

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 індукційної тигельної печі
продуктивністю 0,4 т/год."

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-20
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Євгеній АВРАМЕНКО
«_____» _____ 20__ р.

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

Рецензент
канд. техн. наук, старший викладач
_____ 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 (освітньо-наукова) 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
Авраменка Євгенія Валерійовича**

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок індукційної тигельної печі продуктивністю 0,4 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 індукційної тигельної печі. Розрахувати основні її розміри, електротехнічні характеристики печі, матеріальний і тепловий баланси проектного обладнання.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

	баланси проєктованого обладнання, обробка фактичного матеріалу		
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

_____ Євгеній АВРАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Авраменко Є. В. "Проектування і розрахунок індукційної тигельної печі продуктивністю 0,4 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024. – 39с. Матеріали ілюстрації 3 іл.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є вивчення конструкції роботи індукційної тигельної печі та основних параметрів роботи печі. Розрахувати основні її розміри, електротехнічні характеристики печі, матеріальний і тепловий баланси проектного обладнання.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахована індукційна тигельна піч продуктивністю 0,4 т/год., основні розміри та характеристики проектного обладнання, матеріальний та тепловий баланс. Розглянуто особливості плавки металу в індукційній тигельній печі та перспективи її використання.

У повний розрахунок індукційної тигельної печі входять: матеріальний баланс, тепловий баланс, розрахунок основних розмірів індукційної тигельної печі, розрахунок тигля, індуктора.

До графічної частини входить загальний вид індукційної тигельної печі та індуктора.

індукційна тигельна піч, матеріальний баланс, тепловий баланс, індуктор.

ABSTRACT

Avramenko E. V. "Design and calculation of an induction crucible furnace with a capacity of 0.4 t/h.", specialty 131 "Applied mechanics", OPP - "Computer engineering of technologies, robotics and 3D printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024. – 39p. Illustration materials 3 images.

The purpose of the bachelor's qualification work is to study the design of the induction crucible furnace and the main parameters of the furnace. Calculate its main dimensions, electrical characteristics of the furnace, material and heat balances of the designed equipment.

In this bachelor qualification work, an induction crucible furnace with a productivity of 0.4 t/h is calculated. the main dimensions and characteristics of my equipment designs, material and thermal balance. Features of metal melting in an induction crucible furnace and prospects for its use are considered.

The complete calculation of the induction crucible furnace includes: material balance, heat balance, calculation of the main dimensions of the induction crucible furnace, calculation of the crucible, inductor.

The graphic part includes a general view of the induction crucible furnace and the inductor.

induction crucible furnace, material balance, heat balance, inductor.

З М І С Т

	Стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНА ТИГЕЛЬНА ПІЧ.....	8
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЯ ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	11
РОЗДІЛ 3. РОБОТА ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	14
РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ПЛАВКИ СТАЛІ В ІНДУКЦІЙНІЙ ТИГЕЛЬНІЙ ПЕЧІ.....	17
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	19
РОЗДІЛ 6. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС	25
РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС	30
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТКИ.....	34
Додаток 1. Основні розміри індукційно тигельної печі.....	35
Додаток 2. Загальний вигляд індукційно тигельної печі.....	36
Додаток 3. Індуктор індукційно тигельної печі.....	37

ВСТУП

Сучасна техніка пред'являє все більш високі вимоги до металів і сплавів, задовольнити які можуть лише метали і сплави, отримані в процесі електроплавки. Хоча більшу частину чавуну і сталі виплавляють в конвертерних печах, однак високоякісні метали і сплави, які потребують повного розкислення і найбільшого очищення від шкідливих домішок, краще плавити в електричних печах, де можна створити будь-яку необхідну атмосферу. Крім того, в електропечах легше, ніж в паливних печах, регулювати тепловий режим. Тому, в електричній плавильній печі легше забезпечити кращу якість заготівельного лиття і мінімальний угар дорогих легуючих елементів, підвищити в декілька разів продуктивність праці і покращити умови роботи [1,4,5].

Тигельні індукційні печі використовують, головним чином, для плавки високоякісного чавуну, сталей та інших спеціальних сплавів, які потребують особливої чистоти, однорідності і точності хімічного складу, що є недосяжним при плавлі в полумєневих і дугових печах [1,5].

В порівнянні з паливними печами, продуктивність тигельних індукційних печей вища, крім того, плавка в тигельних індукційних печах дає метал більш високої якості і менші втрати сплавів, які виплавляються [1,5].

РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНА ТИГЕЛЬНА ПІЧ

В індукційних тигельних печах виплавляють різні метали і сплави (чавун, сталь, мідь, бронза, алюміній).

Принцип дії тигельної печі полягає в тому, що метал, який розплавляють поміщають в простір, який пронизується змінним магнітним потоком. Під дією виникаючої ЕРС, в металі протікає струм, метал нагрівається і плавиться.

В середині індуктора розташовано тигель з вогнетривкого матеріалу. Внутрішній простір тигля заповнюється розплавленим металом. Тигель захищає індуктор від дії рідкого металу. Товщина стінки тигля, тобто відстань між індуктором і рідким металом, впливає на електричні параметри печі – чим товще стінка, тим більша кількість магнітних силових ліній, які пронизують котушку, не бере участі в нагріві металу і тим менше $\cos \varphi$ печі. В тигельних печах $\cos \varphi = 0,05 \div 0,2$ [1,2].

Для зменшення індуктивної потужності печі паралельно індуктору підключають конденсатори, кількість яких під час плавки змінюється, тому що в процесі нагрівання змінюється електричний опір шихти, а в деяких випадках і її магнітні властивості.

По контуру, до якого входять індуктор і конденсаторна батарея, проходить струм великої сили. Тому, для з'єднання індуктора з конденсаторною батареєю використовують шини і кабель великого перерізу.

Магнітний потік, створюваний індуктором, проходить по замкнутим лініям, як в середині нього, так і з зовні. В залежності від проходження магнітного потоку з зовнішнього боку індуктора розрізняють відкриту, екрановану і закриту конструкції печей.

При відкритій конструкції магнітний потік з зовнішнього боку індуктора проходить по повітрю. Силові лінії магнітного поля пронизують простір навколо індуктора. Конструктивні елементи печі, наприклад, деталі її каркасу, повинні бути неметалевими, або їх слід розташовувати на такій відстані від індуктора, щоб магнітне поле не здійснювало на них вплив. Поблизу від індуктора використовують елементи конструкції з дерева або азбоцементу.

