожній камері влаштовується по три-пять колодязів, через які поступає повітря з сусідньої камери.

Уздовж подовжніх стін влаштовується до 12 пальників. Таке велике число пальників забезпечує рівномірне спалювання газу в об'ємі камери. Чим менше пальників, тим менш ідеальне змішування газу і повітря відбувається в підсклепінному просторі камери. Іноді пальники розташовують в склепінні камери, число яких досягає чотирьох. При такому розподілі газового і повітряного потоків здійснюється рівномірний розподіл продуктів горіння по усіх муфельних каналах. Зменшення числа пальників і каналів для повітря знижуватиме рівномірний розподіл продуктів згорання по муфельних каналах.

Найбільш серйозний недолік багатокамерної склепінної печі - обмежена можливість регулювання кількості теплоносія, що вводиться в піч. У печі постійно відчувається недолік теплоносія, тому камери, що знаходяться далеко від вогневої, недоотримують тепло, що позначається на уповільненні підйому в них температури.

1.5 Температурний режим карбонізації електродів

У багатокамерних печах зі знімним склепінням виключена можливість безпосереднього вимірювання температури виробів, що випалюються. Спостереження за температурним режимом проводиться за показниками приладів, поміщених в газовому (під склепінням) просторі (див. рис. 1,6). Однак цей спосіб не дає чіткого уявлення про температуру виробу та швидкості поширення температури в окремих ділянках камери, завантаженої електродами. Це великий недолік, тому що технолог не має точних уявлень про процеси, в даний момент протікають в різних ділянках обсягу робочої камери.

Протягом багатьох років експлуатації випалювальних печей вважали, що температура у завантаженні синхронно зростає з температурою під склепінням печі, де встановлена термопара, відстаючи на деяку величину від досягнутої під склепінням температури. Однак багаторічні спостереження за роботою промислових печей і накопичений величезний досвід експлуатації печей викликали сумніви в правильності цього положення. Ці обставини послужили підставою для проведення балансових випробувань роботи випалювальних печей.

Дослідження температурних режимів протікали наступним чином. У камері випалювальної печі на різних рівнях і глибині були встановлені термометри. Основна ідея полягала в тому, щоб зареєструвати співвідношення температурних залежностей підсклепінного простору і різних ділянок камери, завантаженої електродами. Дослідженню були піддані режими різної тривалості - від 72 до 420 ч. Це час, який витрачається на підйом температури до 1300°C під склепінням печі. Час охолодження не регламентується, але він не був коротше 5 діб.

На рис. 1.9 і 1.10 наведені дані для режимів тривалістю 72 і 420 год; проміжні режими опущені. Для спрощення наведено. Надання тільки трьох термометрів: крива 1 показує зміну температури під склепінням печі в газовому

середовищі; крива 2 демонструє показання термопар, поміщеної в центрі завантаженого муфеля на глибині 0,5 м від верху завантаження; крива 3 - свідчення термопар, поміщеної в середину муфеля на глибині 0,6 м від поду муфеля.

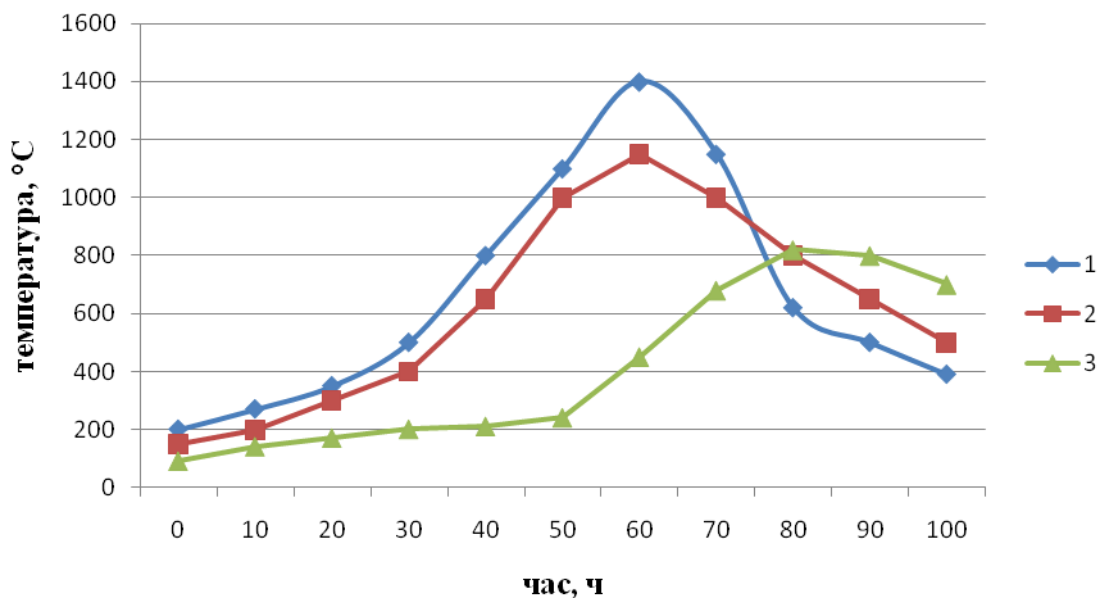


Рисунок 1.9 - Температурний режим випалу тривалістю 72 год

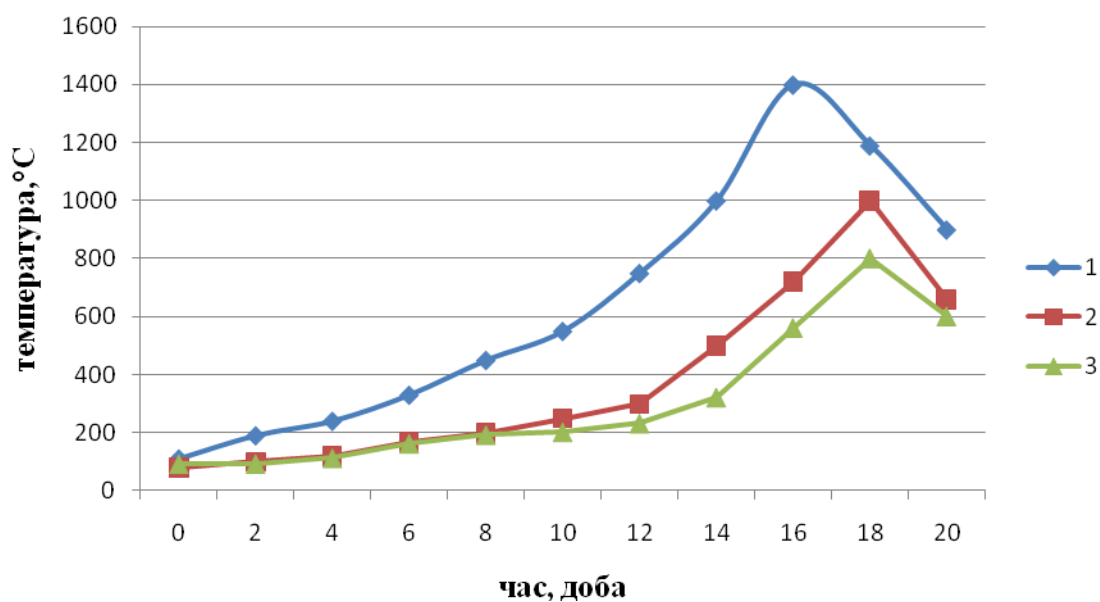


Рисунок 1.10 - Температурний режим випалу тривалістю 420 год

Отримані результати показали, що неможливо встановити залежність між температурним режимом підсклепінного простору і температурним режимом будь-якої точки завантаженого муфеля. Вони розрізняються за абсолютно досягнутим температур і за швидкістю підйому температури! в різних температурних інтервалах. Останнє особливо важливо, так як впливає на пірогенні процеси, що протікають у завантаженні, і ряд інших явищ (наприклад, міграція сполучного).

Максимальна температура виробів, що випалюються в залежності від місця знаходження в печі змінюється в межах 800...1000°C.

Швидкості підйому температури в різних температурних інтервалах коливаються значно. Нижче наводяться відповідні дані:

Таблиця 1.5 - Швидкості підйому температури в різних температурних інтервалах

А. Тривалість підйому температури 72ч. (рис. 1.9)			
Тривалість підйому температури	Крива 1	Крива 2	Крива 3
От 200 до 800°C, ч	40	33	25
От 300 до 500°C, ч	13	12	8
Максимально досягнута температура, °C	1360	1100	820
Б. Тривалість підвищення температури 420 ч. (рис. 1.10)			
Тривалість підвищення температури	Кривая 1	Кривая 2	Кривая 3
От 200 до 800°C	77	206	230
От 300 до 500°C	92	96	68
До 250°C	120	216	264
Максимально досягнута температура, °C	1400	1140	820

Максимально досягнута температура в випалюються, виробках зменшується від верху камери до низу її. Це закономірно і пояснюється тим, що при русі газового потоку зверху вниз гарячі гази протягом усього свого шляху охолоджуються і нижні горизонти камери отримують меншу кількість тепла, ніж верхні.

Аналізуючи отримані результати температурних режимів при балансових випробуваннях, що різко відрізняються один від іншого тривалістю, приходимо до наступних висновків:

1) максимальна температура, досягнута в завантаженні, пропорційна максимальній температурі в газовому середовищі і не залежить від тривалості підйому температури;

2) зміщення у часі однакових температур, досягнутих у об'ємі камери і газовому середовищі, тим більше, чим повільніше режим випалу;

3) різниця максимально досягнутих температур в завантаженні становить 250-300°C, а різниця між максимальною температурою газового простору і температурами у завантаженні становить 300...500°C;

4) швидкість підйому температури в різних ділянках камери неоднакова і різко відрізняється від швидкості підйому температури в газовому просторі, причому встановити закономірності співвідношення швидкостей підйому температури в різних ділянках камери не представляється можливим.

Констатуючи характерний розподіл температурних полів у випалювальної камері, слід зазначити, що воно закономірно для цієї конструкції випалювальної печі і технологічними засобами неможливо як зменшити перепад температур в камері, так і змінити співвідношення швидкостей підйому температур в завантаженні камери.

Слід відзначити також, що неможливо вказати крапку в камері печі, вимірювання температури в якій дозволило б отримувати точну інформацію про процеси, що протікають в обсязі всієї камери. Тому спостереження за

режимом по термопарі, вміщеній в підсклепінному газовому просторі (так само як і в іншій точці камери), можна виробляти, але реєстрації тільки однієї температури для режиму випалу зовсім недостатньо.

Безсумнівний інтерес представляє поширення температур по перетину муфеля. У електродної промисловості використовуються муфелі різних перетинів, найбільше число печей мають муфелі шириною 960 мм. На рис. 1.11 наводиться розподіл температур по перетину для різних горизонтів по висоті муфеля. Для верхніх горизонтів різниця між центром і периферією становить близько 50°C, для нижніх - ця різниця зростає і досягає 100°C.

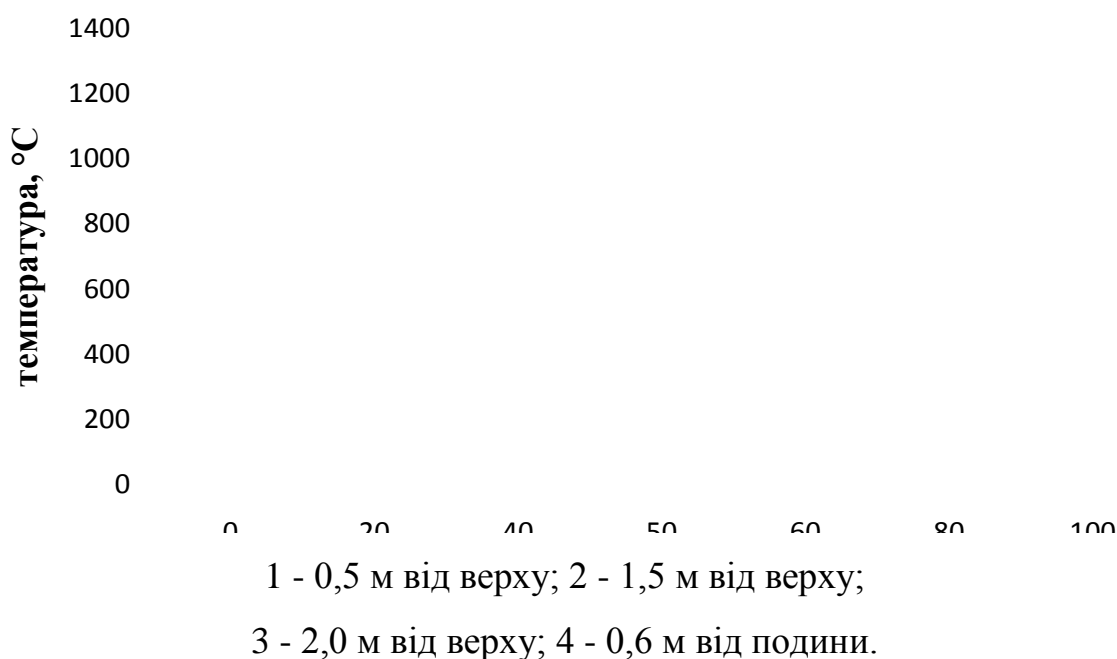


Рисунок 1.11 - Розподіл температур по перетину муфеля

Необхідно зробити деякі зауваження щодо характеру температурної кривої. По-перше, характерним є надзвичайно повільний підйом температури при низьких температурах (до 250°C) і різке прискорення підйому температур вище 300...350°C. Причому оператор дуже обмежений у своїх можливостях впливати як на прискорення підйому температури (при низьких температурах), так і нашмодленіє при більш високих температурах, як це

вимагають технологічні та економічні міркування. Особливо шкідливий вплив оказується надзвичайно тривалий час знаходження випалюються, електродів до 250°C , тому що при цих температурах найбільш активно протікають процеси міграції сполучних, що призводить до погіршення якості продукції. По-друге, характерним є рпкій перепад температури по висоті камери, в середньому $80\text{...}100^{\circ}\text{C}$ на один погонний метр висоти. З технологічної точки зору бажано мати найменше падіння температури по висоті муфеля.

Звичайно, по шляху проходження газів матиме місце зниження температури, так як частина тепла віддається на нагрів стінок муфеля. Але зниження температури слід віднести до конструктивних недоліків печі. Як вже зазначалося вище, піч постійно відчуває недолік теплоносія, що й обумовлює настільки різке падіння температури по висоті муфеля. Можна довести, що градієнт температури вздовж стінки муфеля залежить від кількості теплоносія і знаходиться в обернено пропорційній залежності від маси теплоносія.

Слід зазначити, що піч володіє рядом конструктивних недоліків, головним з яких є відсутність засобів регулювання примусової подачі повітря для спалювання газу.

1.6 Схема завантаження заготівель в печі

Розміщення заготівель в печах (камерах) випалення виробляють за схемами, заснованими, як правило, на наступних вимогах:

- оптимальні співвідношення робочих розмірів камер (касет) і заготівель;
- облік температурних можливостей печі (нерівномірність температурного поля в об'ємі камер);
- забезпечення максимального коефіцієнта використання об'єму камер і знімання обпаленої продукції;

- забезпечення нормальних умов обслуговування камер засобами завантаження-вивантаження заготівель;
- забезпечення необхідних виходів придатної продукції і якості.

Внаслідок підвищеної нерівномірності температур по висоті камер багатокамерних печей великі електродні заготівлі діаметром більш 400мм, як чутливіші до перепаду температур, прийнято завантажувати в нижню частину камер. Заготівлі середніх діаметрів (перерізом 220...400мм) обпалюють по усій висоті камер. І, нарешті, продукцію малих розмірів (діаметром або стороною менш 200мм) щоб уникнути можливого викривлення і деформації під тяжкістю верхніх рядів заготівель, а також із-за підвищеної трудомісткості їх завантаження і вивантаження обпалюють тільки у верхніх рядах камер. При цьому вертикальні ряди заготівель завантажують в певному порядку. Щоб засипочний матеріал не припікався, на подину печі насипають шар деревної тирси і потім шар засипки. Його товщина обумовлена габаритами завантажуваних заготівель (вона тим більше, чим більше маса і розміри заготівель), властивостями засипки. Подинна подушка повинна виключати деформацію (обпливання) торців заготівель і термічний удар на них з боку подини.

