

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедри МЛВ  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:  
"Проектування і розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 15 т/год."**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ПМ-22мб-1  
спеціальності 131  
«Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Владислав ЗГРИВЕЦЬ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

Керівник бакалаврської роботи  
Старший викладач  
\_\_\_\_\_ Микола БОСИЙ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

Рецензент  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛІВ

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Згривця Владислава Сергійовича**

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 15 т/год.
2. Керівник роботи: Старший викладач Босий Микола Вікторович
3. Строк подання роботи до захисту
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: описати основні параметри роботи печі, конструкцію та основи роботи ДСП. Розрахувати основні розміри, матеріальний і тепловий баланси проектованої печі.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури		
2	Проведення розрахунку основних розмірів, електротехнічних характеристик, матеріальний та тепловий баланси проектованого обладнання		

3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівнику		
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту		
5	Перевірка роботи на плагіат		
6	Зовнішнє рецензування роботи		
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії		

Дата видачі завдання

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Микола БОСИЙ

Завдання прийнято до виконання

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Владислав ЗГРИВЕЦЬ

## АНОТАЦІЯ

Згривець В.С. "Проектування і розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 15 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025. 40 с. Матеріали ілюстрації 3 іл.

Мета кваліфікаційної роботи – це вивчення конструкції роботи дугової сталеплавильної печі та її основних параметрів роботи та визначити матеріальний і тепловий баланси дугової печі та основні розміри проєктованого обладнання.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахована дугова електросталеплавильна піч продуктивністю 15 т/год. В розрахунок плавильного агрегату входять: визначення основних розмірів ДСП; визначення електротехнічних параметрів, а також матеріальний та тепловий баланси.

Графічна частини включає загальний вигляд дугової електросталеплавильної печі та електродотримачів.

**дугова піч, матеріальний баланс, тепловий баланс.**

## ABSTRACT

Zhryvets V.S. "Design and calculation of an electric arc steelmaking furnace with a capacity of 15 t/h." specialty 131 "Applied mechanics", OPP – "Computer engineering technologies, robotics and 3D printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 40 p. Illustration materials 3 ill.

The purpose of the qualification work is to study the design of the arc steelmaking furnace and its main operating parameters and to determine the material and heat balances of the arc furnace and the main dimensions of the designed equipment.

In this bachelor's qualification work, an electric arc steelmaking furnace with a capacity of 15 t/h is calculated. The calculation of the melting unit includes: determining the main dimensions of the chipboard; determining electrical parameters, as well as material and heat balances.

The graphic part includes a general view of the electric arc steelmaking furnace and electrode holders.

**arc furnace, material balance, heat balance.**

# З М І С Т

	Стор.
Вступ.....	7
Розділ 1. Дугова електросталеплавильна піч.....	8
1.1. Фундамент дугової електропечі.....	8
1.2. Корпус дугової електропечі .....	8
1.3. Вогнетривкі матеріали дугової електропечі .....	8
1.4. Механізм нахилу дугової електропечі .....	9
1.5. Механізм переміщення електродів дугової електропечі .....	9
1.6. Електродотримачі дугової електропечі .....	9
1.7. Охолоджувачі електродів дугової електропечі .....	10
1.8. Механізм завантаження дсп.....	10
1.9. Електричне устаткування дсп.....	10
Розділ 2. Конструкція та принцип роботи дугової печі.....	11
2.1. Принцип дії електросталеплавильних печей.....	12
2.2. Процеси плавлення металу в дуговій електропечі.....	20
Розділ 3. Розрахунок дугової електропечі.....	23
3.1. Основні розміри робочого простору печі.....	23
3.2. Визначення матеріального балансу.....	26
3.3. Визначення теплового балансу.....	30
Висновки.....	32
Список використаних джерел.....	33
Додатки.....	34
Додаток 1. Дугова електросталеплавильна піч.....	35
Додаток 2. Загальний вигляд дугової електроплавильної печі .....	36
Додаток 3. Електродотримачі дугової електроплавильної печі .....	37

## Вступ

Для виплавки металу (сталі або чавуну) застосовуються дугові електросталеплавильні печі (ДСП) різної продуктивності.

Дугова електросталеплавильна піч – це плавильний агрегат, в якій буде використовуватися теплота самої електричної дуги для плавки металів та інших сплавів. Перші промислові дугові електропечі були побудовані в 1898-1901рр. у Італії та Франції. Промислові дугові електросталеплавильні печі відповідно мають продуктивність від 0,5 до 200 т та більше. Для плавки сплавів на виробництві в машинобудуванні найчастіше всього використовують дугові електропечі з меншою продуктивністю – це від 3 до 25т. [1-5].

Дугові електросталеплавильні печі мають широкі можливості, як у виборі шихти, також необмеженому сортаменті виплавленого металу та високій якості, а також легкість регулювання теплових процесів, які протікають в дсп та маневреність в послідовності плавки.

Переваги дугової електроплавки металу перед іншими способами сталеплавильного виробництва наступні: - це перше: нагрівання металу енергією, яка буде виділятися від електричної дуги. Завдяки цьому плавно треба регулювати температуру металу, а також вводити в піч велику кількість легируючих добавок, мати в дсп відновлювальну атмосферу, а також безокисні шлаки та отримувати метал з низьким вмістом неметалевих включень, а одержувати сталь з низьким вмістом сірки [1-5].

Виконуючи розрахунок та проектування дугових електросталеплавильних печей, необхідно визначати оптимальні співвідношення між основними розмірами електропечі, а також її продуктивністю та потужністю трансформатора, завдяки якому підводиться електроенергія до електропечі. Також визначаються основні геометричні розміри самого робочого простору дугової електропечі, потім виконуємо тепловий розрахунок. Також розраховується потужність трансформатора і ємність дугової електропечі та проводиться розрахунок основних розмірів робочого простору дугової печі та матеріального і теплового балансу [1-5].

## **Розділ 1. Дугова електросталеплавильна піч**

До дугової електропечі входять такі елементи: корпус електропечі, фундамент електропечі, футеровка електропечі, механізм переміщення електродів, механізм нахилу електропечі, електродотримачі, охолоджувачі електродів, механізм завантаження дугових електропечей, електричне устаткування дугових електропечей [1-5].

### **1.1. Фундамент дугової електропечі**

Фундамент дугової електропечі виконують, в основному, з залізобетону та зв'язують з кладкою приямка, який треба виконувати з відповідними розмірами для розташування в ньому розливочного ковша металу для нахилу дугової електропечі при зливанні металу.

### **1.2. Корпус дугової електропечі**

Корпус дугової електропечі також складається зі зварного або клепаного кожуха, який виготовляють з сталі розміром, тобто, товщиною до 30 мм з внутрішньою футеровкою вогнетривких матеріалів.