Елементи з вуглецевої сталі повинні бути віддалені на велику відстань від індуктора. Печі відкритої конструкції будують зазвичай невеликих габаритних розмірів [1,2,3].

При екранованій конструкції магнітний потік з зовнішнього боку індуктора відділяється від інших конструкцій екраном із міді. Мідь має невеликий електричний опір, а так як виділення потужності в тілі, розташованому в електромагнітному полі, залежить від його опору, то в мідному екрані енергія поля поглинається в меншій кількості. Стальні конструкції при наявності екрану можуть бути розташовані ближче до індуктора, що зменшує габаритні розміри печі. При закритій конструкції магнітний потік з зовнішнього боку індуктора проходить по радіально розташованим пакетам трансформаторної сталі – магнітопроводам. Магнітна проникність трансформаторної сталі в багато разів більше магнітної проникності повітря, тому практично весь магнітний потік проходить по магнітопроводам. Магнітопроводи доцільно розташовувати ближче до індуктора. Це зменшує розміри печі і збільшує жорсткість індуктора [1,2,3].

Кількість магнітопроводів і їх розміри визначають в залежності від потужності печі, частоти живлячого струму, характеристики трансформаторної сталі і т.п.

Закриту конструкцію широко застосовують в печах великої місткості.

Велике значення для роботи індукційної печі має частота живлячого струму. Кожному значенню місткості печі і електричному опору шихти відповідає певна частота струму. При виборі частоти струму враховують, що внутрішній діаметр тигля повинен бути більше або дорівнювати 3,5 глибини проникнення струму в шихту.

Індукційна тигельна піч має наступні переваги:

1. Отримання максимально чистого сплаву завдяки відсутності джерел забруднення. Поглинання водню металом на 40 % менше, ніж в дугових печах. Готовий метал містить порівняно мало неметалевих включень. Окислення ванни менше, ніж в інших печах, внаслідок більш низької температури і більш досконалих умов нагріву.

2. Отримання однорідного сплаву і рівномірного хімічного складу ванни внаслідок перемішування, викликаного електродинамічними зусиллями. Перемішування, в свою чергу, полегшує протікання реакцій між металом і шлаком [1,2].

3. Отримання максимально можливих високих температур по всій масі металу, а не в окремих частинах, як це відбувається в дугових печах.

4. Найменший удар металу внаслідок нагрівання металу з середини на зовні.

5. Високий к.к.д. печі.

6. Зменшення зайнятості площі внаслідок невеликих, в порівнянні з іншими печами, габаритів.

7. Просте і широке регулювання потужності і температури.

8. Можливість плавки в вакуумі або в спеціальному газовому середовищі.

9. Більш легкі і гігієнічні умови праці.

10. Більш спокійна робота двигуна-генератора в порівнянні з постійним режимом роботи дугової печі.

11. Більш високі техніко-економічні показники в порівнянні з дуговою піччю.

Необхідно відзначити наступні недоліки тигельних індукційних печей:

1. Відносно холодні шлаки, які ускладнюють протікання реакцій між шлаком і металом і, відповідно, утрудняючи процеси рафінування.

2. Внаслідок необхідності мати в установці джерело отримання високої або підвищеної частоти, а також конденсатори.

3. Дороге та складне обладнання, яке супроводжує встановлення тигельних індукційних печей [1,2].

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКЦІЯ ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

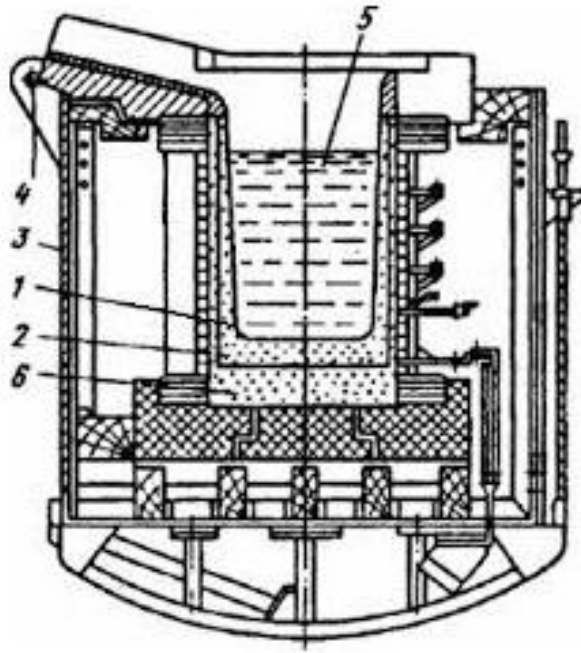


Рис. 1. Схема індукційної тигельної печі: 1 – тигель;
2 – індуктор; 3 – каркас печі; 4 – вісь поворотна; 5 – метал; 6 – під печі

Індукційні тигельні печі складаються з наступних основних частин: індуктора, магнітопроводів, каркасу, футеровки, механізму нахилу, електрообладнання та системи охолодження печі (рис.1).

Індуктор. Індуктор представляє собою циліндричну котушку з мідної трубки. Індуктор виготовляють з міді, тому що вона поглинає менше енергії електромагнітного поля, ніж сталь і інші матеріали. Профіль мідної трубки різноманітний: круглий, квадратний, прямокутний. Товщину стінки мідної трубки вибирають в залежності від частоти живильного струму. Виходячи з необхідності забезпечення мінімальних втрат енергії в трубці, товщина її стінки повинна бути на 30 % більше глибини проникнення струму. Розмір отвору в трубці обумовлений витратами охолоджуючої води. Поперечний переріз трубки залежить від струму, який протікає по індуктору [1,2,3,6].

Для підведення і відведення води і електроенергії індуктор має припаяні штуцера. Між витками індуктора встановлюють електроізоляційні прокладки. Індуктор покривають шаром епоксидної смоли, чим забезпечується надійна електрична ізоляція одного витка від іншого.

В печах промислової частоти верхній рівень індуктора встановлюється нижче рівня металу, внаслідок чого зменшується меніск на поверхні ванни і виключається викид металу з тигля із-за електродинамічної циркуляції.

Застосовують таку конструкцію кріплення індуктора, в якій кожний виток індуктора прикріплений до вертикальних стійок латунними шпильками. Стойки виготовляють з азбоцементу або твердих порід деревини.

Магнітопровід. Для запобігання нагріву металевих частин печі полями розсіву навколо індуктора встановлюють зовнішній магнітопровід з листової трансформаторної сталі. Магнітопровід складається із окремих пакетів, розташованих рівномірно по периметру індуктора. На печах промислової частоти магнітопроводи виготовляють із сталі, товщиною 0,5 мм, а на печах підвищеної частоти – товщиною 0,35 мм [1,2,3,6].