Встановлений на подинну подушку ряд заготівель пересипається засипкою; згори на нього насипається шар засипки, що запобігає спіканню заготівель верхнього і нижнього рядів і деформацію нижніх торців заготівель верхнього ряду.

Останні, як і заготівлі нижнього ряду, упаковуються засипним матеріалом так, щоб над заготівлями утворилася захисна подушка завтовшки не менше 250...300 мм. Основна роль верхньої засипної подушки - захист заготівель від окислення і термічного удару при прямому контакті з теплоносієм в підсклепінному просторі. Схема розставлення заготівель в горизонтальних рядах (у верхньому і нижньому) лімітується можливістю термічного удару від грюючих стінок, що може привести до деформації і

розтріскування заготівель і деформації заготівель з утворенням пролежнів на них при щільному розставлянні заготівель між собою.

При цій відстані від стінок касети до заготівель і між заготівлями мають бути пропорційні їх горизонтальним розмірам. Недотримання схем, порядку, умов завантаження і упаковки заготівель в камерах призводить до браку по деформації і тріщинам. Виникненню браку сприяють не лише порушення схеми розставляння і упаковки заготівель, але і завантаження заготівель в гарячу камеру, застосування гарячої і вологої засипки і так далі

Важливу роль в забезпеченні необхідних умов випалення електродної продукції грає засипний матеріал.

Засипний матеріал при карбонізації повинен перешкоджати деформації заготівель при осіданні їх в період в'язко-пластичного стану і викривленню їх, рівномірно підводити тепло до заготівель, оберігати заготівлі від окислення.

Відповідно до призначення засипні матеріали повинні мати теплопровідність, певні пружні властивості, оптимальну адсорбційну здатність до еднальної речовини, газопроникність, бути хімічно інертними по відношенню до заготівель. В основному як засипка при упаковці електродних заготівель в печах випалення використовують сипкі вуглецеві матеріали: прожарений або просушений кам'яновугільний кокс (коксова дрібниця), прожарений антрацит, повернення з печей графітації, оборотний засипний матеріал, неодноразово вже використаний.

Властивості засипних матеріалів визначаються як властивостями самого матеріалу, так і гранулометричним складом (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Властивості засипного матеріалів

Засипний матеріал	Щільність, кг/м ³	Стираність, %	Коефіцієнт міцності часток, %
Кварцевий пісок	1400	-	-
Термоантрацит	1846	3,80	59,0
Кам'яновугільний кокс з температурною обробкою: 1300°C	1893	3,20	57,0
1800°C	2138	8,80	54,2
2500°C	2180	9,20	50,0
Оборотна засипка на основі кам'яновугільного прожареного і графітованого коксу	2035	9,0	64,0

Роль засипки не обмежується захисними функціями. Вона чинить великий вплив на склад і тиск в газовій атмосфері печі. Летючі речовини, що виділяються, це продукти коксування пека - частково абсорбуються засипкою, а частково піролизуються, і піролітичний вуглець тонким шаром відкладається на поверхні зерен засипки. Тому залежно від її адсорбуючих властивостей може змінюватися газова атмосфера в печі, що у свою чергу впливає на властивості опалюваних виробів.

Висновки до розділу 1

1. Представлено характеристики пеків – зв'язуючого для виробництва електродів та їх вплив на властивості «зелених» заготовок.
2. Обґрунтовано використання компонентів засипки для карбонізації заготовок. Представлено роль та значення засипки для процесу карбонізації.
3. Надано аналіз схем завантаження багатокамерних кільцевих печей в процесі карбонізації.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ ПРИ КАРБОНІЗАЦІЇ

2.1 Процеси, що протікають при карбонізації

У процесі карбонізації спресовані заготівлі поступово нагрівають до 800...1100°C, а потім поступово охолоджують.

При нагріванні заготовок до 200...250°C відбувається розм'якшення пеку, заготовки стають неміцними. Збільшується обсяг заготовок, причому зменшення маси не відбувається. При цих температурах пек в порах електрода перерозподіляється, що викликається капілярними силами. Одночасно починаються міграційні процеси зв'язуючого. При подальшому нагріванні розвиток міграційних процесів триває, а також починається помітне виділення летючих речовин. Воно тісно пов'язане з хімічним розкладанням сполучного, так як випаровуються речовини, не тільки знаходилися раніше у електродної маси, а й знову утворюються в результаті термічного розкладання. Причому майже 20% від загальної кількості летючих виділяється при 300°C.

Внаслідок випаровування летючих речовин зменшується обсяг елементів структури заготовки. Це призводить до усадки під дією стягаючих молекулярних сил. Характер усадочного стиснення електродних сумішей сильно залежить від їх дисперсної структури. Якщо між твердими зернами є прошарок, то стиснення пропорційно обсягу випарованої рідини. Коли ж між твердими зернами встановлюється жорсткий контакт, стиснення набуває інший характер: воно перестає бути пропорційним обсягу випаровування речовини і відстає від нього. Із збільшенням жорсткості стиск зменшується. Тому відбувається збільшення пористості електрода. При температурі близько 400°C спостерігаються перші ознаки цементації виробів, однак механічна міцність їх дуже низька. Склеюча здатність пеку знижується. При більш високих температурах (500...600°C) вже без праці стає видиме

затвердіння, відзначається збільшення механічної міцності. Основна маса летючих речовин, що утворюється в результаті піролізу пеку, виділяється до 600...650°C. При подальшому нагріванні видалення летючих речовин незначне. Різко зростає електропровідність. Чорний колір поверхні заготовки переходить в однорідний сірий.

З інших істотних для випалу закономірностей треба відзначити наступні. Зі зменшенням швидкості нагрівання вихід летючих речовин зменшується, а його максимум зміщується в бік низьких температур. Вище 600°C зміна властивостей випалюваної заготовки сповільнюється, відбувається перетворення напівкоксу в кокс. Хімічні процеси поступово загасають. Зовнішня і внутрішня усадка поступово зменшується, а справжня щільність, пористість, а також міцність, твердість і електропровідність збільшуються.

Після закінчення випалу вироби охолоджують. При охолодженні спостерігаються такі явища. Після відключення камери охолодження електрода починається з периферії. На початку процесу охолодження у внутрішніх частинах електрода ще триває підвищення температури та супроводжується усадкою, а в зовнішніх частинах електрода усадка вже припинилася. Це посилює внутрішню напругу, яка вже була в результаті неоднакових об'ємних змін у різних ділянках електрода. По мірі охолодження зовнішні частини заготовок починають стискатися, що призводить до зменшення внутрішньої напруги заготовки. Але далі охолодження зовнішніх частин випереджає охолодження внутрішніх, що знову посилює внутрішню напругу. Виникають внутрішні напруження, які можуть призвести до руйнування електрода (утворюються тріщини); ця обставина викликає уповільнення процесу охолодження.

Вище було викладено спрощене, схематичне уявлення про процеси, що протікають при випалюванні, виходячи з припущення, що весь обсяг заготівлі нагрівається одночасно до певної температури. Насправді ж у випалювальній печі процеси протікають значно складніше, тому що

нагрівання як однієї заготовки, так і всієї маси виробів, завантажених у камеру, відбувається нерівномірно.

Більш детально, вплив температури, якій буде підвергнутий електрод буде показано нижче. Тут же слід сказати, що в залежності від досягнутих температур і швидкості підйому температури створюються умови для одночасного протікання різних фізико-хімічних процесів в обсязі одного електрода.

У камері випалювальної печі поряд з основними процесами коксування печі (зв'язуючого) протікають вторинні процеси - розкладання вуглеводневих газів на розпечених поверхнях випалювальних заготовок. Ці гази виділяються з випалювальних виробів і заповнюють весь вільний об'єм камери. Вуглеводневі гази розкладаються з утворенням твердого вуглецю, який у вигляді твердого шару відкладається в порах і на поверхні випалювальних заготовок. У результаті вихід коксу підвищується, відбувається блокування пор і підвищення міцності виробів.

На перебіг описаних процесів впливають і деякі технологічні умови і властивості засипочних матеріалів, тягові умови і навіть технічний стан печі.

2.2 Вплив швидкості підйому температури на процеси при карбонізації

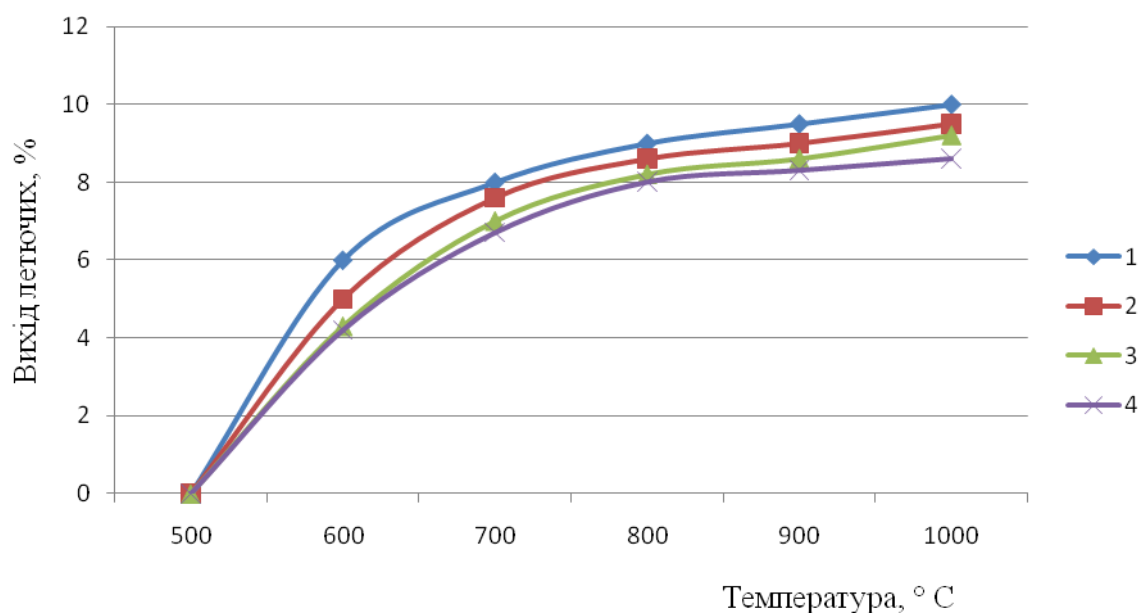
Швидкість нагрівання - досить істотний фактор, який впливає на процеси при карбонізації. Швидкість нагрівання визначає поширення температури у виробі, а також у всьому об'ємі завантаження. Різні температури в об'ємі виробу викликають одночасне протікання в ньому різних процесів. Це визиває нерівномірність усадки в об'ємі виробу і створює небезпечні внутрішні напруження, які при низьких температурах можуть призвести до пластичних деформацій. При більш високих температурах при утворенні твердого зв'язку виріб стає крихким - це призводить до розтріскування. Швидкість нагрівання робить великий вплив на кількість

коксу, що утворюється з звязуючого. Зі зменшенням швидкості підйому температури вихід коксу завжди зростає. Доведено, що із збільшенням виходу коксу при випалюванні міцнісні характеристики виробів зростають. Але уповільнення режиму випалу викликає зниження продуктивності печі. Тому режим випалу повинен бути оптимальним, який забезпечить вимоги технологічних факторів і одночасно задовольнить вимогам економіки процесу

Довготривала практика і дослідження говорять про те, що не для всіх інтервалів температур це положення справедливо.

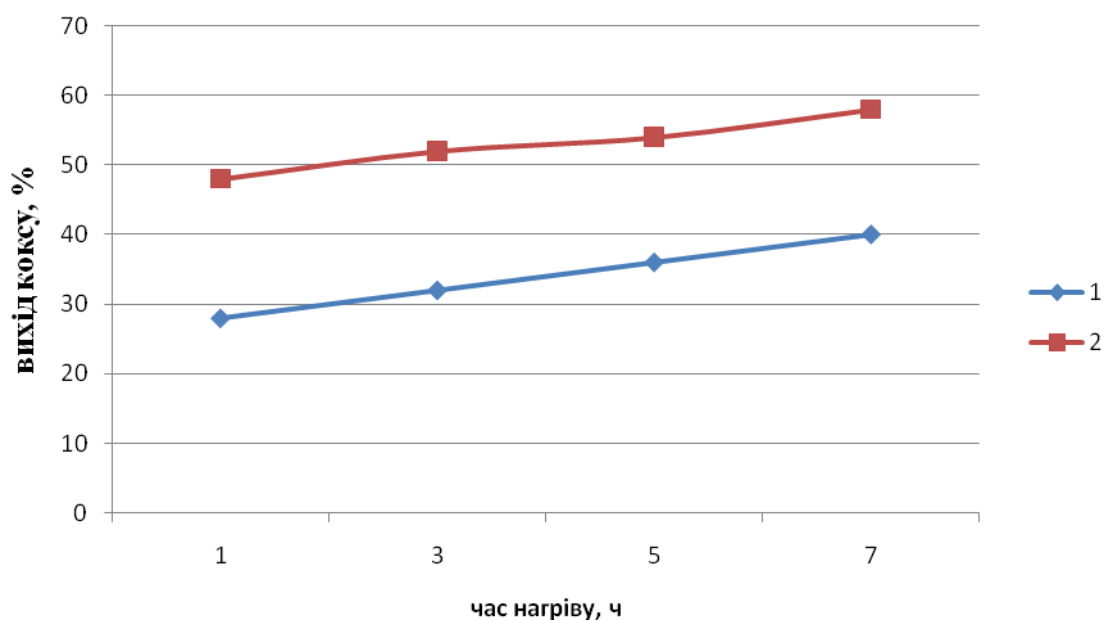
Повільний підйом температури повинен здійснюватися тільки в тих межах, при яких в основному протікають глибокі пірогенеті-етичні зміни сполучних речовин, що сприяють утворенню коксу. Можна тільки вказати, що такою межею є 450...500°C, тобто температури утворення напівкоксу.

Дослідження напівкоксів, отриманих з кам'яновугільних пеків різних коксохімічних заводів, вказало, що вихід летких речовин при коксуванні будь-якого напівкоксу залежить тільки від температури, при якій він отриманий.



1, 2, 3, 4 - пеки з різною температурою розм'якшення: 67, 51, 75 і 90°C
відповідно, з яких отримано напівкокс

Рисунок 2.1 - Вихід летючих з напівкоксу різного походження при нагріванні їх до 1000°C



1 - смола; 2 - пек

Рисунок 2.2 - Залежність виходу коксу від швидкості нагрівання:

На рис. 2.1 наведені криві виділення летючих речовин з полукоксів різного походження (отриманих при 500°C) при прокалюванні їх до 1000°C . Всі криві розташовуються близько одна до іншої, майже збігаються. Характер газовиділення також ідентичний. Але головне полягає в тому, що умови нагрівання Напівкокс не роблять впливу на кількість виділилися летючих речовин. Експериментально було доведено, що виходи летких речовин при температурі $500\text{...}1000^{\circ}\text{C}$ і різних швидкостях нагрівання напівкоксу ($0,5$ і $20^{\circ}\text{C}/\text{год}$) близькі за значенням. Виділення летких речовин однаково, якщо проводити прожарювання напівкокс у вакуумі і при атмосферному тиску.

Елементарний склад Напівкокс при 500°C коливався в межах допустимих похибок близько середніх значень $93,85\% \text{ C}$ і $3,35\% \text{ H}$.

