

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 індукційного каналного міксера
продуктивністю 6 т/год.”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ(ОЛ)-21
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Олег ЦУРКАН
« ____ » _____ 20__ р.

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

Рецензент
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО
« ____ » _____ 20__ р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛІВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 20__ р.

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

1. Тема роботи: Конструювання та розрахунок індукційного каналного міксера продуктивністю 6 т/год.
2. Керівник роботи: Старший викладач Босий Микола Вікторович
3. Строк подання роботи до захисту
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: вивчення конструкції роботи індукційно каналного міксера та розрахувати основні його розміри, виконати електротехнічний розрахунок. Визначити матеріальний і тепловий баланси проектованого обладнання.

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 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 БОСИЙ

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 20__ р.

Підпис здобувача

_____ Олег ЦУРКАН

АНОТАЦІЯ

Цуркан О.С. "Конструювання та розрахунок індукційного каналного міксера продуктивністю 6 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025. 39 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Мета даної кваліфікаційної бакалаврської роботи – вивчення та конструювання даного індукційного каналного міксера, тобто розрахунок розмірів ІКМ та його електротехнічних характеристик, а також визначення матеріального і теплового балансу ІКМ, який має ємність 6 т/год.

До розрахунку та конструювання індукційного каналного міксера входить: по-перше розрахунок плавильного агрегату ІКМ, враховуючи його основні розміри, друге – це визначення електротехнічних параметрів, третє – це розрахунок матеріального і теплового балансів.

В графічну частину входить: загальний вигляд індукційного каналного міксера та його індуктор.

ІКМ, матеріальний баланс, електротехнічний розрахунок, тепловий баланс

ABSTRACT

Tsurkan O.S. "Design and calculation of an induction channel mixer with a capacity of 6 t/h." specialty 131 "Applied Mechanics", OPP - "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 39 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of this qualification bachelor's work is to study and design this induction channel mixer, that is, to calculate the dimensions of the PCM and its electrical characteristics, as well as to determine the material and heat balance of the PCM, which has a capacity of 6 t/h.

The calculation and design of an induction channel mixer includes: first, the calculation of the PCM melting unit taking into account its main dimensions, the second is the determination of electrical parameters, the third is the calculation of the material and heat balance.

The graphic part includes: general view of the induction channel mixer and its inductor.

PCM, material balance, electrical calculation, heat balance

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНІ КАНАЛЬНІ ПЕЧІ ТА МІКСЕРИ.....	9
РОЗДІЛ 2. РОБОТА ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ ТА МІКСЕРА	19
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ІКМ.....	23
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ.....	24
РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ.....	25
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	28
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34
ДОДАТКИ.....	35
Додаток 1. Індуктор ІКМ.....	36
Додаток 2. Загальний вигляд ІКМ.....	37

ВСТУП

В багатьох галузях виробництва, таких як машинобудування, енергомашинобудування, енергетика, агроінженерія, агропромислове виробництво, сільськогосподарська техніка та хімічне виробництво і в багатьох інших використовують різні види металів та сплавів як конструкційні матеріали, які виплавляються в плавильних агрегатах і повинні мати добрі властивостей такі як висока міцності, високотемпературність, жароміцність, жаростійкість і т.п. Перелічені ці вимоги до металів та сплавів можна задовольнити при виплавленні в сучасних індукційних каналних печах та міксерах. Для отримання відповідно однорідного хімічного складу металу або сплаву необхідно перемішування металу та сплаву та відсутність ще температурних перепадів при цьому.

В каналних індукційних печах можна виплавляти метал і сплави різних відповідно видів. Періоди плавки в плавильних агрегатах наступні: це завантаження і плавлення металевих матеріалів шихти, також доведення сплаву до відповідного складу та температури та випуск і розливка металу в форми. Канальні індукційні печі мають свої переваги і недоліки в порівнянні з іншими плавильними агрегатами

Переваги полягають в наступному: нагрівання металу до достатньо високих температур; також відсутнє науглецювання металу; продуктивність ККД ІКП біля 70 %; отримання однорідного складу металу та сплаву, використовуючи перемішування;

До недоліків КПП віднесемо: низьку температуру та рафінуючу здатність шлаку; також невелика поверхня розділу метал-шлак; мала стійкість футеровки печі.

