

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:  
"Конструювання та розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 20 т/год."**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21  
спеціальності 131  
«Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Сергій НЕРАДЬКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

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

Рецензент  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Любова ОЛІЙНИЧЕНКО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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 МЛВ

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

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

1. Тема роботи: Конструювання та розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 20 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 характе-		

	ристик, 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

\_\_\_\_\_ Сергій НЕРАДЬКО

## АНОТАЦІЯ

Нерадько С.С. "Конструювання та розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 20 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025. 41 с. Матеріали ілюстрації 3 іл.

Метою кваліфікаційної роботи є вивчення конструкції роботи дугової електропечі та розрахунок основних розмірів проектного обладнання. Також необхідно розрахувати матеріальний та тепловий баланси печі.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахована дугова електросталеплавильна піч продуктивністю 20 т/год з кислотою футеровкою. Визначено основні розміри печі та електротехнічні параметри, а також матеріальний та тепловий баланси.

До графічної частини входить: загальний вигляд дугової електросталеплавильної печі та електродотримачів.

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

## ABSTRACT

Neradko S.S. " Design and calculation of an electric arc steelmaking furnace with a capacity of 20 t/h." specialty 131 "Applied Mechanics", OPP "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 41 p. Illustration materials 3 ill.

The purpose of the qualification work is to study the design of the electric arc furnace and calculate the main dimensions of the designed equipment. It is also necessary to calculate the material and heat balances of the furnace.

In this bachelor's qualification work, an electric arc steelmaking furnace with a capacity of 20 t/h with an acid lining is calculated. The main dimensions of the furnace and electrical parameters, as well as material and heat balances, are determined.

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. Елементи дугової електросталеплавильної печі.....	9
1.1. Фундамент печі.....	9
1.2. Корпус печі.....	9
1.3. Вогнетривка кладка.....	9
1.4. Механізм нахилу.....	10
1.5. Механізм переміщення електродів.....	10
1.6. Електродотримачі.....	10
1.7. Охолоджувачі електродів .....	10
1.8. Механізм завантаження дугової печі .....	11
1.9. Електричне устаткування дугової печі.....	11
Розділ 2. Конструкція та робота дугової сталеплавильної печі.....	12
2.1. Принцип дії електросталеплавильних печей.....	13
2.2. Процеси плавлення металу в дуговій електропечі.....	21
Розділ 3. Розрахунок дугової печі.....	24
3.1. Основні розміри робочого простору печі.....	24
3.2. Розрахунок матеріального балансу.....	27
3.3. Розрахунок теплового балансу.....	31
Висновки.....	33
Список використаних джерел.....	34
Додатки.....	35
Додаток 1. Дугова електросталеплавильна піч.....	36
Додаток 2. Загальний вигляд дугової електросталеплавильної печі .....	37
Додаток 3. Електродотримачі дугової електросталеплавильної печі .....	38

## Вступ

Дугові електросталеплавильні печі різної ємності використовують для плавки металу (сталі і чавуну) та інших сплавів, також кольорових.

В 1898-1901рр. побудовані перші промислові дугові печі. Дугові електросталеплавильні печі, які застосовують в промисловості, мають продуктивність від 0,5 до 200 т і більше. Для плавлення сплавів на виробництві найчастіше використовують дугові печі меншої продуктивності від 2 до 30т. [1-5].

В дуговій електросталеплавильній печі застосовується теплота електричної дуги для плавлення як чорних металів, так і кольорових сплавів. Тобто, в дугових електричних печах електрична енергія перетворюється в теплову в електричному розряді, який протікає в газовій фазі або вакуумі. Дугові електропечі поділяють на наступні види: прямого і непрямого принципу дії, а також електронно-променеві печі.

В процесах лиття електродугові печі використовують для плавки сталі із металевого лому або перегріву рідкого чавуну, виплавленого в іншому плавильному агрегаті. Електричний режим роботи печі залежить від процесу плавлення металу.

Дугові сталеплавильні печі мають широкі можливості у виплавленні металу та високої його якості, регулювання теплових процесів, маневреність в послідовності плавки.

Перевага плавки металу в електродуговій печі перед іншими способами сталеплавильного виробництва пов'язана зі спектром нагріву металу енергією, яка виділяється безпосередньо від електричної дуги. Це дозволяє плавно регулювати як температуру металу, так і введення в піч великої кількості легуючих добавок та мати у печі відновлювальну атмосферу і безокисні шлаки, звісно отримувати метал з низьким вмістом неметалевих включень, а сталь з низьким вмістом сірки [1-5].

В розрахунок дугових електросталеплавильних печей входить визначення оптимальних співвідношень між розмірами печі, а також її ємністю та

потужністю трансформатора, він підводить електроенергію до дугової печі. Також визначаються геометричні розміри робочого простору дугової печі, а потім тепловий розрахунок. Визначається потужність трансформатора і продуктивність дугової печі та проводяться розрахунки основних розмірів робочого простору печі, матеріальний та тепловий баланси печі [1-5].

## **Розділ 1. Елементи дугової електросталеплавильної печі**

До основних частин дугової електропечі відносять: фундамент печі, корпус печі, футеровка печі, охолоджувачі електродів, механізм нахилу печі, механізми переміщення електродів, електродотримачів та завантаження дугових електропечей, а також електроустаткування печей [1-5].

### **1.1. Фундамент печі**

Фундамент електропечі виконується з залізобетону, який пов'язаний з кладкою приямка, який також виконують необхідних розмірів – це необхідно для розташування в ньому розливочного ковша металу при нахилі електропечі.

### **1.2. Корпус печі**

Корпус дугової електропечі може бути циліндричним або конічним та виготовляють із зварного або клепаного сталюого кожуха товщиною до 20 мм та відповідно внутрішньою футеровкою. Корпус електропечі несе на собі весь тягар футеровки і розплавленого металу і випробовує термічні напруження, тому він повинен мати велику міцність.