З усього сказаного випливає зробити два важливих висновки: по-перше, процес перетворення (вірніше, механізм процесу) будь-якого напівкоксу в кокс протікає однаковим шляхом і не залежить від природи вихідних сировинних матеріалів, з яких він отриманий, по-друге, швидкості підйому температури, за яких він піддається термічній обробці, не роблять впливу на кількість утворюється коксу.

Зовсім по-іншому на вихід коксу з сполучного впливає швидкість підйому температури до 500°C . З таблиці 2.1 видно, що з пониженням швидкості підйому температури при випалюванні виробів зменшується вихід летких речовин і відповідно збільшується вихід коксу з зв'язуючого. Аналогічна залежність від швидкості підйому температури спостерігається при коксуванні кам'яновугільної смоли та пеку (рис. 2.2). Механізм цієї залежності полягає в тому, що при повільному нагріві ненасичені молекули встигають вступати в реакцію асоціації. При швидкому нагріванні вони випаровуються, що досить добре проілюстровано даними табл. 2.1, де показано, що зі збільшенням швидкості нагрівання збільшується вміст конденсату в видалюються продуктах.

Таблиця 2.1 - Загальний вихід летючих речовин залежно від швидкості підйому температури при випалюванні, %

Температура, °С	Речовини	Вуглевий електрод	Нефтяна заготівля
200	Конденсат	11,8	12,5
	Гази	2,1	3,0
	Усього	13,9	15,5
100	Конденсат	8,0	8,8
	Гази	3,5	4,9
	Усього	11,5	13,7
70	Конденсат	6,0	7,2
	Гази	4,1	6,0
	усього	10,1	13,2

Однак інтервал температур 0...500°С сам по собі досить великий. Ймовірно, і в цьому інтервалі є більш вузький інтервал, в якому найбільш активно протікають процеси коксоутворення. Точне знання цих параметрів необхідно при побудові і найбільш ефективних режимів випалу електродних матеріалів.

Теоретично визначити цей інтервал температур неможливо. Тому слід звернутися до допомоги експериментальних даних (табл.2.2).

На підставі цих даних при температурах 300...425°С процеси асоціації протікають більш ефективно і зі значно більшими швидкостями, ніж при більш низьких температурах. Занадто швидкий перехід температурного кордону в 425°С викликає дистиляцію продуктів, здатних взяти участь у процесах коксоутворення.

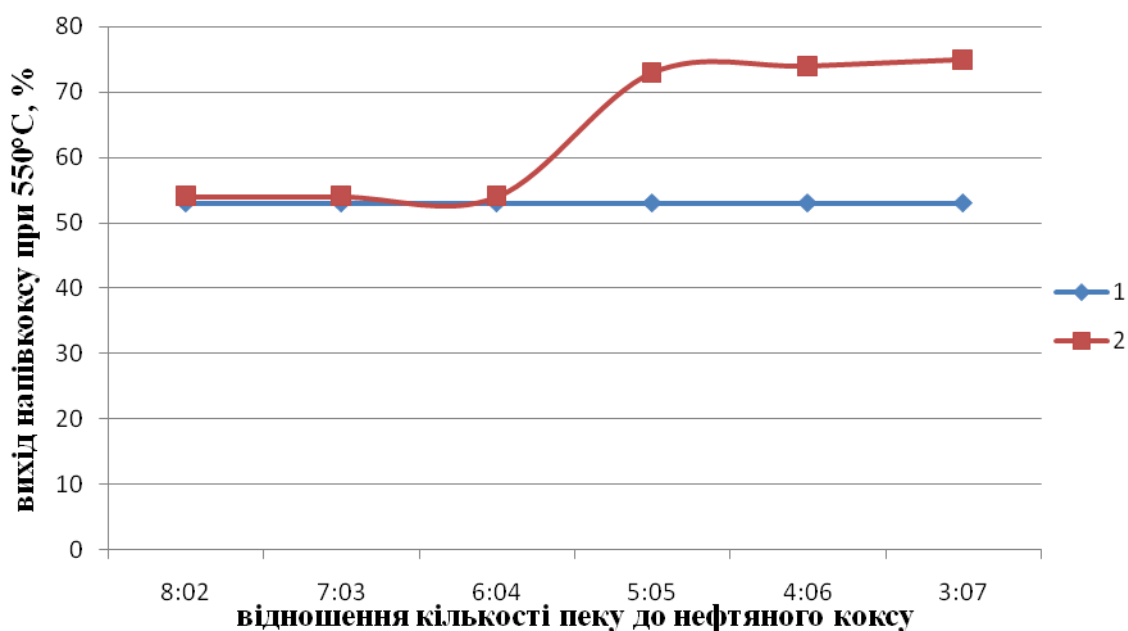
Таблиця 2.2 - Вихід коксу з пеку залежно від режиму термічної обробки

Температурний режим, °С	Коксовий залишок при 500°С, %	Напівкокс, %		Коксовий залишок після прокалювання при 1000°С, %
		С	Н	
1	2	3	4	5
Опити з рівномірним нагрівом				
До 300°С 1 ч, від 300 до 500°С – за 120ч	70,2	93,89	3,30	67,4
До 300°С 1 ч, від 300 до 500°С – за 200ч	71,2	94,27	3,38	68,5
Опити з витримкою температури				
До 200°С 3 ч, при 200°С – 46ч, при 200...500°С – за 3 ч	61,6	93,59	3,31	58,9
До 300°С 3ч, при 300°С – 46ч, при 300...500°С за 3ч	63,8	93,88	3,32	60,8
До 370°С 3ч, при 370°С – 46ч, при 370...500°С за 3ч	65,3	93,76	3,32	62,6
До 400°С 3ч, при 400°С – 46ч, при 400...500°С за3ч	71,3	93,75	3,33	66,2
До 425°С 3ч, при 400°С – 46ч, при 425...500°С за 3ч	69,2	-	-	64,2
До 450°С 3ч, при 450°С – 46ч, при 450...500°С за 3ч	64,0	93,74	3,36	60,1

Належного ефекту (максимального виходу коксу) можна добитися і при більш низьких температурах, але для цього необхідно затратити дуже багато часу. Наприклад, витримка пеку при температурі близько 170°C протягом 120 год дозволила збільшити вихід коксу приблизно на 5%. Для побудови температурного графіка випалу, при якому забезпечувався б максимальний вихід коксу, необхідно щоб в інтервалі $375\text{...}425^{\circ}\text{C}$ температура піднімалася дуже повільно, приблизно $50\text{...}60^{\circ}\text{C/г}$. Можна, як зазначалося вище, досягти хороших виходів коксу при тривалій витримці при більш низьких температурах, наприклад $300\text{...}350^{\circ}\text{C}$, але в цьому випадку треба було б дуже тривалий час, близько 200...250 годин.

На вплив витримки при постійній температурі вказується в роботі Джіролами [11]. Витримка при постійній температурі близько 300°C справила позитивний вплив на збільшення виходу коксу. На рис. 2.3 наведені дані, що ілюструють це явище, причому автор проводив свої роботи не так на чистому пеку, а на суміші з нафтовим коксом, що також зазначено на рис. 2.3. Швидке підвищення цієї температури не дозволила виявити змін у виході коксу (пунктирна лінія). Зростання виходу коксу з підвищенням вмісту порошку спостерігався тільки у матеріалі з активною поверхнею. На скляному порошку, за даними Джіролами, ефект збільшення виходу коксу не спостерігалось.

Швидкість підйому температури до 350°C і після 450°C помітного на впливу вихід коксу з сполучного не надає. Однак було б неправильним при організації режиму випалу керуватися тільки міркуваннями отримання максимального коксового залишку. Не менш відповідально, як зазначалося вище, отримання однорідних, щільних, без зовнішніх і внутрішніх дефектів виробів. Ці вимоги істотно впливають на швидкість підйому температур до 350 і після 425°C



1 - з попереднім нагріванням до 300°C; 2 - без попереднього нагрівання.

Рисунок 2.3 - Вихід напівкоксу залежно від співвідношення пеку і коксу і вплив витримки при температурі 300°C

2.3 Усадка виробів при карбонізації

У процесі випалу змінюються зовнішні розміри виробу. Зазвичай вони зменшуються, тобто відбувається усадка. Однак в дуже рідкісних випадках можна спостерігати збільшення цих розмірів.

Усадка визначається по відношенню до розмірів спресованого виробу. Вона має велике практичне значення, так як впливає на якісні характеристики і структуру виробів. Неоднорідна усадка в обсязі виробу завжди призводить до утворення внутрішніх і зовнішніх дефектів аж до утворення тріщин.

Усадка залежить від багатьох факторів, які систематично не вивчені. Найважливіші з них - ступінь ущільнення при пресуванні, спосіб пресування, якість і кількість сполучного, ступінь прожарювання вуглецевих матеріалів, температура випалу і швидкість нагрівання, а також умови, в яких протікає

випал Ці фактори пов'язані між собою і зазвичай проявляються в складних поєднаннях, тому роздільне вивчення кожного з них окремо пов'язане з великими труднощами.

Усадка розвивається поступово у міру підвищення температури; величина її залежить від кінцевої температури.

При постійній швидкості нагрівання усадка розвивається нерівномірно при різних температурах - при одних вона менша, при інших більше. На рис.2.4 видно, що на початку нагрівання для деяких виробів відбувається помітна усадка. У деяких випадках збільшення розмірів може не спостерігатися. Початок усадки може зрушуватися в бік більш високих температур. Приблизно з 300...400°C починає різко зростати швидкість усадки. Це явище спостерігається майже до 800°C, після чого швидкість усадки різко знижується. При подальшому нагріванні усадка спостерігається, але протікає вона дуже повільно.

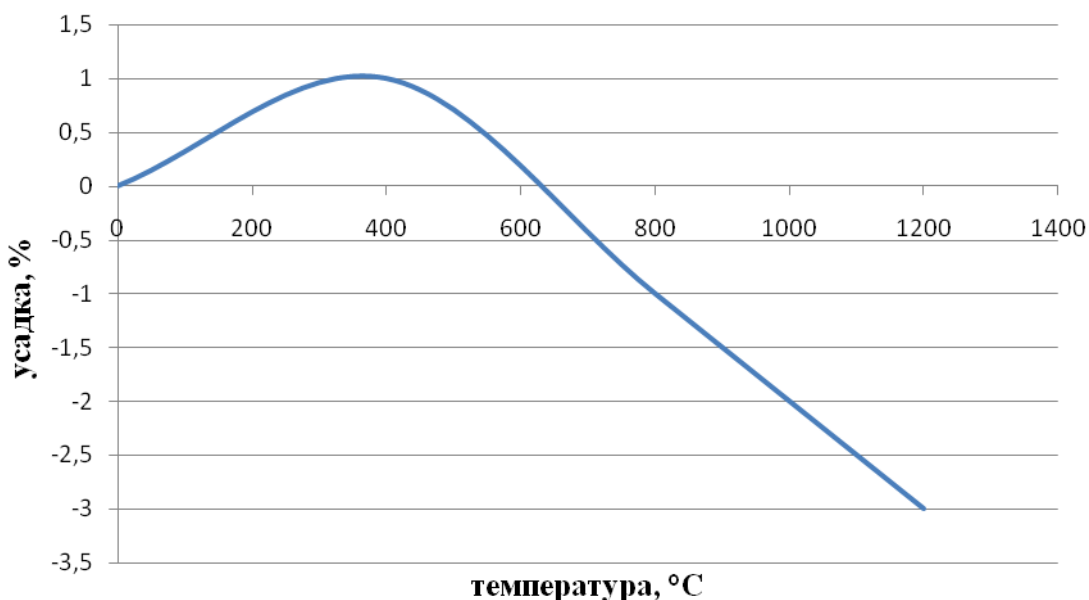


Рисунок 2.4 - Усадка виробів при карбонізації

Усадка в самому початку нагрівання характерна для виробів, спресованих методом холодного пресування. Для малопористих виробів гарячого пресування при початковому нагріванні усадка не відбувається. Вони при температурі близько 100°C починають збільшувати свій об'єм, максимум якого сягає близько 400°C. Збільшення лінійних розмірів доходить до 1%. При подальшому нагріванні всі види виробів мають велику усадку.

Залежність усадки виробів від ступеня ущільнення при пресуванні показана в табл. 2.3. Досліджувані зразки були виготовлені методом холодного пресування. Усадка тим більше, чим менше щільність спресованих блоків, чим нижче питомий тиск при пресуванні.

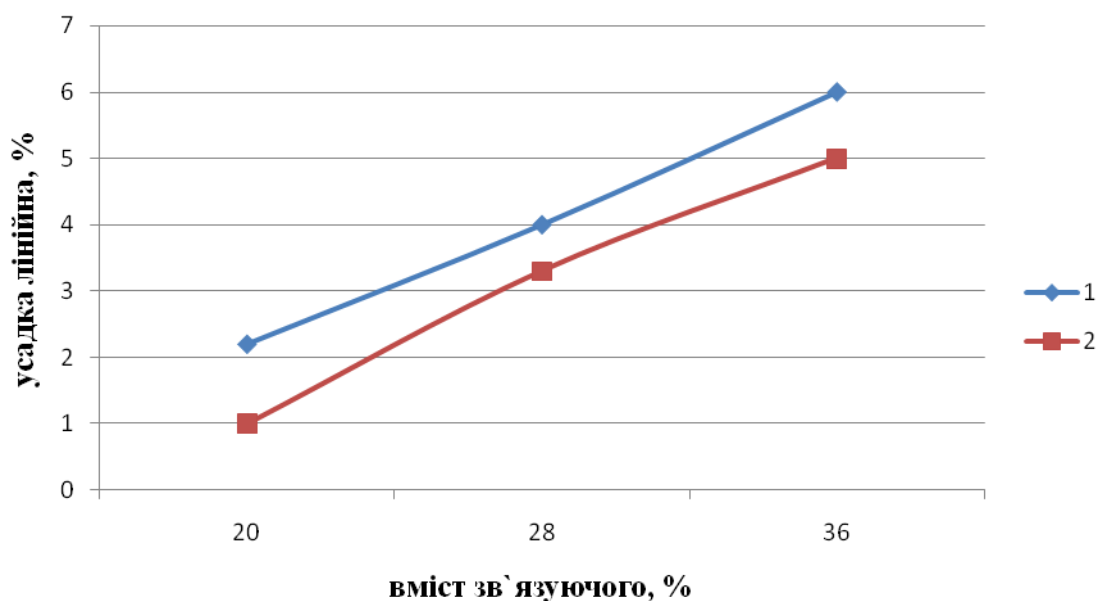
Таблиця 2.3 - Залежність усадки виробів від ступеня ущільнення

Тиск при пресуванні, МПа	Об'ємна маса зелених блоків, г/см ³	Об'ємна маса випалених блоків, г/см ³	Середня об'ємна усадка при випалюванні, %
6,4	1,348	1,440	12,3
32	1,425	1,467	11,9
96	1,554	1,536	9,2
127	1,594	1,541	8,0
192	1,633	1,560	7,0
256	1,654	1,564	6,2

У більш складної залежності перебуває усадка і кількість сполучного, введене в шихту. Зі зміною змісту сполучного змінюється і щільність спресованих виробів. Усадка знаходиться в прямій залежності від кількості зв'язки (рис. 2.5). При дуже великому вмісті сполучного вироби спучуються і розтріскуються.