Довжина пакетів магнітопроводу більше висоти індуктора. Пакети кріплять до каркасу печі болтами і встановлюють впритул до індуктора, що забезпечує жорсткість конструкції і мінімальне розсіяння магнітного потоку.

Каркас. Каркас печей невеликої місткості виконують із деревини і азбоцементу, а також із немагнітних металів. Каркаси печей великої місткості повинні мати велику жорсткість і міцність, тому їх виготовляють із профільної сталі. Каркас сприймає всі навантаження, які виникають при розширенні печі, її нахилі, зливі металу і шлаку.

Футеровка. Умови роботи індукційної печі висувають певні вимоги до її футеровки. Футеровка повинна витримувати механічну дію рідкого металу, що особливо важливо для печі великої місткості. Футеровка з боку рідкого металу повинна мати щільну поверхню, яка спікається, через яку метал не зможе просочитися. З боку індуктора футеровка повинна бути такою, що не спікається. Це попереджає утворення в ній наскрізних тріщин. В процесі експлуатації в щільному шарі футеровки, що спікається можуть утворитися тріщини. Рідкий метал, потрапляючи по них в шар, що не спікається, розігріває його, і футеровка, спікаючись, закриває тріщину. Наявність шару, який не спікається виключає проникнення рідкого металу до індуктора [1,2,3,6].

Стійкість футеровки визначає строк служби печі до наступного ремонту. В залежності від металургійного процесу застосовують кислі або основні вогнетривкі матеріали. Футеровка печі складається із подини, тигля, верхнього кільця і кришки. Як правило, при виготовленні футеровки печі застосовують вогнетривкі маси і для подини – фасонні вогнетривкі вироби.

Механізм нахилу. При розливці металу каркас печі з індуктором і футеровкою в зборі необхідно нахиляти на $90-100^{\circ}$. Індукційні печі невеликої місткості мають ручні механізми нахилу (лебідки). Великі печі мають, як правило, механізм нахилу з гідравлічним приводом. Піч нахиляють гідравлічним циліндром, з'єднаним за допомогою шарнірів з її каркасом і рамою, встановленою на фундаменті. Гідравлічний циліндр гнучкими шлангами з'єднаний з насосною станцією. Із протипожежних міркувань в гідросистемах замість масла слід застосовувати негорючу рідину.

Електрообладнання. В комплект пічної установки входить трансформатор, конденсаторні батареї, перетворювач частоти струму, щити керування і живлячі кабелі. Піч під'єднується до мережі високої напруги через високовольний вимикач. Трансформатор має декілька регулюючих ступеней на вторинному боці, що дозволяє підводити необхідну напругу до індуктора в залежності від режиму роботи печі. Для компенсації індуктивної потужності індуктора передбачені дві конденсаторні батареї. Одна батарея ввімкнена постійно, іншу вмикають частинами, по мірі необхідності. Це дає можливість для будь-якого режиму роботи печі отримувати $\cos \varphi$, близький до одиниці [1,2,3].

Індукційні тигельні печі, які працюють на підвищеній або високій частоті, мають додатковий перетворювач частоти.

Система охолодження печі. Такі елементи печі, як індуктор, конденсатори, кабелі, можуть працювати лише при їх інтенсивному охолодженні. Для охолодження використовують переважно воду. Невеликі печі охолоджуються звичайною водою. Крупні печі охолоджуються спеціально підготовленою водою [1,3].

РОЗДІЛ 3. РОБОТА ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

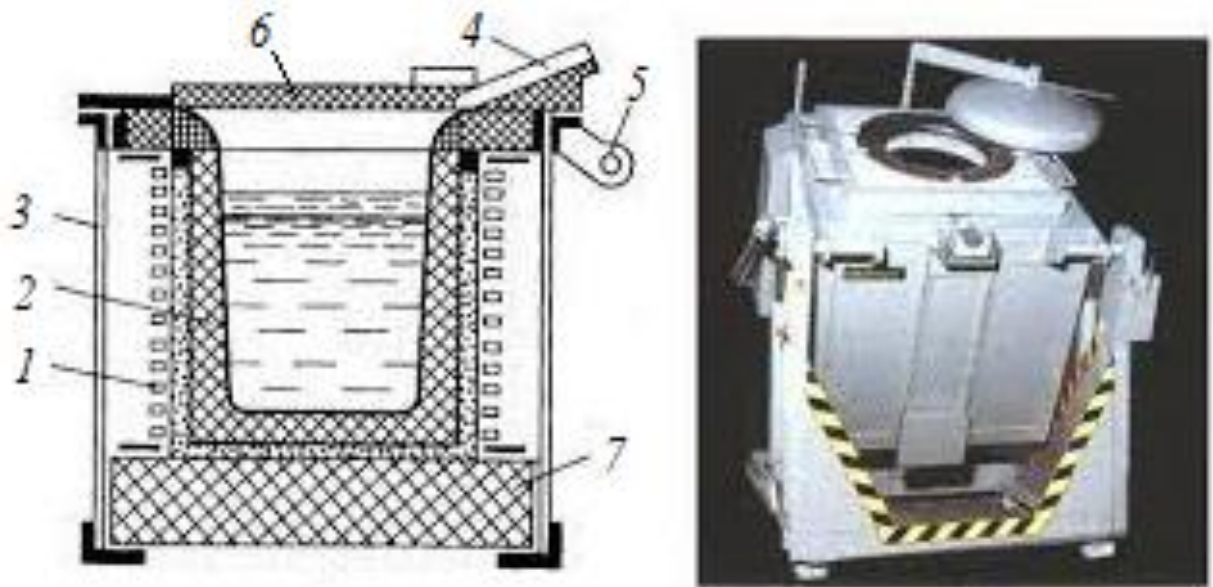


Рис. 2. Схема роботи індукційної тигельної печі:

1 – індуктор; 2 – тигель; 3 – каркас; 4 – жолоб для зливу металу; 5 – вісь поворотна; 6 – футерована кришка; 7 – під печі

Індукційний нагрів металів здійснюється за допомогою індуктора, який живиться змінним струмом. При протіканні струму по індуктору виникає магнітне поле. Метал, внесений в це магнітне поле, нагрівається, тому що змінний магнітний потік збуджує в ньому змінну ЕРС і віхрові струми. Метал, який розплавляється знаходиться в тиглі, розташованому в індукторі (рис. 2).