З перелічених вище переваг ІКП видно, що вони забезпечують якість литва різних видів та відповідно з найменшими втратами при індукційній плавці металу ІКП мають найбільшу продуктивність і більш сприятливіші умови роботи при індукційній плавці металів.

В індукційних печах можна легко здійснювати вакуум, а також поєднувати атмосферну плавку та вакуумну обробку, при застосуванні і також без

захисної атмосфери. Застосовуючи вакуумну індукційну плавку можна отримувати гарні показники для виробництва напівпровідників, високотемпературних та жароміцних сплавів. Поєднуючи індукційну атмосферну плавку та вакуумну обробку, яка відбувається під шаром захисної атмосфери, маємо гарні показники при виробництві безкисневої міді, яку можна плавити у відкритій каналній індукційній печі, а потім розливати під шаром захисної атмосфери [1].

В наш час каналні печі застосовують для плавки багатьох металів та сплавів різних видів, за виключенням можливо як тугоплавких – це молібденових, ніобієвих, вольфрамових, танталових, цирконієвих, титанових, гафнієвих, хромових і т.п., для яких використовують способи електронагріву, наприклад, як електронно-променеви́й та плазмовий [1,2]. Для тугоплавких металів та сплавів проводяться роботи по використанню індукційної плавки – це стосується так званої плавки безтигельної у такому вільно підвішеному стані в електромагнітному полі; також використовують метод послідовного оплавлення стержня при швидкому пересуванні крізь індуктор; застосовують також плавлення у автоматичному тиглі і т.п.

Нині широке використання індукційної плавки в каналних печах призводить до покращення конструкції ІКП, це стосується конструювання каналних печей. Наразі у наш час використовують відповідно каналні індукційні печі власного виробництва для перегріву чавуну та плавки кольорових сплавів, наприклад, алюмінію, а також міді, а також каналні тигельні індукційні печі відповідно промислової частоти для плавки алюмінієвих сплавів.

РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНІ КАНАЛЬНІ ПЕЧІ ТА МІКСЕРИ

Першу каналну індукційну піч, яка мала відкритий горизонтальний канал побудували в 1890 році при кільцеподібній формі жолобу з тигельної маси. Індуктор цієї печі був виконаний з мідної трубки, яка мала 28 витків та охолоджувалася водою. В трансформаторі печі використовували однофазний магнітопровід. Перша піч не одержала розповсюдження, тому що мала свої недоліки, в технології часто виходила із роботи внаслідок недосконалої футеровки плавильного каналу [1].

Застосування промислової каналної печі почалося в 1900 р. для плавки сталі з горизонтальним відкритим каналом, використовуючи індукційний нагрів. Ці печі також мали свої недоліки – вони стосуються як металургійних, так і електротехнічних характеристик, це обмежувало їх застосування для плавки металів. Науковці впродовж наступного часу працювали над створенням більш досконалих конструкцій каналних печей.

Для покращення відповідно металургійних якостей печей були побудовані конструкції таких печей з розширеним плавильним простором в 1906 р. Також створювали та будували і комбіновані каналні печі, які мали горизонтальний відкритий канал і компенсуючою обмоткою – це покращувало електротехнічні характеристики каналних індукційних печей.

В 1908 році вже з'явилися каналні печі із секціонованою первинною котушкою, вона зводила до мінімуму від'ємні наслідки центробіжного ефекту.

Канальні індукційні печі, маючи сталевий сердешник і закритий канал для плавки кольорового сплаву, наприклад, як латунь, з'явилися в 1916 році – вони стали прототипом для печей такого типу.