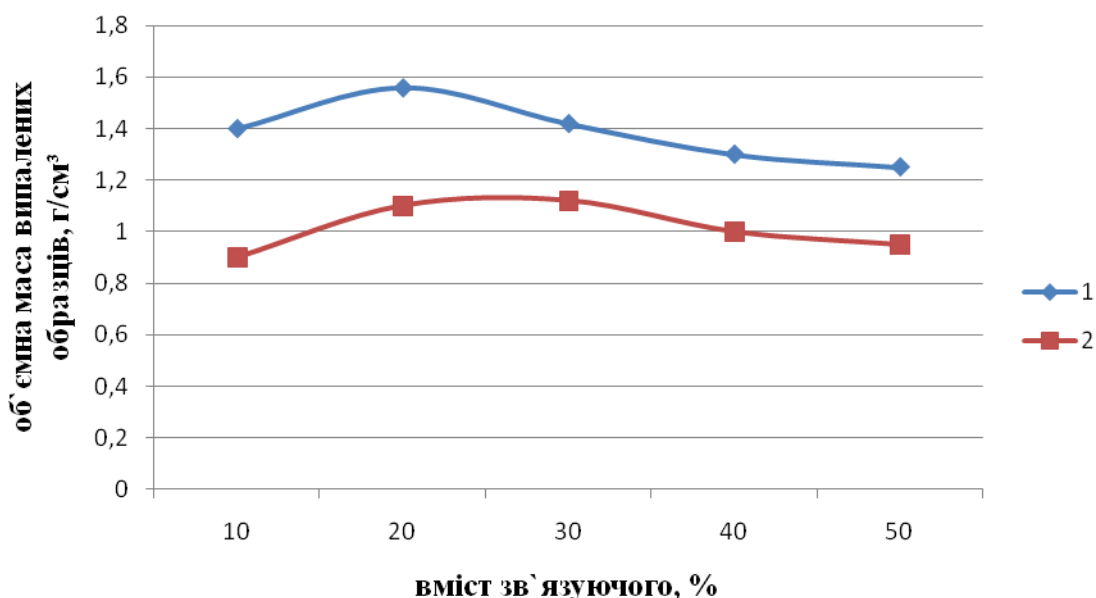
Природа сполучного також впливає на усадку і знаходиться в залежності від кількості летючих речовин, які вони виділяють при випалюванні. Легкі бітуми дають більший вихід летючих, внаслідок цього

вони більше впливають на усадку, ніж важкі. Із збільшенням вмісту нерозчинних речовин в пеку усадка буде зменшуватися, а при утриманні їх близько 50% зовнішні розміри виробу можуть навіть збільшуватися.



1 — по висоті; 2 — по діаметру

Рисунок 2.5 - Усадка пресування залежно від змісті сполучного:



1 - маса зразка; 2 - маса коксу з сполучного

Рисунок 2.6 - Зміна об'ємної маси обпалених зразків і коксу з сполучного в залежності від кількості сполучного [30]

Дуже складна залежність усадки від гранулометричного складу. Чим дрібніше гранулометричний склад шихти, тим більше усадка. Це обумовлено погіршенням ущільненості тонких сумішей і збільшеним вмістом в них пов'язує для додання масі необхідних пластичних властивостей. Добавка до дрібних порошків великих зерен зменшує усадку.

У великій мірі усадка залежить від умов, в яких протікає випал виробів. До них насамперед належать розміри муфелів (касет), в яких обпалюють вироби, і місце розташування їх у муфелем, фізична природа і гранулометричний склад засипки, газова середовище та ін Це найважливіші причини, що викликають нерівномірне усадку в окремих випалюються, виробках і в різних ділянках одного виробу.

Цікава залежність об'ємної маси обпаленої електрода від кількості сполучного, викликана усадковими явищами. На рис. 2.6 показано зміну об'ємної маси електрода, а також об'ємної маси коксу, утворився з сполучного. Об'ємна маса електрода зростає із збільшенням кількості сполучного до оптимального змісту сполучного (близько 20%), а потім зменшується. Відзначимо наступне - об'ємна маса коксу сполучного (рис. 1.6, крива 2) збільшується до тих пір, поки вміст пеку близько до оптимального (близько 20%), а при подальшому збільшенні сполучного об'ємна маса цього коксу знижується.

Загалом, якщо величина втрати маси електродів при випалюванні більше величини усадки, об'ємна маса електрода завжди буде менше об'ємної маси зеленого електрода. Із збільшенням кількості зв'язків у обпеченому електроді зростає число порожнеч; їх стає більше. Головною причиною зростання обсягу пустот є не збільшення простору між частинками наповнювача, а утворення великих пір в результаті виділення летючих речовин в період пластичного стану пов'язує.

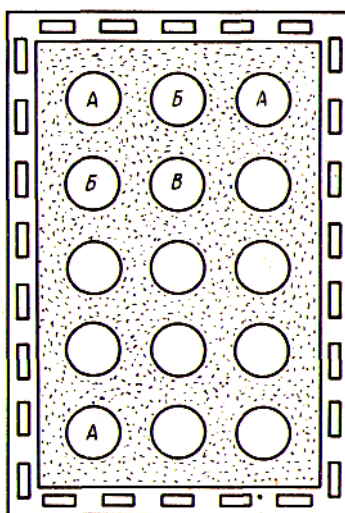
Висновки до розділу 2

1. Встановлено фізико – механічні процеси в умовах підйому температури при карбонізації заготовок електродів.
2. Визначено вплив температурно – часових процесів на формування властивостей карбонізованих заготовок електродів.
3. Проведено оцінювання виділення газоподібних летючих в процесі карбонізації та їх утилізація.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КАРБОНІЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ ЗАГОТОВОК

3.1 Дослідження способів обігріву електродних заготовок

При дослідженні повного завантаження камери, була встановлена важлива залежність властивостей і виходу придатних обпалених електродних матеріалів від місця знаходження в муфелі (рис. 3.1). Всі завантажені електроди за напрямом теплового потоку в муфелі слід розділити на три типи: 1 - кутові електроди, помічені індексом А, обігріваються з двох сторін; 2 - зовнішні електроди - Б - обігріваються з одного боку, 3 - електроди, які в центрі муфеля - В, мають круговельній оборот. Характер обігріву кожного типу завантаження електрода визначив свійства і виходу придатних виробів. Найгіршими показниками мали вироби завантаження А і Б та найкращими В.



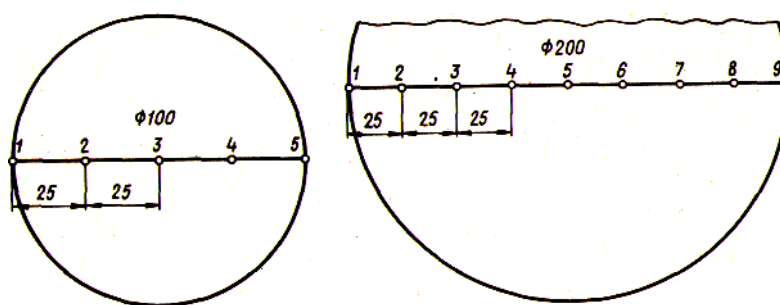
А - обігрів з двох сторін; Б - обігрів з одного боку; В - круговий обігрів

Рисунок 3.1 - Схема розташованих електродів у муфелі

У лабораторних умовах було досліджено характер розподілу температурних полів в електродних заготовках при односторонньому, двосторонньому та круговому способах підведення тепла.

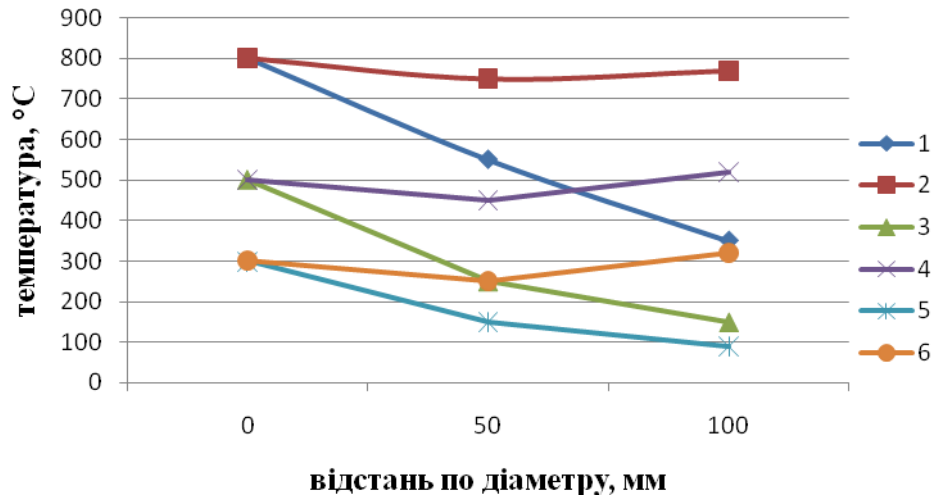
У тигельну прямокутну піч з нагрівачами, розташованими на протилежних стінках, містився випробуваний зразок. В якості предметів дослідження були взяті промислові електроди відповідних розмірів діаметром 50, 100 і 200 мм. Зразки засипали річковим піском. Відстань від нагрівача до зразка у всіх серіях дослідів залишалася постійним. За діаметру зразка на відстані 25 мм одна від іншої, починаючи від поверхні, розміщалися термопари. Реєстрація температур проводилася за допомогою многоточечного автоматичного електронного потенціометра ЕПП-09.

Дослідження кругового обігріву проводилося в циліндричній печі, причому всі умови - відстань до гріючого електрода, засипки та ін - зберіглися однаковими з одно- і двостороннім підведенням тепла. Схема розташування термопар показана на рис. 3.2. Дослідження проводилися з різною швидкістю підйому температури - 2, 3 і 4°C/хв. Результати вимірювань температури наведені на рис. 3.3 і 3.4.

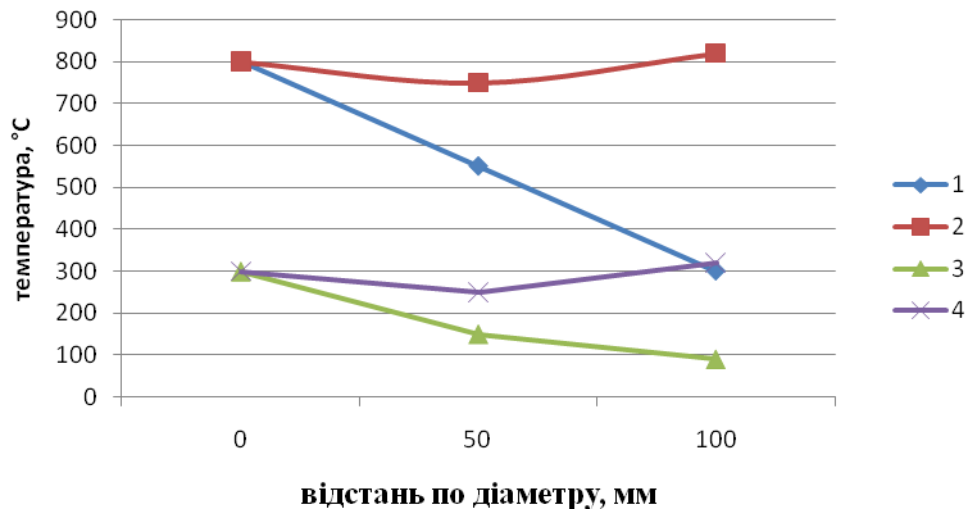


Відстань по діаметру, мм

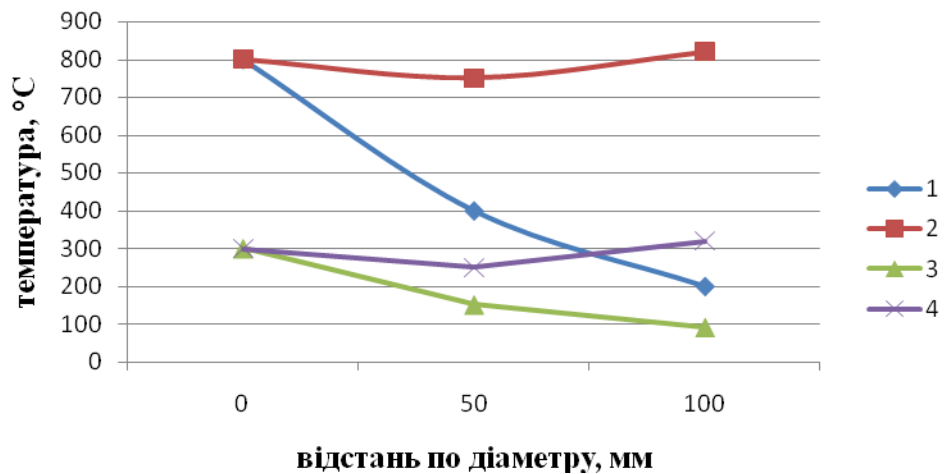
Рисунок 3.2 - Схема розташування термопар в досліджуваних електродах



а

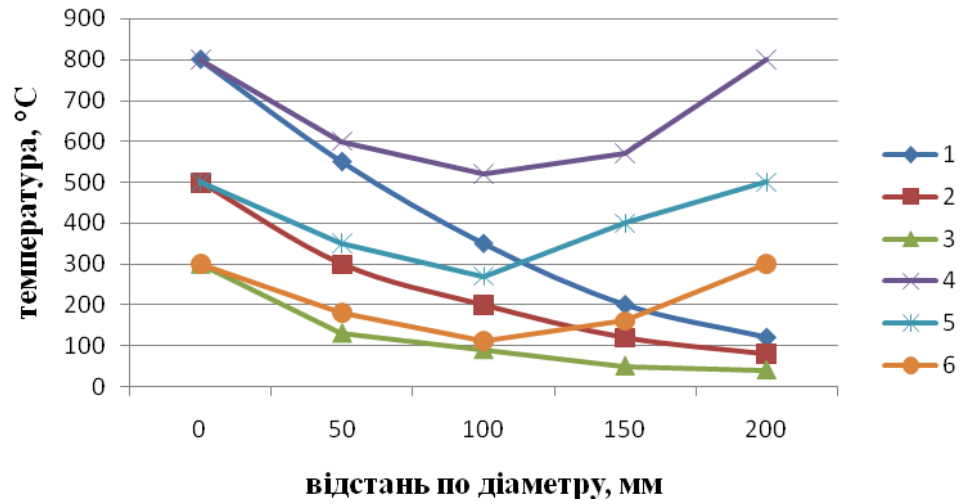


б

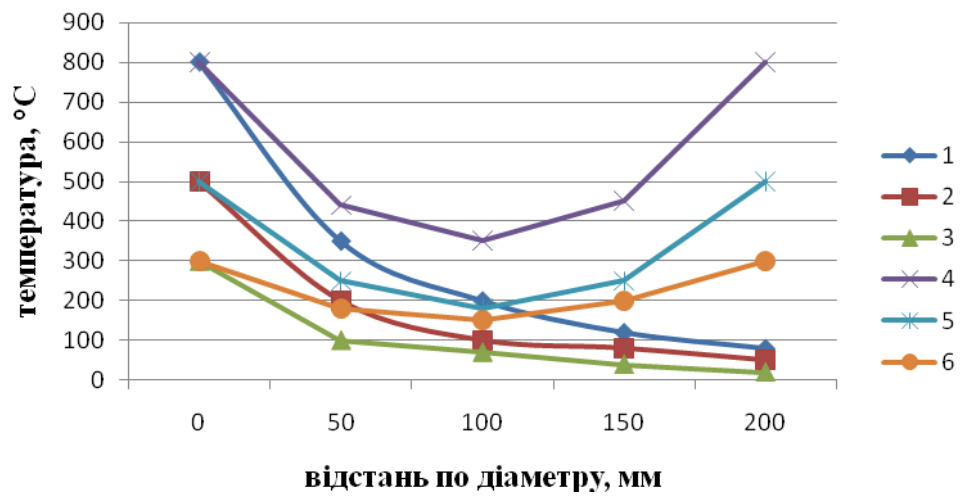


в

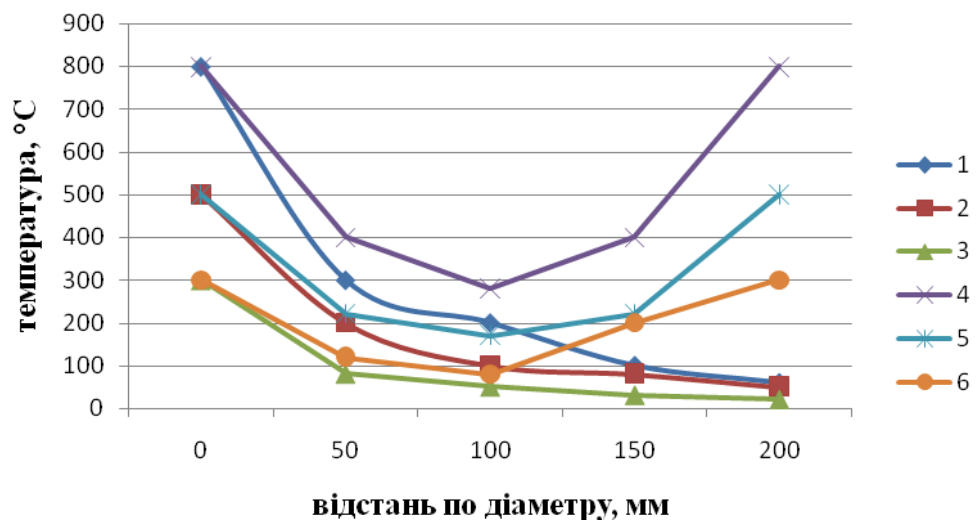
Рисунок 3.3 - Розподіл температур по перетину електрода діаметром 100 мм при односторонньому (1,3,5) і круговому (2,4,6) підводі тепла при швидкості підйому температури. °C/хв: а-2, б-3; в-4



а



б



в

Рисунок 3.4 - Розподіл температур по перетину електрода діаметром 200 мм при односторонньому (1,2,3) круговому (4,5,6) підводі тепла при швидкості підйому температури $^{\circ}\text{C} / \text{хв.}$, а - 2; б - 3; в - 4

Аналізуючи отримані дані, слід передусім відзначити, що характер підведення тепла до обпалювати зразком має величезне значення. Так, наприклад, для зразка діаметром 100 мм при температурі поверхні 400°C і швидкості підйому температури 3 С / хв центральна точка мала температуру 160°C при односторонньому підводі тепла, при двосторонньому 272°C і при круговому обігріві 325°C. Аналогічні дані для всіх експериментів, причому із збільшенням розмірів зразків і швидкості нагрівання різниця температур між периферією і центром зростає при порівнянні одностороннього обігріву з іншими методами підвода тепла.