### **1.3. Вогнетривкі матеріали дугової електропечі**

Кладка вогнетривких матеріалів футеровки дугової електропечі виконується таким чином. Перше, на саме дно дугової електропечі кладуть шар дрібного порошку розміром біля 5-6 мм, потім на нього кладуть ще два ряди цегли шамотної та засипають шамотним порошком. Далі ще кладуть шар цегли з магнезиту і шви засипають також порошком, але вже з магнезиту, а бокові стінки кожуха дугової електропечі викладають із листового азбесту розміром біля 20 мм. Магнезитова кладка дугової електропечі виконується повністю для всіх стін печі, в кінці також ще кладуть два ряди цегли з хромомагнезиту, а вже тоді ще кладуть динасову цеглу і зверху також викладають подушку з кварцового піску. Отвір робочого вікна дугової електропечі виконують з вогнетриву магнезиту. Набивка поду дугової електропечі виконується

також магнезитовим порошком та рідким склом і ретельно щільно утрамбується [1-5].

Кладка футеровки поду і стін, наприклад, для кислого способу плавлення робиться з вогнетривкої цегли динасу. Під дугової електропечі виготовляється з кварцового порошку або також кварцового піску з рідким склом. На верхні стіни, що стикаються до склепіння дугової електропечі роблять ще шар хромистої руди з добавкою вогнетривкої глини. Кожух дугової електропечі також викладають з азбесту. Потім кладуть шамотну цеглу шаром приблизно 200 мм, потім трамбують набивну частину футеровки з кварцового піску та рідкого скла.

#### **1.4. Механізм нахилу дугової електропечі**

Механізм нахилу дугової електропечі дає змогу плавно нахилити електропіч у бік зливного жолоба на  $45^\circ$  та у бік робочого вікна на  $15^\circ$  для зливання рідкого металу. Нахил дугової електропечі можливо здійснювати вручну або електродвигуном з редуктором.

#### **1.5. Механізм переміщення електродів дугової електропечі**

Механізм переміщення електродів дугової електропечі застосовують для утримання електродів в плавильному агрегаті, а також для їх піднімання та опускання. Дугові електропечі також обладнанні автоматичними пристроями, які повинні піддержувати відповідне значення сили струму та регулювати відповідно положення самих електродів по висоті дугової електропечі. Відстань від електрода до самого металу повинна визначатися довжиною дуги – це електрична потужність печі.

#### **1.6. Електродотримачі дугової електропечі**

Електродотримачі дугової електропечі необхідні для закріплення в ньому електрода, а також пересування потім його в процесі плавки. Через

сам електродотримач також підводиться електроенергія до електрода, отже необхідно треба забезпечувати мінімальний опір на поверхні їх контакту.

### **1.7. Охолоджувачі електродів дугової електропечі**

Охолоджувачі електродів дугової електропечі виготовляються литими та вже з водяним охолодженням. Вони необхідні для ущільнення щілини в склепінні навколо електрода дугової печі.

### **1.8. Механізм завантаження дсп**

Механізм завантаження дугової електропечі виконують через склепіння, яке повинно зніматися. Шихта завантажується в робочий простір дугової електропечі, що відкривається.

### **1.9. Електричне устаткування дсп**

Електричне устаткування дугової електропечі наступне: поруч з нею треба розмістити трансформатор, його використовують для зменшення напруги, оскільки в процесі плавки металу необхідна змінна напруга на електродах, а трансформатор має декілька ступенів напруги. То до кожного з електродів необхідно підводити одну фазу трифазного струму. При включенні їх можливо змінювати напругу на електродах. Робота дугової електропечі полягає в нерівномірному навантаженні в період плавки та частих коротких замикань в період плавки шихтових матеріалів, з яких виплавляють метал [1-5].

## Розділ 2. Конструкція та принцип роботи дугової печі

Принципова схема дугової електропечі трифазного змінного струму наведена на рис. 2.1 [1,3-5].

Електричний режим роботи дугової електропечі залежить від теплового режиму процесу плавки металу. При доведенні металу або сплаву до необхідного хімічного складу потужність дугової електропечі порівняно невелика. Відповідно регулювати тепловий режим дугової електропечі можна за допомогою зміни напруги на електродах або також довжину дуги, тобто силу току електричної дуги. Дугову електропечі підключають до трифазної мережі частотою напруги від 6 до 35кВ. Для дугової електропечі невеликої продуктивності передбачено дві або чотири ступені напруги трансформатора, а вже для дугових печей більшої продуктивності можна і до 25 ступенів, це дозволяє для режиму плавки підбирати оптимальну напругу дугової електропечі [1-8].

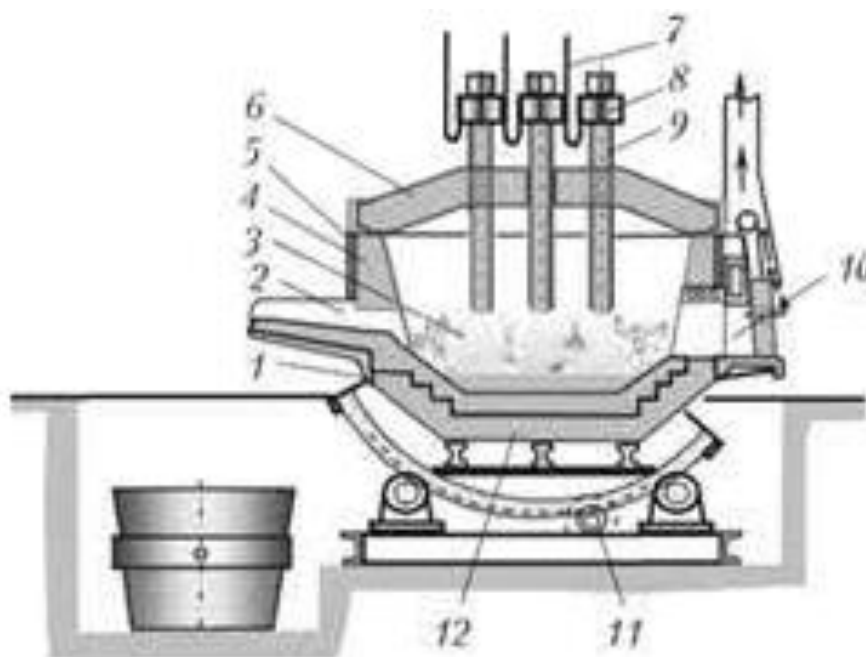


Рис. 2.1 Принципова схема дугової електросталеплавильної печі:

1 – футеровка; 2 – зливний жолоб; 3 – металева шихта; 4 – сталевий кожух; 5 – стінка; 6 – склепіння; 7 – електричні кабелі; 8 – електродотримачі; 9 – циліндричний графітований електрод; 10 – робоче вікно; 11 – привід для нахилу печі; 12 – під печі

## 2.1 Принцип дії електросталеплавильних печей

В дугових електропечах (ДСП) енергія повинна перетворюватися в теплоту в електричній дузі. Теплота електричної дуги тоді передається до металу такими способами передачі теплоти, як конвекцією та випромінюванням [1-8].