Наразі сучасні печі, маючи закритий канал, найбільш широко використовуються для плавлення кольорових, також важких і легких металів та сплавів, та для одержання високоякісного чавуну. У наш час печі такої місткості можуть мати десятки тон. Отже каналні індукційні плавильні печі, які

мають сталевий сердешник використовуються для виробництва лиття з 1930 року. Також каналні індукційні печі можна використовувати для лиття як міксери, а також і як роздавальні та плавильні печі.

У цих каналних печах рідкий метал в робочому просторі печі оточений відповідно з усіх боків вогнетривким матеріалом, вогнетривкі матеріали укладають в сталевий корпус печі. Робочий простір у вогнетривкому матеріалі заповнюється рідким металом, формою, наприклад, вигнутого каналу. Робочий простір самої плавильної каналної печі з'єднується з каналом двома отворами, а рідкий метал, заповнюючи, піч утворює відповідно замкнутий контур, тому піч буде працювати. При подачі напруги на котушку в каналі в цьому випадку вона є вторинним витком, то створюється вихрове електричне поле і відповідна напруга. Коли струм протікає як по каналу, так і довкола нього, то буде створюватися магнітне поле та виникає магнітний потік. Напрямок магнітного потоку каналу відповідно має протилежний напрямок магнітному потоку магнітопроводу. Канал буде розташовуватися навколо тієї частини магнітопроводу, на якій відповідно знаходиться котушка для зменшення впливу магнітного потоку. Виконується це для того, що магнітний потік каналу залежить від відстані до самої котушки, а вже відстань від каналу до котушки потрібно вибирати мінімальною.

Коли працює канална піч, при цьому відбувається постійний рух рідкого металу в каналі, а також і в місці з'єднання каналу з робочою ванною самої каналної печі. Рух металу в каналі буде виникати в результаті перегрівання, а також в результаті і впливу на нього самого магнітного поля. Температура металу в каналі має бути на 50 – 150 °C вище температури металу в самій ванні каналної печі, тому що дуже нагрітий метал з каналу буде піднімається у ванну, а вже з неї буде надходити все-таки більш холодний метал. Впливаючи на рідкий метал, магнітне поле створює електродинамічні сили, які намагаються стиснути і виштовхнути рідкий метал з каналу. При більшому значенні струму в каналі, буде і більша величина електродинамічної сили, яка впливає на рідкий метал.

Коли виконується процес скачування металу в каналній печі нижче самого допустимого рівня він також буде скачуватися з каналу, і тому може відбутися вимушене відключення каналної печі через розривання електричного контуру. Маса металу в каналній печі, яка необхідна для нормальної роботи, буде визначатися тим, що маса рідкого металу відповідно над каналом повина перевищувати електродинамічну силу, а це відповідно буде виштовхувати метал з каналу. За призначенням індукційні каналні печі поділяють на плавильні печі, міксери та роздавальні печі.

Плавильні печі. Канальні печі мають переваги в порівнянні з тигельними печами наступні: перше стосується вартості каналних печей, яка становить біля 50 - 70 % вартості тигельної печі; ванна каналної печі, тобто робочий простір печі, має добру теплову ізоляцію через низьку втрату теплоти та більший ККД індуктора каналної печі.

До недоліків каналних плавильних печей можна віднести: відсутня гнучкість регулювання хімічного складу рідкого металу; в каналній печі затрудняється перехід від плавки одного сплаву до іншого; також повільний рух металу у ванні печі.

Основні елементи ІКП наступні: каркас печі; футеровка печі; індуктор; магнітопровід; котушка індуктора; механізм нахилу; електроустаткування; система водяного охолодження.

Каркас каналної печі безперечно виготовляють з низьковуглецевої сталі біля 0,1% С з товщиною 35 - 75 мм. В нижній частині каркаса розташовуються вікна з фланцями, до них відповідно кріпиться індуктор. Вся поверхня каркаса каналної печі має отвори, діаметром яких є значення 5 мм з кроком біля 300 мм, через які треба видаляти пару, яка можливо утворюється при сушці футеровки каналної печі.