Процеси, що визначають і супутні формуванню структури електрода, протікають в певних температурних інтервалах. В основному вони закінчуються до 450-500°C, а найбільш-відповідальні протікають при 150-250 і 350-425°C (нижче це буде доведено). У зв'язку з цим становить інтерес простежити просування фронту постійних температур в обсязі електродів до 500 С. У табл. 3.1 наведені дані, з яких видно, який потрібен час для просування фронту постійних температур 100, 200, 300, 400 і 500°C, які поширилися б від поверхні в глиб зразка при різних способах і швидкостях нагрівання.

Таблиця 3.1 - Час досягнення температур в окремих точках зразків при різних способах та інтенсивності нагрівання

Швидкість нагріву, °С/хв	Спосіб нагрівання	Відстань від поверхні, мм	Час досягнення температур, °С/хв.				
			100	200	300	400	500
1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр зразка 50 мм							
2	Односторонній	25	20,0	34,2	41,2	43,7	46,2
	Двосторонній	25	7,5	13,4	15,2	16,7	16,0

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Круговий	25	5,0	6,2	6,7	6,5	7,0
3	Односторонній	25	18,2	26,0	32,4	33,7	37,4
	Двосторонній	25	7,2	12,5	13,5	14,5	14,2
	Круговий	25	4,0	5,2	6,2	6,5	6,5
3	Односторонній	25	14,0	21,8	26,2	27,5	30,2
	Двосторонній	25	7,0	10,0	12,0	13,7	13,5
	Круговий	25	2,8	4,0	5,0	5,0	6,0
2	односторонній	50	44,2	65,0	84,0	89,5	93,5
3	-//-	50	37,0	47,0	50,0	63,7	67,5
4	-//-	50	30,0	40,2	47,6	51,5	52,5
Діаметр зразка 100 мм							
2	Односторонній	25	37,0	56,6	66,0	72,8	71,2
	Двосторонній	25	22,8	26,6	29,0	32,0	32,0
	Круговий	25	16,5	20,6	22,2	23,2	24,1
3	Односторонній	25	26,2	44,4	54,2	60,0	62,0
	Двосторонній	25	17,2	24,4	27,4	28,0	23,7
	Круговий	25	10,2	16,0	16,2	20,5	20,8
2	Односторонній	50	78,3	108,0	128,4	135,0	135,6
	Двосторонній	50	35,6	44,0	47,3	50,9	50,6
	Круговий	50	21,0	25,3	27,2	28,3	29,7
3	Односторонній	50	68,0	90,5	106,2	112,0	114,0
	Двосторонній	50	30,8	40,0	44,1	46,0	45,6
	Круговий	50	16,2	22,2	24,9	26,3	27,1
4	Односторонній	50	52,8	81,2	96,0	102,0	-
	Двосторонній	50	28,0	38,0	41,4	45,0	-
	Круговий	50	14,2	20,4	21,0	25,7	-
2	Односторонній	100	136,4	208,6	230,0	-	-
	-//-	100	104,0	104,0	155,4	-	-

Порівняння швидкостей просування фронту постійних температур показує, що в даному випадку характер підведення тепла має вирішальне значення. Більш інтенсивне просування фронту постійних температур найбільш характерно для кругового підведення тепла. Наприклад, фронт 300°C при односторонньому нагріванні електрода діаметром 100 мм просувається до центру зі швидкістю 0,40 мм/хв, а при круговому обігріві 5,22 мм/хв (у 13 разів швидше). Отже, при круговому обігріві створюються найбільш сприятливі умови для одночасного протікання однотипних

пірогенних процесів у всьому обсязі випалювального електрода. Створення подібних умов призводить до того, що усадочні явища протікають в рівній мірі однаково у всьому обсязі, що не викликає внутрішніх напружень в обпалювати виробі, отже, виключаються причини, що призводять до тріщин. При круговому обігріві значно менше температурний градієнт, значно швидше проходять температури до 300°C, що різко гальмує протікання міграційних процесів. Отже, можна очікувати виходу виробів з більш однорідними властивостями і меншими дефектами.

Звідси можна зробити важливий для промислової практики висновок. Електроди повинні обпалюватися в таких муфелем, які забезпечують круговий обігрів випалюються, електродів. Особливо це важливо для виробів великих розмірів, діаметром вище 400 мм. Технологи можуть заперечити, що в цьому випадку знизиться корисний об'єм камери за рахунок будівництва додаткових обігрівальних стінок. Але при круговому обігріві створюються умови для більш форсованих режимів випалу, тому будуть компенсовані втрати, викликані зниженням корисної ємності камер. Але загальна ефективність зросте ще більше в результаті поліпшення якості та зниження шлюбу електродів.

У промисловій практиці відомий спосіб випалу відповідальних видів виробів в центрі муфеля (рис. 3.1). Цей спосіб завантаження визначається терміном-екранування менш відповідальними виробами, які розташовуються ближче до нагрівальних стінок муфеля. У даному випадку "захисні" вироби не являють тепловим екраном. Подібна завантаження, як вже зазначалося вище, створює різні умови підведення тепла до обпикає виробам. При внутрішній завантаженні забезпечується кругової обігрів. У першому розділі мова йшла про контейнерном випалюванні, при якому завжди і для всіх електродів забезпечується кругової обігрів. Ця обставина допускає більш форсовані режими випалу в порівнянні з багатоканерними печами. При цьому зберігаються високий вихід і високу якість електродів.

3.2 Дослідження температурних полів при карбонізації електродів

Вище було показано, що в різних ділянках камери випалювальної печі має місце значне розходження температур і швидкості підйому температур. Але треба звернути увагу ще на одне надзвичайно важлива обставина. Не була зафіксована відтворюваність режимів випалу навіть для сусідніх камер. Інакше кажучи, від однієї кампанії до іншої повторення температурних режимів не спостерігається (маючи на увазі однаково задані графіки випалу). На доказ чого в табл. 3.2 наводяться дані трьох послідовних циклів випалу для сусідніх камер при одному і тому ж заданому режимі випалу.

Таблиця 3.2 - Характеристика зафіксованих температурних режимів для трьох сусідніх камер (I, II, III) послідовно виконаних процесів випалу (400 год)

Час від початку компанії, ч	Температура під сводом, °С			Температура у тілі заготовки, °С					
				верх			низ		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
75	370	355	400	80	96	117	56	72	85
99	420	410	434	115	132	170	78	90	114
123	450	440	445	162	172	223	100	105	150
147	475	465	486	202	218	269	125	132	183
171	495	515	500	242	255	311	155	165	213
195	530	525	555	285	288	345	192	190	235
219	550	565	570	328	318	383	228	208	259
243	578	590	605	367	349	415	258	236	281
267	534	632	635	406	381	454	294	259	312
281	650	675	700	428	405	578	319	280	330
315	768	800	880	482	465	592	369	331	380

Всі три циклу випалу відрізняються один від одного як за досягнутими температурами так і за швидкістю підйому температури в підсклепінному просторі і тую завантаженні. Швидкості підйому температури в різних точках завантаження муфеля також відрізняються для кожного циклу.

Ці відомості розширюють наші уявлення про температурні режими в одній печі, для одного і того ж режиму випалу, але в різних камерах.

Ми ж задалися метою розкрити не тільки розподіл температур по зрізу муфеля, а й поширення фронту постійних температур по зрізу виробів, що випалюються. Це видається дуже важливим, оскільки допоможе висказати рекомендації з конструювання, якщо не всієї печі, то окремої камери.

Були проведені спеціальні дослідження випалу електродів в промислової печі, але в даному випадку цікавило не тільки розподіл температури в обсязі муфеля, а й ретельні розрахунки за швидкостями підйому температури в обсязі муфеля, а також визначення градієнта температур як по висоті, так і по перетину муфеля.

Для характеристики розподілу температури по перетину муфеля в табл. 2.9 і 2.10 наведені результати вимірювань в трьох горизонтах (500, 1600 і 2500 мм від подини) на відстані від зовнішньої стінки 100, 530, 960 мм при тривалості випалу 350 ч.

У верхній зоні на початку процесу нагрівання здійснювалося повільніше, ніж у нижньому горизонті. У даному випадку вплинув тепловий потік від подини муфеля. Аналізуючи зміну швидкостей росту температури в різних точках горизонтів, слід зазначити величезна відмінність швидкостей у простінку між муфелем і біля зовнішньої стінки камери. Однак з підвищенням температури ця різниця в швидкостях підйому температури згладжується.

Подібне явище намагалися пояснити різкою зміною потоку нагрітих газів між муфельними каналами не наводячи будь-яких доказів.

Таблиця 3.3 - Температура (°C) у дев'яти точках муфеля і під склепінням камери при тривалості випалення 350ч

Під сводом	верх			середина			низ		
	100	530	900	100	530	900	100	530	900
100	52	40	35	72	42	30	35	38	32
200	55	60	81	65	65	69	62	65	75
300	40	110	158	73	121	148	69	130	-
395	52	130	225	102	170	202	95	175	290
500	113	233	329	158	238	295	147	256	329
600	170	320	400	212	312	262	200	342	400
700	288	397	468	285	375	425	280	400	460
800	450	468	543	382	492	492	-	457	527
900	618	582	625	468	490	563	517	512	591
1000	660	632	708	530	552	632	608	570	600
1100	760	727	798	618	638	720	650	642	740
1200	815	788	855	682	702	772	795	700	795

Примітка: 1. Вгору, середина, низ - відстань від поду муфеля: 2500, 1600, 500 мм. 2. 100, 530, 900 - відстань від зовнішньої стінки, мм.

Таблиця 3.4 - Швидкість підйому температури під склепінням камери в різних ділянках в обсязі муфеля, °C/год

Час від початку компанії, ч	Під сводом	верх			Низ		
		100	530	900	100	530	900
1	2	3	4	5	6	7	8
70	3,0	0,4	1,3	2,1	0,2	1,7	2,3
107	3,0	0,3	0,6	2,1	0,8	1,4	1,8
138	3,1	1,8	3,1	3,1	1,7	2,4	2,8

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
172	3,1	1,7	1,7	2,0	1,6	2,6	2,3
204	4,0	4,7	3,1	2,9	3,2	2,3	2,4
229	5,5	9,1	3,9	4,0	8,3	3,1	3,6
247	6,6	11,2	4,2	5,4	0,3	3,6	4,6
262	11,0	4,5	9,0	7,5	6,2	3,4	6,0
337	7,6	7,6	7,4	6,9	3,2	5,5	6,1

Зазвичай технологи підприємств пояснюють це явище більш високими втратами тепла через наружню стінку.

Ми не можемо погодитися з таким поясненням. По-перше, через наружню стінку не губиться тепло в навколишнє середовище, оскільки піч на всю висоту заглиблена в ґрунт. Отже, втрати тепла можуть бути тільки на акумулювання тепла кладкою і прилеглим ґрунтом. Це значно менше, ніж втрати в навколишній простір, тому що зберігається частина акумульованого тепла від попередньої кампанії.

По-друге, протилежна (зовнішня) стінка муфеля обігриває два сусідніх муфеля. Так, всі стінки муфеля мають однаковий перетин каналів, через які протікають обігривають газу; отже, через муфелі біля зовнішньої стінки і через муфелі простінка протікає однакову кількість теплоносія. Як муфельний простінок, так і муфельні канали, розташовані у зовнішньої стінки, ділять: у першому випадку на дві рівні частини між двома муфелем, а в другому випадку - між муфелем і кладкою печі. Неважко показати, що втрати тепла через кладку печі не вище витрати тепла через простінок в сусідній муфель.

Більш глибокий аналіз дозволив зробити інший висновок, більш відповідний дійсному стану речей. Змінний свод неможливо встановити герметично над камерою. Отже, по всьому периметру камери відбувається підсмоктування холодного повітря. Чим далі камера знаходиться від камери

вогню, тим розрідження в ній вище, тим більше засмоктується холодного повітря. Це холодне повітря поступає у камеру, попрямує в найближчий муфельний канал, розташований біля зовнішньої стінки, який різко знижує температуру обігрівальних газів, розбавляючи продукти спалювання опалювального газу, які надійшли до цього місця.

Крім того, холодне повітря, потрапляючи в нагріту атмосферу, швидко розширюється у своєму обсязі, створюючи умови, при яких в муфельні канали буде надходити менша кількість гарячих газів.

З підвищенням температури в камері, а це можливо тільки при наближенні до вогневої камери, розрідження в ній знижується і підсос повітря відповідно зменшуються. Крім того, в цих камерах запалюються додаткові пальники для підтримки температурного режиму, живлення яких проводиться холодним повітрям. Все це призводить до різкого разубоживання нагрітих газів холодним повітрям, внаслідок чого відбувається вирівнювання температурних умов по всьому перетину камери і зрештою до вирівнювання швидкостей підйому температури у всіх муфельних каналах незалежно від їх місцезнаходження.

Однак це вирівнювання відбувається при настільки високих температурах, коли міграційні процеси сполучних припиняються, а також закінчилися процеси коксоутворення з сполучних. При більш низьких температурах зберігається різке відмінність швидкостей підйому температури біля протилежних стінок муфеля, створюється градієнт температур, що сприяє переміщенню зв'язующої в горизонтальному напрямку.

Порівнюючи температурні режими (див. табл. 3.1 і 3.2), слід зробити висновок - встановити закономірність зміни температури нагрівання для камери або для будь-якої точки в муфелі не представляється можливим. Ні напрямок, ні величина градієнта температур не залишаються постійними для однаково заданих умов випалу як по завантаженню, так і по температурному режиму. Однак можна відзначити загальне явище - у верхніх горизонтах

градієнт температур вище, ніж у нижніх. Температурні градієнти по вертикалі різні на різних відстанях від гріючої стінки.