### **1.3. Вогнетривка кладка**

Футерування дугової електропечі виконують наступним чином: на саме дно електропечі набивають перший шар, який стикається з рідким металом і шлаком, шар дрібного вогнетривкого порошку розміром 5-6 мм. При кислому процесі використовують набивку із кварцового піску, при основному набивку із магнезитового порошку. Другий шар кладуть два ряди цегли шамотної і засипають шамотним порошком. Далі кладуть шар цегли з динасу при кислому процесі, а при основному з магнезиту наступні шари виконують з шамоту, діатоміту і азбесту, а шви засипають також порошком тільки з магнезиту, бокові стінки кожуха печі викладають із листового азбесту розміром 20 мм. Магнезитова кладка дугової електропечі робиться повністю для всіх стін, в кінці ще кладуть два ряди цегли з хромомagneзиту, а тоді ще динасову цеглу і зверху викладають подушку з кварцового піску. Отвір робочого вікна

виготовляють із магнезиту. Набивка поду електропечі виконується магнезитовим порошком та рідким склом і трамбується дуже щільно [1-5].

Кладка футеровки поду і стін для кислого способу плавки робиться із диасової цегли. Під електропечі виготовляють з кварцового порошку або кварцового піску з рідким склом. На верхні стіни, що стикаються до склепіння кладуть шар хромистої руди з добавкою вогнетривкої глини. Кожух електропечі також викладають з азбесту. Далі кладуть шамотну цеглу шаром біля 200 мм потім трамбують набивну частину футеровки з кварцового піску та рідкого скла.

#### **1.4. Механізм нахилу**

Механізм нахилу дугової електропечі дає змогу плавно нахилити електропіч у бік зливного жолоба на  $40-45^\circ$  для зливання металу та у бік робочого вікна на  $15^\circ$  для зливання шлаку. Нахил дугової печі можливо здійснювати вручну або електродвигуном з редуктором. Для нахилу електропечі використовують і гідропривід.

#### **1.5. Механізм переміщення електродів**

Механізм переміщення електродів необхідний для утримання електродів в електропечі та для підйому і опускання їх. Дугові електропечі мають автоматичні пристрої, які підтримують відповідну силу струму та регулюють положення електродів по висоті печі. Відстань від електрода до самого металу завжди визначається довжиною дуги – це електрична потужність електропечі.

#### **1.6. Електродотримачі**

Електродотримачі використовують для кріплення в них електрода, а також пересування його. Через електродотримач треба підводити електроенергію до електрода, отже необхідно забезпечити мінімальний опір на поверхні їх контакту.

#### **1.7. Охолоджувачі електродів**

Охолоджувачі електродів виконують литими з водяним охолодженням. Вони необхідні для ущільнення щілини в склепінні навколо електрода.

### **1.8. Механізм завантаження печі**

Механізм завантаження електропечі виконують через склепіння, яке знімається. Шихта завантажується в робочий простір електропечі. При завантаженні шихти склепіння печі разом із електродами піднімають і повертають на 80-100°. Відкриту електропіч завантажують за допомогою спеціальних завантажувальних кошиків. Після закінчення завантаження печі склепіння опускають і повертають у вихідне положення. При цьому може бути розпочатий робочий цикл. Механізоване завантаження шихти дозволяє збільшити продуктивність печі, економити електроенергію та виключити важку фізичну працю.

### **1.9. Електричне устаткування печі**

До електроустаткування печі входить трансформатор, його використовують для зменшення напруги, тому, що в процесі плавки металів та сплавів необхідна змінна напруга на електродах, також трансформатор має декілька ступенів напруги. До кожного з електродів необхідно підводити одну фазу трифазного струму. Включаючи їх, можливо змінювати напругу на електродах. Робота печі полягає в нерівномірному навантаженні в період плавки металу і частих коротких замикань в період плавлення шихти [1-5].

## Розділ 2. Конструкція та робота дугової сталеплавильної печі

На рис. 2.1 наведено дугову електропіч трифазного змінного струму [1,3-5].

Електричний процес роботи дугової електропечі залежить від теплового процесу плавки металу. При доведенні рідкого металу до необхідного хімічного складу використовується порівняно невелика потужність дугової печі. Регулювати тепловий режим електропечі можливо за допомогою зміни напруги на електродах, або також довжини дуги, тобто силу струму електричної дуги. Дугову піч треба підключати до трифазної мережі, частота напруги повинна становити 6-35кВ. Для електропечей невеликої продуктивності передбачено дві-чотири ступені напруги трансформатора, а вже для печей більшої місткості можливо і застосування до 25 ступенів, це дозволяє для процесу плавлення підбирати оптимальну напругу [1-8].

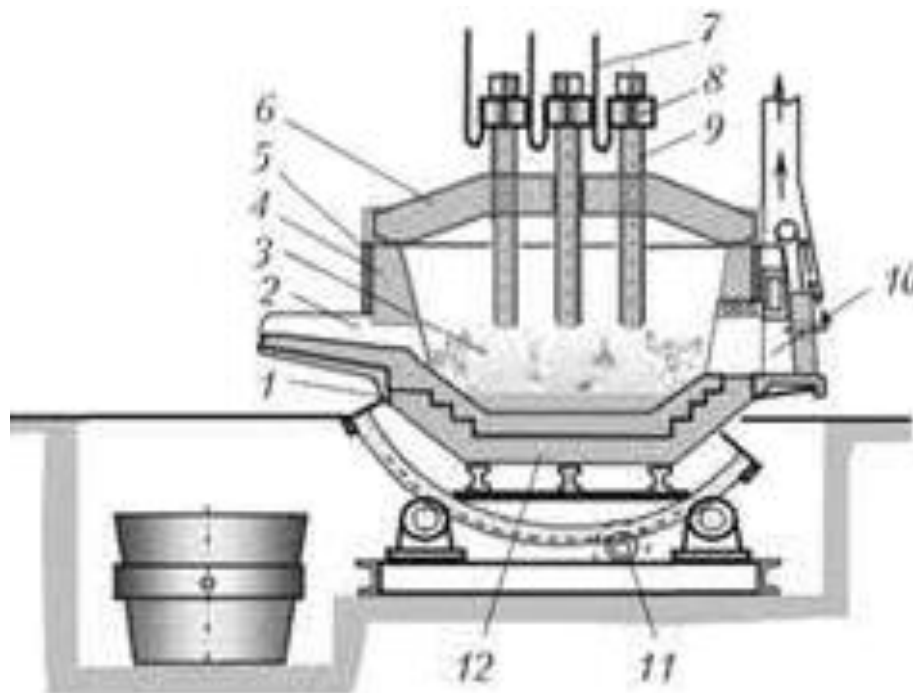


Рис. 2.1 Дугова електросталеплавильна піч

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) струм подається в середину робочого простору печі по вугільним або графітیزованим електродам. Вугільні електроди виготовляють з антрациту і коксу, а графітизовані з штучного графіту. Електрична дуга виникає між електродом і розплавленим металом. Тепло електричної дуги передається до металу таким способом, як випромінювання та конвекція [1-8].