Враховуючи конструкції та застосування каналних печей, а також тривалість їх роботи використовуються різні вогнетривкі матеріали для футерування робочого простору печі. Футеровка, виконана з обпаленої цегли,

допускає швидкість нагрівання до 45 °С/год, футеровка з заливальної маси 10-20°С/год, з набивної маси 20-40 °С/год, а також сухої маси до 100 °С/год.

Внутрішня футеровка безумовно маючи спільну поверхню сполучення з рідким металом, знаходиться у найбільш таких несприятливих умовах в печі. Футеровка піддається як механічним навантаженням, так і хімічного і теплового впливу. Внутрішній шар футеровки повинен виготовлятися з заливної маси, яка містить біля 90 % Al_2O_3 та має достатньо високу механічну міцність, вогнетривкість, шлакостійкість та термостійкість. Наступним шаром вогнетриву є застосування 60 % Al_2O_3 , третім шаром є використання шамотного вогнетривкого матеріалу, теплоізоляційний шар – це азбестові плити, будуть укладатися по всій внутрішній поверхні каркаса каналної печі.

Індуктор каналної печі виготовляють сталевим. Його елементи наступні – це футеровка, магнітопровід, котушки і елементи охолодження як корпусу, так і котушки. Стальний корпус індуктора не повинен утворювати замкнутий електричний контур відповідно навколо магнітопроводу. Так як на ньому буде індуктуватися струм. Врахувавши ці умови корпус індуктора виконують рознімним, а окремі його частини також треба ізолювати один від одного.

Для індуктора перше використовують як вологі, так і сухі вогнетривкі маси. Вологі маси треба використовувати у вигляді заливних та набивних матеріалів. Заливні маси, це треба використовувати при складному профілі індуктора при умові, що ущільнювати набивну масу по всьому індуктору неможливо. Заливну масу безумовно треба заповнювати по всьому індукторі та ущільнювати зануреними в заливну масу електричними вібраторами. Потім індуктор можна заповнювати пошарово набивною масою та ущільнювати вже відповідно пневматичними трамбовками. Сухі маси засипати в індуктор відразу та ущільнювати відповідно електричними вібраторами. Для індуктора застосування сухих вогнетривких мас дозволяє виключити процес сушіння індуктора перед тим, як вже встановлять на каналну піч. При виробництві, наприклад, чавуна футеровку індуктора виготовляють з вогнетривких мас, які містять до 98 % Mg.

Магнітопровід індуктора виготовляють з трансформаторної сталі з окремих пластин товщина їх становить 0,5 мм. Пластини треба ізолювати одну від одної для зменшення втрат від вихрових струмів. Розміри поперечного перерізу стержня магнітопроводу залежать відповідно від потужності індуктора. Після того, як відбулося збирання магнітопроводу, його стягують шпильками або болтами. Далі стяжні планки, шпильки та болти обов'язково треба ізолювати від пластин магнітопроводу, використовуючи такий матеріал як електрокартон, це умова для запобігання утворення таких короткозамкнених витків навколо магнітопроводу.

Котушку індуктора каналної печі доцільно виготовляти з мідного профільованого проводу. Перетин витка котушки вибирають в залежності від номінального навантаження струму, а також способу охолодження котушки. Наприклад, при повітряному охолодженні допуск сили струму до 4 А/мм^2 , а при водяному можна до 20 А/мм^2 . Котушка кріпиться на магнітопровід за допомогою клинів, при цьому використовують ізоляційний матеріал. Є зазор між котушкою і магнітопроводом – його використовують для подачі повітря, це також охолоджує котушку. Водоохолоджувальний екран встановлюють між котушкою та футеровкою, для цього використовують немагнітні сталь або мідь, ці матеріали не дають можливості на перегрівання котушки. Котушки звісно виготовляють як одношарові, так і багат шарові – це в залежності від числа витків котушки.

