

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 електросталеплави-
льної печі продуктивністю 10 т/год”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21-3ск
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Владислав ФУСАР
«_____» _____ 20__ р.

Керівник бакалаврської роботи
Старший викладач
_____ Микола БОСІЙ
«_____» _____ 20__ р.

Рецензент
канд. техн. наук, старший викладач
_____ Любова 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 МЛВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

«_____» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДО-
БУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Фусара Владислава Валентиновича

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 10 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 печі, яка проектується.

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 проектного 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 БОСІЙ

Завдання прийнято до виконання

«___»_____20__р.

Підпис здобувача

_____ Владислав ФУСАР

АНОТАЦІЯ

Фусар В.В. "Проектування і розрахунок дугової електросталеплавильної печі продуктивністю 10 т/год" спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024. – 38с. Матеріали ілюстрації 3 іл.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у вивченні конструкції даної печі та основних параметрів її роботи. Необхідно розрахувати матеріальний і тепловий баланси печі, та основні розміри обладнання, яке проектується.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахована дугова електросталеплавильна піч продуктивністю 10 т/год. В розрахунок ДСП входять: матеріальний та тепловий баланси.

До графічної частини входить загальний вид дугової електросталеплавильної печі та електродотримачів.

дугова піч, шихта, плавка, трансформатор, футеровка, метал

ABSTRACT

Fusar Vl. V. "Design and calculation of an electric arc steel melting furnace with a capacity of 10 t/h" specialty 131 "Applied mechanics", OPP - "Computer engineering of technologies, robotics and 3D printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024. - 38 p. Illustration materials 3 images.

The purpose of the qualification work is to study the design of this furnace and the main parameters of its operation. It is necessary to calculate the material and heat balances of the furnace, and the main dimensions of the equipment being designed.

In this bachelor's qualification work, an arc electric steel melting furnace with a capacity of 10 t/h is calculated. The chipboard calculation includes: material and heat balances.

The graphic part includes a general view of the arc electric steel melting furnace and electric holders.

arc furnace, charge, melting, transformer, lining, metal

З М І С Т

	Стор.
Вступ.....	7
Розділ 1. Устрій і робота дугової електросталеплавильної печі.....	8
1.1. Устрій печі.....	8
1.1.1.Фундамент печі.....	8
1.1.2. Корпус печі.....	8
1.1.3. Вогнетривка кладка.....	9
1.1.4. Стіни печі.....	9
1.1.5. Склепіння печі.....	9
1.1.6. Механізм нахилу.....	9
1.1.7. Механізм переміщення електродів.....	9
1.1.8. Стійка.....	10
1.1.9. Електродотримачі.....	10
1.1.10. Охолоджувачі електродів (економізатори).....	11
1.1.11. Електричне обладнання.....	11
1.2. Робота печі.....	12
Розділ 2. Розрахунок основних параметрів дугової печі	23
Розділ 3. Розрахунок матеріального балансу дугової печі	26
Розділ 4. Розрахунок теплового балансу дугової печі	28
Розділ 5. Вибір трансформатора.....	30
Висновки.....	31
Список використаних джерел.....	32
Додатки.....	33
Додаток 1. Дугова електросталеплавильна піч.....	34
Додаток 2. Загальний вигляд дугової електросталеплавильної пічі	35
Додаток 3. Електродотримачі дугової електросталеплавильної пічі	36

Вступ

В ливарному виробництві дугові печі використовуються для виплавки сталі і чавуну із металевого лому і для перегріву рідкого металу чавуну. В дугових печах електрична дуга виникає безпосередньо між електродами і розплавленим металом, тому їх називають печами прямої дії.

Електричний режим роботи дугової печі залежить від режиму процесу плавки. При розплавленні металевого лому піч працює на максимальній потужності. При доведенні рідкого металу до необхідного хімічного складу потужність порівняно невелика.

Регулювати тепловий режим роботи печі можна за допомогою зміни напруги на електродах, або довжини дуги, тобто сили струму. В першому випадку переключають трансформатор з однієї ступені на іншу, в другому – опускають або піднімають електроди за допомогою автоматичної системи. Піч підключають до трифазної мережі промислової частоти напругою 6-35 кВ. Електрообладнання печі забезпечує передачу 600÷1000 кВА на кожен тону ємності печі.

РОЗДІЛ 1. УСТРІЙ І РОБОТА ДУГОВОЇ ПЕЧІ

1.1. Устрій печі (рис.1.1)

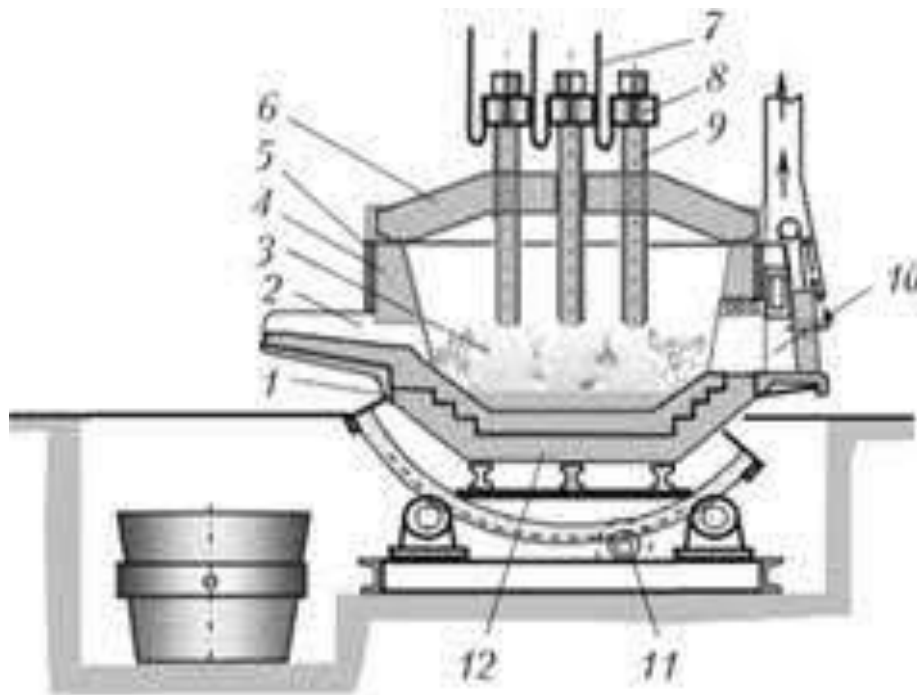


Рис. 1.1. Схема електросталеплавильної дугової печі

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

1.1.1.Фундамент печі виконується із залізобетону і зв'язується з кладкою печі. Прямок під пічню навпроти її жолоба виконується таких розмірів, щоб у ньому міг розміститися ківш при повному нахилі печі. Під робочим вікном знаходиться прямокутник для шлаківниці. У випадку близького знаходження ґрунтових вод, прямокутник повинен надійно ізолюватися від потрапляння в нього вологи. Кути прямокутника скріплюються металевим обрамленням. Прямокутники перекриваються металевими щитами, які знімаються або видвигаются по рельсах. Навколо прямокутника повинні бути металеві перила.