Дугові електропечі живляться трифазним змінним струмом, маючи три циліндричних графітизованих електроди 9, які закріплені в електродотримачі 8, до яких підводиться електричний струм по кабелях 7. Між електродом і металевою шихтою 3 виникне електрична дуга. Корпус електропечі має циліндричну форму. Зовні корпус закріплений у міцний сталевий кожух 4, в середині він футерований основною або кислою цеглою 1. Плавильний робочий простір обмежено стінками 5, подом 12 і склепінням 6. З'ємне склепіння електропечі 6 має отвори для електродів. В стінці корпусу знаходиться робоче вікно 10 (для зливання шлаку, завантаження феросплавів та взяття проб), закривається при плавці металу заслінкою. Метал випускають через зливний отвір по зливному жолобу 2. Електропіч спирається на сектори та має привід 11 для нахилу в бік робочого вікна або жолоба. Електропіч завжди завантажують шихтою при знятому склепінні. Місткість дугових електропечей становить 0,5-400 тон. В металургійному виробництві використовують дугові електропечі з основною, а в машинобудівних ливарних відділеннях з кислою футеровкою (рис. 2.1).

Процес плавки в дугових електропечах полягає в зведенні двох вугільних або графітизованих електродів, які з'єднані із джерелом електроживлення, а потім розводити треба їх на деяку відстань, то між ними виникає безперервний розряд – електрична дуга. Цей процес супроводжується виділенням великої кількості теплоти.

Враховуючи способи передачі теплоти від електричної дуги до металу дугові печі бувають прямого, непрямого, змішаного і плазмового нагрівання (рис. 2.2).

В електросталеплавильному виробництві найбільше розповсюдження отримали дугові печі прямого нагріву (рис. 2.2). Дугові електропечі непрямого нагріву використовуються в кольоровій металургії, а також і в ливарних відділеннях для виплавки чавуну та сплавів.

Високий ККД дугової печі до 70 % мають електричні печі із закритою дугою – це феросплавні печі. Наразі в металургії розповсюдження отримали плазменно-дугові печі (ПДП, рис. 2.2). За формою ванни, футеровки та деяких інших конструктивних ознак ПДП нагадують електропечі ДСП, тільки замість електродів можна використовувати плазмотрони. Плазмотрони працюють на постійному а також змінному струмі у декілька сот тисяч ампер та на напрузі 30-150 В. При роботі на постійному струмі катодом може служити верхній водоохолоджувальний електрод, а анодом ванна, рідкий метал, який контактує з водоохолоджувальним мідним подовим електродом. Робочий простір дугової печі заповнюється при роботі плазموутворюючим газом – можна (аргоном, азотом або воднем) при цьому створюється нейтральна або відновна атмосфера. В процесі плавки неметалевої шихти використовують плазмотрони непрямої дії.

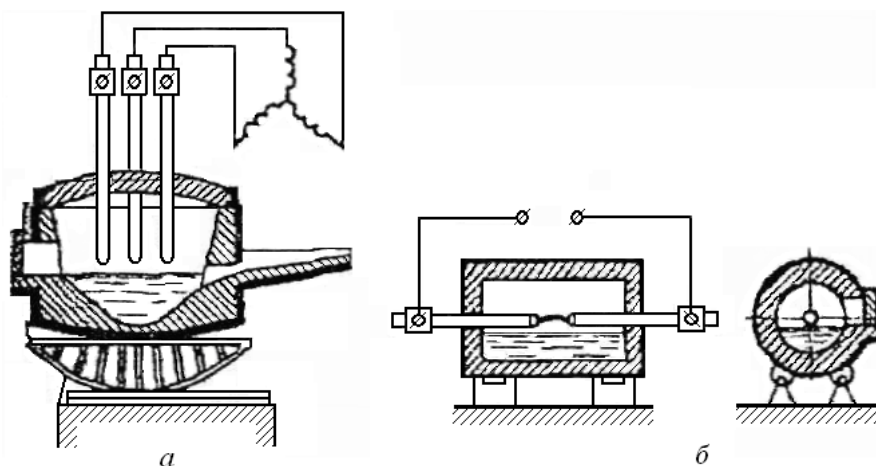


Рис. 2.2 Дугові електропечі, прямого нагріву (а) і непрямої дії (б).

Як відомо, при непрямому нагріванні електричні дуги горять між електродами на деякій відстані від металу, а при прямому нагріванні між електродами і металом. Для виробництва сталі треба використовувати переважно печі прямого нагрівання металу. В печах змішаного нагрівання електричні дуги горять під шаром твердої шихти, які оточують електрод. Шихта буде нагріватися теплотою, яка виділяється в електричній дузі звісно в самій шихті при проходженні через неї електричного струму. Такі електропечі використовуються в основному для виробництва чавуну та феросплавів. В установках плазмового нагрівання теплота переноситься іонізованим потоком газу, що подається під тиском у плазмотрон. Плазменні електропечі використовуються для плавки спеціальних сталей, сплавів, а також чистих металів [1-8].

Дугові електропечі по способу відкривання та завантаження шихти поділяють на три типи:

- печі, у яких при завантаженні шихти, склепіння, підвішене до моста, піднімається і з під нього викочується корпус печі, це печі з корпусом, що викочується;

- печі, у яких склепіння буде підніматися над піччю і разом з мостом від'їжджати у бік завантажувального вікна або зливного отвору, такі печі відносяться до печей з від'їжджаючим склепінням.

- печі, у яких склепіння піднімається вверх над піччю, а опорна колона зі склепінням і стояками відповідно повертається навколо осі на 60-90° і відкриває робочий простір печі, звісно відносять до печей зі склепінням, що відкриваються.

Кожух електропечі – це частина корпусу, який розташований вище порога робочого вікна печі. Кожух виконаний циліндричної форми. Кожух печі з'єднаний із днищем за допомогою пальців із клинами, це дозволяє від'єднати та зняти його під час ремонту футеровки електропечі. До верхньої частини кожуха печі кріпиться кільце піскового затвору. В корпусі виконані два вирізи, вони передбачені для робочого вікна та зливного отвору,

які для посилення корпусу обрамлені литими рамами. До рами корпусу печі біля зливного отвору під кутом  $12^\circ$  до горизонталі кріпиться зливний носок, що являє собою футерований відкритий жолоб. Довжина зливного носка залежить від розташування електропечі в пічному прольоті цеху і може становити від 1 до 3 м.