Кількість теплоти, яка виділяється в металі, що нагрівається, залежить від його магнітної проникності: чим більша магнітна проникність, тим інтенсивніше його нагрів, а відповідно і більша кількість теплоти, яка виділяється [1,2,3,7].

Перед початком роботи печі треба ретельно перевірити всю установку. Для цього необхідно: переглянути футеровку і в разі наявності тріщин, ліквідувати їх; перевірити котушку, ізоляцію, кріплення витків, очистити витки від пилу і вологи, продути стисненим повітрям від внутрішнього пилу, перевірити з'єднання водопровідних шлангів і пустити воду в котушку, після пуску води знову перевірити проходження води через кожний шланг окремо по

манометру і термометру, прослідкувавши тиск і температуру води, яка надходить; перевірити справність механізму нахилу, при цьому треба звернути увагу на стан бронзових гайок, які пересуваються по ходовим гвинтам, а також перевірити ізоляційну прокладку в муфті; перевірити ізоляцію в з'єднаннях залізних частин корпусу печі; перевірити дію вентиляції в конденсаторній і в машинному приміщенні і привести її в дію; перевірити, чи вимкнений рубильник мотору, генераторний рубильник і вимикачі конденсаторів, а також чи виведено збудження генератора; ввімкнути трансформатор, живлячий мотор-генератор і перевірити наявність напруги по вольтметру на щиті або на приладах в трансформаторній; записати показники лічильника [1,2,3,7].

Завантаження печі. Завантажувати шихту треба ретельно, дотримуючись наступних правил: шихта повинна бути щільною, складатись, по можливості, з великих кусків або представляти собою суміш великих і дрібних шматків; в цьому випадку для найщільнішого заповнення об'єму слід класти по чергово шматки обох розмірів; завантажувати садку необхідно лише на висоту котушки, тому що метал, який виходить за межі котушки, дає втрати на охолодження; шматки металу, по можливості, викладати концентричними кільцями паралельно виткам котушки, якщо шихта являє собою плоскі шматки, то викладати їх слід в горизонтальній площині; не допускати неповного завантаження тигля, так як завантаження шихти невеликими порціями веде до частого відкривання кришки, а відповідно, і до великих втрат на охолодження; крім того, при додаванні шихти виникає необхідність спочатку налагоджувати піч, що затягує плавку.

Ввімкнення печі. Після закінчення завантаження пуск ланцюга здійснюють з дотриманням певної послідовності: вмикають рубильник мотору; вмикають ємність, яка відповідає данній шихті; вмикають головний рубильник на щиті, який замикає ланцюг "генератор-піч" з паралельно або послідовно приєднаної до печі ємності; обережно виводять реостат в ланцюгу збудження генератора маховичком від регулятора головного струму,

слідкуючи за показниками приладів і не допускаючи переходу стрілок за червону лінію; виконують наладку на резонанс, вмикаючи і вимикаючи конденсатори і слідкуючи при цьому за приладами. Ознакою добре налагодженої печі слугує стан, коли сила струму в індукторі максимальна і стрілки всіх приладів генератора не виходять за межі червоної лінії [1,2,3,7].

Так як наладку проводять при вимкненому струмі, то для запобігання охолодження садки здійснювати її треба швидко.

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ПЛАВКИ СТАЛІ В ІНДУКЦІЙНІЙ ТИГЕЛЬНІЙ ПЕЧІ

Завдяки конструктивним особливостям індукційних печей (наявність глибокої ванни і порівняно мала її поверхня) угар елементів і забруднення металу азотом в них значно менше, ніж в печах іншого типу.

Під дією електромагнітних сил рідкий метал в індукційних печах піддається природньому перемішуванню, що прискорює металургійні процеси в рідкій ванні, а також між металом і шлаком [1,4,5].

В наш час індукційні тигельні печі для плавки сталі знайшли найбільше своє використання для дрібного лиття. Це пояснюється здатністю печі без сердешника видавати метал через короткий час невеликими порціями. Останнє дозволяє вести масове лиття на невеликій робочій площадці і при невеликій кількості оснастки.

Литво, яке одержується при цьому, належного складу і високої якості.

Для виплавки сталі в печах з кислою футеровкою шихту треба складати з чистих вихідних металів з мінімальним вмістом фосфору і сірки, а в печах з основною футеровкою можливе застосування більшого відсотку скрапу.

В печах, як з кислою, так і з основною футеровкою склад шлаку необхідно підбирати таким, щоб він не заміщувався в розплавленому металі, тобто шлак повинен мати високий поверхневий натяг. Нагрів металу в індукційних печах без сердешника відбувається від металу (шихти), тому шлак холодніше за метал. Це є одним з основних недоліків індукційних печей, так як знижує здатність шлаку до дії на металургійні процеси. Збільшення активності шлаку досягається підвищенням його рідинотекучості присадкою плавикового шпату. Наряду з чим, індукційні печі без сердешника мають і інші недоліки: значне роз'їдання футеровки під дією шлаку; затруднення ремонту футеровки внаслідок малої товщини стінок і вертикального їх розташування (особливо це відноситься до тиглів малої місткості); обмежена ємність ванни. Але внаслідок руху металу плавка в печах без сердешника відбувається швидко і

хімічні реакції (дегазація і видалення неметалевих з'єднань) протікають досить інтенсивно [1,4,5].

Завантаження шихти в цих печах при великій ємності легко механізувати і її виконують, зазвичай, за декілька хвилин.

При складанні шихти необхідно враховувати, що при плавці сталі в індукційних печах без сердешника з кислою футеровкою дуже складно звільнити метал від сірки і фосфору. Тому вміст сірки і фосфору в шихтових матеріалах повинен бути якомога меншим (не більше 0,05%). В особливості, це відноситься до сталі, яку іноді використовують для підвищення вмісту вуглецю в шихті. Така сталь повинна вміщувати мінімальний вміст фосфору. Хоча з рідкої ванни можна порівняно легко видалити надлишок вуглецю, марганцю і кремнію, тим не менш не бажано, щоб вміст вуглецю в шихті перевищував 0,1% проти тої кількості, яка допускається в металі. При більшій кількості вуглецю в шихту додають залізну руду (до 0,5% до маси шихти) або відповідну кількість окисленого скрапу. При плавці чавуну в печах з кислою футеровкою необхідно враховувати, що шлак утворюється частково за рахунок піску, який прилип до скрапу, а також кремнезему футеровки печі.