Потужність, яка виділяється у дугової електропечі, описується рівнянням:

$$W = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \text{ Дж,}$$

де  $U$  – напруга, В;  $I$  – сила струму, А;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності пічної установки, ККД дугової електропечі складає 60%.

Дугові сталеплавильні електропечі повинні використовувати відповідно трифазний змінний струм маючи при цьому три циліндричні графітізовані електроди 9, електроди закріплюють в електродотримачі 8, до них підводиться електричний струм по кабелях 7. Між електродом і металевою шихтою 3 виникає електрична дуга. Корпус дугової електропечі має форму циліндра. Зовні корпус дугової електропечі закріплений у міцний сталевий кожух 4, в середині він футерований основною або кислою цеглою 1. Плавильний простір дугової електропечі обмежено стінками 5, подом 12 і склепінням 6. З'ємне склепіння дугової електропечі 6 має отвори для електродів. В стінці корпусу знаходиться робоче вікно 10 (для зливання шлаку, завантаження феросплавів та взяття проб), яке закривається при плавленні заслінкою. Готовий метал, тобто сталь випускають через зливний отвір по зливному жолобу 2. Дугова електропіч спирається на сектори і має привід 11 для нахилу в бік робочого вікна або зливного жолоба. Дугову електропіч завантажують при зняттю склепінні. Продуктивність дугових печей становить від 0,5 до 400 тон. В металургії застосовують дугові електропечі з основною, а в ливарних з кислою футеровкою (рис. 2.1).

Принцип плавлення в дугових електропечах полягає в зведенні двох вугільних електродів, з'єднаних із джерелом електроживлення, а потім їх розводять на деяку відстань, тоді між ними виникає безперервний розряд –

електрична дуга. Цей процес відповідно супроводжується виділенням великої кількості теплоти.

Залежно від способу передачі теплоти від дуги до самого металу дугові електропечі бувають прямого, непрямого та змішаного і плазмового нагрівання (рис. 2.2).

В електросталеплавильному виробництві найбільше розповсюдження отримали дугові електропечі прямого нагрівання (рис. 2.2). Дугові електропечі непрямого нагрівання використовуються в кольоровій металургії, а також в ливарних цехах для розплавлення чавуну та сплавів.

Найбільш високий ККД (70 %) мають електричні печі із закритою дугою – це (феросплавні печі). Наразі в наш час в металургії все більше розповсюдження отримують також плазменно-дугові печі (ПДП, рис. 2.2). За формою ванни, футеровки та іншими конструктивними ознакам ПДП нагадують печі ДСП, тільки замість електродів в них використовують плазмотрони. Плазмотрони працюють на постійному, а також змінному струмі у декілька сот тисяч ампер та на напрузі від 30 до 150В. При роботі ПДП на постійному струмі катодом може служити верхній водоохолоджуваний електрод, а анодом сама ванна металу, який контактує також з водоохолоджуваним мідним подовим електродом. Робочий простір дугової електропечі заповнюється при роботі плазмоутворюючим газом – це (аргоном, азотом або воднем) та відповідно при цьому створюється нейтральна або відновна атмосфера. При плавленні неметалевої шихти використовують плазмотрони непрямої дії.

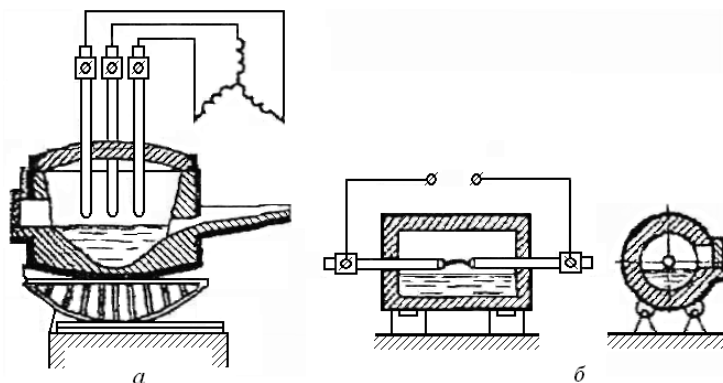


Рис. 2.2 Дугові електропечі, прямого нагрівання (а) і непрямого (б)

При непрямому нагріванні електричні дуги повинні горіти між електродами на деякій відстані від металу, а при прямому між електродами і металом, який нагрівається, що є однією з ділянок електричного ланцюга. Для виробництва сталі використовують переважно дугові електропечі прямого нагрівання металу. В дугових електропечах змішаного нагрівання дуга повинна горіти під шаром твердої шихти, яка оточує електрод. Шихта відповідно нагрівається теплотою, яка виділяється в дузі безпосередньо в самій шихті коли проходить через неї електричний струм. Такі дугові електропечі використовуються, в основному, для виробництва чавуну та феросплавів. В установках плазмового нагрівання теплота переноситься відповідно іонізованим потоком газу, який також подається під тиском у плазмотрон. Плазменні печі використовуються для плавки також спеціальних сталей, сплавів та чистих металів [1-8].

Дугові електропечі за способом відкривання та завантаження шихтових матеріалів поділяють на три типи.

Перший тип – це дугові електропечі, у яких при завантаженні шихтових матеріалів, склепіння, підвішене до моста, буде підніматися, тоді з під нього викочується корпус дугової печі, і відносяться вони до дугових електропечей з корпусом, що викочується.

Другий тип – це дугові електропечі, у яких склепіння піднімається над піччю та разом з мостом буде від'їждати у бік завантажувального вікна шихти або зливного отвору, та відносяться до дугових електропечей з від'їжджаючим склепінням.

Третій тип – це дугові електропечі, у яких склепіння піднімається над піччю, а опорна колона зі склепінням та стояками повертається відповідно навколо осі на  $60-90^\circ$  і відкриває робочий простір дугової печі, відносять до дугових електропечей зі склепінням, що відкриваються.