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

В усіх випадках форма склепіння й ванна, яка відповідно вміщує метал і шлаки однакова. Ванна, яка утворена футеровкою подини, має сфероко-нічну форму, нижня її частина вже сферична, а укуси можливо нахилені під кутом  $45^\circ$  до горизонталі. Такий нахил звісно необхідний для того, щоб магнетитовий порошок при заправленні не зсипався з укосів вниз (кут укусу магнетиту звісно до  $45^\circ$ ). Сферична форма днища кожуха буде забезпечувати мінімальні тепловтрати та витрати вогнетривких матеріалів на кладку подини.

Переваги дугових печей із циліндричними стінками наступні: маємо менші габарити, поверхні, що віддає теплоту та масу печі. Перевага дугових печей з циліндроконічними та похилими стінками полягають у підвищенні стійкості футеровки електропечі внаслідок їх віддалення від високотемпературних електричних дуг. Циліндроконічні стінки більш вигідніші, ніж похилі, при похилих стінках зростає діаметр склепіння. Через це більшість електропечей, що споруджувались в останні роки виконують робочий простір з циліндроконічними стінками.

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

Футеровка дугової печі буде піддаватися впливу випромінювання електричної енергії, ударом шматків шихти при завантаженні та впливу шлаків і рідкого металу, які роз'їдають та термічних напруг, які виникають при різких

коливаннях температур під час завалки шихтових матеріалів. Футеровка склепіння також зазнає додаткових навантажень, які звісно викликані розпірними зусиллями аркового склепіння печі. Отже вогнетривкі матеріали, які використовують, повинні мати достатньо високі вогнетривкі властивості: термостійкість, міцність та шлакостійкість [1-8].

Під основної дугової печі складається з ізоляційного і робочого шарів. Ізоляційний шар кожуха дугової печі включає листовий азбест, який укладають на металеве днище, потім шар шамотного порошку та шар кладки з шамотної цегли для вирівнювання. Товщина ізоляційного шару становить 70-190 мм.

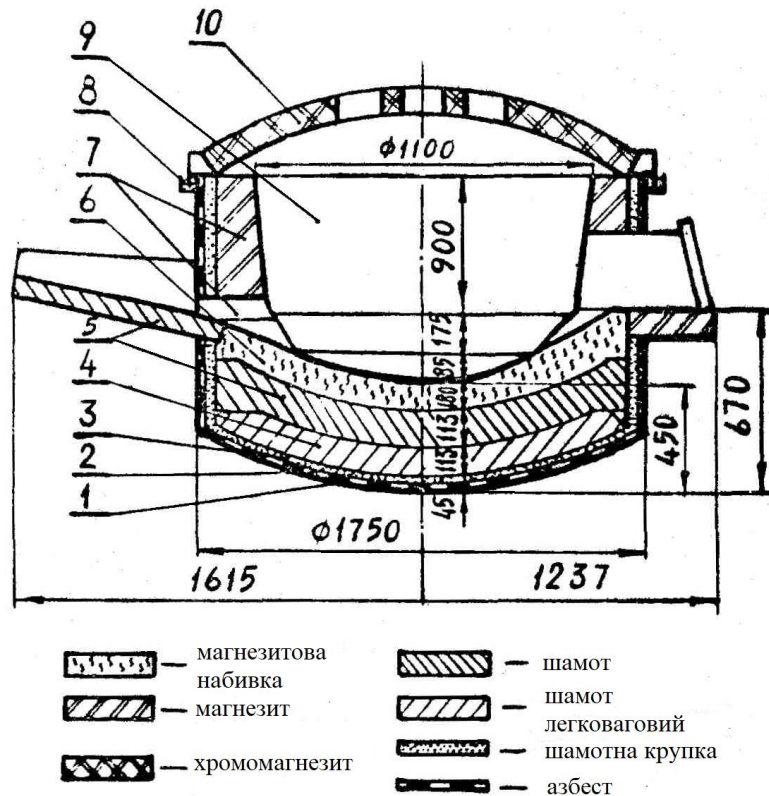


Рис. 2.3 Дугова стелеплавильна піч

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 хромомагнезитове

Робочий шар вогнетриву включає кладку з декількох рядів магнезито-вої цегли товщина від 230 мм для печей меншої ємності до 575 мм для більшої ємності та верхній набивний шар з магнезитового порошку товщиною 100-190 мм, які після спікання мають собою монолітну масу.

Стійкість поду повинна складати біля 2000-8000 плавок і зазвичай не обмежувати роботу дугової печі. Робочий набивний шар в процесі роботи зношується, тому його треба обновляти після кожної плавки, при цьому заправляючи магнезитовим порошком.

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

Футеровку стін на підприємствах можливо виконувати без шару теплоізоляційної кладки тільки з основної цегли (магнезитохромітової, хромомагнезитової, магнезитової), яку кладуть на футеровку укосів.

Щоб шлак не розмивав цегляні стінки, стик стінок з укосами (рівень укосів) звісно виконують на 75-150 мм вище рівня порога робочого вікна печі (або дзеркала ванни). В печах з циліндроконічним кожухом дугової печі кут нахилу футеровки низу стін становить 15-30°. Товщина стінок у нижній частині звісно становить 300-575 мм і зростає з збільшенням місткості дугової печі. Стійкість футеровки стін для дугових печей продуктивністю більше 15т. змінюється в межах біля 75-350 плавок.

Місця найбільшого спрацювання треба ремонтувати шляхом торкретування, наносячи відповідно на футеровку вогнетривку масу. Збільшення стійкості стін досягається в результаті застосування елементів (панелей), що охолоджуються водою. Панелі, які охолоджуються водою, застосовують двох типів: перший тип – плоскі порожнисті та другий трубчасті у вигляді змійовика, їх встановлюють замість футеровки стін дугової печі трохи вище укосів, замінюючи при цьому всю футеровку або її частину.

На поверхні панелей, які звернені всередину дугової печі є шини або ребра. Вони звісно втримують вогнетривку масу, яка наноситься на панель, а в процесі служби забезпечується утворення шару шлакового гарнісажу.

Стійкість панелей становить до 7000 плавок. Застосування панелей дозволяє підвищити продуктивність дугової печі за рахунок зниження простоїв на перефутеровку стін та значно знизить витрати вогнетривких матеріалів, хоча при цьому зростають тепловитрати, а також необхідна додаткова витрата води.