Для запобігання перегріву елементів індуктора, до яких відносяться (корпус, екран котушки, та сама котушка) їх обов'язково треба примусо охолоджувати.

В індукторі звісно встановлюють такий шаблон, це профіль який відповідає робочому профілю каналу печі. Шаблон обов'язково треба встановлювати в індуктор до заповнення вогнетривкими матеріалами. Кінці шаблону, які виступають з індуктора, з'єднують один з одним за допомогою електрозварювання перемичкою. Шаблон застосовують для отримання реальних розмірів каналу, а також для сушіння та розігрівання футеровки індуктора

перед тим як його відповідно заповнюють рідким металом. Індуктор печі має як повітряне охолодження котушки, так і водяне охолодження корпусу та екрана. Котушка на індукторі охолоджується звісно за допомогою використання відцентрового вентилятора.

Індуктор каналної печі треба кріпити до каркаса печі за допомогою болтів. До корпусу індуктора печі також приварюються два штирі, їх використовують для транспортування та монтажу індуктора.

Стан футеровки індуктора каналної печі завжди оцінюють за допомогою температури води, нею охолоджують елементи індуктора. Коли руйнується футеровка, рідкий метал, який заповнює канал, звісно наближається до водоохолоджувальних елементів, температура води при цьому, відповідно підвищиться, а це є сигналом та умовою для заміни самого індуктора, бо він може вийти з ладу. Коли працює індуктор, потрібно його активний і індуктивний опір також контролювати. Активний опір каналу залежить від площі поперечного перерізу та довжини каналу печі. Якщо відбувається збільшення каналу печі, це призведе до збільшення опору R , а його розширення, призведе до зменшення опору. Індуктивний опір каналу буде залежить від розташування його до котушки індуктора. Якщо канал розташований ближче до котушки, то відповідно індуктивний опір буде меншим i , навпаки, чим буде більша відстань між каналом та котушкою індуктора, то значення індуктивного опору буде більшим.

Механізм нахилу каналної печі повинен забезпечувати плавний нахил печі, коли зливають метал, а також і, коли здійснюють заміну індуктора, то використовують і гідравлічний привід, він має насосну станцію, гідроциліндр, або електромеханічний привід, який включає електродвигун, редуктор і ланцюгову передачу.

Електроустаткування печі включає трансформатор, конденсаторну батарею для компенсації коефіцієнта потужності каналної печі, конденсаторну батарею та дросель для підключення також однофазного індуктора до трифазної мережі, сюди також входять щити керування та кабелі живлення.

Трансформатор каналної печі під'єднується до мережі відповідно напругою біля 6 - 10 кв. На другій стороні трансформатора передбачено до 10 ступіней напруги, вони регулюють потужність каналної печі в заданому інтервалі.

Система водяного охолодження каналної печі передбачається звісно при охолодженні її елементів. Підготовлена вода для охолодження циркулює по замкнутому контурі теплообмінника, який охолоджується звичайною промисловою водою. На зливальних патрубках, які розташовані від елементів каналної печі можна встановлювати індуктор, витратоміри води та термометри, що показують температуру води.

Міксери. Їх засосовують для накопичення необхідної кількості рідкого металу, а також витримки при потрібній температурі. В міксері відбувається усереднення хімічного складу металу або сплаву. Ємність каналного міксера дорівнює дворазовій продуктивності плавильної печі.

Індукційну каналну піч типу ІЧКМ при виробництві чавуну використовують як міксер. Наприклад, якщо ємність печі: 40 т, корисна 28 т і болота 10 т. Піч має форму вертикально розташованого циліндра із зовнішнім діаметром 3160 мм та висотою біля 2 м. Внутрішній діаметр печі внизу дорівнює 2200 мм, а вгорі рівний 2340 мм. Індуктор печі застосовують потужністю 700 кВт. Верх каналної печі завжди треба закривати футерованою кришкою. Сифонний жолоб печі передбачений для випуску металу. Шлак з каналної печі скачують через вікно. Наклон каналної печі виконується за допомогою двох гідроциліндрів. Для нахилу печі використовують ще дві стійки та отвори в корпусі печі.