Кожух дугової електропечі, це частина корпусу, який розташований вище порога робочого вікна печі, за формою кожух виконується циліндричноконічним. Кожух електропечі з'єднується з днищем за допомогою пальців

з клинами, це дозволяє від'єднати та знімати його під час ремонту футеровки печі. До верхньої частини кожуха електропечі кріпиться кільце піскового затвору. В корпусі дугової електропечі зроблені два вирізи для робочого вікна і заливного отвору, які для зміцнення корпусу обрамлені литими рамами. До рами корпусу дугової електропечі біля зливного отвору під кутом  $12^\circ$  до горизонталі кріпиться зливний носок, який представляє собою футерований відкритий жолоб. Довжина зливного носка буде залежати від розташування дугової електропечі в пічному прольоті на виробництві та може становити від 1 до 3 м.

Робочий простір дугової електропечі визначається конфігурацією кожуха, який в існуючих електропечах має відповідно різну форму. Більш широко використовуються дугові електропечі з похилими циліндричними та циліндроконічними стінками, рідше можливо зустрічаються дугові печі зі стінками діжкоподібної форми.

В усіх випадках форма склепіння та ванна, яка вміщує метал і шлак однакова. Ванна дугової печі утворена футеровкою подини, має сфероконічну форму, нижня її частина сферична, а укоси нахилені відповідно під кутом  $45^\circ$  до горизонталі. Такий нахил завжди необхідний, щоб магнезитовий порошок при заправленні не зсипався з укосів вниз. Сферична форма днища кожуха дугової печі забезпечує мінімальні тепловтрати та витрати вогнетривких матеріалів на кладку подини печі.

Питання, що стосується вибору раціональної форми стінок електропечей є дискусійним. Перевагами дугової електропечі із циліндричними стінками – це менші габарити поверхні, що віддає теплоту і масу самої печі. Перевага дугової електропечі з циліндроконічними і похилими стінками у підвищеній стійкості футеровки внаслідок необхідності віддалення від високотемпературних електричних дуг. Отже при цьому циліндроконічні стінки більш кращі, ніж похилі стінки, при яких зростає діаметр склепіння. Через це більшість електропечей, що споруджувались в останні роки мають робочий простір із циліндроконічними стінками.

Форма кожуха дугової електропечі та вогнетривких матеріалів робочого простору електропечі наведена на рис. 2.3.

Футеровка дугової печі відповідно піддається впливу випромінювання електричної енергії, ударів шматків шихти при завантаженні, впливу шлаків та металу, які роз’їдають і термічних напруг, що виникають при різких коливаннях температур під час завалки шихти. Футеровка склепіння дугової печі також зазнає додаткових навантажень, які викликані розпирними зусиллями аркового склепіння. Отже вогнетривкі матеріали, що використовуються повинні мати високі вогнетривкі властивості: це термостійкість, міцність і шлакостійкість [1-8].

Під основної дугової електропечі складається з ізоляційного і робочого шарів. Ізоляційний шар кожуха дугової печі включає листовий азбест, який укладається на металеве днище, шар шамотного порошку і для вирівнювання виконують шар кладки із шамотної цегли. Ізоляційний шар виконують товщиною біля 70-190 мм.

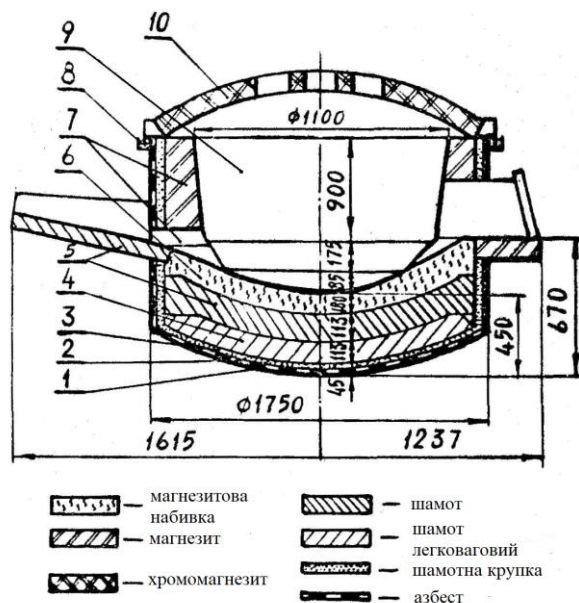


Рис. 2.3 Дугова електропіч

1 – кожух печі; 2 – азбестова кладка; 3 – шамотна крупка; 4 – шамотна цегла легковагова (230x113x65); 5 – шамотна цегла (230x113x65); 6 – магнезитова набивка; 7 – магнезитова цегла (230x113x65); 8 – пісочний затвор; 9 – робочий простір; 10 – склепіння хромомангезитове

Робочий шар дугової електропечі включає кладку з декількох рядів магnezитової цегли, товщина якої від 230 мм для невеликих печей та до 575 мм для більших печей та верхній набивний шар з магnezитового порошку товщиною біля 100-190 мм, що після спікання являє собою монолітну масу.

Стійкість поду дугової електропечі становить біля 2000-8000 плавок і зазвичай не обмежує роботу дугової печі. Робочий набивний шар дугової електропечі зношується, отже його обновляють після кожної плавки, заправляючи магnezитовим порошком.

Загальна товщина поду на дугових електропечах малої і середньої продуктивності наближено дорівнює глибині ванни, а на великовантажних печах знижується до 0,7, на печах з електромагнітним перемішуванням товщина поду не повинна перевищувати 800-900 мм.

Футеровку стін дугової електропечі на підприємствах треба виконувати без шару теплоізоляційної кладки тільки це робити з основної цегли (магnezитохромітової, хромомагnezитової, магnezитової), яку укладають на футеровку укосів.

Для того, щоб шлак не розмивав цегельні стінки, стик стінок з укосами виконують на 75-150 мм вище рівня порога робочого вікна (або дзеркала ванни). У дугових електропечах із циліндроконічним кожухом кут нахилу футеровки низу стін становить 15-30°. Товщина стінок у нижній частини становить 300-575 мм і зростає зі збільшенням продуктивності печі. Стійкість футеровки стін для дугових електропечей продуктивністю більше 15т. змінюється в межах 75-350 плавок.

Місця найбільшого спрацювання дугової електропечі відповідно ремонтують шляхом торкретування, це нанесення на футеровку вогнетривкої маси. Збільшення стійкості стін досягається в результаті використання елементів, тобто (панелей), які охолоджуються водою. Панелі, які охолоджуються водою, використовують двох типів: це плоскі порожнисті та трубчасті у вигляді змійовика, їх встановлюють замість футеровки стін дугової електропечі трохи вище укосів, при заміні всієї футеровки або її частини.