Заслінка прикриває робоче вікно – це для зменшення втрат теплоти і виходу газів з дугової печі. Для запобігання від прогару заслінка виготовлена з зкругленою верхньою частиною, це щоб не утворювались парові мішки. Відведення води звісно здійснюється у верхній частині заслінки. Рівномірне охолодження заслінки можна забезпечувати встановленням у середині заслінки направляючих перегородок. В нижній частині заслінки передбачено отвір, який закривається заслінкою. Через нього відбирають проби металу та шлаків, а також вимірюють температуру металу і виконують інші операції.

Щоб забезпечити щільне закриття вікна дугової печі заслінка розміщена в направляючих, площина яких звісно нахилена до вертикалі на  $8^\circ$ . При цьому заслінка під дією своєї власної ваги притискається до направляючих рам. Заслінка підвішується на кронштейнах до двох ланцюгів механізму, що складається з електродвигуна та черв'ячного редуктора з барабаном, а також ланцюгів і направляючих блоків. При намотуванні ланцюгів на барабан відбувається звісно підйом заслінки, а опускання її повинно здійснюватися під дією власної ваги. Поріг виконується литим у вигляді плити і кріпиться до рами за допомогою клинів. В процесі плавки на плиту порога насипається з вогнетривкого порошку такий хибний поріг, через який випускають шлаки з дугової печі. В середній частині порога знаходиться жолоб для випуску шлаків, тому плиту порога також виконують з западиною в середній частині [1-8].

Гребінка служить для установки поперечини при випуску шлаків і перемішуванні металу, вона звісно кріпиться шарнірно до рами. Випускний отвір розташований проти робочого вікна, це вище рівня металу та шлаків, а його нижня частина звісно перебуває на рівні порога робочого вікна печі. Отвір може бути як круглого перетину діаметром 120-150 мм, або квадратного перетину з стороною 150-250 мм. Жолоб, який прилягає до отвору, футерують шамотною цеглою.

Склепіння дугової печі служить для закриття її зверху і утворення замкнутого робочого простору печі. Робочий простір печі складається з кільця склепіння та футеровки, що викладаються за сферою. В футеровці виконані отвори для переходу електродів. Кільце склепіння, як відомо, сприймає розпирне зусилля від футеровки і через нього звісно склепіння опирається на кожух дугової печі. Для того, щоб кільце склепіння не коробилося від нагрівання, його виготовляють порожнім, а всередині нього буде циркулювати охолоджуюча вода. Склепіння і кожух дугової печі з'єднанні між собою пісковим затвором, що служить для ущільнення печі та запобігання витоку газів між кожухом і кільцем склепіння. Футеровка склепіння повинна викладатися з фасонної хромомagneзитової цегли на спеціальному шаблоні, який має форму внутрішнього контуру склепіння.

Отвори для проходу електродів в дуговій печі розташовані по вершинах вписаного в окружність відповідно рівностороннього трикутника.

При наборі склепіння в кладці треба залишати три отвори – вони необхідні для встановлення електродів та отвір для відведення пічних газів. Стійкість склепіння малих печей становить 125-225 плавок, при збільшенні продуктивності печі стійкість склепіння звісно знижується і складає 50-100 плавок, а для місткості печей біля 60 – 100т. Діаметр окружності, який проходить через центр електродів, є відповідно діаметром розводу електродів. Отвори для проходу електродів повинні бути більшими діаметра електродів на 40-50 мм, це виконується для запобігання поломки електродів при можливих як теплових, так і силових деформаціях склепіння. Для того, щоб гаря-

чі гази не виходили з робочого простору дугової печі в зазори між електродами і склепінням, а також для зниження нагрівання електродотримачів і розпалу футеровки печі навколо отворів, а також для зменшення температури і інтенсивності окислювання виступаючої над склепінням частини електродів, то звісно на отвори склепіння встановлюють ущільнювачі [1-8].

За конструктивним виконанням використовують ущільнювачі, які можна розділити на такі види: керамічні, економайзери, газодинамічні. Керамічні ущільнювачі виготовляють з цирконієвих або корундових вогнетривків матеріалів у вигляді накладних кілець, які забиті у склепіння. Економайзери є порожніми водоохолоджувальними кільцями, їх встановлюють поверх склепіння або можливо заглиблюють у футеровку склепіння печі. Для додаткового ущільнення більшість економайзерів необхідно оснащувати комірами, які заповнені шлаковатою. Ущільнюючі кільця та трубки, які підводять до них воду та ізолюють від каркаса склепіння та одну від іншої для того, щоб уникнути короткого замикання [1-8].

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

Процес плавлення металу та сплавів у дугових електропечах можна привести на наступних етапах [1-9].

Перший етап, коли електрична дуга буде горіти на поверхні шихти, яка поступово буде розплавлятися біля кожного із електродів. В цей період значна частина теплоти буде випромінюватися на склепіння, але запобігаючи його оплавлення до електродів треба підводити струм звісно помірної потужності.

Другий етап, коли електроди в міру розплавлення шихти автоматично опускаються, а електрична дуга повинна занурюватися у шихту, при цьому потужність струму, яка підводиться до електродів буде збільшуватися.

Третій етап – відповідно електроди повинні пропалювати у шихті колодязі, а електричні дуги горять між шаром рідкого металу, який перебуває

на подині дугової печі та електродами. Кількість рідкого металу звісно збільшується, а от довжина дуги повинна зменшуватися, електроди при цьому автоматично будуть підніматися, а шихтові матеріали між електродами плавитися.

Четвертий етап – вся шихта буде розплавлена, а електричні дуги горять відкрито вже над поверхнею шлаків та рідкий метал сприймає теплоту значно менше, ніж тверда шихта. Випромінювання теплоти на стінки та склепіння дугової печі збільшується для того, щоб уникнути підплавлення кладки потужність струму, що підводиться до електродів треба знижувати.

Плавлення металу та сплавів включає такі відповідні процеси: заправку дугової печі, завантаження шихтових матеріалів, плавлення, далі окислювальний процес, потім відновлювальний процес та випуск металу.

*Заправка* дугової печі виконується для відновлення футеровки плавильного простору звісно робочого стану. Наприклад, після випуску чергової плавки металу на ушкоджені місця подини та укосів, використовуючи заправочну машину, завантажують звісно сухий магнезитовий порошок, а у випадку великих пошкоджень завантажують порошок з добавкою смоли.