Є отвори в днищі печі для приєднання індуктора до неї. Індуктор має замкнутий магнітопровід та котушку, яка охолоджується повітрям. Коли треба поміняти індуктор, каналну піч повертають так, щоб кожух печі був розташований вертикально. Канальна індукційна піч повина встановлюватися в приямку, маючи поглиблення, яке призначене для збору рідкого металу, а також і шлаку.

Для витримки і перегріву чавуну використовують наступні марки ІЧКМ-6/0,5; ІЧКМ-16/0,5; ІЧКМ-40/1,0 продуктивністю, т/год при перегріванні чавуну відповідно на 100°C.

Роздавальні печі. Їх призначення – заливання рідкого металу безпосередньо у форму. Видача металу з каналної печі відбувається при застосуванні механізму нахилу печі, електродинамічних насосів та надлишкового тиску газу над рівнем металу в печі.

Канальна піч використовує надлишковий тиск газу для видачі металу з ванни печі. Випуск металу виконується в форми через розливний сифон. В робочий простір печі через трубку поступає стиснене повітря або інший інертний газ. Отже під дією тиску повітря рідкий метал буде витіснятися з ванни в заливочний та розливочний сифони. Місткість металу, яка подається через отвір у ливарну форму, регулюємо з достатньою точністю. Обігрівання каналної печі відбувається індуктором.

Канальні печі подібного типу мають продуктивність біля 20 т/год. В даний час промисловість виготовляє для заливання рідкого чавуну безпосередньо в ливарні форми печі: таких марок ІЧКР-0,6/0,06; ІЧКР-2,5/0,15; ІЧКР-6,0/0,15 з продуктивністю т/год для перегрівання чавуну на 100°C.

На сучасних машинобудівних та підприємствах металообробної промисловості виплавка металів та сплавів відбувається, використовуючи каналні індукційні печі (рис. 1.1, рис.1.2, рис.1.3) [1,2].

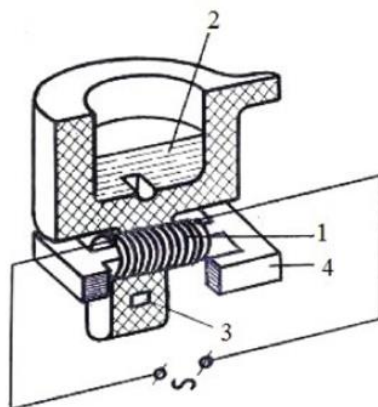


Рис. 1.1 КІП з вертикальним плавильним каналом

1 – індуктор; 2 – сплав; 3 – плавильний канал; 4 – магнітопровід

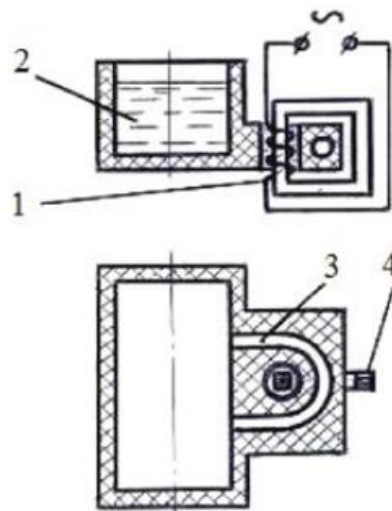


Рис. 1.2 Канальна піч з горизонтальним плавильним каналом

1 - індуктор; 2 - сплав; 3 - замкнутий плавильний канал;
4 - магнітопровід

На рис 1.3 приведені три типи каналних індукційних печей.