На поверхні панелей, які звернені всередину дугової електропечі є шини або ребра. Вони відповідно втримують вогнетривку масу, що наноситься на панель, а також в процесі служби забезпечують утворення шару шлакового гарнісажу. Стійкість панелей становить біля 7000 плавок. Використання панелей дозволяє підвищити продуктивність дугової електропечі за рахунок зниження простоїв на перефутеровку стін та значно знизити витрати вогнетривких матеріалів, але при цьому зростають тепловитрати і необхідна додаткова витрати води.

Заслінка повинна прикривати робоче вікно для зменшення втрат теплоти і виходу газів з дугової електропечі. Для запобігання від прогару заслінка виконана відповідно зкругленою верхньою частиною для того, щоб не утворювались парові мішки. Відвод води повинен здійснюватися у верхній частині заслінки. Рівномірне охолодження заслінки повинно забезпечуватися встановленням у середині заслінки направляючих перегородок. В нижній частині заслінки передбачений отвір, який закривається заслінкою. Через нього відбирають проби рідкого металу та шлаку, вимірюють також температуру металу і виконують інші операції.

Для забезпечення щільного закриття вікна дугової електропечі заслінка розміщена в направляючих, площина яких нахилена до вертикалі на  $8^\circ$ . Отже при цьому заслінка під дією власної ваги повинна притискатися до направляючих рам. Заслінка підвішена на кронштейнах до двох ланцюгів механізму, що складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора з барабаном та ланцюгів і направляючих блоків. При намотуванні ланцюгів на барабан відбувається підйом заслінки, а от опускання її повинно здійснюється під дією власної ваги. Поріг виконують литим у вигляді плити і кріплять до рами за допомогою клинів. В процесі плавлення на плиту порога треба насипати з вогнетривкого порошку хибний поріг, через який буде скачуватися шлак з дугової електропечі. В середній частині порога є відповідно жолобок для сходу шлаків, тому плиту порога також треба виконувати з западиною в середній частині [1-8].

Гребінка в печі служить для установки поперечини при скачуванні шлаку і перемішуванні металу, вона повинна кріпитися шарнірно до рами. Отвір для випуску сталі розташований проти робочого вікна вище рівня металу та шлаку, його нижня частина перебуває на рівні порога робочого вікна печі. Отвір може бути відповідно круглого перетину діаметром біля 120-150 мм або квадратного перетину зі стороною 150-250 мм. Жолоб, який примикає до отвору, треба футерувати шамотною цеглою.

Склепіння служить для закриття дугової електропечі зверху і утворення замкнутого робочого простору. Робочий простір дугової електропечі складається з кільця склепіння і футеровки, що викладаються у вигляді сфери. В футеровці виконанні отвори для переходу електродів. Кільце склепіння сприймає розпірне зусилля від футеровки й через нього склепіння опирається на кожух дугової електропечі. Для того, щоб кільце склепіння не коробилося від нагріву, його треба виконувати порожнім, тому, що всередині нього повинна циркулювати охолоджуюча вода. Склепіння і кожух дугової електропечі з'єднанні між собою пісковим затвором, який служить для ущільнення дугової електропечі й запобігання витоку газів між кожухом і кільцем склепіння. Футеровка склепіння повинна викладатися з фасонної хромомagneзитої цегли на спеціальному шаблоні, який має форму внутрішнього контуру склепіння. Отвори для проходу електродів також повинні мати розташування по вершинах вписаного в окружність рівностороннього трикутника.

При наборі склепіння дугової електропечі в кладці завжди залишають три отвори, вони необхідні для проходження електродів та отвір для відведення пічних газів. Стійкість склепіння малих дугових електропечей становить біля 125-225 плавов, при збільшенні продуктивності дугової електропечі стійкість склепіння знижується і становить біля 50-100 плавов для продуктивності дугової електропечі біля 60 – 100т. Діаметр окружності, що проходить через центр електродів, це є діаметром розводу електродів печі. Отвори для проходу електродів повинні бути більші діаметра електродів на 40-50 мм. Це виконується для запобігання поломки електродів при можливих теплових

і силових деформаціях склепіння дугової електропечі. Щоб нагріті гази не виходили з робочого простору дугової електропечі в зазори між електродами і склепінням, а також для зниження нагрівання електродотримачів і розпалу футеровки навколо отворів та для зменшення температури, а також інтенсивності окислювання виступаючої над склепінням частини електродів на отвори склепіння встановлені ущільнювачі [1-8].

За конструкцією треба використовувати ущільнювачі, які поділяють на такі види: керамічні, економайзери, газодинамічні. Керамічні ущільнювачі виконують з цирконієвих або корундових вогнетривів у вигляді накладних кілець, забитих у склепіння дугової електропечі. Економайзери являють собою порожні водоохолоджувальні кільця, які встановлюють поверх склепіння або заглиблюють у футеровку склепіння дугової електропечі. Для додаткового ущільнення більшість економайзерів оснащено комірами, заповненими шлаковатою. Ущільнюючі кільця та трубки, які підводять до них воду, ізолюють від каркаса склепіння та одну від іншої для уникнення короткого замикання [1-8].

## **2.2. Процес плавлення металу в дуговій електропечі**

Процес плавки металу в дугових електросталеплавильних печах включає наступні етапи [1-9].

Перший етап, це, коли електрична дуга горить на поверхні шихтових матеріалів та поступово розплавляється біля кожного із трьох електродів. В цей період значна частина теплоти випромінюється на склепіння дугової електропечі та, запобігаючи його оплавлення, до електродів підводиться струм помірної потужності.

Другий етап, це, коли електроди в міру розплавлення шихтових матеріалів автоматично опускаються і електрична дуга занурюється у шихту, при цьому потужність струму, що підводиться до електродів, збільшується.

Третій етап – це, коли електроди пропалюють у шихті колодязі, а електричні дуги горять між шаром рідкого металу, що перебуває на подині дугової електропечі та електродами. При цьому кількість металу збільшується, а довжина дуги відповідно зменшується, електроди також при цьому автоматично піднімаються, а шихтові матеріали між електродами плавляться.

Четвертий етап – це, коли майже всі шихтові матеріали розплавлені, а електричні дуги горять відкрито над поверхнею шлаків і рідкий метал сприймає теплоти вже значно менше, ніж самі тверді шихтові матеріали. Випромінювання теплоти на стінки та склепіння дугової печі збільшується і щоб уникнути підплавлення самої кладки печі потужність струму, яка підводиться до електродів, знижується.

Плавка металу включає такі основні процеси: заправку дугової печі, завантаження шихти, плавка, окислювальний та відновлювальний процеси та випуск рідкого металу.

*Заправка* дугової печі виконується для відновлення футеровки правильного простору в робочому стані. Після випуску, наприклад, чергової плавки на ушкоджені місця подини дугової печі та укосів за допомогою заправочної машини завантажують також сухий магнезитовий порошок, а у випадку великих пошкоджень відповідно порошок з добавкою смоли.