Температурний градієнт по вертикалі в початковий період кампанії не перевищує $0,45^{\circ}\text{C}/\text{см}$; надалі він досить різко зростає і досягає $1,0 - 1,3^{\circ}\text{C}/\text{см}$. При цьому в нижніх ділянках муфеля температурний градієнт по висоті змінюється рівномірно і не перевищує $0,6^{\circ}\text{C}/\text{см}$, у той час як у верхніх зонах, особливо біля зовнішньої стінки, спостерігаються різкі його зміни.

Зміна температурного градієнта в горизонтальних площинах відрізняється як за величиною, так і за характером. Градієнт температури в бік зовнішньої стінки різко зростає і при температурі $\sim 300^{\circ}\text{C}$ в середніх зонах досягає $2,3-3,5^{\circ}\text{C}/\text{см}$. Різниця температур по діаметру заготовок електродів $300-500$ мм досягає $60-100^{\circ}\text{C}$ для електродів, розташованих біля внутрішньої стінки, і $100 - 170^{\circ}\text{C}$ для заготовок, розташованих біля зовнішньої стінки (при температурах у центрі муфеля 300°C).

Підводячи підсумки проведених експериментів, слід ще раз підкреслити, що температурні градієнти по висоті муфеля досягають $3,5^{\circ}\text{C}/\text{см}$, а по ширині муфеля даже $6^{\circ}\text{C}/\text{см}$.

У практиці електродної промисловості прийнято вважати, що збільшення тривалості циклу випалу сприяє поліпшенню якості продукції (в даному випадку виключаємо питання тріщино-утворення).

Однак, як видно з викладеного, витримати заданий графік (в обсязі завантаження) не представляється можливим. Збільшення загальної тривалості призводить до невиправдано довгому підйому температури до 250°C , коли найбільш інтенсивно протікають процеси переміщення пов'язує. І замість надії на поліпшення якості випальваної продукції ми стикаємося з зворотним явищем - якісні характеристики знижуються (мається на увазі ступінь неоднорідності в обсязі виробу). Повторюємо, в умовах багатоканальних сводових печей не можна раціонально реалізувати гідності подовжених режимів випалу. На якісні характеристики електродів будуть чинити величезний вплив питання рецептурного порядку.

3.3 Вплив зовнішніх і внутрішніх обігрівали стінок

З промислової практики відомо, що властивості обпалених електродних виробів, розташованих у різних обігрівальних стінок муфеля, неоднакові. На рис. 3.5 показана схема розташування обігрівують стінок муфелів. Близько половини їх розташовано біля зовнішніх стінок камери, і кожен канал муфеля обігриває з одного боку завантажені електроди, а з іншого - зовнішню стінку. Протилежна обігриваюча стінка розташовується біля сусіднього муфеля і обігриває однією стороною один муфель, а інший - другий муфель.

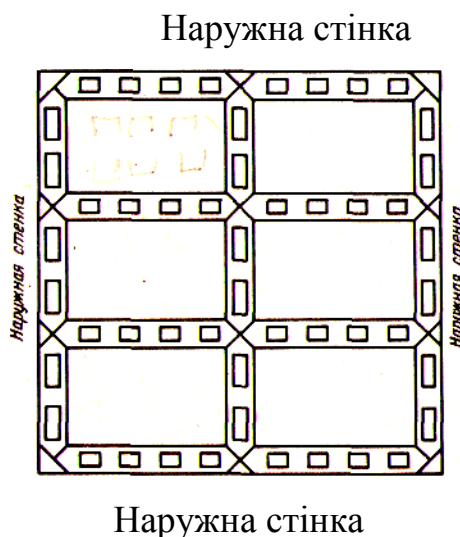


Рисунок 3.5 - Схема розташування обігриваючих стінок камери

Ширина муфеля близько 960 мм, і при завантаженні виробів великих перерізів (діаметром більше 500 мм) вони піддаються нагріванню від двох протилежних обігривають стінок. Електроди ж менших перетинів однією стороною розполагаються ближче до обігриваючої стінці, а другий - до сусіднього електроду, обігриваємому головним чином протилежної обігриваючої стінкою.

Дослідженню піддалися електродні заготовки діаметром 300 мм і довжиною 1800 мм (однієї партії пресування). Електроди обпікалися у верхньому ряду (ярусі) муфеля при тривалості випалу 360 ч. Дослідженню

піддалися два електроду, причому вони завантажувалися в муфель таким чином, щоб один з них був звернений до обігрівуючої стінці біля зовнішньої стінки, а інший - до протилежної обігрівуючої стінці, біля сусіднього муфеля. Схема завантаження та місця відбору проб показані на рис. 3.6.

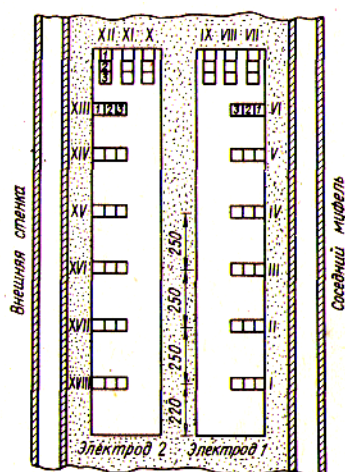


Рисунок 3.6- Схема завантаження електродів та місця відбору проб

Здавалося б, що в даному випадку обігрів випалюються, електродів як з одного боку, так і з іншого боку муфеля повинен бути однаковий і, отже, слід очікувати однакових результатів за властивостями обпалених електродів. Однак, як побачимо нижче, отримані дані досліджень не підтверджують ці припущення.

У таблиці 3.5 - наведені результати дослідження відібраних зразків проб (рис. 3.6). Відбирали по три проби з кожної ділянки електрода, в таблиці 3.5 приведені середні величини.

Таблиця 3.5 - Характеристика електродів, обпалених біля зовнішньої внутрішньої стінок муфеля (рис. 3.6)

Проби електродів	Об'ємна маса, г/см ³	Пористість, %	Міцність на стиск, МПа
I (XVIII)	1,6(1,58)	22,4(23,3)	47,7(41,4)
II (XVII)	1,59(1,57)	22,7(24,2)	47,6(41,2)
III (XVI)	1,59(1,56)	22,8(24,6)	50,5(41,7)
IV (XV)	1,59(1,57)	22,8(24,6)	45,6(41,7)
V (XIV)	1,58(1,57)	22,4(24,6)	43,6(40,4)
VI (XIII)	1,57(1,57)	23,8(24,0)	42,0(38,8)
VII	1,63	21,0	55,0
VIII	1,6	22,1	54,1
IX	1,55	24,7	33,8
X	1,56	24,9	46,2
XI	1,56	24,1	46,5
XII	1,55	24,0	38,7

Примітка. Без дужок - проби електродів, розташованих біля стінки, зверненої до муфелем; в дужках - проби електродів, розташованих біля стінок, звернених до зовнішньої стінки.

У таблиці 3.5 дані розташовані таким чином: дві сусідні рядки, дані яких укладені в загальну рамку, відповідають показникам властивостей для одного і того ж горизонту, але для електродів, розташованих в різних місцях муфеля. За всіма якісними характеристиками електроди, розташовані біля зовнішньої стінки, мають нижчі показники.

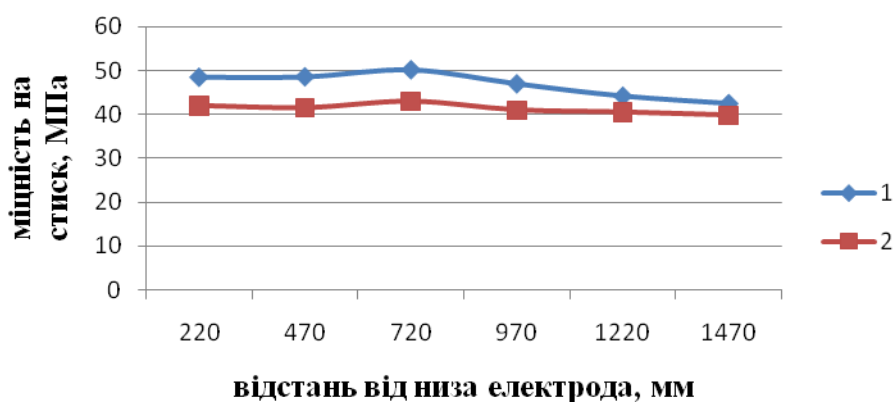
Верхні торці обігриваються не тільки через муфельну стінку, але і від нагрітих газів під склепінням печі (проби VII, VIII, IX і X, XI, XII). У цьому випадку також зберігається та ж залежність, яка відзначена вище, - електрод, розташований ближче до зовнішньої стінки, має знижені показники.

Особливо велика різниця показників для проб VII і XII, характерні участки електродів, звернені безпосередньо до муфельним стінок. Протилежного боку електродів (проби IX і X), що знаходяться в безпосередній близькості один до одного, хоча і відрізняються за якісними характеристиками, але незначно.

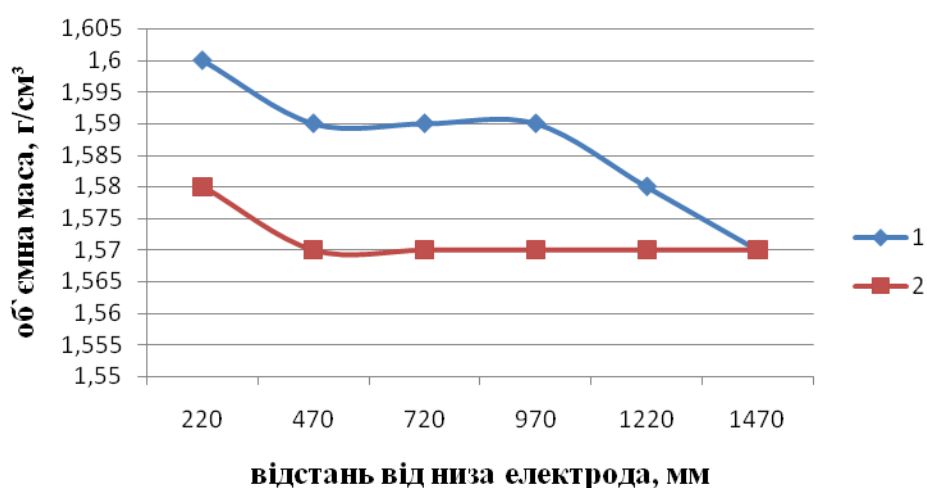
Розглядаючи дані, поміщені в таблиці 3.5, слід зазначити, що знову підтверджується залежність зміни властивостей по довжині електрода. Для електрода, що знаходився при випалюванні біля стінки, зверненої до муфелем, ця залежність виражена більш яскраво. Для електрода, обпалювати біля зовнішньої стінки, ця залежність також виражена, але в меншому ступені. Порівнюючи якісні характеристики двох електродів, слід зазначити, що ці характеристики для електрода, обпаленої біля зовнішньої стінки, нижче. Однак однорідність властивостей цього електрода більш висока, ніж для електрода, обпаленої біля протилежної стінки. Тому з точки зору роботи електрода в сталеплавильної печі електрод, обпалювальний біля зовнішньої стінки, може показати кращі результати.

Для ілюстрації на підставі даних таблиці 3.5 побудована графічна залежність властивостей електродів залежно від розташування їх у муфелі (рис. 3.7). Для електрода, розташованого біля стінки муфеля, міцність коливається в межах 51,5-41,9 МПа (коливання становить 86 од.), А для електрода, розташованого біля протилежної стінки, 42,0-39,6 МПа (коливання становить 24 од.).

Маса для першого випадку змінюється в межах 1,60-1,57 г/см³, а в другому 1,58-1,57 г/см³. Досить наочно з'ясовується залежність зміни властивостей по висоті обпаленої електрода, причому підтверджується висловлена раніше залежність зміни властивостей від верхнього торця до нижнього.



а)



б)

- 1 - електрод, розташований у сусіднього муфеля;
 2 - електрод, розташований біля зовнішньої стінки

Рисунок 3.7 - Зміна властивостей електрода в залежності від відстані від граючої стінки

Результати досліджень дозволяють зробити досить важливий висновок, що обпальвані електроди в сводовій випалювальній печі неоднорідні за своїми властивостями як в обсязі одного електрода, так і в обсязі партії електродів, обпалених в одній камері.

Промислова оцінка якості електродної продукції визначається середньою величиною обумовлених технічними умовами властивостей. Питомий електричний опір знаходимо для цілого електрода, а механічні властивості - для зразків, відібраних в обумовлених містах електродів.

Вище було звернуто увагу головним чином на міцнісні характеристики і об'ємну масу. Електричні властивості також неоднорідні в обсязі електрода. На доказ цих висновків наводимо експериментальні данні. Витягнуті з печі електроди піддавалися вимірюванню на електричну провідність. Потім електроди розрізали на три частини - верх, середину і низ. З кожної частини було відібрано 12 проб. Кожна проба піддалася вимірюванню. Нижче наводяться результати цих експериментів

Таблиця 3.6 - Питомий електричний опір електродів, Ом-мм²/м:

	I	II	III	IV
Цілий електрод	45,2	42,1	48,8	43,9
Для зразків	45 – 55	42 - 61	47 - 61	42 - 54

Експлуатаційні властивості електродних матеріалів не повинні визначатися середніми значеннями якісних характеристик. Це було б закономірним тільки в тому випадку, якщо виріб мав однорідні властивості по всьому об'єму.

Неоднорідність властивостей по всьому об'єму виробу знижує його експлуатаційні стійкість; наприклад, якщо виріб знаходиться під механічною або струмовим навантаженням, можливий місцевий перегрів і розтріскування в ослаблених місцях. Різна щільність за обсягом сприяє передчасному зносу виробу при експлуатації.

3.4 Вплив температурного поля печі на зміну властивостей по довжині електрода

У промисловій практиці давно відмічено, що проби, відібрані в різних ділянках по довжині обпаленої електрода, значно відрізняються за своїми якісними характеристиками. Однак цьому факту не надавали належного значення; не з'ясовані також причини, що викликають це явище, і не розроблені заходи щодо їх запобігання.

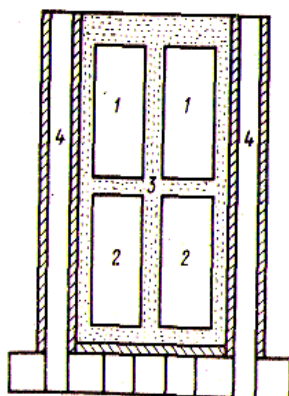
Залишилося не з'ясованим, чи існує яка-небудь залежність в розподіленні властивостей в тілі обпаленої електрода або це випадкове явище, викликане причинами, які важко піддаються обліку, беручи до уваги багато-передільність виробництва електродів.

Нижче наводяться результати експериментальних робіт у цій області, які дозволили отримати цілком певну залежність зміни властивостей по довжині НЕ обпаленої електрода від положення його в муфелі камери. Дослідження проводилися в промисловій печі. Електроди завантажувалися в два яруси. На рис. 3.8 показана завантаження електродів в муфелі. У табл. 3.7 наводяться дані випробування обпалених електродів.

Таблиця 3.7 - Характеристика властивостей електродів, обпалених в різних зонах випалювальної печі (електроди вугільні, діаметр 300 мм)

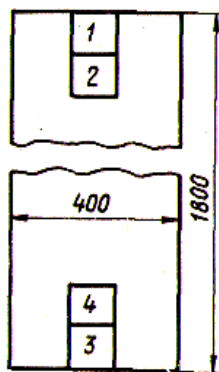
Ряд загрузки	Місце відбору пробу торці	Об`ємна маса, г/см ³	Пористість, %	Межа міцності , МПа		
				стиск	вигин	ростяг
Верхній ряд	Верхній	1,509	25	26,0	7,3	2,6
	Нижній	1,535	23	31,4	1,0	3,0
Нижній ряд	Верхній	1,514	24	26,1	8,3	3,0
	нижній	1,542	23	30,8	9,1	3,6

Об'ємна маса та характеристики міцності у всіх випадках вище для нижнього торця, ніж для верхнього. Ця залежність дотримується для обох рядів (ярусів) завантаження електродів. Для нижнього ряду завантаження електродів розкид показників дещо менше, ніж це спостерігається для верхнього ряду



1 - верхній ряд електродів; 2 - нижній ряд електродів;
3 - засипка; 4 - обігриваючі канали

Рисунок. 3.8 - Муфель, завантажений електродами



1, 2 - верхній торець; 3, 4 нижній торець

Рисунок 3.9 - Схема відбору проб.