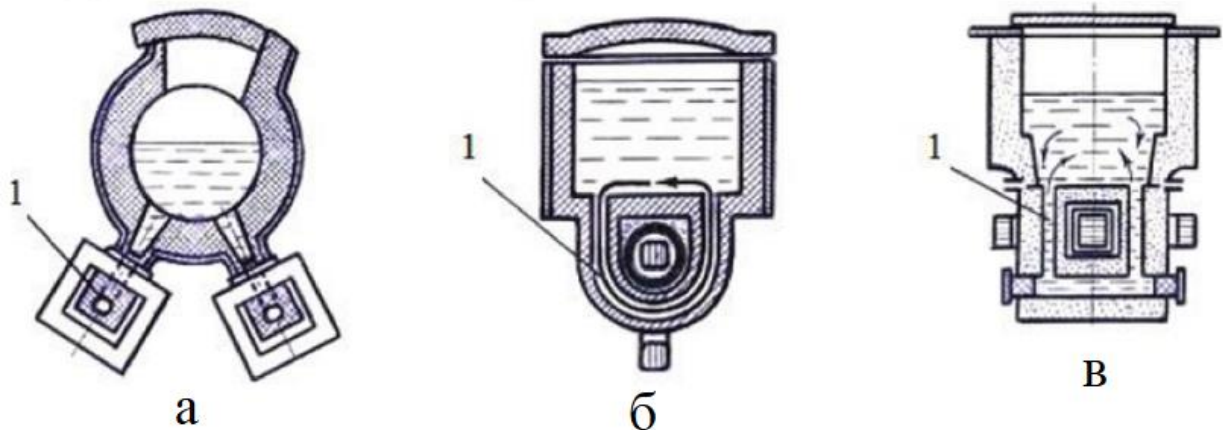


Рис. 1.3 Канальні печі з вертикальним каналом

а – барабані; *б* – вертикальні з овальним каналом; *в* – вертикальні з прямокутним каналом; 1 – індуктор

Канали печі, маючи прямокутну форму, застосовують для виплавки швидкоокислювальних металів, алюмінієвих сплавів.

Відзначимо також, що каналні індукційні печі мають високий ККД – він дорівнює 70-80 %. Канальні печі відповідно можуть виконувати процеси плавки безперервно, при цьому, маючи високу продуктивність та добру чистоту поверхні сплаву, а також невеликі втрати.

Канальні печі також використовують для плавки і кольорових сплавів. Це можуть бути мідні сплави, а печі такого типу як ІЛК, для плавки алюмінію ІАК, а для плавки і перегріву в міксері чавуну печі типу ІЧКМ.

Канальні печі включають, в основному, такі елементи та процеси: профіль каналу для виплавки металу; магнітопровід; індуктор. Ванна печі виконується з сталі, а під печі відповідно з немагнітних сплавів. У футеровці подової частини печі знаходиться в захисному циліндрі сердешник трансформатора з індуктором та вертикальні канали, де виплавляють метал. Трансформатор виготовляють з спеціальної трансформаторної сталі, товщина листа має бути біля 0,35 мм. Метал, виплавлений в індукційній канальній печі, розливають через зливний жолоб в ливарні форми [1, 2 ,3].

РОЗДІЛ 2. РОБОТА ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ ТА МІКСЕРА

Канальні печі, які ще називають печі з залізним сердечником, використовують в машинобудуванні в процесах лиття металів в якості міксера (ІКМ для накопичення визначеної кількості рідкого металу, а потім його витримки при заданій відповідній температурі) та роздавальних печей для чавуну та кольорових сплавів. Ємність міксера повинна прийматися не менше, ніж дво-годинна продуктивність печі. На рис.2.1 наведена індукційна канална піч типу ІЧКМ-6, яка працює як міксер при виробництві чавуну. Маючи одну плавильну установку, в каналних печах можливо отримати чавуни різних марок шляхом введення легуючих добавок. ІКМ представляє собою горизонтально розташований циліндр.

Так як індуктор каналної печі побудований за принципом трансформатора, в якому первинна обмотка є втулки катушки індуктора 1, а вториною короткозамкнений виток розплавленого металу в каналі. Канал з'єднаний з ванною, тобто робочим об'ємом в печі. Струм, що індуктується у витку, нагріває метал і створює умови для циркулювання розплавленого металу в замкнутому контурі. Циркуляційні потоки виникають через те, що температура металу в каналі більша, ніж в робочому об'ємі ванни.