1.1.2. Корпус печі виконується у вигляді зварного або клепаного кожуха з листів товщиною від 12 мм до 30 мм з внутрішньою футеровкою. У вер-

хній частині корпус посилюється кільцем жорсткості, яке рекомендовано виконувати зі швелера, привареного до кожуха суцільним швом. Кільцева пустота використовується для водяного охолодження верхньої частини печі. Робоче вікно печі має сталю раму, яка охолоджується водою. Рама робочого вікна, а також зливний жолоб прикріплюється до кожуха печі болтами. В кладці робочого простору і в кожусі проти робочого вікна виконується випускний отвір.

1.1.3. Вогнетривка кладка. Подина складається із декількох шарів. Перший шар, який контактує з рідким металом і шлаком – набивний з вогнетривкого порошку. При основному процесі використовують набивку з магнетитового порошку. Другий шар подини при основному процесі виконують з магнетитової цегли. Наступні шари складаються з шамоту, діашамоту та азбесту.

1.1.4. Стіни печі – багатошарові. Перший шар викладають з магнетитової цегли, другий – з шамотної цегли, третій – з діашамотового порошку, який виконує роль теплоізоляції, одночасно компенсує розширення вогнетривів при їх нагріванні і, тим самим, зберігає каркас від руйнування.

1.1.5. Склепіння печі викладається в склепінному кільці коритного або двотаврового перерізу. При цьому способі виконання кладки є можливість швидко поміняти склепіння. Кладку склепіння роблять із магнетитової цегли. Найбільш вразливою частиною склепіння є отвори для електродів і частина склепіння між ними. Ця частина виконується особливо точно.

1.1.6. Механізм нахилу повинен забезпечувати плавний нахил печі в сторону зливного жолоба до 45° і в сторону робочого вікна до 10° . В невеликих печах механізм нахилу знаходиться збоку печі. Він складається із закріпленої на фундаменті стойки, у верхній частині якої в підшипнику шарнірно закріплений гвинт нахилу. У великих печах механізм нахилу розміщується в напрямку під піччю. Такі механізми виготовляються з приводом від електродвигуна та із застосуванням гідравліки.

1.1.7. Механізм переміщення електродів служить для утримання електродів в необхідному положенні в зводних отворах, а також для їх піднімання і опускання. Цей механізм повинен здійснювати, як швидкий підйом, наприклад, при короткому замиканні в наслідок обвалу шихти, так і повільний при поступовому підйомі рівня розплавленого металу у ванні печі в міру розплавлення шихти.

Відстанню від кінця електрода до металу визначається довжина дуги, а довжиною дуги – електрична потужність, яку забирає піч, бо чим довша дуга, тим вище її опір.

Сучасні електричні печі обладнанні автоматичними пристроями, що підтримують задану силу струму регулюванням положення електродів по висоті.

Швидкість підйому чи опускання електродів при автоматичному регулюванні буде в межах 0,4-1,2 м/хв. Переміщення електродів може відбуватись і вручну. Кожний електрод має механізм підйому.

1.1.8. Стійка. Основною частиною механізму переміщення електродів є стійки, які представляють собою колони прямокутного чи круглого перерізу. Вони кріпляться до корпусу печі і нахиляються разом з нею. Для більшої жорсткості конструкції стійки з'єднуються у верхній своїй частині. Вздовж стійок переміщуються каретки, які несуть електродотримачі. Каретки переміщуються лебідками за допомогою тросів. В середині стійки розміщується противага, яка врівноважує вагу каретки з електродотримачем.

1.1.9. Електродотримачі. Конструкція електродотримача забезпечує місце закріплення в ньому електрода. В той же час легко відбувається послаблення зажиму для переміщення електрода в електродотримачах.

Через електродотримач підводиться електроенергія, тому повинен бути забезпечений мінімальний опір на поверхні контакту електрод-електродотримач. Це потребує тісного контакту електродотримача та електрода по всій його висоті і підбору відповідного матеріалу для електродотримача. Найчастіше застосовуються кліщові і клинові електродотримачі.

Розповсюдженим матеріалом електродотримачів являється лита сталь. Електроди з неї можуть працювати разом з графітовими електродами без водяного охолодження. Бронзовим електродотримачам обов'язково необхідне водяне охолодження, через те, що їх поверхня при нагріванні легко оплавляється і окислюється, що збільшує контактний опір, підсилює нагрівання та швидко виводить електродотримач з ладу.

Кріпляться електродотримачі до несучої конструкції на міканітових прокладках для електроізоляції. Струм до електродотримачів підводиться уздовж каретки за допомогою мідних шин, закріплених на ізоляторах. Один з кінців шин з'єднується з кабелями, а другий – з гнучким пакетом мідних стрічок, під'єднаних до електродотримача.

1.1.10. Охолоджувачі електродів (економізатори) служать для ущільнення кільцевої щілини в склепінні навколо електрода. Їх роблять литими, або звареними з водяним охолодженням. Щоб не було замикання струмів, кільця охолоджувачів роблять розрізними.

Охолоджувачі можуть бути або на поверхні склепіння, або зануреними в його кладку. Для кращого ущільнення в охолоджувачах застосовується набивка зі зволоженої шлаковати з додаванням невеликої кількості вогнетривкої глини.

Для обслуговування електродів та електродотримачів над склепінням встановлюється зварний місток з поручнями, що спираються на склепінне кільце або на верхню частину кожуха.

1.1.11. Електричне обладнання печей. Особливість роботи дугових електропечей полягає в тому, що при великих споживаних потужностях вони працюють при низьких напругах – найбільше 300 В, а тому поряд із піччю розміщують понижуючий трансформатор, так як під час плавки потрібна зміна напруги на електродах.

Трансформатор зазвичай має декілька ступенів напруги. До кожного з електродів підводиться одна фаза трифазного струму. При вмиканні їх трикутником або зіркою змінюється напруга на електродах.