Плавка в печах з основною футеровкою відрізняється тією перевагою, що вона дозволяє застосовувати будь-який скрап, так як при цьому процес вигорання вуглецю, марганцю і кремнію відбувається досить швидко.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОЇ ТИГЕЛЬНОЇ ПЕЧІ

Розрахунок індукційної тигельної печі полягає в тому, щоб визначити основні розміри тигля і індуктора, а також знайти основні електротехнічні характеристики печі (рис. 5.1) [1,4,5,6,7].

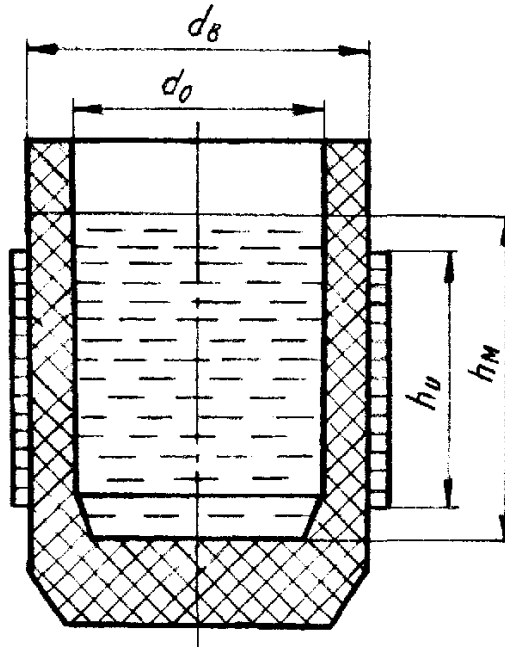


Рис. 5.1. Схема розрахунку основних розмірів індукційної тигельної печі

Об'єм рідкого металу

$$V_M = G/\rho = 0,4/7,2 = 0,05 \text{ м}^3; \quad (5.1)$$

де G – ємність тигля, т.; ρ – щільність металу, для чавуну $\rho = 7,2 \text{ т/м}^3$

Внутрішній діаметр тигля:

$$d_0 = \sqrt[3]{4V_M/\pi B} = \sqrt[3]{4 \cdot 0,05/3,14 \cdot 1,75} = 0,348 \text{ м} \quad (5.2)$$

де B – коефіцієнт, який враховує в скільки разів висота металу в тиглі h_M більше його внутрішнього діаметру, і який залежить від місткості тигля. Приймаємо $B = 1,75$.

Висота металу у тиглі:

$$h_M = B \cdot d_0 = 1,75 \cdot 0,348 = 1,592 \text{ м} \quad (5.3)$$

Товщина стінки тигля:

$$S_1 = (0,25...0,3) \cdot d_0 = 0,275 \cdot 0,345 = 0,095 \text{ м} \quad (5.4)$$

З метою визначення частоти струму виконуємо розрахунок для 3-х характерних умов

1. Тигель заповнений твердою шихтою з температурою 20 °С. Для цього випадку:

Питомий електроопір сталі:

$$\rho_{M_1} = 20 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (5.5)$$

Відносна магнітна проникність:

$$\mu_1 = 40 \quad (5.6)$$

Середній розмір куска металу:

$$d_M = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2} = \frac{0,4 + 0,32}{2} = 0,36 \text{ м} \quad (5.7)$$

Мінімальна частота живильного струму:

$$f_{\min 1} = 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_{M_1}}{\mu_1 \cdot d_M^2} = 25 \cdot 10^6 \frac{20 \cdot 10^{-8}}{40 \cdot 0,36} = 0,96 \text{ Гц} \quad (5.8)$$

2. Тигель заповнений твердою шихтою з температурою 800 °С. Для цього випадку:

Питомий електроопір сталі:

$$\rho_{M_2} = 110 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (5.9)$$

Відносна магнітна проникність:

$$\mu_1 = 1 \quad (5.10)$$

Мінімальна частота живильного струму:

$$f_{\min 2} = 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_{M_2}}{\mu_1 \cdot d_M^2} = 25 \cdot 10^6 \frac{110 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,36} = 213 \text{ Гц} \quad (5.11)$$

3. Тигель заповнений рідким металом з температурою 1500 °С. Для цього випадку:

Питомий електроопір сталі:

$$\rho_{M_3} = 125 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (5.12)$$

Відносна магнітна проникність:

$$\mu_1 = 1 \quad (5.13)$$

Мінімальна частота живильного струму:

$$f_{\min 3} = 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_{M_3}}{\mu_1 \cdot d_0^2} = 25 \cdot 10^6 \frac{125 \cdot 10^{-8}}{1 \cdot 0,348^2} = 258 \text{ Гц} \quad (5.14)$$

Приймаємо $f = 50 \text{ Гц}$.

Товщина теплоізоляційного азбестового шару між тиглем і індуктором

$$S_2 = 0,005 \text{ м.} \quad (5.15)$$

Внутрішній діаметр індуктора

$$D_{\epsilon} = d_0 + 2(S_1 + S_2) = 0,348 + 2(0,095 + 0,005) = 0,558 \text{ м.} \quad (5.16)$$

Корисна теплова потужність печі $P_{\text{кор}} = W_{\text{теор}} \cdot \Pi'$,

де $W_{\text{теор}}$ – теоретична питома витрата енергії, $W_{\text{теор}} = 625 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}$; Π'

– плавильна продуктивність печі, т/год.

Плавильна продуктивність печі

$$\Pi' = \Pi(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)/\tau_2 = 0,4(0,28 + 2,1 + 0,25 + 0,068)/2,1 = 0,514 \text{ т/год}$$

де τ_1 – час завантаження шихти в піч, год.; τ_2 – час плавки, год.; τ_3 – час доведення металу, год.; τ_4 – час зливу металу з печі, год.; Π – продуктивність печі т/год;

$$P_{\text{кор}} = W_{\text{теор}} \cdot \Pi' = 625 \cdot 0,514 = 106,8 \text{ кВт} \quad (5.17)$$

Активна потужність печі $P_a = P_{\text{кор}}/\eta_{\text{терм}}$,

де $\eta_{\text{терм}}$ – термічний к.к.д. печі, приймаємо $\eta_{\text{терм}} = 0,85$

$$P_a = 106,8/0,85 = 125,6 \text{ кВт} \quad (5.18)$$

Висота індуктора

$$h_i = 0,85h_m = 0,85 \cdot 0,592 = 0,50 \text{ м} \quad (5.19)$$

Глибина проникнення струму в метал

$$\Delta e = 503\sqrt{\rho_m/\mu_m f} = 503\sqrt{125 \cdot 10^{-8}/1 \cdot 50} = 0,079 \text{ м} \quad (5.20)$$