*Завантаження* шихти виконують, починаючи відразу після закінчення заправлення дугової електропечі. Завантаження шихти повинно здійснюватися зверху, використовуючи, завантажувальну баддю. Після закінчення завалки шихтових матеріалів, склепіння з електродами потрібно встановити на дугову піч, далі опускають електроди та включають струм. Під дією високої температури електричної дуги відбувається плавлення шихти звісно під електродами, рідкий метал буде стікати вниз і накопичуватися в центральній частині подини печі. Так відповідно поступово відбувається повне розплавлення шихтових матеріалів.

*Окислення* заліза, марганцю, кремнію буде відбуватися з виділенням значної кількості теплоти, яка прискорює розплавлення залишків металевого брухту. В процесі окислення металу буде зменшуватися вміст в рідкому металі фосфору, водню, азоту. Окислення закінчується, тоді коли вміст вугле-

цю буде нижче заданої межі, вміст фосфору нижче 0,01%. Звісно наприкінці окислювального процесу повністю видаляється шлак з дугової печі.

*Відновлювальний* процес плавлення полягає в розкисненні металу, видалення сірки, доведення хімічного складу металу та регулювання його температури. Після повного видалення окисних шлаків у дугову електропіч присаджують шлакоутворюючі суміші звісно разом з розкислювачами, тобто наводиться новий шлак. В якості розкислювачів треба використовувати феромарганець, феросиліцій, алюміній. В дугову піч присаджують також і легуючі добавки. Після цього готовий метал *випускають* з дугової печі у встановлений під жолобом ківш, а дугову піч нахиляють у бік випускного отвору. Якщо буде необхідність, то в ковші можна виконувати і додаткове розкислення та легування рідкого металу [1-9].

## Розділ 3. Розрахунок дугової печі

### 3.1. Основні розміри робочого простору печі

Розрахунок геометричних розмірів робочого простору дугової сталеплавильної електропечі полягає у виборі форми ванни печі. Найбільш зручною є сфероконічна форма ванни, тому її і вибираємо (рис. 3.1) [1-7].

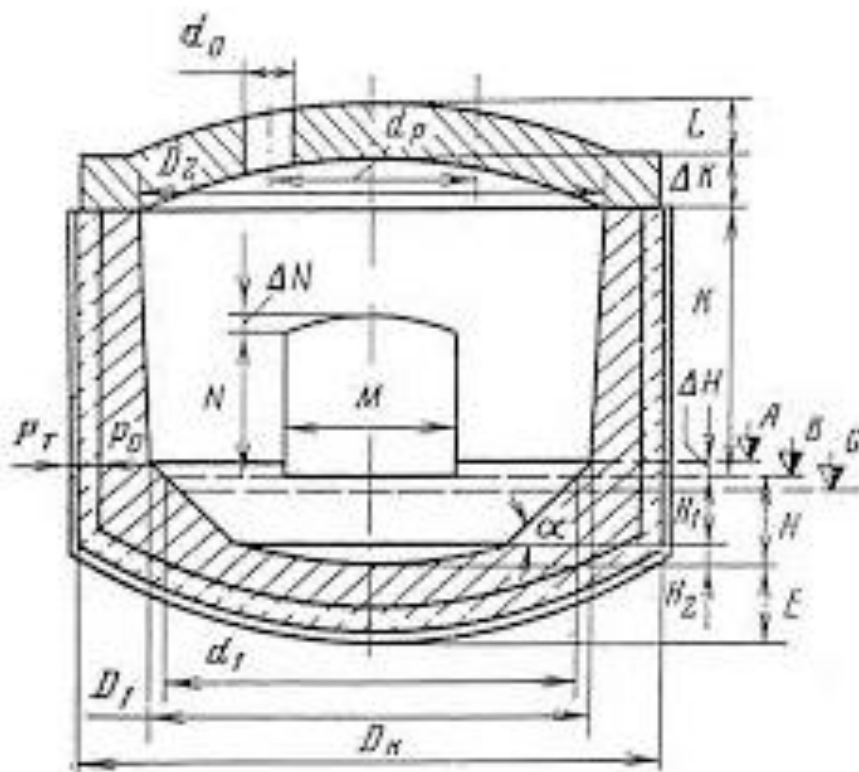


Рис. 3.1 Форма плавильного робочого простору дугової печі

Форма дугової електропечі повинна забезпечувати: невеликий опір теплоти; швидке плавлення шихтових матеріалів; достатньо швидке протікання реакцій між металом та шлаком; також видалення з металу газів та неметалевих включень; маємо глибокий шар рідкого металу на поду печі.

Основні розміри дугової печі:

Об'єм робочого простору (ванни) рідкого металу

$$V_{\text{в.м}} = 0,157 \cdot Q = 0,157 \cdot 20 = 3,14 \text{ м}^3; \quad (3.1)$$

де  $Q$  – задана місткість дугової печі в т.

Глибина ванни

$$H = \sqrt[3]{V_{\text{в.м}}/12,1} = \sqrt[3]{3,14/12,1} = 0,637 \text{ м}; \quad (3.2)$$

Діаметр дзеркала ванни

$$D = \sqrt[3]{V_{\text{вм}}/0,0968} = \sqrt[3]{3,14/0,0968} = 3,189 \text{ м}; \quad (3.3)$$

Висота сферичної частини ванни

$$h_1 = 0,2 \cdot H = 0,2 \cdot 0,637 = 0,127 \text{ м}; \quad (3.4)$$

Висота конічної частини ванни

$$h_2 = 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 0,637 = 0,509 \text{ м}; \quad (3.5)$$

Відстань від порогу п'ят склепіння

$$H_1 = 0,47 \cdot D = 0,47 \cdot 3,189 = 1,498 \text{ м}; \quad (3.6)$$

Діаметр ванни на рівні укосів

$$D_{\text{вл}} = D + 0,2 = 3,189 + 0,2 = 3,389 \text{ м}; \quad (3.7)$$

Стріла опуклості склепіння

$$h_3 = (1/11) \cdot D_{\text{вл}} = (1/11) \cdot 3,389 = 0,308 \text{ м}; \quad (3.8)$$

Повна висота склепіння

$$H_2 = H_1 + h_3 = 1,498 + 0,308 = 1,806 \text{ м}; \quad (3.9)$$

Діаметр плавильного простору на рівні п'ят склепіння

$$D_1 = D + 0,2 \cdot H = 3,189 + 0,2 \cdot 0,637 = 3,316 \text{ м}; \quad (3.10)$$

Товщина склепіння (для  $Q = 20$  т) дорівнює 230 мм. Товщину поду печі приймемо звісно, що вона дорівнює глибині ванни

$$K = H = 0,637 \text{ м}; \quad (3.11)$$

Кладку печі на рівні верху укосів (для  $Q = 10$  т) приймемо товщиною 230 мм, а ізоляційного шару наближено товщиною 75 мм.