Особливістю роботи дугової електропечі є дуже нерівномірне навантаження впродовж плавки та часті короткі замикання під час розплавлення твердої шихти. Завдяки вмиканню дроселя при коротких замиканнях пом'якшуються поштовхи струму і установка забезпечується захисною системою.

Трансформатори конструюються таким чином, щоб вони витримували великі короткочасні перевантаження. Кожна пічна установка забезпечена необхідними контрольними приладами та автоматикою для керування тепловим режимом роботи печі.

1.2. Робота печі

Перед початком роботи печі через завантажувальне вікно в піч завантажують шихту (металевий лом, перероблений чавун, феросплави). Потім за допомогою пристрою підйому завантажувальних дверцят закривають завантажувальне вікно. Від трансформатора по кабелях електричного струму струм подається на електроди.

Від електродвигуна підйому електродів за допомогою механізму підйому кареток електродів каретки електродотримачів з електродами опускаються. Між електродами і металом виникає електрична дуга з виділенням великої кількості теплоти, завдяки чому відбувається розплавлення металу. При розплавленні метал опускається і автоматично опускаються електроди для того, щоб витримати необхідний розмір довжини дуги.

Після завершення процесу плавки під зливним жолобом ставиться ківш. За допомогою механізму нахилу печі, піч нахиляється і метал через зливний жолоб витікає в ківш.

Електричний режим роботи даної дугової печі відповідно залежить від теплового режиму процесу плавлення металу. При доведенні рідкого металу до відповідного хімічного складу потужність самої печі відносно буде невелика. Тепловий режим печі регулюється за допомогою зміни напруги на електродах або також на довжині дуги тобто (сили струму електричної дуги).

Дугова піч підключається до відповідної трифазної мережі з напругою від 6-35кВ. Для печей відповідно невеликої ємності передбачається дві або чотири ступені напруги трансформатора, а вже для більшої ємності печей – можливо також і до 25 ступенів, це в свою чергу дозволяє підбирати оптимальну напругу для режиму плавлення металу [1-8].

В дугових електропечах енергія перетворюється у теплоту за допомогою електричної дуги. Відповідно теплота електричної дуги передається металу такими способами як випромінюванням та конвекцією [1-8].

Потужність печі визначається наступним виразом:

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

де U – напруга, кВ;

I – сила струму, А;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності печі. ККД дугової печі складає 60%.

Для дугових сталеплавильних печей використовують трифазний змінний струм. Вони мають при цьому три циліндричні графітізовані електроди 9. Ці електроди відповідно кріпляться в електродотримачах 8 і до них підводиться відповідний електричний струм по кабелях 7. Між електродами та металевим шихтою 3 буде утворюватися електрична дуга. Корпус печі - циліндричної форми. Зовні він закріплений у дуже міцний сталевий кожух 4, а з середини він футерований основною або кислою цеглою 1. Плавильний простір дугової печі обмежується стінками 5, подом 12 і склепінням 6. Знімне склепіння дугової печі 6 має отвори для електродів. В стінці корпусу знаходиться відповідно робоче вікно 10, через яке повинен зливатися шлак, завантажуються феросплави, а також беруть проби. При процесі плавлення металу вікно закрито заслінкою. Готова сталь повинна випускатись через зливний отвір зі зливним жолобом 2. Сама дугова піч спирається на сектори і має привід 11 для нахилу її в бік робочого вікна або жолобу. Піч повинна завантажуватися при знятому склепінні. Ємність дугових печей складає від 0,5 до 400 тон. У металургійному виробництві відповідно застосовують дугові електропечі з основною, а в ливарному – з кислою футеровкою.

Принцип процесу плавлення металу в дугових електросталеплавильних печах полягає в наступному: це зведенні двох вугільних електродів, які поєднані з джерелом електроживлення, потім ці електроди розводять на деяку відстань і між ними відповідно виникає електрична дуга. Даний процес буде супроводжуватися виділенням значної кількості теплоти.

Тому залежно від способу передачі теплоти від дуги до самого металу дугові електропечі бувають прямого, непрямого, змішаного, а також плазмового нагрівання (рис. 1.2).

В електросталеплавильному виробництві найбільше розповсюдження отримали печі прямого нагрівання (рис. 1.2). Відповідно дугові печі непрямого нагрівання використовуються в кольоровій металургії, а також в ливарному виробництві для плавлення чавуну та сплавів.

Найбільш високий ККД наближено (70 %) мають електричні печі з закритою дугою (феросплавні печі). Наразі все більше розповсюдження мають плазменно-дугові печі (ПДП, рис. 1.2). За самою формою ванни, футеровки, а також інших конструктивних ознак ПДП нагадують печі ДСП, але замість електродів у них використовують плазмотрони. Плазмотрони працюють на постійному, а також змінному струмі та відповідно напрузі 30-150В. При роботі на постійному струмі катодом може служити верхній водоохолоджуваний електрод, а анодом – може бути ванна рідкого металу, який контактує з водоохолоджуваним мідним подовим електродом. Робочий простір дугової електропечі заповнюється при роботі плазмоутворюючим газом – це (аргоном, азотом або воднем) та відповідно повина створюватися нейтральна або відновна атмосфера. При плавленні неметалевої шихти застосовують плазмотрони непрямої дії.