*Завантаження* шихтових матеріалів виконують відразу після закінчення заправки дугової печі. Завантаження шихтових матеріалів здійснюють зверху за допомогою завантажувальної бадді. Після закінчення завалки шихтових матеріалів, склепіння з електродами встановлюють на дугову піч, електроди опускають та включають струм. Під дією високої температури електричної дуги шихтові матеріали плавляться під електродами, рідкий метал стікає відповідно вниз та накопичується в центральній частині подини печі. Так відбувається поступово повне розплавлення шихтових матеріалів.

*Окислення* заліза, марганцю, кремнію протікає з виділенням значної кількості теплоти, це прискорює розплавлення залишків металевого брухту. В окислювальному періоді плавлення металу зменшується вміст в ньому фос-

фору, водню та азоту. Окислення закінчується, коли вміст вуглецю стає відповідно нижче заданої межі, а вміст фосфору нижче 0,01%. Наприкінці окислювального процесу повністю видаляють шлаки із дугової печі.

*Відновлювальний* процес плавлення, його мета – це розкислення металу, також видалення сірки та доведення по хімічному складу рідкого металу і регулювання температури металу. Після повного видалення окисних шлаків у дугову піч присаджують шлакоутворюючі суміші разом з розкислювачами, для наведення нового шлаку. У якості розкислювачів використовують феромарганець, феросиліцій, алюміній. В дугову піч присаджувати необхідно також і легуючі добавки. Після цього метал вже випускається з дугової печі у встановлений під жолобом ківш, а піч при цьому нахиляють у бік випускного металевого отвору. При необхідності в ківші також можна проводити додаткове розкислення та легування рідкого металу [1-9].



Глибина ванни дугової печі

$$H = \sqrt[3]{V_{\text{вм}}/12,1} = \sqrt[3]{2,355/12,1} = 0,578 \text{ м}; \quad (3.2)$$

Діаметр дзеркала ванни дугової печі

$$D = \sqrt[3]{V_{\text{вм}}/0,0968} = \sqrt[3]{2,355/0,0968} = 2,897 \text{ м}; \quad (3.3)$$

Висота сферичної частини ванни

$$h_1 = 0,2 \cdot H = 0,2 \cdot 0,578 = 0,1156 \text{ м}; \quad (3.4)$$

Висота конічної частини ванни печі

$$h_2 = 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 0,578 = 0,462 \text{ м}; \quad (3.5)$$

Відстань від порогу п'ят склепіння

$$H_1 = 0,47 \cdot D = 0,47 \cdot 2,897 = 1,361 \text{ м}; \quad (3.6)$$

Діаметр ванни на рівні укосів

$$D_{\text{пл}} = D + 0,2 = 2,897 + 0,2 = 3,097 \text{ м}; \quad (3.7)$$

Стріла опуклості склепіння

$$h_3 = (1/11) \cdot D_{\text{пл}} = (1/11) \cdot 3,097 = 0,281 \text{ м}; \quad (3.8)$$

Повна висота склепіння дугової печі

$$H_2 = H_1 + h_3 = 1,361 + 0,281 = 1,642 \text{ м}; \quad (3.9)$$

Діаметр плавильного простору на рівні п'ят склепіння дугової печі

$$D_1 = D + 0,2 \cdot H = 2,897 + 0,2 \cdot 0,578 = 3,0126 \text{ м}; \quad (3.10)$$

Товщина склепіння (для  $Q = 20\text{т}$ ) дорівнює 230 мм. Товщину поду приймемо рівною глибині ванни

$$K = H = 0,578 \text{ м}; \quad (3.11)$$

Кладку на рівні верху укосів (для  $Q = 15\text{т}$ ) приймемо товщиною 230 мм, а ізоляційного шару товщиною 75 мм.

Внутрішній діаметр кожуха дугової печі дорівнює

$$D_{\text{к.вн}} = 3,097 + 2,0(0,230 + 0,075) = 3,707 \text{ м}; \quad (3.12)$$

Зовнішній діаметр кожуха дугової печі при 15 мм

$$D_{\text{к.зов.}} = 3,707 + 2 \cdot 0,015 = 3,737 \text{ м}; \quad (3.13)$$

Ширина робочого вікна дугової печі

$$b = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 2,8 = 0,84 \text{ м}; \quad (3.14)$$

Висота робочого вікна дугової печі

$$h_{p.в.} = 0,8 \cdot b = 0,8 \cdot 0,84 = 0,672 \text{ м}; \quad (3.15)$$

Потужність пічного трансформатора дугової печі

$$P_{mp} = W_{теор} \cdot \Pi / \eta \cdot \cos \varphi = 355 \cdot 15 / 0,6 \cdot 0,9 = 11833 \text{ кВА}; \quad (3.16)$$

де  $W_{теор}$  – теоретичне значення питомої витрати енергії на розплавлення сталі (355 кВт·год/т);  $\Pi$  – продуктивність дугової печі, т/год;  $\eta$  – ККД печі;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності дугової печі.

Орієнтовне значення потужності трансформатора визначаємо за емпіричною формулою

$$P_{mp} = 400 \cdot D_k^2 = 400 \cdot 3,737^2 = 5586 \text{ кВА}; \quad (3.17)$$

Сила струму при вторинній напрузі 250В

$$I = 10^3 P_{mp} / \sqrt{3} \cdot U = 10^3 \cdot 11833 / \sqrt{3} \cdot 250 = 27327 \text{ А}; \quad (3.18)$$

Діаметр розпаду електродів

$$d_{p.ел.} = 0,4 \cdot D_{nl} = 0,4 \cdot 3,097 = 1,238 \text{ м}; \quad (3.19)$$

Діаметр електрода при  $j=20 \text{ А/см}^2$

$$d_{ел.} = 2 \cdot \sqrt{I / \pi \cdot j} = 2 \cdot \sqrt{27327 / 3,14 \cdot 20} = 41 \text{ см}; \quad (3.20)$$

### 3.2. Визначення матеріального балансу дугової печі

Матеріальний баланс плавлення металу в дуговій електропечі представляє собою: 1) виявлення відповідних вихідних матеріалів;

2) склад шихтових матеріалів;

3) визначення загального матеріального балансу [1-5].

При розрахунку матеріального балансу враховуємо такі умови:

– футеровка дугової печі - кисла;

– Метал, який виплавляємо – це сталь марки 35Л.

Шихтові матеріали для плавлення сталі складаються з металевої та неметалевої частин. Металева частина шихти містить: Скрапу 92%, чавуну 8% і феросплави.