Напряга магнітного поля в індукторі

$$H = 10^3 / K_s \sqrt{\frac{P_a}{6,2 \cdot d_0 h_m A_m \sqrt{\rho_m \mu_m f}}}$$

де K_s – коефіцієнт, який враховує самоіндукцію і взаємоіндукцію між індуктором і садкою, $K = 0,9$; A_m – поправочний коефіцієнт активної потужності, який враховує кривизну металевої садки в тиглі і, який залежить від відношення діаметра садки до глибини проникнення струму в неї, $d_0 / \Delta e = 0,348 / 0,079 = 4,35$, $A_m = 0,78$

$$H = \frac{10^3}{0,9} \sqrt{\frac{125,6}{6,2 \cdot 0,348 \cdot 0,592 \cdot 0,78 \sqrt{125 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 50}}} = 140310,02 \text{ А/м} \quad (5.21)$$

Реактивна потужність садки, що виділяється в металі

$$Q_m = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 d_0 \cdot h_m \sqrt{\rho_m \mu_m f} R_m K_s^2, \quad (5.22)$$

де R_m – поправочний коефіцієнт реактивної потужності, $R_m = 1$.

$$Q_m = 6,2 \cdot 10^{-6} (140310,02)^2 \cdot 0,384 \cdot 0,592 \sqrt{125 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 50} \cdot 1 \cdot 0,9^2 = 173,9 \text{ квар}$$

Реактивна потужність в зазорі між металом і індуктором

$$Q_z = 6,2 \cdot 10^{-9} H^2 f d_0 \cdot h_m \left[\left(\frac{D_e}{d_0} \right) - 1 \right] \quad (5.23)$$

$$Q_z = 6,2 \cdot 10^{-9} (140310,02)^2 \cdot 50 \cdot 0,384 \cdot 0,592 \left[\left(\frac{0,558}{0,348} \right)^2 - 1 \right] = 687,4 \text{ квар}$$

Товщина стінки трубки індуктора визначається з умови отримання мінімальних втрат активної потужності в індукторі

$$S_{mp} = 1,3 \cdot 10^3 \cdot \Delta e, \quad (5.24)$$

де Δe – глибина проникнення струму в матеріал індуктора (мідь), $\Delta e = 10 \text{ мм}$

$$S_{mp} = 1,3 \cdot 10^3 \cdot 0,01 = 13 \text{ мм} \quad (5.25)$$

Втрати активної потужності в індукторі

$$P_u = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 d_e h_i A_i \sqrt{\rho_i \mu_i f} / K_{z,i} \quad (5.26)$$

де ρ_i і μ_i – питомий електричний опір і відносна магнітна проникність матеріалу індуктора, $\rho_i = 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; $\mu_m = 1$; A_i – поправочний коефіцієнт активної потужності, який враховує кривизну індуктора, $A_i = 0,95$; $K_{з.і.}$ – коефіцієнт заповнення індуктора, $K_{з.і.} = 0,8$.

$$P_u = 6,2 \cdot 10^{-6} (140310,02)^2 \cdot 0,558 \cdot 0,5 \cdot 0,95 \sqrt{2 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 50} / 0,8 = 40,44 \text{ кВт} \quad (5.27)$$

Реактивна потужність в індукторі при $R_i = 0,8$

$$Q_u = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 d_g h_i R_i \sqrt{\rho_i \mu_i f} / K_{з.і.} \text{ квар} \quad (5.28)$$

де R_i – поправочний коефіцієнт реактивної потужності, який враховує кривизну індуктора, $R_i = 0,8$

$$Q_u = 6,2 \cdot 10^{-6} (140310,02)^2 \cdot 0,558 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \sqrt{2 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 50} / 0,8 = 34,054 \quad (5.29)$$

Загальна активна потужність $P = P_m + P_u = 125,6 + 40,44 = 166,04 \text{ кВт}$

Загальна реактивна потужність

$$Q = Q_m + Q_z + Q_u = 173,9 + 687,4 + 34,054 = 895,4 \text{ квар} \quad (5.30)$$

Повна потужність системи індуктор-метал

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{166,04^2 + 895,4^2} = 910,665 \text{ кВт} \cdot \text{А} \quad (5.31)$$

Струм в індукторі

$$I = 10^3 S / U_i \quad (5.32)$$

де U_i – напруга на індукторі, яка відповідає максимальній напрузі трансформатора, живлячого піч електроенергією, $U_i = 2430 \text{ В}$

$$I = 10^3 \cdot 910,665 / 2430 = 374,8 \text{ А} \quad (5.33)$$

Число витків індуктора

$$n = H \cdot h_i / I = 140310,02 \cdot 0,5 / 374,8 = 187,18, n=190 \quad (5.34)$$

Крок витка індуктора

$$h_{\text{вит}} = h_i / n = 0,5 / 190 = 0,0026 \text{ м} \quad (5.35)$$

Висота трубки індуктора

$$h_{\text{тр}} = h_{\text{вит}} \cdot K_{з.і.} = 0,0026 \cdot 0,8 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (5.36)$$

Товщина ізоляції між витками

$$h_{\text{ізол}} = h_{\text{вит}} - h_{\text{тр}} = 0,003 - 2 \cdot 10^{-3} = 0,001 \text{ м} \quad (5.37)$$

Напруга струму між витками індуктора

$$U_{\text{вит}} = U_i / n = 190 = 12,7 \quad (5.38)$$

Напруга на 1 см ізоляції між витками

$$U_1 = 10^{-2} \cdot U_{\text{вит}} / h_{\text{ізол}} = 12,7 / 0,001 \cdot 10^{-3} = 127 \text{ В} \quad (5.39)$$

Ширина трубки індуктора

Приймаємо трубку круглого перерізу 0,35 мм з товщиною стінки 15 мм.

Площа поперечного перерізу трубки для електричного струму 3456 мм².

Щільність струму 347,8:3456 = 0,1 А/мм², що допустимо.