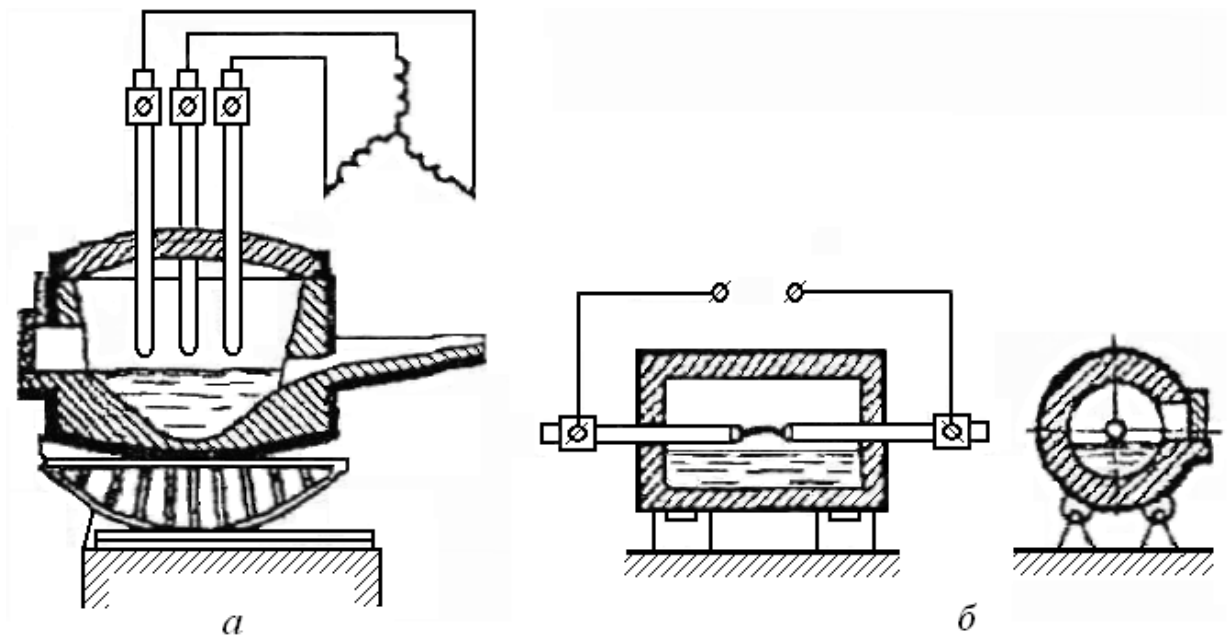


Рис. 1.2. Дугові електропечі, прямого нагріву (а) і непрямої дії (б)

При непрямому нагріванні електрична дуга горить між електродами на відповідній відстані від металу, а при прямому – відповідно між електродами і металом, який нагрівається, це є однією з ділянок самого електричного ланцюга. Для виробництва сталі застосовуються переважно дугові печі прямого нагріву металу. У дугових печах змішаного нагрівання дуги горять відповідно під шаром твердої шихти, яка оточує електрод. Шихта буде нагріватися теплотою, яка виділяється в електричній дугі в самій шихті, коли проходить електричний струм через неї. Такі печі відповідно застосовуються для виробництва чавуну та феросплавів. В установках плазмового нагрівання тепло переноситься способом іонізованого потоку газу, який подається під тиском у плазмотрон. Відповідно плазменні печі повині використовуватися для плавлки сплавів та спеціальних сталей і чистих металів [1-8].

По способу відкривання та завантаження шихти дугові печі поділяють на три типи:

- з корпусом, що викочується – це піч, в якій при завантаженні шихти, склепіння, що підвішене до моста, піднімається і з під нього викочується корпус печі;

- з від'їжджаючим склепінням – піч, у якій склепіння піднімається над піччю і разом з мостом від'їджає у бік завантажувального вікна або зливного отвору;

- зі склепінням, що відкриваються – піч, в якій склепіння піднімається над піччю, а опорна колона зі склепінням і стояками повертається навколо осі на 60-90° і відкриває робочий простір печі.

Кожух є частиною корпусу, що розташований вище порога робочого вікна і має циліндричноконічну форму. Кожух з'єднано із днищем за допомогою пальців з клинами, а це дозволяє від'єднувати та знімати його під час ремонту футеровки. До верхньої частини кожуха відповідно кріпиться кільце піскового затвору. У самому корпусі є два вирізи відповідно для робочого вікна та для зливного отвору, які відповідно для посилення міцності корпусу обрамлені литими рамами. До самої рами корпусу біля зливного отвору під кутом 12° до горизонталі закріплюється зливний носок, що являє собою – футерований відкритий жолоб. Його довжина відповідно залежить від розташування дугової печі в самому пічному прольоті ливарного цеху і становить від 1 до 3 м.

За конфігурацією кожуха, який в існуючих електропечах має різну форму, визначається робочий простір печі. Найбільше використання отримали печі з похилими циліндричними та циліндроконічними стінками, а рідше застосовуються печі з стінками діжкоподібної форми.

Форма склепіння та ванна, що вміщує метал і шлаки у всіх випадках однакова. Ванна, яка утворена футеровкою поди́ни і має сфероконічну форму, нижня її частина сферична, а відповідно укуси нахилені під кутом 45° до горизонталі. Нахил відповідно необхідний для того, щоб магнезитовий порошок при заправці не міг зсипатися з укосів вниз (кут укосу магнезиту відповідно становить 45°). Сферична форма днища самого кожуха сприяє мінімальним тепловтратам та також витратам вогнетривів на кладку самої поди́ни.

В процесі проектування печей дискусійним є питання, яке стосується вибору раціональної форми стінок електропечей. Печі з циліндричними стінками мають наступні переваги: менші габарити поверхні, що віддає теплоту і масу печі, а перевагою печей з циліндроконічними і похилими стінками є підвищення стійкості футеровки через їх віддаленність від високотемпературних електричних дуг. Циліндроконічні стінки відповідно кращі, ніж похилі стінки, при яких відповідно зростає діаметр склепіння.

На рис. 1.3 наведена форма кожуха печі та вогнетривів робочого простору дугової електропечі.