В табл. 3.1 приведемо хімічний склад використовуваних шихтових матеріалів для плавки сталі

Таблиця 3.1

Шихтові матеріали та їх хімічний склад

№ п/ п	Складові шихти	Вміст, %				
		C	Si	Mn	S	P
1	Скрап	0,3	0,3	0,6	0,04	0,05
2	Чавун	4	1,1	0,8	0,05	0,15
3	Феросіліцій ФС75	0,1	77	0,4	0,03	0,05
4	Феромарганець ФМн75	7,0	2	75	0,03	0,45

Угар вуглецю під час плавки шихтових матеріалів становить – 15%; залізо – 35 %, кремній та марганець – 70%.

Визначення матеріального балансу виконуємо в такій послідовності.

Вміст вуглецю в металі після розплавлення

$$[C]_p = 0,35 + 0,15 = 0,5\% \quad (3.21)$$

Вміст вуглецю в шихті

$$[C]_{\text{ли}} = 0,5 / 0,85 = 0,6 \% \quad (3.22)$$

Прийmemo, що відходи власного виробництва будуть становити 40 % шихтових матеріалів.

Виразимо частку скрапу через  $x$ , а частку чавуну через  $y$  і складемо систему рівнянь для визначення відповідно цих часток:

$$\begin{cases} x \cdot 15000 \frac{0,3}{100} + y \cdot 15000 \cdot \frac{4}{100} = 0,6 \cdot \frac{15000}{100} \\ x + y = 1 \end{cases} \quad (3.23)$$

Розв'язок системи рівнянь становить

$$\begin{aligned} y &= 0,08 \\ x &= 0,92 \end{aligned} \quad (3.24)$$

Шихта повинна складатися з  $15000 \cdot 0,92 = 13800$  кг скрапу; та  $15000 \cdot 0,08 = 1200$  кг чавунного лому.

В процесі плавлення шихтових матеріалів окисляються такі елементи як вуглець, кремній, марганець та залізо в таких кількостях

$$\begin{aligned} G_C &= (0,3 \cdot 0,92 + 4 \cdot 0,08) \cdot 15000 \cdot 0,15 / 100 = 13,41 \text{ кг} \\ G_{Si} &= (0,3 \cdot 0,92 + 1,1 \cdot 0,08) \cdot 15000 \cdot 0,7 / 100 = 38,22 \text{ кг} \\ G_{Mn} &= (0,6 \cdot 0,92 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 15000 \cdot 0,7 / 100 = 64,68 \text{ кг} \\ G_{Fe} &= 15000 \cdot 0,25 / 100 = 37,50 \text{ кг} \\ \Sigma G_i & \qquad \qquad \qquad 153,81 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.25)$$

При цьому утворюються такі оксиди з переходом в шлак

$$\begin{aligned} G_{SiO_2} &= 38,22 \cdot 60 / 28 = 81,9 \text{ кг} \\ G_{MnO} &= 64,68 \cdot 71 / 55 = 83,49 \text{ кг} \\ G_{FeO} &= 37,5 \cdot 72 / 56 = 48,21 \text{ кг} \\ \Sigma & \qquad \qquad \qquad 213,6 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Для ошлакування оксидів марганцю і заліза виконуємо завантаження в завалку чистого кварцового піску в кількості 1:1

$$G_n = 83,49 + 48,21 = 131,7 \text{ кг} \quad (3.27)$$

Для створення необхідної товщини шару шлаку треба ввести у ванну під час плавлення оборотного шлаку у кількості 2% від маси металозавалки:

$$G_{об.шл.} = 15000 \cdot 2/100 = 300 \text{ кг} \quad (3.28)$$

Прийmemo, що в шлак перейде частина футеровки вагою 0,5% від металозавалки:

$$G_{фут.} = 15000 \cdot 0,5/100 = 75 \text{ кг} \quad (3.29)$$

На окислення окремих елементів під час плавки витрачається кисень із атмосфери дугової електропечі:

$$\begin{aligned} G_{O_2,C} &= 13,4 \cdot 16/12 = 17,86 \text{ кг} \\ G_{O_2,Si} &= 38,22 \cdot 32/28 = 43,68 \text{ кг} \\ G_{O_2,Mn} &= 64,68 \cdot 16/55 = 18,81 \text{ кг} \\ G_{O_2,Fe} &= 37,5 \cdot 16/56 = 10,71 \text{ кг} \\ G_{O_2,i} &= 91,06 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Утворюється CO:

$$G_{CO} = 13,4 \cdot 28/12 = 31,26 \text{ кг} \quad (3.31)$$

Кількість шлаку після розплавлення

$$G_{шл} = 213,6 + 131,7 + 100 + 75 = 520,3 \text{ кг} \quad (3.32)$$

або  $520 \cdot 100/15000 = 4,46\%$  від маси металозавалки

Кількість металу після розплавлення

$$G_{мет} = 15000 - 153,81 = 14846 \quad (3.33)$$

Відповідно зміною маси металу і шлаку під час доводки відповідно можна нехтувати.

Визначення кількості феросплавів, які треба ввести в рідкий метал для отримання заданого вмісту в ньому відповідних домішок, проводимо за формулою

$$G_{\phi} = \frac{G_{р.м.} ([E]_c - [E]_n)}{E_{\phi} \cdot K_E}, \quad (3.34)$$

де  $G_{р.м.}$  – це маса рідкого металу, кг;  $[E]_c, [E]_n$  – це середній вміст елемента у сталі і початковий в рідкому металі перед розкисленням, у відсотках за масою;  $E_{\phi}$  – це вміст елемента-розкислювача у феросплаві, у відсотках за масою;  $K_E$  – коефіцієнт засвоєння елемента.

Визначаємо вміст Mn і Si перед розкисленням:

$$\begin{aligned} [\text{Mn}]_n &= (0,92 \cdot 0,6 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 0,3 = 0,18\% \\ [\text{Si}]_n &= (0,92 \cdot 0,3 + 0,08 \cdot 1,1) \cdot 0,3 = 0,11\% \end{aligned} \quad (3.35)$$

Визначаємо кількість феромарганцю

$$G_{FeMn} = \frac{14846(0,65 - 0,18)}{75 \cdot 0,7} = 133,67 \text{ кг} \quad (3.36)$$

Визначаємо кількість феросиліцію

$$G_{FeSi} = \frac{14846(0,27 - 0,11)}{77 \cdot 0,7} = 44,06 \text{ кг.} \quad (3.37)$$

Результати виконаних розрахунків наводимо у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матеріальний баланс плавлення сталі в кислій дуговій електропечі  
продуктивністю 15 т/год

№ п/п	Статті (прибутку або видат- ку)	кг	% від м/з
	Прибутки:		
1.	Скрап	13800	92
2.	Чавун	1200	8,0
3	Оборотний шлак	300	2,0
4.	Пісок	131	0,9
5.	Футеровка	75	0,5
6.	Кисень атмосферний	91,06	0,6
	Σ	15597,76	104,0
	Видатки:		
1.	Метал	14846	99,0
2.	Шлак	520,3	4,46
3	Газ CO	31,26	0,20
	Σ	15597,56	104,0

### 3.3. Розрахунок теплового балансу

Тепловий баланс дугової електропечі – це є відношення відповідно теплоти між прибутком і видатком. Мета розрахунку теплового балансу дугової електропечі полягає у визначенні витрати електроенергії та потужності її трансформатора [1-5,7,8 ].