Природний cos φ печі

$$\cos \varphi = P / S = 166,04 / 910,65 = 0,55 \quad (5.40)$$

Ємність конденсаторної батареї

$$C = 10^9 \cdot Q / 2\pi f U_k^2, \quad (5.41)$$

де U_k^2 – напруга на конденсаторі, яка приймається рівною напрузі вищої ступені трансформатору, $U_k = 2430 \text{ В}$.

$$C = 895,4 \cdot 10^9 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2430^2 = 482,9 \text{ мкФ} \quad (5.42)$$

Загальний переріз магнітопроводів

$$F_{\text{мг}} = U_i / 4,44 f n B \quad (5.43)$$

де B – індукція в магнітопроводі, $B = 1 \text{ Вб/м}^2$

$$F_{\text{мг}} = 2430 / 4,44 \cdot 50 \cdot 190 \cdot 1 = 0,58 \text{ м}^2 \quad (5.44)$$

Площа поперечного перерізу одного магнітопроводу (загальна кількість магнітопроводів 24)

$$f_{\text{мг}} = 10^4 F_{\text{мг}} / N_{\text{мг}}, \quad (5.45)$$

де $N_{\text{мг}}$ – число пакетів магнітопроводу навколо індуктора, $N_{\text{мг}} = 24$

$$f_{\text{мг}} = 10^4 \cdot 0,058 / 24 = 24,167 \text{ см}^2 \quad (5.46)$$

РОЗДІЛ 6. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС

Матеріальний баланс плавки в індукційній тигельній печі представляє собою:

- 1) виявлення характерних складових вихідних матеріалів;
- 2) представлення способу складання шихти;
- 3) загальний матеріальний баланс [1,2,3].

Шихта для плавки сталі складається із металевої і неметалевої частин. Металева частина містить: Скрапу 92%, чавуну 32%, і феросплави.

В ливарні відходи включають обрізки ливникових кінців, стружку, отриману після шабровки поверхонь болванок при видаленні шлакових вкраплень і т.п. Відходи інших цехів складаються з обрізків, кромок, вирізок, закатів та ін.

Привозні відходи представляють собою різноманітний брухт і старі вироби, які складаються із окремих компонентів шихти або по складу аналогічні шихті, але з різним вмістом компонентів. Хімічний склад шихтових матеріалів наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

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

Під час плавки шихти з окисленням вигорають: вуглець – 15%; залізо – 35 %, кремній , марганець – 70%.

Розрахунок матеріального балансу проводимо в такій послідовності.

Вміст вуглецю в металі по розплавленні

$$[C]_p = 0,35 + 0,15 = 0,5 \% \quad (6.1)$$

Приймаємо, що відходи власного виробництва становлять 40 % шихти.

Позначаємо частку скрапу через x , а частку чавуну через y і складаємо систему рівнянь для визначення цих часток:

$$\begin{cases} x \cdot 400 \frac{0,3}{100} + y \cdot 400 \cdot \frac{4}{100} = 0,6 \cdot \frac{400}{100} \\ x + y = 1 \end{cases} \quad (6.2)$$

$$y = 0,08$$

$$x = 0,92$$

Отже, шихта має такий склад

$$400 \cdot 0,92 = 368 \text{ кг} \quad \text{Скрап}$$

$$400 \cdot 0,08 = 32 \text{ кг} \quad \text{чавунного лому}$$

Під час плавки окисляються вуглець, кремній, марганець і залізо в таких кількостях

$$\begin{aligned} G_C &= (0,3 \cdot 0,92 + 4 \cdot 0,08) \cdot 400 \cdot 0,15/100 = 0,357 \text{ кг} \\ G_{Si} &= (0,3 \cdot 0,92 + 1,1 \cdot 0,08) \cdot 400 \cdot 0,7/100 = 12,74 \text{ кг} \\ G_{Mn} &= (0,6 \cdot 0,92 + 0,8 \cdot 0,08) \cdot 400 \cdot 0,7/100 = 21,56 \text{ кг} \\ G_{Fe} &= 400 \cdot 0,25/100 = 1 \text{ кг} \\ \Sigma G_i & \quad \quad \quad 35,657 \text{ кг} \end{aligned} \quad (6.3)$$

При цьому утворюються і переходять в шлак відповідні оксиди

$$\begin{aligned} G_{SiO_2} &= 1,01 \cdot 60/28 = 2,183 \text{ кг} \\ G_{MnO} &= 1,72 \cdot 71/55 = 2,22 \text{ кг} \\ G_{FeO} &= 1 \cdot 72/56 = 1,28 \text{ кг} \\ \Sigma & \quad \quad \quad 5,683 \text{ кг} \end{aligned} \quad (6.4)$$

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

$$G_n = 2,22 + 1,285 = 3,505 \text{ кг} \quad (6.5)$$

З метою створення достатньої товщини шару шлаку передбачаємо введення у ванну під час плавлення оборотного шлаку у кількості 2% від маси металозавалки:

$$G_{об.шл.} = 400 \cdot 2/100 = 8 \text{ кг} \quad (6.6)$$

Приймаємо, що в шлак переходить частина футеровки вагою 0,5% від металозавалки:

$$G_{фут.} = 400 \cdot 0,5/100 = 2 \text{ кг} \quad (6.6)$$

На окислення окремих елементів під час плавлення витрачається кисню із атмосфери печі:

$$\begin{aligned} G_{O_2,C} &= [0,357]16/12 = 0,476 \text{ кг} \\ G_{O_2,Si} &= [1,019]32/28 = 1,164 \text{ кг} \\ G_{O_2,Mn} &= [1,72]16/55 = 0,500 \text{ кг} \\ G_{O_2,Fe} &= [1]16/56 = 0,285 \text{ кг} \\ G_{O_2,i} &= 2,425 \text{ кг} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Утворюється СО:

$$G_{CO} = 0,476 \cdot 28/12 = 1,108 \text{ кг} \quad (6.8)$$

Кількість шлаку після розплавлення

$$G_{шл} = 5,688 + 3,505 + 8 + 2 = 19,193 \text{ кг} \quad (6.9)$$

або $134 \cdot 100/400 = 3,5\%$ від маси металозавалки

Кількість металу після розплавлення

$$G_{мет} = 400 - 4,096 = 395,90 \quad (6.10)$$

Результати розрахунків приведені у табл. 6.2.

Зміною маси металу і шлаку під час доводки нехтуємо.

Розрахунок кількості феросплавів, які необхідно ввести в метал для одержання заданого вмісту в ньому відповідних домішок, проводимо за формулою

$$G_{\phi} = \frac{G_{p.m.} ([E]_c - [E]_n)}{E_{\phi} \cdot K_E}, \quad (6.10)$$

де $G_{p.m.}$ – маса рідкого металу, кг; $[E]_c, [E]_n$ – середній у чавуні і початковий в металі перед розкисленням вміст елемента, у відсотках за масою; E_ϕ – вміст елемента-розкислювача у феросплаві, у відсотках за масою; K_E – коефіцієнт засвоєння елемента.