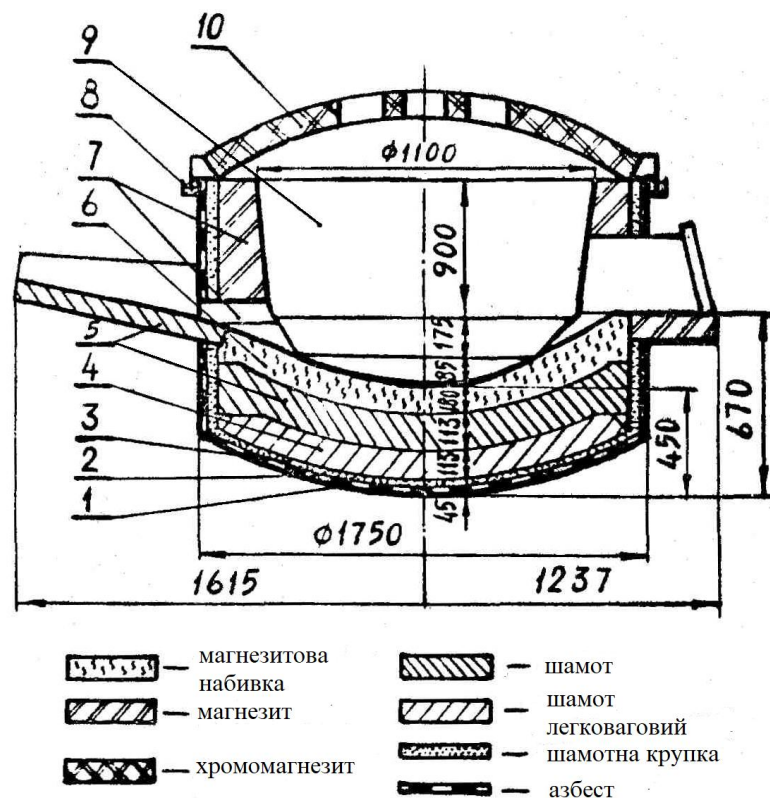


Рис. 1.3. Дугова стелеплавильна піч

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 хромомангезитове

В процесі плавлення металу футеровка дугової печі піддається впливу випромінювання електричної енергії, а також ударом шматків шихти при завантаженні, та впливу шлаків і металу, що роз'їдає, а також термічних напруг, що виникають при різких коливаннях температур під час плавки. В зв'язку з тим, що на футеровку склепіння мають вплив додаткові навантаження, а також навантаження, які викликані розпирними зусиллями аркового склепіння, то вогнетривкі матеріали, що використовуються, повинні володіти відповідно високими вогнетривкими властивостями, термостійкістю, міцністю і шлакостійкістю [1-8].

Під основної дугової печі буде складатися, як з ізоляційного так і робочого шарів. В свою чергу, до складу ізоляційного шару кожуха товщина якого 70-190 мм входить листовий азбест, який укладається на металеве днище, шар шамотного порошку та шар кладки з шамотної цегли для вирівнювання.

Робочий шар печі включає кладку відповідно з декількох рядів магнезитової цегли, товщина якої від 230 мм для малих дугових печей та до 575 мм для більших печей і верхній набивний шар також з магнезитового порошку товщиною 100-190 мм, а при спіканні має відповідно монолітну масу.

Стійкість поду становить 2000-8000 плавок, це відповідно не обмежує роботу дугової печі. В зв'язку з тим, що робочий набивний шар в процесі плавки зношується, його відповідно обновляють після кожної плавки, заправляючи магнезитовим порошком.

Для того щоб шлак не розмивав цегельні стінки, стик стінок з укосами виконують на 75-150 мм вище рівня відповідно порогу робочого вікна. У печах з циліндроконічним кожухом відповідно кут нахилу футеровки низу стін становить 15-30°. Товщина стінок у нижній частині становить 300-575 мм і зростає відповідно зі збільшенням ємності дугової печі. Стійкість футеровки стін для дугових печей продуктивністю відповідно більше 15 т змінюється в межах від 75 до 350 плавок.

Місця відповідно найбільшого спрацювання в печі ремонтують шляхом торкретування, тобто нанесення на футеровку вогнетривкої маси. Ще більшу

стійкість стін досягаємо за рахунок використання елементів (панелей), які охолоджуються водою. При цьому застосовують два типи панелей, що охолоджуються водою це плоскі порожнисті та відповідно трубчасті у вигляді змійовика. Їх встановлюють відповідно замість футеровки стін дугової печі вище укосів, при цьому замінюють всю футеровку або тільки її частину.

На поверхні самих панелей, які звернені усередину дугової печі є шини або ребра, вони відповідно утримують вогнетривку масу, яку наносять на панель, а відповідно під час роботи будуть забезпечувати утворення шару шлакового гарнісажу. Стійкість панелей складає наближено 7000 плавок. Використання панелей дозволяє підвищити як продуктивність печі відповідно за рахунок зниження простоїв на перефутеровку стін, а також можливо знизити витрати вогнетривів, але при цьому зростають тепловитрати і також необхідні додаткові витрати води.

Для зменшення втрат теплоти та виходу газів з дугової печі робоче вікно повинно прикриватися заслінкою. Відведення води також відбувається у верхній частині самої заслінки. Всередині заслінки встановлені направляючі перегородки, які забезпечують її рівномірне охолодження. В нижній частині самої заслінки є також отвір, через який можна відбирати проби металу і шлаків, а також вимірювати температуру рідкого металу.

Для відповідно щільного закриття робочого вікна печі заслінка розташована в направляючих, тому площа їх нахилена до вертикалі на 8° . Під дією власної ваги заслінка відповідно притискається до направляючих рам. Вона підвішуються на кронштейнах відповідно до двох ланцюгів механізму, він складається з електродвигуна, потім червячного редуктора з барабаном, а також і ланцюгів та направляючих блоків. Коли відбувається намотування ланцюгів на барабан заслінка буде підніматися, а потім процес опускання її здійснюється під дією самої власної ваги. Поріг печі виконують литим у вигляді плити і кріплять до рами відповідно за допомогою клинів. Під час плавлення металу на плиту порога печі з вогнетривкого порошку насипають хибний поріг. Через нього можна скачувати шлаки з печі. У середній частині

порога печі знаходиться жолобок для випуску шлаку, тому відповідно плита порога печі виконується із западиною в середній частині [1-8].

Гребінка використовується для установки поперечини при скачуванні шлаку і відповідно перемішуванні рідкого металу, кріпиться вона шарнірно до самої рами. Отвір для випуску сталі розташований відповідно проти робочого вікна печі вище рівня металу і шлаків, його нижня частина перебуває на рівні порога робочого вікна печі. Отвір відповідно може бути як круглого перетину діаметром 120-150 мм та квадратного перетину зі стороною 150-250 мм. Жолоб, який прилеглий відповідно до отвору, футерують шамотною цеглою.

Склепіння відповідно необхідне для закриття печі зверху і утворення замкнутого робочого простору дугової печі. Робочий простір печі складається з кільця склепіння і також футеровки, яка викладається за сферою. У футеровці є відповідно отвори для переходу електродів. Кільце склепіння сприймає відповідно розпирне зусилля від футеровки і через нього склепіння опирається на кожух дугової печі. Щоб кільце склепіння відповідно не коробилося під час процесу нагрівання, його виконують порожнім, усередині нього циркулює відповідно охолоджувана вода. Склепіння і кожух печі відповідно поєднуються між собою пісковим затвором, який служить для ущільнення дугової печі й запобігає також витоку газів між кожухом і самим кільцем склепіння. Футеровка склепіння викладається відповідно з фасонної хромомагнетитової цегли на спеціальному шаблоні, що має форму відповідно внутрішнього контуру самого склепіння.

Отвори для проходу самих електродів розташовані відповідно по вершинах вписаного в коло рівностороннього трикутника.