Внутрішній діаметр кожуха дорівнює

$$D_{\text{к.вн}} = 3,389 + 2,0(0,230 + 0,075) = 3,99 \text{ м}; \quad (3.12)$$

Зовнішній діаметр кожуха при 15 мм

$$D_{\text{к.зов.}} = 3,99 + 2 \cdot 0,015 = 4,02 \text{ м}; \quad (3.13)$$

Ширина робочого вікна

$$b = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 3,189 = 0,956 \text{ м}; \quad (3.14)$$

Висота робочого вікна

$$h_{p.в.} = 0,8 \cdot b = 0,8 \cdot 0,956 = 0,765 \text{ м}; \quad (3.15)$$

Потужність трансформатора

$$P_{mp} = W_{теор.} \cdot \Pi / \eta \cdot \cos \varphi = 355 \cdot 20 / 0,5 \cdot 0,8 = 17750 \text{ кВА}; \quad (3.16)$$

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

Орієнтовне значення потужності трансформатора визначаємо за емпіричною формулою

$$P_{mp} = 400 \cdot D_{к.з.}^2 = 400 \cdot 4,02^2 = 6464 \text{ кВА}; \quad (3.17)$$

Сила струму при вторинній напрузі 220В

$$I = 10^3 P_{mp} / \sqrt{3U} = 10^3 \cdot 17750 / \sqrt{3 \cdot 220} = 690930 \text{ А}; \quad (3.18)$$

Діаметр розпаду електродів

$$d_{p.ел.} = 0,4 \cdot D_{нл} = 0,4 \cdot 3,389 = 1,016 \text{ м}; \quad (3.19)$$

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

$$d_{ел.} = 2 \cdot \sqrt{I / \pi \cdot j} = 2 \cdot \sqrt{690930 / 3,14 \cdot 20} = 99 \text{ см}; \quad (3.20)$$

### 3.2. Розрахунок матеріального балансу

Складання матеріального балансу плавлення металів та сплавів в дугової електропечі представляє собою: виявлення звісно вихідних матеріалів; спосіб складання шихти; складання загального матеріального балансу [1-5].

Для розрахунку матеріального балансу приймемо такі відповідні умови: футеровка дугової печі - кисла; виплавляємий сплав – сталь марки 35Л.

Шихта для виплавки сталі має як металеву, так і неметалеву частину. Металева частина містить: скрап 92%, чавун 8% та феросплави.

Хімічний склад шихтових матеріалів для плавки сталі наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Хімічний склад шихтових матеріалів

№ 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

Як відомо угар вуглецю під час плавлення шихти буде становити – 15%; заліза – 35 %, кремнію, марганцю – 70%.

Розрахунок матеріального балансу полягає в наступному визначенні статей прибутку та видатку та виконуємо його в такій послідовності.

Вміст вуглецю в металі після розплавлення шихти

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

Вміст вуглецю в шихті

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

Акцентуємо, що відходи власного виробництва будуть становити 40 % шихти.

Частку скрапу позначаємо через  $x$ , а частку чавуну через  $y$  і формуємо систему рівнянь для знаходження цих часток:

$$\begin{cases} x \cdot 5000 \frac{0,3}{100} + y \cdot 5000 \cdot \frac{4}{100} = 0,6 \cdot \frac{5000}{100} \\ x + y = 1 \end{cases} \quad (3.23)$$

Розв'язок системи рівнянь

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

Тому, шихтові матеріали повинні складатись із  $20000 \cdot 0,92 = 18400$  кг скрапу;  $20000 \cdot 0,08 = 1600$  кг чавунного лому.

Під час плавки звісно окисляються вуглець, кремній, марганець та залізо в таких відповідно кількостях

$$\begin{aligned} G_C &= (0,3 \cdot 0,92 + 4 \cdot 0,08) \cdot 20000 \cdot 0,15/100 = 17,88 \text{ кг} \\ G_{Si} &= (0,3 \cdot 0,92 + 1,1 \cdot 0,08) \cdot 20000 \cdot 0,7/100 = 50,96 \text{ кг} \\ G_{Mn} &= (0,6 \cdot 0,92 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 20000 \cdot 0,7/100 = 86,24 \text{ кг} \\ G_{Fe} &= 20000 \cdot 0,25/100 = 50 \text{ кг} \\ \Sigma G_i & \qquad \qquad \qquad 205,08 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Будуть утворюватися та переходити в шлак відповідні оксиди

$$\begin{aligned} G_{SiO_2} &= 50,96 \cdot 60/28 = 109 \text{ кг} \\ G_{MnO} &= 86,24 \cdot 71/55 = 66,85 \text{ кг} \\ G_{FeO} &= 50 \cdot 72/56 = 64 \text{ кг} \\ \Sigma & \qquad \qquad \qquad 239,85 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Для ошлакування оксидів марганцю і заліза треба завантаження в завадку звісно чистого кварцового піску в кількості 1:1

$$G_n = 66,85 + 64 = 130,85 \text{ кг} \quad (3.27)$$

Щоб створити достатню товщину шару шлаку треба ввести у ванну під час процесу плавлення оборотний шлак у кількості 2% від маси металозавалки:

$$G_{об.шл.} = 20000 \cdot 2/100 = 400 \text{ кг} \quad (3.28)$$

Звісно в шлак перейде частина футеровки вагою біля 0,5% від металозавалки:

$$G_{фут.} = 20000 \cdot 0,5/100 = 100 \text{ кг} \quad (3.29)$$

На окислення деяких елементів під час плавлення витрачається кисень із атмосфери дугової печі:

$$\begin{aligned} G_{O_2,C} &= 17,88 \cdot 16/12 = 24 \text{ кг} \\ G_{O_2,Si} &= 50,96 \cdot 32/28 = 58 \text{ кг} \\ G_{O_2,Mn} &= 86,24 \cdot 16/55 = 25 \text{ кг} \\ G_{O_2,Fe} &= 50 \cdot 16/56 = 14 \text{ кг} \\ G_{O_2,i} &= 121 \text{ кг} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Утворюється СО:

$$G_{CO} = 17,88 \cdot 28/12 = 42 \text{ кг} \quad (3.31)$$

Кількість шлаку після розплавлення

$$G_{шл} = 239,85 + 130,85 + 400 + 100 = 871 \text{ кг} \quad (3.32)$$

або  $871 \cdot 100/20000 = 4,35\%$  від маси металозавалки

Кількість металу після розплавлення

$$G_{мет} = 20000 - 205,08 = 19795 \quad (3.33)$$

Зміною маси металу і шлаку під час доводки нехтуємо.