Властивості по висоті електрода в основному змінюються від одного кінця до іншого рівномірно.

Дослідженню піддавалися вугільні та нафтові заготовки діаметром 300 мм, довжиною 1700 мм. Випал проводився по 420-ч графіком. Нафтові заготовки піддалися графітуванню. З графітірованих електродів від верхніх і нижніх торців були відібрані проби у вигляді дисків товщиною 100...150 мм, з яких виготовлялися зразки для випробувань. Результати випробувань:

Таблиця 3.8 - Результати випробувань

Показник	Верхній торець	Нижній торець
Об'ємна маса, г/см ³	1,582	1,602
Межа міцності, МПа		
На стиск	16,1	18,9
На вигін	8,3	8,9
На розрив	2,6	3,6

З цих даних видно, що неоднорідність властивостей, отримана на випалюванні, зберігається і після графітуванні, а так як це остання технологічна операція, отже, неоднорідність властивостей збережеться і в готовій продукції.

М.А. Фріш [26] з співробітниками також зафіксував яскраво виражену залежність зміни властивостей обпалених електродів по довжині. Нижні торці завжди були більш міцними і щільними (табл. 3.9).

Як видно з цих даних, щільність верхнього торця помітно відрізняється від щільності нижнього. Слід важати, що по довжині електрода від верхнього торця до нижнього вона змінюється поступово.

Таблиця 3.9 - Характеристика властивостей за довжиною електрода

Маркіровка проб	Місце відбору проб	Об`ємна маса, МПа	Межа міцності на стиск, МПа
1/4	Верхній торець	1,54 – 1,57	30,8 – 34,1
	Нижній торець	1,58 – 1,59	42,2 – 51,9
2/7	Верхній торець	1,57 – 1,58	32,7 – 37,5
	Нижній торець	1,58 – 1,61	45,1 – 55,9
3/3	Верхній торець	1,54	39,7
	Нижній торець	1,57	49,0

Балансові випробування випалювальних печей також показали аналогічну залежність властивостей по довжині електрода (табл. 3.10) [досліджувався електрод діаметром 400 і довжиною 1800 мм; проби відбиралися за центрами верхнього і нижнього торців (рис. 3.10)].

Таблиця 3.10 - Характеристика свойств за довжиною випаленого електрода

Місце відбору проб (див. мал. 2.2)	Об`ємна маса, г/см ³	Межа міцності за стиском, МПа
Верхній торець (1)	1,60	46,8
Верхній торець (2)	1,59	38,0
Нижній торець (3)	1,61	47,6
Нижній торець (4)	1,63	54,5

Зазначена закономірність зміни властивостей обпаленої електрода по довжині характерна як для електрода верхнього ярусу (перший ряд зверху) завантаження муфеля, так і для електродів нижнього ярусу. Цей висновок зроблено на підставі численних спостережень і спеціально виконаних досліджень. Останні полягали в тому, що два електроди розташовувалися один над одним, у двох сусідніх ярусах (рис. 3.11), причому ці два електроди

володіли досить високими однорідними властивостями, оскільки виготовлялися з одного замісу і однієї пресування. Здавалося б, що властивості нижнього торця обпаленої електрода верхнього ярусу повинні бути близькі до властивостей верхнього торця електрода нижнього ярусу. Електроди розташовувалися один над одним на відстані 50 мм, і температурний режим для цієї ділянки, по суті, був однаковий. Насправді ж їх властивості сильно відрізняються (рис. 3.11), наприклад міцність на стиск нижнього торця електрода верхнього ярусу дорівнює 44 МПа, а верхнього торця сусіднього електрода (нижнього ярусу) 35 МПа. З усього сказаного випливає, що для кожного електрода, незалежно від місця знаходження в муфелі, зберігається зазначена вище закономірність зміни властивостей по довжині обпаленої електрода.

Якщо в камеру печі помістити електрод подвоєною довжини і піддати його дослідженню після випалу, то виявиться, що на сусідніх ділянках по середині довжини електрода властивості їх будуть дуже близькі (рис. 3.11). Загальна ж закономірних зміни властивостей електрода по довжині зберігається.

Якщо ж вчинити навпаки, розрізати довгий зелений електрод на три частини і завантажити їх в піч один над одним, то виявиться, що обпалені частини електрода відрізняються за властивостями по довжині в такій же залежності, як це продемонстровано для двох електродів на рис. 3.11.

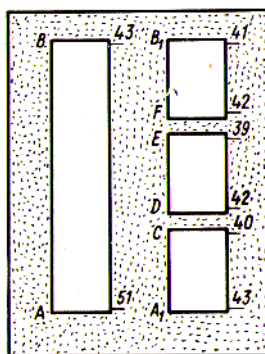


Рисунок 3.10 - Властивості вугільного блоку довжиною 3 м і розрізаного на три частини

При поділі зеленого електрода на частини зміна властивостей по довжині кожної частини електрода підпорядковане загальною встановленою закономірності і залежить від положення в камері і умов, в яких вони проходять термічну обробку (рис. 3.11).

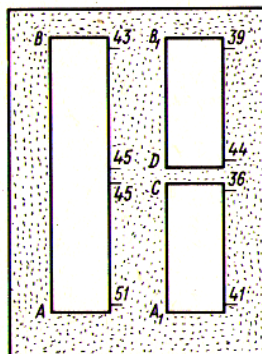


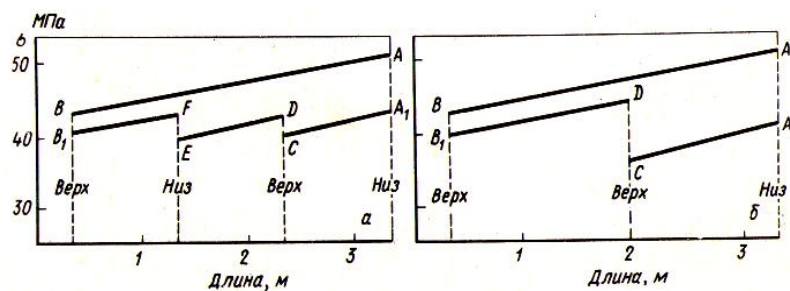
Рисунок 3.11 - Характеристики міцності електродів в залежності від їх положення в муфелі

Як вже зазначалося вище, в процесі випалу помітних змін з твердим наповнювачем не відбувається. Отже, настільки різка зміна властивостей в обсязі випалювального електрода залежить від специфічної поведінки пов'язує.

На закінчення слід сказати кілька слів про такий властивості електродів як електропровідність. це властивість також неоднорідне по довжині обпаленого електрода.

Однак воно змінюється в протилежній залежності, ніж об'ємна маса і міцність. Верхня частина електрода менш щільна і слід було б очікувати, що електропровідність її буде гірше, ніж в нижній частині; насправді електропровідність її вище. У даному випадку відіграють роль зовсім інші фактори. Безсумнівно, щільність електрода впливає на електропровідність, але ще більшою мірою впливає гранична температура, впливу якої піддавалася та чи інша частина електрода.

У табл. 3.11 наведені дані дослідження електропровідності по довжині електрода.



а - електрод, розрізаний на три частини;

б - електрод, розрізаний на дві частини

Рисунок 3.12 - Схематичне представлення зміни властивостей по довжині електродів

Таблиця 3.11 - Питомий електричний опір, окремих частин обпаленої електрода залежно від положення в муфелі. Ом.мм / м

Верх електрода		Низ електрода	
Сторона звернена до гріючої стінці	Сторона звернена до сусіднього електроду	Сторона звернена до гріючої стінці	Сторона звернена до сусіднього електроду
47,5	49,4	49,1	50,2
46,3	47,6	48,1	53,5
49,1	50,0	52,4	56,7
49,4	54,5	51,7	60,0
48,6	48,8	49,0	53

З цих даних видно, що верхня частина електрода завжди має більш високу електропровідність, ніж нижня. Максимальна температура, якої зазнавали в процесі випалу верхня і нижня частини електрода, відрізняється майже на 150°C, що відповідає падінню температури від верхнього кінця до нижнього на один градус на погонний сантиметр висоти. У тій же табл. 3.11 приведено дані електропровідності двох протилежних бічних поверхонь електрода. Одна сторона звернена до гріючої стінці, а інша - протилежна до сусіднього електроду. Слід зауважити, що при численних дослідженнях

обпалених електродів постійно спостерігався великий розкид показників навіть для сусідніх проб. Можливо, на ці обставини впливала методика вимірювань і виготовлення проб.

Так, А.І. Аттманскім [47] наводяться дані досліджень, з яких видно, що електропровідність по довжині обпаленої електрода закономірно змінюється від верхнього торця до нижнього, але їм також виявлено, що властивість електропровідності змінюється в тому ж напрямку, що щільність і міцність електрода, тобто у зворотній залежності, ніж було наведено вище.

З усього сказаного одне тільки безперечно, що за цим показником електроди неоднорідні в своєму обсязі і коливання показників досягають досить великих значень 10...15%.

В промисловій практиці зазвичай про якість електродів судять по електропровідності, вимірюючи для цілого електрода. Передбачається, що електрод володіє однорідною електропровідністю. Виходячи з цих міркувань рекомендовані ГОСТ 4426-71 і ГОСТ 4425-62 величини питомих струмових навантажень при експлуатації електродів. У дійсності, як це було продемонстровано, електрод неоднорідний за електропровідності і коливання цього показника значні. При експлуатації електрода на електропечі електричний струм по всьому перетину електрода протікає однакової сили. Нагрівання ж окремих частин електрода за рахунок джоулевого ефекту буде неоднаково, що може служити причиною, якщо не поломки, то збільшених витрат.

Неоднорідність властивостей в обсязі одного виробу завжди знижує експлуатаційний ефект, навіть у тих випадках, коли, вироби не піддаються струмовим навантаженням. Доменні блоки, довжина яких сягає 3 м, мають ще більшу неоднорідністю властивостей, ніж електроди, що мають менші розміри по довжині. Для цього відповідального виду продукції неоднорідність властивостей може призвести до аварійної ситуації на доменній печі.

Висновки до розділу 3

1. Проведено дослідження способів нагріву електродних заготовок в процесі карбонізації. Встановлено механізми підводу тепла до заготовок через засипку від факелу горілок природного газу під сводом печі та від нагрітих стінок камер печі.

2. Представлено характеристики температурних полів по об'єму камери при зовнішньому та внутрішньому підводі тепла.

3. Встановлено вплив температури процесу карбонізації на вихід низькомолекулярних летючих, пористості та щільності карбонізованих заготовок електродів.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху карбонізації

У цеху карбонізації, технологічні операції відбуваються як безперервно, так і періодично. У цих умовах небезпечні і шкідливі виробничі чинники проявляють себе як постійно, так і періодично.

До постійно діючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників відносяться: теплові випромінювання (більше 350 Вт/м^2) [12], запилення, загазованість, шум, вібрації.

До періодично діючих небезпечних і шкідливих виробничих чинників відносяться: переміщення вантажів (великої кількості сировини, напівфабрикатів, готової продукції і відходів виробництва), частини механізмів і устаткування, що обертаються, працюють в запиленому середовищі при низьких або високих температурах, підвищене значення напруги в електричних ланцюгах. У цих умовах вимагається безумовне забезпечення безпеки виробничого устаткування, дотримання вимог ГОСТ 12.2.003-74 та ГОСТ 12.2.049-80.

Виробництво цеху відноситься до I групи виробничих процесів [17]. По [17] до першої I групи відносять виробничі процеси при нормальних метеоумовах і відсутності виділення пилу і шкідливих газів. Особисті речі працівників зберігаються в шафах з відділеннями шириною 33 см, заввишки 1,5 метра, по одному на одну людину. Кількість кранів в умивальнику 2 штуки, з розрахунку 1 кран на 4 людини. Знаходиться дві душові сітки, розраховані кожна на 5 чоловік. Вода в душових і умивальнику стікає в каналізаційні отвори, розташовані в підлозі. Забезпечення робітників питною водою здійснюється установкою в цеху автомата газованої води АВ-1.

Основними особливостями процесу карбонізації заготівель є роботи по випалу заготовок у випалювальних печах, ці роботи пов'язані з наступними шкідливими і небезпечними чинниками:

Токсикологічну небезпеку представляють:

- пари пека кам'яновугільного;
- конденсат пари пека (смола).

Пожежну небезпеку представляють:

- конденсат пари пека (смола);
- природний газ.

Токсикологічна і пожежна характеристики сировини, матеріалів і шкідливих речовин і їх дія на організм людини приведені в таблиці 4.1.

Шкідливі чинники при веденні технологічного режиму:

- вуглецевий пил;
- пари пеку (вентиляційні системи, установка дожига летких речовин);
- природний газ /оксид вуглецю(газові комунікації);
- шумові дії (димососи).

Гранично допустимі концентрації, рівні шкідливих чинників і їх токсикологічна дія на людину приведені в таблиці 4.1.

Небезпечні чинники при веденні технологічного режиму:

- теплове випромінювання (при пересадці заготівель з печі нагріву в просочувальну ванну);
- можливість падіння (при виконанні робіт на висоті);
- поразка електричним струмом (підйомно-транспортне устаткування, трансформатори, токопідводящі пристосування);
- дія рухомих механізмів (мостові крани, автомобільний транспорт), що обертаються.

Таблиця 4.1 - Гранично допустимі концентрації, рівні шкідливих чинників і їх токсикологічна дія на організм людини

Шкідливе з'єднання	ГДК (ПДУ) мг/м ³	З'єднання речовин в роб. зоні мг/м ³	Ознаки отруєння	Наслідки тривалого контакту з речовиною	Заходи по запобіганню впливу шкідливих чинників	Примітка
Вуглецевий пил	6	4,7	-	Фіброгенна дія	періодичний контроль вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони	Клас небезпеки 4 [21]
Пари пека	0,2	0,155	Втома, задишка, почервоління шкіри	Концерогенна, загальнотоксикологічна, фотодинамічна дія	розливи пека, смоли, масла повинні негайно засипатися піском або деревною тирсою і бути прибрані в спеціально відведений контейнер	Клас небезпеки 2 [21]
Оксид вуглецю (СО)	20	17,6	Викликає задуху	Отруйні дії	аспіраційні укриття технологічного устаткування	Клас небезпеки 4 [21]
Шум	85 дБА	76 дБА	-	Підвищує стомлюваність	звукопоглинальні облицювання устаткування	

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху карбонізації

Основні організаційно-технічні заходи щодо захисту від шкідливих і небезпечних чинників (відповідно до "Загальних правил безпеки для підприємств і організацій металургійної промисловості"):

- попереджувальні плакати і написи, схеми (на робочих місцях вказані схеми строповок, небезпечні зони при веденні процесу і переміщенні вантажів);

- сигнальні знаки безпеки по ГОСТ 12.4.026-76; світлова і звукова сигналізація; обгороджування (встановлені в усіх частинах устаткування, що обертаються і рухомих).

- обгороджування виготовлені з листової сталі або сітки з розміром осередків не більш за 20x20 мм;

- пристрої (обладнані на машинах, що транспортуються, для екстреної їх зупинки в аварійних ситуаціях), що вимикають, по БП.2-СТП-16-96;

- гальмівні пристрої;

- заземлення устаткування;

- регулярне прибирання відходів виробництва (прибирання відходів виробляється у кінці зміни або в процесі її).