При наборі самого склепіння печі в кладці залишають три отвори відповідно для проходження електродів, а також ще отвір для відведення пічних газів. Стійкість склепіння малих печей становить 125-225 плавов, а при збільшенні ємності дугової печі стійкість склепіння, відповідно, зменшиться і буде становити наближено 50-100 плавов. Діаметр кола, що проходить через

центр електродів, є діаметром розводу самих електродів. Отвори, відповідно через які проходять електроди, повині бути більші за діаметр самих електродів на величину 40-50 мм, це необхідно для запобігання поломки електродів при можливих теплових, а також і силових деформаціях самого склепіння. Щоб нагріті гази не покидали відповідно робочий простір печі в зазори між електродами і склепінням та для зниження нагрівання електродотримачів і також розпалу футеровки навколо самих отворів, а також для зменшення температури й інтенсивності окислення частини самих електродів, що виступають над склепінням, на отвори самого склепіння необхідно встановлювати ущільнювачі [1-8]. Ущільнювачі поділяють відповідно на керамічні, економайзери та газодинамічні.

Керамічні ущільнювачі виготовляють з цирконієвих та корундових вогнетривких матеріалів, які мають вигляд накладних кілець, що забиті у склепіння. Економайзери – порожні водоохолоджувальні кільця. Їх встановлюють поверх самого склепіння або можна заглиблюватись у футеровку склепіння. Більшість економайзерів повині бути оснащені комірами, які заповнені шлаковатою – це також необхідно для доброго ущільнення. Ущільнюючі кільця і трубки, які підводять до них воду, треба ізолювати від каркаса склепіння, а також одне від одного, щоб не виникло коротке замикання [1-8].

Процес плавлення металу в дугових електропечах можна поділити на чотири етапи [1-9]:

- перший етап: електрична дуга горить на поверхні самої шихти, яка поступово буде розплавлятися біля кожного з трьох електродів. Значна частина теплоти при цьому випромінюється на склепіння і, запобігаючи його оплавленню до електродів треба підводити струм помірної потужності;

- другий етап: по мірі розплавлення шихти електроди автоматично будуть опускаються і електрична дуга при цьому занурюється в шихту, але потужність самого струму, який підводиться до електродів, буде збільшуватися;

- третій етап: електроди пропалюють відповідно колодязь у шихті. Електричні дуги горять між шаром самого рідкого металу, який перебуває на по-

дині печі і також електродами. Кількість рідкого металу буде зростати, а довжина дуги відповідно зменшуватися. Електроди автоматично будуть піднімаються, а шихта між електродами відповідно плавиться;

- четвертий етап: майже вся шихта вже розплавлена і електричні дуги горять відкрито над поверхнею вже шлаків. Рідкий метал при цьому сприймає теплоту значно меншу ніж сама тверда шихта. Випромінювання теплоти на стінки, а також склепіння дугової печі збільшується, а отже, для уникнення підплавлення кладки зменшується потужність струму, який підводиться до електродів.

Плавка металу складається з наступних основних процесів – перше це заправка печі, потім завантаження шихти, далі плавлення, тоді окислення та відновлення металу і його випуск з печі.

Заправка печі необхідна для відновлення робочого стану футеровки плавильного простору печі. Після випуску відповідно чергової плавки на деякі ушкоджені місця подини та укосів за допомогою такого обладнання як заправочна машина завантажуються сухий магнезитовий порошок, а, наприклад, у випадку великих пошкоджень можна і порошок з добакою смоли.

Завантаження шихти виконують відразу після закінчення самої заправки дугової печі. Завантаження шихти відбувається зверху, використовуючи завантажувальну баддю. Після того як виконали завалку шихти склепіння з електродами треба встановити на дугову піч, опускають при цьому електроди і включають струм. Під дією відповідно високої температури електричної дуги шихта плавиться під електродами, а рідкий метал стікає вниз і накопичується відповідно в центральній частині самої подини. Таким чином поступово буде відбуватися повне розплавлення шихти.

Процес окислення заліза, кремнію, марганцю, відбувається з виділенням достатньої кількості теплоти, яка прискорює розплавлення деяких залишків металевих брухту. В цей період плавлення металу знижується вміст в металі фосфору, водню та азоту. Окислення буде завершуватися, коли вміст

вуглецю стане нижче заданої межі, а вміст фосфору нижче 0,01%. Вкінці окислювального процесу треба повністю видаляти шлаки із дугової печі.

Процес відновлювальним є: розкислення металу, це процес видалення сірки, доводка хімічного складу металу та регулювання температури металу. Після процесу повного видалення окисних шлаків у дугову піч наводиться вже новий шлак. Як розкислювачі використовують феромарганець, феросиліцій, а також алюміній. Можна у піч присаджувати легуючі добавки. Метал випускають з дугової печі у ківш, який треба встановлювати під жолобом, а саму піч нахиляють в бік випускного отвору металу. В ківші також, за необхідності, можна буде проводити і додаткове розкислення та легування металу [1-9].

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДУГОВОЇ ПЕЧІ

Розрахунок розмірів дугової печі, як правило полягає у насупному – це у виборі самої форми ванни печі. Найзручніша форма ванни буде сфероконічна (рис. 2.1) [1-7].

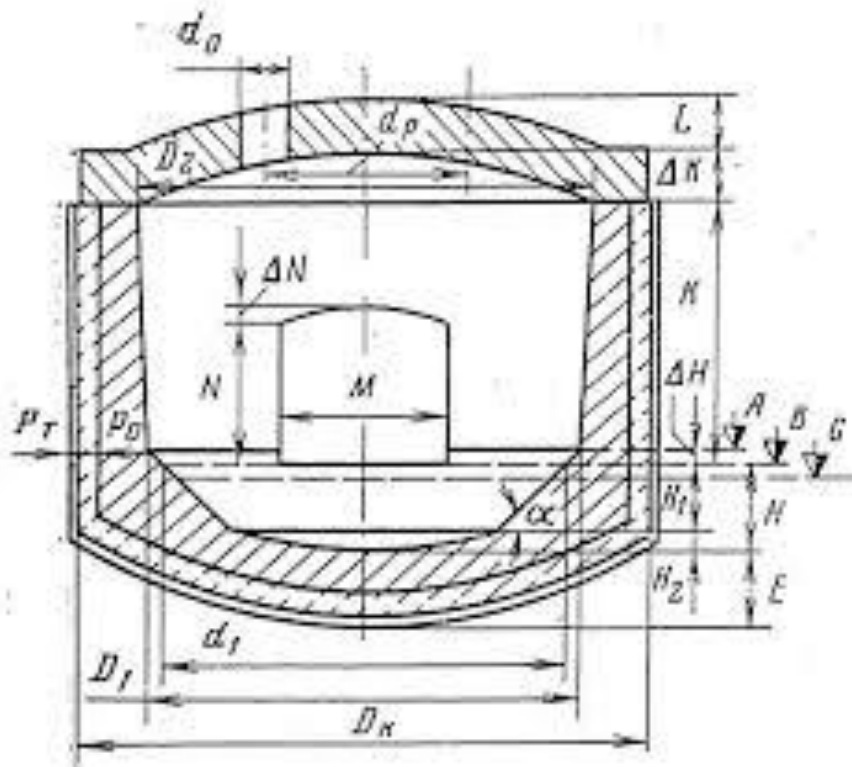


Рис. 2.1. Форма плавильного простору печі

Вибір форми дугової печі буде забезпечувати менший опір теплоти та швидке розплавлення шихти і протікання реакцій між самим металом та шлаком, також видалення з металу газів і неметалевих включень.