За відомим виразом розрахуємо кількість феросплавів, які треба вводити в метал для одержання заданого вмісту в ньому відповідних домішок

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

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

Розраховуємо вміст Mn і Si перед розкисненням:

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

Розраховуємо кількість феромарганцю

$$G_{\text{FeMn}} = \frac{19795 \cdot (0,65 - 0,18)}{75 \cdot 0,7} = 177 \text{ кг}
 \tag{3.36}$$

Розраховуємо кількість феросиліцію

$$G_{\text{FeSi}} = \frac{19795 \cdot (0,27 - 0,11)}{77 \cdot 0,7} = 58,75 \text{ кг.}
 \tag{3.37}$$

Результати проведених вище розрахунків наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Матеріальний баланс плавки в дуговій печі ємністю 20 т/год

№ п/п	Статті (прибутку або видат- ку)	кг	% від м/з
	Прибутки:		
1.	Скрап	18400	92
2.	Чавун	1600	8,0
3	Оборотний шлак	400	2,0
4.	Пісок	130,85	0,9
5.	Футеровка	100	0,5
6.	Кисень атмосферний	121	0,6
	Σ	20752	104,0
	Видатки:		
1.	Метал	19795	99,0
2.	Шлак	871	4,35
3	Газ CO	42	0,20
	Σ	20752	104,0

### 3.3. Розрахунок теплового балансу

Проведемо складання теплового балансу дугової печ, який полягає у відношенні теплоти між прибутком та видатком. Метою розрахунку теплового балансу дугової печі буде визначення витрати електроенергії, а також потужності трансформатора [1-5,7,8 ].

В дуговій електропечі тепла енергія звісно буде отримуватися за рахунок трансформації електричної енергії в теплову та за рахунок термохімічних реакцій – це окислення металу при виділенні теплоти. Якщо найбільша втрата електроенергії буде припадати на період завалки і плавлення, тому розрахунок необхідно виконувати з урахуванням потреб теплоти на процеси, які відбуваються.

Рівняння теплового балансу дугової електропечі:

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

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

Тривалість завалки шихти та її плавки приймемо 1,35 години.

Теплота екзотермічних реакцій: кВт

$$Q_{екз} = (11658 \cdot 17,88 + 27696 \cdot 50,96 + 6435 \cdot 86,24 + 4289 \cdot 50) / 1,5 \cdot 3600 = 277 \quad (3.39)$$

Теплота металу та шлаку при визначенні їх тепловмісту  $t_m = 1550^\circ C$ ,  $t_{шл} = 1600^\circ C$ .

$$Q_m + Q_{шл} = [(0,87 \cdot 1550 + 50)19795 + (1,89 \cdot 1600 - 1100)871] / 1,5 \cdot 3600 = 21743 \quad (7.4)$$

Величину  $Q_{кл}$  розраховуємо за рівнянням

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

де  $\alpha = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) ефективний коефіцієнт тепловіддачі конвекцією поверхні кладки до повітря. яке буде оточувати дугову піч;  $t_{кл} = 100^\circ C$  і

$t_{нов} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  – температури зовнішньої поверхні кладки та навколишнього повітря;  $F$  – величина зовнішньої поверхні дугової печі.

$$F = 2\pi d^2/4 + \pi DL = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,0^2/4 + 3,14 \cdot 4,0 \cdot 1,8 = 47,7 \text{ м}^2 \quad (3.41)$$

Отже, маємо

$$Q_{кл} = 20(100 \cdot 20) \cdot 47,7 = 1908000 \text{ Вт} = 1908,0 \text{ кВт} \quad (3.42)$$

Величину  $Q_{охол}$  розраховуємо, прийнявши витрату води 20 м<sup>3</sup>/год,  $t_6^{поч} = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_6^{кін} = 60^\circ\text{C}$ ;

$$Q_{охол} = (20000/3600) \cdot 4,2(60 - 20) = 932 \text{ кВт} \quad (3.43)$$

Для останніх двох статей видаткової частини теплового балансу дугової електропечі використовуємо наступне співвідношення:

Знаходимо витрату електроенергії

$$Q_{ел.ен.} = 30382 \text{ кВт} \quad (3.44)$$

$$Q_{випр} + Q_{виб} = 0,2Q_{ел.ен.} = 0,2 \cdot 30382 = 6076 \text{ кВт} \quad (3.45)$$

Одержаний результат звісно близький до значення потужності трансформатора для електропечей ємністю 20 т за літературними даними.

Дані теплового балансу дугової печі наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Тепловий баланс плавки сталі в дуговій печі ємністю 20 т/год.

№ п/п	Статті прибутку	кВт	%	№п/п	Статті видатку	кВт	%
1.	$Q_{ел.ен.}$	30382	99,1	1.	$Q_{м} + Q_{шл}$	21743	70,92
2.	$Q_{екз}$	277	0,91	2.	$Q_{кл.}$	1908	6,2
	$\Sigma$	30659	100	3.	$Q_{охол}$	932	3,07
				4.	$Q_{випр} + Q_{виб}$	6076	19,81
				5.	$\Sigma$	30659	100

## **Висновки**

В кваліфікаційній бакалаврській роботі розрахована дугова електропіч ємністю 20 т/год для плавки сталі. Також описані конструкція та основні параметри та принцип роботи дугової печі та визначенні основні електротехнічні характеристики дугової електропечі. Також розраховані матеріальний і тепловий баланси дугової печі, основні її геометричні розміри та параметри роботи проектованої печі.

### Список використаних джерел

1. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студентів денної та заочної форм навчання / Кропивний В.М. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
2. Сабірзянов, Т.Г. Печі ливарних цехів: навч.посіб. для студ. вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ. 2007. 280 с.
3. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія. *Металургійний та енергетичний комплекс*: навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ». Лідер, 2020. 212 с.
4. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Теплотехніка ливарного виробництва» для студентів 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