Матеріальний баланс плавки сплаву наведений в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Матеріальний баланс плавки сплаву в основній індукційній тигельній печі
ємністю 0,4 т/год

№ п/п	Статті (прибутку або видатку)	кг	% від м/з
	Прибутки:		
1.	Скрап	368	92
2.	Чавун	32	8
3.	Пісок	3,505	0,876
4.	Оборотний шлак	8	2
5.	Футеровка	2	0,5
6.	Кисень атмосферний	2,456	0,615
	Σ	416	104
	Видатки		
1.	Метал	395,90	98,97
2.	Шлак	19,193	4,79
3	Газ CO	1,108	0,27
	Σ	416	104

Вміст марганцю і кремнію перед розкисленням визначається так:

$$\begin{aligned} [Mn]_n &= (0,92 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 0,8 = 0,63\% \\ Si_n &= (0,92 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 1,1) \cdot 0,5 = 0,30\% \end{aligned} \quad (6.11)$$

Кількість феромарганцю

$$G_{FeMn} = \frac{395,90(0,8 - 0,63)}{75 \cdot 0,7} = 1,27 \text{ кг} \quad (6.12)$$

Кількість феросиліцію

$$G_{FeSi} = \frac{395,90(1,1 - 0,30)}{77 \cdot 0,7} = 5,87 \text{ кг.} \quad (6.13)$$

РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Тепловий баланс печі представляє собою відношення між прибутком і видатком теплоти. Метою складання теплового балансу є визначення витрати електроенергії і вивчення стану теплової роботи печі [1,2,3].

В індукційній тигельній печі тепла енергія отримується за рахунок трансформації електричної енергії в теплову і за рахунок термохімічних реакцій – окислення металу з виділенням тепла. Вся ця енергія йде на нагрівання, розплавлення і перегрів металу, а також на покриття електричних втрат і теплових втрат в установці. Теплові втрати в навколишнє середовище відбуваються внаслідок теплопровідності, конвекції і випромінювання.

Рівняння теплового балансу в даному випадку:

$$Q_{ел.ен.} + Q_{екз} = Q_m + Q_{шл} + Q_{кл} + Q_{охол} + Q_{випр} + Q_{виб} \quad (7.1)$$

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.

Всі статті теплового балансу розраховуємо у кВт. Тривалість завалки і плавки приймаємо 1,35 години.

Теплота екзотермічних реакцій: кВт

$$Q_{екз} = (11658 \cdot 5,510 + 27696 \cdot 10,087 + 6435 \cdot 6,297 + 4289 \cdot 12,5) / 1,35 \cdot 3600 = 90 \quad (7.2)$$

Витрата електроенергії

$$Q_{ел.ен.} = IU \cdot t / 3600 = 31602 \cdot 800 \cdot 1,35 / 3600 = 878,996 \text{ кВт} \quad (7.3)$$

Теплота металу і шлаку при визначенні їх тепловмісту $t_m = 1550^\circ \text{C}$,
 $t_{шл} = 1400^\circ \text{C}$

$$Q_m + Q_{шл} = [(989,5 \cdot 0,84 \cdot 1400) + (45,65 \cdot 1,26 \cdot 1550)] / 1,35 \cdot 3600 = 205,547 \quad (7.4)$$

$Q_{кл}$ розраховуємо за формулою

$$Q_{кл} = \alpha(t_{кл} - t_{нов})F \quad (7.5)$$

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

$$F = 2\pi d^2/4 + \pi DL = 2 \cdot 3,14 \cdot 3,5^2/4 + 3,14 \cdot 3,5 \cdot 2,1 = 42,31 \text{ м}^2 \quad (7.6)$$

$$Q_{кл} = 20(100 - 20) \cdot 42,31 = 67,4 \text{ кВт} \quad (7.7)$$

Величину $Q_{охол}$ розраховуємо, прийнявши витрату води $2 \text{ м}^3/\text{год}$, $t_{\epsilon}^{noch} = 20 \text{ }^{\circ}\text{С}$, $t_{\epsilon}^{kin} = 45 \text{ }^{\circ}\text{С}$;

$$Q_{охол} = (2000/3600) \cdot 4,2(45 - 20) = 467 \text{ кВт} \quad (7.8)$$

Для останніх двох статей видаткової частини теплового балансу приймаємо співвідношення:

$$Q_{випр} + Q_{виб} = 0,2Q_{ел.ен.} = 0,2 \cdot 878,996 = 175,799 \text{ кВт} \quad (7.9)$$

Дані теплового балансу наведені у табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Тепловий баланс плавки сталі в печі ємністю 0,4 т.

№ п/п	Статті прибутку	кВт	%	№п/п	Статті видат- ку	кВт	%
1	$Q_{ел.ен.}$	878,996	96	1	$Q_{м} + Q_{шл.}$	205,547	22,8
2	$Q_{екз.}$	36,75	4	2	$Q_{кл.}$	67,4	7,06
	Σ	915,746	100	3	$Q_{охол}$	467	50,99
				4	$Q_{випр} + Q_{виб}$	175,799	19,197
					Σ	915,746	100

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній бакалаврській роботі спроектована та розрахована індукційна тигельна піч ємністю 0,4 т/год. з основною футеровкою для плавлення сталі. Також описані основні параметри роботи печі та визначенні основні її розміри та електротехнічні характеристики печі. Також розраховані матеріальний і тепловий баланси печі проектного обладнання та параметри роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ. 2007. 280 с.
2. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. 89с.
3. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Теплотехніка ливарного виробництва» для студентів денної та заочної форм навчання на прямую 6.050402 «Ливарне виробництво». Укл.: Чубіна О.А., Кобзева А.І. Дніпродзержинськ. ДДТУ. 2016. 63с.
4. Костик К.О., Терентьев Д.П. Особливості розрахунку електромагнітних параметрів індукційної тигельної печі при виплавці сталі. Процеси лиття. 2021. № 2 (144). С.42-52.
5. Костик К.О., Акімов О.В., Островерхова К.В. Дослідження електромагнітних параметрів індукційної тигельної печі з кусковим завантаженням шихти для виплавки сталі 35Л. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні, 2020. №(2). С. 85–92.
6. Шокарьов Д.А. Конспект лекції з навчальної дисципліни «Енергетичні установки» обов'язкових компонент освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Електромеханіка. Тема № 4 Індукційні нагрівальні електроустановки. 2022. 18с.
7. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Рафінування переробного чавуну» з дисципліни «Позаагрегатна обробка розплавів» освітньо професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 136 «Металургія» усіх форм навчання. Укл.: Чубін К.І., Похвалітий А.А. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 22 с.

ДОДАТКИ