Основні розміри дугової печі:

Ємність печі $Q = 10$ т

Об'єм рідкого металу в дуговій печі

$$V_b = 0,168 \cdot Q = 0,168 \cdot 10 = 1,68 \text{ м}^3; \quad (2.1)$$

де Q – задана ємність дугової печі в т.

Глибина ванни печі

$$H = \sqrt[3]{V_b / 12,1} = \sqrt[3]{1,68 / 12,1} = 1,18 \text{ м}; \quad (2.2)$$

Діаметр дзеркала ванни печі

$$D = \sqrt[3]{V_B / 0,0968} = \sqrt[3]{1,68 / 0,0968} = 4,17 \text{ м}; \quad (2.3)$$

Висота сферичної частини ванни дугової печі

$$h_1 = 0,2 \cdot H = 0,2 \cdot 1,18 = 0,24 \text{ м}; \quad (2.4)$$

Висота конічної частини ванни печі

$$h_2 = 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 1,18 = 0,94 \text{ м}; \quad (2.5)$$

Відстань від порогу печі до п'ят склепіння

$$H_1 = 0,47 \cdot D = 0,47 \cdot 4,17 = 1,96 \text{ м}; \quad (2.6)$$

Діаметр ванни печі на рівні укосів

$$D_{\text{пл}} = D + 0,2 = 4,17 + 0,2 = 4,37 \text{ м}; \quad (2.7)$$

Стріла опуклості склепіння

$$h_3 = (1/11) \cdot D_{\text{пл}} = (1/11) \cdot 4,37 = 0,40 \text{ м}; \quad (2.8)$$

Повна висота склепіння

$$H_2 = H_1 + h_3 = 1,96 + 0,40 = 2,36 \text{ м}; \quad (2.9)$$

Діаметр плавильного простору печі на рівні п'ят склепіння

$$D_1 = D + 0,2 \cdot H = 4,17 + 0,2 \cdot 1,18 = 4,41 \text{ м}; \quad (2.10)$$

Товщина склепіння відповідно становить 230 мм. Товщина поду приймається рівною самої глибини ванни печі

$$K = H = 1,18 \text{ м}; \quad (2.11)$$

Кладку на рівні верху укосів наближено приймаємо товщиною 345 мм, а теплоізоляційного шару відповідно товщиною 75 мм.

Внутрішній діаметр кожуха печі дорівнює

$$D_{\text{к.вн}} = 4,37 + 2,0(0,345 + 0,075) = 5,21 \text{ м}; \quad (2.12)$$

Зовнішній діаметр кожуха печі при 15 мм

$$D_{\text{к.зов.}} = 5,21 + 2 \cdot 0,015 = 5,24 \text{ м}; \quad (2.13)$$

Ширина робочого вікна печі

$$b = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 4,17 = 1,25 \text{ м}; \quad (2.14)$$

Висота робочого вікна печі

$$h_{\text{р.в.}} = 0,8 \cdot b = 0,8 \cdot 1,25 = 1 \text{ м}; \quad (2.15)$$

Потужність пічного трансформатора дугової електропечі

$$P_{\text{тр}} = W_{\text{теор}} \cdot \Pi / \eta \cdot \cos \varphi = 355 \cdot 10 / 0,6 \cdot 0,9 = 6574 \text{ кВА}; \quad (2.16)$$

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

За емпіричною формулою визначаємо орієнтовне значення потужності трансформатора

$$P_{\text{тр}} = 400 \cdot D_{\kappa}^2 = 400 \cdot 5,24^2 = 10983 \text{ кВА}; \quad (2.17)$$

Сила струму при вторинній напрузі 250В

$$I = 10^3 P_{\text{тр}} / \sqrt{3U} = 10^3 \cdot 6574 / \sqrt{3 \cdot 250} = 15242 \text{ А}; \quad (2.18)$$

Діаметр розпаду електродів дугової печі

$$d_{\text{р.ел.}} = 0,4 \cdot D_{\text{шт}} = 0,4 \cdot 4,37 = 1,74 \text{ м}; \quad (2.19)$$

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

$$d_{\text{ел.}} = 2 \cdot \sqrt{1/\pi \cdot j} = 2 \cdot \sqrt{15242/3,14 \cdot 20} = 19,70 \text{ см}; \quad (2.20)$$

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ДУГОВОЇ ПЕЧІ

Матеріальний баланс плавки сталі в дуговій електропечі включає відповідно:

- 1) вихідні матеріали;
- 2) спосіб складання шихти;
- 3) складання матеріального балансу дугової печі [1-5].

При розрахунку матеріального балансу враховуємо:

- футеровка печі – основна;
- метал, який виплавляється – сталь марки 30Л.

Розрахунок матеріального балансу проводимо на 100 кг металозавалки.

Шихта для плавки сталі складається із металевої та неметалевої частин. Металева частина містить: сталевий лом 96%, переробний чавун 4% і феросплави.

Метал на виході із печі дорівнює масі металозавалки мінус угар Si, Mn, Fe і пригар С.