- складування відходів виробляється тільки в місцях, віддалених від робочих місць і проходів;

- періодичний контроль вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони згідно ГОСТ 12.1.005-88;

- знання працівниками правил охорони праці, своєчасний періодичний інструктаж їх;

- надійна теплоізоляція печей нагріву, де відбувається нагрів обпалених напівфабрикатів, зводить до мінімуму тепловиділення на ділянці. Теплоізоляція виконана з шамота класу "С".Цей же захід попереджає опіки робітників.

- з метою усунення шкідливих впливів шумовіброуючих агрегатів на людину передбачена установка їх на віброізолюючі підстави, виконані з гуми, укриті кожухами з листового металу, з внутрішнім звукопоглинальним облицюванням, що знижують рівень шуму на 20-30дБ [13];

- аспіраційні укриття технологічного устаткування;

- розливи смоли, масла повинні негайно засипатися піском або деревною тирсою і бути прибрані в спеціально відведений контейнер;

- система бірки по БП.2–СТП–6–01;

- ключ-бірочна система по СТП–071–04;

Для захисту обслуговуючого персоналу від поразки електричним струмом передбачені надійна ізоляція токоведущих частин, запобіжні реле на щиті КПП. Захисне заземлення електроустаткування контурне. Надійна герметизація замочної арматури, а також повна автоматизація дозволяє попереджати небезпеку вибуху. Організація заходів щодо усунення небезпек в цеху передбачає своєчасне проведення інструктажу по ТБ. Що усі працюють в цеху повинні дотримувати технологічну і виробничу дисципліну.

Для запобігання опікам служать куртки, щільні бавовняні брюки, брезентові рукавиці. У цеху використовуються агрегати і електропристрої з напругою до 1000 В. По мірі надійності захисні засоби підрозділяють на основні і додаткові. До основних відносяться: діелектричні рукавички, інструмент з ізольованим руків'ям, покажчики напруги, а до додаткових - діелектричні галоші, гумові килимки, ізольовані підставки. Для захисту органів дихання від газів завантажувальники як індивідуальні засоби захисту використовують "Акація"-ГП-А. Індивідуальні засоби захисту і оснащення робітників спец. одягом приведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Індивідуальні засоби захисту і оснащення робітників спец. одягом

Професія	Спец. одяг і СІЗ	ГОСТ	Термін служби
1	2	3	4
Майстер	Каска від механічних ушкоджень	12.4.087-84	До зносу
	Костюм х/б	2757-87	12 місяців
	Куртка х/б на підкладці, що утеплює	29335-92	36 місяців
	Черевики робітничі	28507-99	12 місяців
	Рукавиці брезентові	12.4.010-75	1 пара на місяць
	Мило господарське	4544:2006	4 шматка на місяць
	Респіратор "Акація" ГП-А	40-01530125-2001	1 шт на місяць
Завантажувач	Натільна білизна	13709-86	6 місяців
	Мило туалетне	28546-2002	1 кусок на місяць
	Захисна паста ХІОТ-6	17269-71	100 гр на місяць
	Респіратор "Акація" ГП-А	40-01530125-2001	4 шт на місяць
	Каска від механічних ушкоджень	12.4.087-84	До зносу
	Костюм х/б	2557-87	6 місяців
	Куртка х/б на підкладці, що утеплює	29335-92	24 місяці
	Черевики робітничі	28507-99	6 місяців
	Мыло хозяйственное	4544:2006	4 куски на місяць
Крановий машиніст	Костюм х/б	2757-87	12 місяців
	Рукавиці брезентові	12.4.010-75	4 пари на місяць
	Респіратор "Акація" ГП-А	40-01530125-2001	4шт на місяць
	Мило господарське	4544:2006	4 шматка на місяць
	Каска від механічних ушкоджень	12.4.087-84	До зносу

4.3 Мікроклімат

Метеорологічні параметри повітряного середовища виробничих будівель і на робочих місцях повинні забезпечуватися виконанням вимог СНиП II - 33-75, СН 245-71 і стандартів ССБТ ГОСТ12.1.005-76, ГОСТ 12.4.021-75. Відповідно до вимог стандарту ССБТ метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті 2 м над рівнем підлоги. Згідно [16] нормальними умовами праці вважаються, якщо температура навколишнього повітря знаходиться в межах 18-22°C, відносна вологість складає 40-60%, а швидкість руху повітря 0,1-0,2 м/с. Для боротьби з надлишковим теплом і пилом в приміщенні цеху організована природна вентиляція - аерація. Аерація організована за схемою руху повітря від низу до верху, при цьому припливне повітря подається в робочу зону через відкриті отвори на рівні близько 2 м від підлоги. На покрівлі будівлі встановлений аераційний ліхтар.

В цеху також передбачена загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням. Вентиляція забезпечує чотирикратний повітрообмін. У кімнаті майстра і вбиральні встановлений кондиціонер типу БК- 1500. Якісне регулювання системи кондиціонування допомагає підтримувати задані мікрокліматичні параметри в приміщенні (температуру, вологість і швидкість руху повітря).

4.4 Освітлення виробничих приміщень

Освітлення приміщень і робочих місць відповідає вимогами СНиП II - 4 - 79 "Природне і штучне освітлення". Природне освітлення в цеху рівномірно розподіляється через шість вікон заввишки два метри, розташованих в зовнішніх стінах будівлі.

Зорові роботи, що проводяться в цеху, відносяться до VIII розряду - роботи, пов'язані із загальним спостереженням за ходом виробничого процесу з періодичною присутністю людей. Згідно [15] для VIII розряду

зорових робіт коефіцієнт природного освітлення дорівнює 0,5 %. Фактично коефіцієнт природного освітлення дорівнює 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 зорових робіт складає 50 Лк. Фактично це вимога в цеху виконується.

Для запобігання затемненню робочих місць мостовими кранами має бути передбачене додаткове підкранове освітлення світильниками, підвішеними до ферм крану. Для аварійного освітлення застосовують лампи розжарювання типу МО, потужністю 15 Вт, зі світловим потоком 180 Лм, напругою 36 і 12 В. Освітленість коридорів і допоміжних приміщень (умивальні, вбиральні і так далі), а також сходів складає 30 Лк [16].

4.5 Заходи з електробезпеки

Приміщення, в якому знаходяться електроустановки по вибухо і пожаронебезпеки відносяться до класу ВП- I [18] - приміщення, в яких при нормальній експлуатації утворюються вибухонебезпечні суміші, але це можливо при несправностях або аваріях. У цеху встановлено наступне електроустаткування:

- трансформаторна підстанція (одна робоча, інша резервна) КТП22-10000;
- чотири трансформатори ОСУ- 100/0,5 для нагріву печі;
- два відцентрові вентилятори В-Ц4-75-6,3.

Електроустаткування відповідає вимогам класу ВП- I [7]. Цех по надійності забезпечення електроенергією відноситься до I категорії. Отже, переобrazуюча підстанція цеху має жити від енергосистеми самостійними лініями високої напруги (110-220В). Проведення електроенергії виконується кабелем марки ААПВУ- 6 з прокладенням в земляній траншеї. Система електромережі трипровідна з ізолюваною нейтраллю.

4.6 Заходи пожежної безпеки

Відповідно до класифікації виробництв за вибуховою і пожежною небезпекам ділянку просочення слід віднести до категорії ВП- I [18] - пожаро-вибухонебезпечні. Група виробництв, віднесених до вказаної категорії, характеризується наявністю речовин, що не згорають, і матеріалів в холодному стані, але у разі порушень техніки безпеки або при аварії можуть привести до пожежі. Будівля цеху має I [18] міру вогнебезпечності.

Профілактичні протипожежні заходи.

У цеху має місце постійна небезпека виникнення пожежі. Відстань від найбільш видаленого місця до найближчого евакуаційного виходу складає 20 м, що відповідає нормі. На випадок пожежі робітники можуть покинути цех через ворота шириною два метри. Пожежний зв'язок і сигналізація організовані так, щоб швидко сповістити персонал що сталося.

Будівля цеху відноситься до II [18] категорії молніезахисту - промислові будівлі і споруди із зонами класів ВП- I [18], що розташовуються в місцевості з середньою грозовою діяльністю 10 і більше годин в рік. Об'єкти I - II категорії захищають від прямих ударів блискавки, від електростатичної і електромагнітної індукції, від занесення високих потенціалів через підземні металеві комунікації.

При II категорії молніезахисту [19], окрім громовідводів, що окремо стоять або встановлених на будівлях, допускається використовувати молнієприймальню сітку, що накладається на покрівлю. Заземлювачі громовідводів розміщені в рідко відвідуваних місцях на відстані 5 м і більш від проїжджих і пішохідних доріг. Молнієприймачі виготовлені із сталі (оцинковані або забарвлені): стрижневі - перерізом не менше 100 мм² і завдовжки не менше 200 мм і тросові (багатодротяний оцинкований трос) - перерізом не менше 35 мм².

Первинні засоби гасіння пожеж.

У цеху є первинні засоби гасіння пожежі.

Вуглекислотний вогнегасник ОУ- 8 - служить для гасіння загорянь вуглекислотою. Призначений для гасіння різних речовин, а також електроустановок під напругою до 10 кВ.

Легко-пінні вогнегасники ОПВ- 5. Зарядом в них є 6% водний розчин піноутворювача ПО- 1. Застосовується для гасіння невеликих пожеж різних твердих і рідких речовин. Є також ящик з піском, місткістю 1 м³, повсть і азбест (1'1м; 2'2м) - застосовують для гасіння загорянь з малою площею горіння.

Вказані первинні засоби пожежогасінні прийняті відповідно до нормативів залежно від категорії виробництва і площі виробничого приміщення [20]. Окрім названих первинних засобів гасіння пожежі в цеху є протипожежний водопровід низького тиску. Натиск має бути таким, щоб створювався струмінь води заввишки не менше 10 м від рівня землі протягом не менше 3 годин.

Витрата води складає 10 л/с, оскільки будівля цеху I - II [18] міри вогнестійкості категорії ВП- I [18] виробництва по пожежній небезпеці. Максимальний термін відновлення недоторканного протипожежного запасу води має бути не менше 36 годин - на промислових підприємствах з виробництвами, віднесеними по пожежній безпеці до категорії ВП- I [18].

4.7 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 випалу пропонується обладнати системами блискавкозахисту. Розглянемо участок просочення вугільних заготівель.

Схема ділянки зображена на рисунку 4.1. Розміри ділянки просочення заготівель: $v = 40$ м., $a = 15$ м., $c = 10$ м., $H = 18$ м., $H' = 25$ 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.

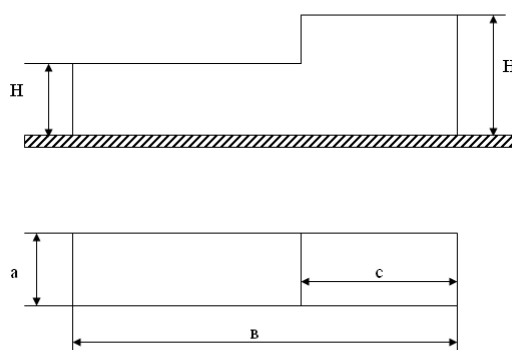


Рисунок 4.1 – Схема ділянки просочення вугільних заготівель цеху випалу

Відстань між блискавковідводами:

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

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

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 $h_{x1} = h_x = 18$ 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

$$r_x = (1,1 - 0,002h_1)(h_1 - h_{x1}/0,85);$$

$$10,5 = (1,1 - 0,002 \cdot h_1)(h_1 - 18/0,85).$$

Вирішимо рівняння відносно h_1 , отримаємо $h_1 = 31,3$ м.

Тоді

$$h_{o1} = 0,85 \cdot 31,3 = 26,6 \text{ м};$$

$$r_{o1} = (1,1 - 0,002 \cdot 31,3)31,3 = 32,5 \text{ м}.$$

При $l = 24$ м $< h_1 = 31,3$ м фіктивна висота між блискавковідводами:

$$h_{c1} = h_{o1} = 26,6 \text{ м}.$$

Приймаємо $h_{x2} = H' = 25$ м, тоді:

$$r_x = (1,1 - 0,002h_2)(h_2 - h_{x2}/0,85);$$

$$10,5 = (1,1 - 0,002 h_2)(h_2 - 25/0,85).$$

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 між блискавковідводами:

$$h_{c2} = h_{o2} = 33,8 \text{ м}.$$

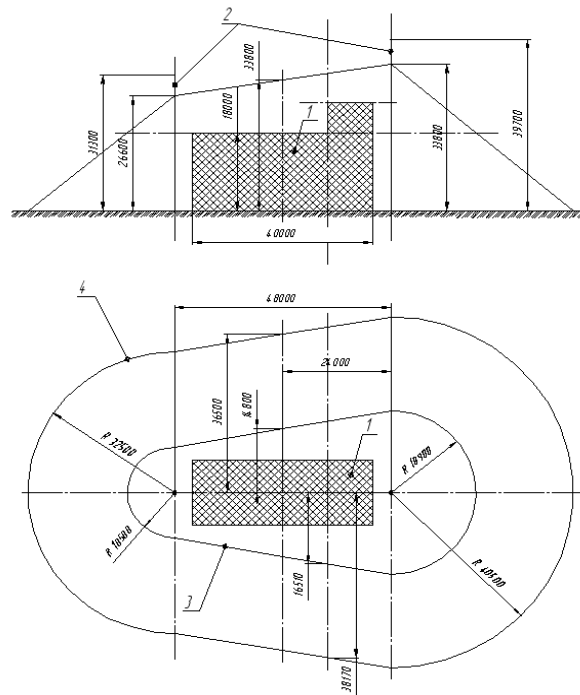
Таким чином,

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

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

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

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 просочення заготівель; 2 – стрижневий блискавковідвід; 3 – кордон зони захисту на рівні землі; 4 – кордон зони захисту на рівні висоти будинку

Рисунок 4.2 – Розрахункова схема блискавкозахисту ділянки просочення вугільних заготівель.

Висновки до розділу 4

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

2. Встановлено технічні рішення по охрані праці, гігієні праці і виробничій санітарії в цеху графітації заготовок, освітленні виробничих приміщень, електробезпеки, пожежної безпеки, мікроклімату.

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

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано характеристики пеків – зв'язуючого для виробництва електродів та їх вплив на властивості «зелених» заготовок.
2. Обгрунтовано використання компонентів засипки для карбонізації заготовок. Представлено роль та значення засипки для процесу карбонізації. Надано аналіз схем завантаження багатокамерних кільцевих печей в процесі карбонізації.
3. Встановлено фізико – механічні процеси в умовах підйому температури при карбонізації заготовок електродів. Визначено вплив температурно – часових процесів на формування властивостей карбонізованих заготовок електродів.
4. Проведено оцінювання виділення газоподібних летючих в процесі карбонізації та їх утилізація.
5. Проведено дослідження способів нагріву електродних заготовок в процесі карбонізації. Встановлено механізми підводу тепла до заготовок через засипку від факелу горілок природного газу під сводом печі та від нагрітих стінок камер печі.
6. Представлено характеристики температурних полів по об'єму камери при зовнішньому та внутрішньому підводі тепла. Встановлено вплив температури процесу карбонізації на вихід низькомолекулярних летючих, пористості та щільності карбонізованих заготовок електродів.
7. Проведено аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища цеху карбонізації заготовок. Проведено розрахунок блискавкозахисту приміщень і споруд цеху карбонізації заготовок, розроблена схема і встановлені параметри вузлів і елементів системи блискавкозахисту

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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. Матусьяк [и др.] // Кокс и химия. — 1958. — № 2. — С. 22 — 27.
9. Чалых, Е. Ф. Технология углеграфитовых материалов [Текст] / Е. Ф. Чалых — М. : Металлургиздат, 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 зерна 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. : Metallurgia, 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. : Metallurgia, 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. : Металлургия, 1990. — 176 с.
50. Бабалов, А. Ф. Промышленная теплозащита в металлургии [Текст] / А. Ф. Бабалов — М.: Металлургия, 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.