В дуговій електропечі тепла енергія буде отримуватися відповідно за рахунок трансформації електричної енергії в теплову енергію, а також за рахунок термохімічних реакцій, це стосується окислення металу з виділенням теплоти. Найбільша втрата електроенергії буде припадати на період завалки шихти та її плавлення, отже розрахунок робимо з врахуванням потреб теплоти на виконання цих процесів, які відбуваються.

Рівняння теплового балансу в дуговій електропечі має наступний вигляд:

$$Q_{ел.ен.} + Q_{екз} = Q_{м} + Q_{шл} + Q_{кл} + Q_{охол} + Q_{випр} + Q_{виб} \quad (3.38)$$

де  $Q_{ел.ен.}$  – витрата електроенергії,  $Q_{екз}$  –теплота екзотермічних реакцій;  $Q_{м}, Q_{шл}$  –тепловміст металу та шлаку;  $Q_{охол}$  – втрата теплоти з охолоджуючою водою;  $Q_{випр}$  – теплота випромінювання;  $Q_{виб}$  – теплота вибивання газів.

Всі статті теплового балансу в дуговій електропечі визначаємо у кВт. Тривалість завалки шихти та плавлення її приймаємо 1,35 години.

Визначаємо теплоту екзотермічних реакцій: кВт

$$Q_{екз} = (11658 \cdot 13,41 + 27696 \cdot 38,22 + 6435 \cdot 64,68 + 4289 \cdot 37,5) / 1,5 \cdot 3600 = 331,84 \quad (3.39)$$

Теплота металу та шлаку при визначенні їх тепловмісту  $t_{м} = 1550^{\circ}C$ ,

$$t_{шл} = 1600^{\circ}C$$

$$Q_{м} + Q_{шл} = [(0,87 \cdot 1550 + 50) \cdot 14846 + (1,89 \cdot 1600 - 1100) \cdot 520] / 1,5 \cdot 3600 = 4030$$

Величину  $Q_{кл}$  розраховуємо за виразом

$$Q_{кл} = \alpha(t_{кл} - t_{нов})F \quad (3.40)$$

де  $\alpha = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  ефективний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією поверхні кладки до повітря, яке оточує дугову піч;  $t_{кл} = 100 \text{ }^\circ\text{С}$  і  $t_{нов} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$  – температури зовнішньої поверхні кладки дугової печі та оточуючого повітря;  $F$  – величина зовнішньої поверхні дугової печі.

$$F = 2\pi d^2/4 + \pi DL = 2 \cdot 3,14 \cdot 3,7^2/4 + 3,14 \cdot 3,7 \cdot 2,1 = 45,89 \text{ м}^2 \quad (3.41)$$

Отже

$$Q_{кл} = 20(100 \cdot 20) \cdot 42,31 = 67680 \text{ Вт} = 67,68 \text{ кВт} \quad (3.42)$$

Величину  $Q_{охол}$  визначаємо при витраті води біля  $10 \text{ м}^3/\text{год.}$  та температур води  $t_e^{ноч} = 20^\circ\text{С}$ ,  $t_e^{кін} = 60^\circ\text{С}$ ;

$$Q_{охол} = (10000/3600) \cdot 4,2(60 - 20) = 467 \text{ кВт} \quad (3.43)$$

Для останніх двох статей видаткової частини теплового балансу прийmemo наступні співвідношення:

Визначаємо витрату електроенергії

$$Q_{ел.ен.} = 4797,68 \text{ кВт} \quad (3.44)$$

$$Q_{випр} + Q_{виб} = 0,2Q_{ел.ен.} = 0,2 \cdot 4797,68 = 564,84 \text{ кВт} \quad (3.45)$$

Отриманий результат є близьким до значення потужності трансформатора для печей ємністю 15т за літературними даними.

Дані теплового балансу дугової електропечі наводимо у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Тепловий баланс плавлення сталі в дуговій електропечі продуктивністю 15 т/год.

№ п/п	Статті прибутку	кВт	%	№п/п	Статті видатку	кВт	%
1.	$Q_{ел.ен.}$	4797,68	93,52	1.	$Q_{м} + Q_{шл}$	4030	78,56
2.	$Q_{екз}$	331,84	6,46	2.	$Q_{кл.}$	67,68	1,32
	$\Sigma$	5129,52	100	3.	$Q_{охол}$	467	9,11
				4.	$Q_{вип} + Q_{виб}$	564,84	11,1
				5.	$\Sigma$	5129,52	100

## **Висновки**

В кваліфікаційній бакалаврській роботі розрахована дугова електропіч продуктивністю 15 т/год з кислотою футеровкою для плавлення сталі. Також описані основні параметри роботи дугової електропечі та визначенні основні електротехнічні характеристики дугової електропечі. Також розраховані матеріальний та тепловий баланси дугової електропечі та основні її розміри і параметри роботи проекрованої печі.

## Список використаних джерел

1. Сабірзянов, Т.Г. Печі ливарних цехів: навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ. 2007. 280 с.
2. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студентів денної та заочної форм навчання / Кропивний В.М. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
3. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія. *Металургійний та енергетичний комплекс*: навч. посіб. Харків : НТУ «ХП». Лідер, 2020. 212 с.
4. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Теплотехніка ливарного виробництва» для студ. денної та заочної форм навчання напряму «Ливарне виробництво» / [укл.: Чубіна О.А., Кобзева А.І.]. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 63с.
5. Афтанділянц Є.Г., Зазимко О. В., Лопатько К.Г., Поліщук А.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125. с.
6. Павленко Т.П., Петренко О.М., Лукашова Н. П. Електротехнологічні установки: Конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 130 с.
7. Єременко А.П. Виробництво виливків з чорних металів. *Виробництво виливків зі сталі*: Конспект лекцій. Дніпродзержинськ. ДДТУ, 2015. 51 с.
8. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2009. 179с.
9. Люта А. В. Удосконалення систем управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей: монографія. Краматорськ: ДДМА, 2020. 147 с.

# ДОДАТКИ