Приймаємо вміст у готовому металі

$$\text{Si} = 0,45\%; \text{Mn} = 0,3\%; Y_{\text{Si}} = 10\%; Y_{\text{Mn}} = 20\%; Y_{\text{Fe}} = 0,4\%.$$

Проводимо розрахунок кількості окислених Si і Mn.

$$m_{\text{Si}} = 0,45 \cdot 10 / (100 - 10) = 0,05 \text{ кг/100 кг м/з}$$

$$m_{\text{Mn}} = 0,3 \cdot 20 / (100 - 20) = 0,075 \text{ кг/100 кг м/з}$$

Кількість металу складає

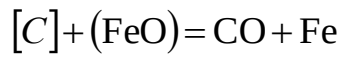
$$m_{\text{м}} = 100 - 0,05 - 0,075 - 0,4 = 99,475 \text{ кг/100 кг м/з}$$

Розраховуємо кількість шлаку

$$m_{\text{шл}} = m_{\text{шлSi}} + m_{\text{шлMn}} + m_{\text{шлFe}} + m_{\text{шл}} + m_{\text{шлфут}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{шл}} &= (0,05 \cdot 60 / 28) + (0,075 \cdot 71 / 55) + (0,4 \cdot 72 / 56) + (5 \cdot 44 / 100) + 0,8 + \\ &+ (1 \cdot 28 / 60) + (1 \cdot 55 / 71) = 0,107 + 0,097 + 0,514 + 2,2 + 0,8 + 0,467 + \\ &+ 0,775 = 4,867 \text{ кг/100 кг м/з} \end{aligned}$$

Кількість вихідних газів:



$$m_r = 1,458 \text{ кг/100 кг м/з}$$

Результати проведених розрахунків наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Матеріальний баланс плавки сталі в основній дуговій печі ємністю 10 т/год

№ п/п	Статті прибутку	% від м/з	№ п/п	Статті видатку	% від м/з
1.	Сталевий лом	96	1.	Метал	99,47
2.	Переробний чавун	4	2.	Шлак	4,8
3	Вапно	5	3	Вихідні гази	1,45
4.	Футеровка	0,8		Σ	105,8
	Σ	105,8			

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

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

Рівняння теплового балансу для дугової печі має наступний вигляд:

$$Q_{ел.ен.} + Q_{екз} = Q_1 + \sum_{i=1}^5 Q_{5,i} + Q_{\sigma} + \Delta Q,$$

де $Q_{ел.ен.}$ – витрата електроенергії; $Q_{екз}$ – теплота екзотермічних реакцій; Q_m – тепловміст металу.

Прибуток теплоти.

Величини Q_m і $Q_{екз}$ незначні.

Видаток теплоти.

Корисна витрата теплоти (тепловміст металу і шлаку)

$$Q_1 = P \cdot C_{me} \cdot t_{me} + G_{шл} \cdot C_{шл} \cdot t_{шл},$$

де P – продуктивність дугової електропечі по металу, кг/с; $G_{шл}$ – продуктивність печі по шлаку, кг/с; C_{me} , $C_{шл}$ – теплоємність металу і шлаку; t_{me} , $t_{шл}$ – температура металу і шлаку на виході з дугової електропечі.

$$Q_1 = 0,92 \cdot 0,2 \cdot 4,2 \cdot 1600 + 0,02 \cdot 0,3 \cdot 4,2 \cdot 1650 = 1278,06 \text{ кВт.}$$

Витрати теплопровідністю через кладку дугової печі:

$$Q_{5,кл} \cong \alpha(t_{зов} - t_{нов})F,$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією кладки; $t_{зов}$ – температура зовнішньої стінки дугової печі; $t_{нов}$ – температура повітря; F – площа зовнішньої стінки дугової печі.

$$Q_{5,кл} \cong 15(150 - 20)56,98 = 222 \text{ кВт}$$

Витрати теплоти з охолоджуючою водою

$$Q_{5,охол.} = 0,1Q_{ел.ен.}$$

Витрати теплоти випромінюванням через відкриті вікна та отвори і щілини

$$Q_{5,вит.} = 0,1Q_{ел.ен.}$$

Витрати теплоти з вибивними газами

$$Q_{5,виб.} = 0,05Q_{ел.ен.}$$

Витрати теплоти на нагрівання допоміжного обладнання

$$Q_{5,обл.} = 0,15Q_{ел.ен.}$$

Теплота, яка акумулюється кладкою дугової печі Q_6 . Ця стаття враховується тільки для дугових печей періодичної дії. В даному випадку – дугова піч постійної дії, тому ми нею знехтуємо.

Відхилення теплового балансу ΔQ . При проектуванні нової дугової печі дана величина не буде враховуватися. Складаємо рівняння теплового балансу дугової печі

$$Q_{ел.ен.} + Q_{екз.} = 1278,06 + 111 = 0,1Q_{ел.ен.} + 0,1Q_{ел.ен.} + 0,15Q_{ел.ен.} + 0,05Q_{ел.ен.}$$

$$0,6Q_{ел.ен.} = 1389,06; \quad Q_{ел.ен.} = 2315,1 \text{ кВт}$$

Результати вище наведених розрахунків наводимо у табл. 4.1.

Таблица 4.1

Тепловий баланс дугової печі ємністю 10 т/год.

№ п/п	Прибуток тепла	кВт	№ п/п	Видаток тепла	кВт
1.	$Q_{ел.ен.}$	2315,1	1.	Q_1	1278,06
	$Q_{екз.}$	111	2.	$Q_{5,кл}$	222
			3	$Q_{5,охол}$	231,51
			4	$Q_{5,випр}$	231,51
			5	$Q_{5,обл}$	347,265
			6	$Q_{5,виб}$	115,755
	Всього	2426,1		Всього	2426,1

РОЗДІЛ 5. ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРА

Згідно з розрахунковими даними $Q_{ел.ен.}$ становить 2315,1 кВт, тому приймаємо трансформатор масляний ТМ400х6.6, який забезпечує необхідну потужність.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній бакалаврській роботі розраховувалась та проектувалась дугова електропіч ємністю 10 т/год з основною футеровкою для плавки сталі. Вивчені конструкція і робота печі, а також проведений розрахунок її основних параметрів, складений матеріальний і тепловий баланси та вибрано трансформатор проектного обладнання.

В результаті розрахунку були визначені наступні дані:

- Діаметр плавильного простору на рівні п'ят склепіння – 4,41 м.
- Потужність трансформатора – 2315,1 кВт

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ. 2007. 280 с.
2. Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А., Босий М.В., Кузик О.В. Технологія основних виробництв. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
3. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. 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 для магістрів усіх форм навчання за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 130 с.
7. Єременко А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво виливків з чорних металів» частина «Виробництво виливків зі сталі» для студентів напряму «Ливарне виробництво». Дніпродзержинськ. ДДТУ, 2015. 51 с.
8. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво). Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2009. 179с.
9. Люта А. В. Удосконалення систем управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей. Монографія. Краматорськ: ДДМА, 2020. 147 с.

ДОДАТКИ