За розташуванням каналів каналні печі поділяють на вертикальні та горизонтальні, можливо також розташування каналів під нахилом. Канальні печі з вертикальними каналами більш зручніші в експлуатації. Використання горизонтальних каналів знижує гідродинамічний тиск в них. Це покращує умови роботи футеровки, але знижує швидкість конвективних потоків та температури в каналі.

За конфігурацією робочого об'єму каналні агрегати можуть бути розділені на печі з циліндричними та барабанними ваннами. Барабанні печі в порівнянні з циліндричними мають наступні переваги: спрощений механізм повороту, зниження теплових втрат.

Принцип дії каналної печі полягає в тому, що змінний магнітний потік пронизує замкнутий контур, що являє собою кільце з рідкого металу і інду-

кує в цьому кільці ЕРС. Електричний струм проходить рідким металом, розігріває його. Змінний магнітний потік створюється первинною котушкою, в якій тече струм і, яку підключають до мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц. Для посилення магнітного потоку, створюваного котушкою, застосовують замкнутий магнітопровід із трансформаторної сталі. Кільце рідкого металу оточене з усіх боків вогнетривким матеріалом, укладеним у сталевий корпус.

ІКМ має два індуктори 6, які можна знімати. Для зливання готового рідкого металу в каналній печі передбачено сифонний жолоб 4. Маючи сифонний жолоб – це надає можливості попасти повітрю в каналний міксер, а також зменшує угар елементів. Нахил каналної печі здійснюється навколо поздовжньої осі, за допомогою котків, на яких знаходиться ІКМ. Зусилля для повертання ІКМ повино передаватися від привода 3, який змонтований поряд. Для приєднання індукторів до ІКМ є отвори, вони розширені в сторону робочого простору ІКМ, який виключає перегрівання металу в цій частині ІКМ, а тому покращуються умови роботи футеровки. Кожний індуктор має як замкнутий магнітопровід 7, так і котушку 8, вони повинні охолоджуватися повітрям [1,2,3].

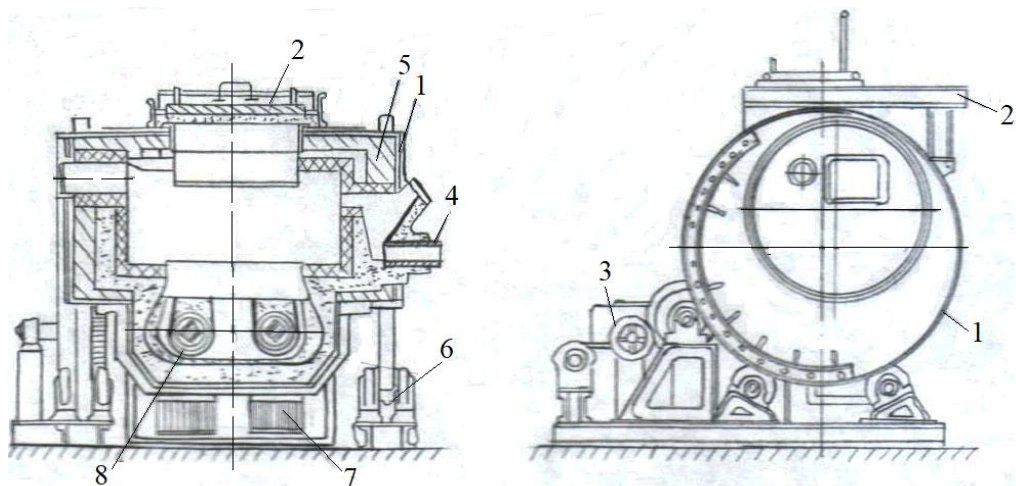


Рис. 2.1. ІКМ марки типу ІЧКМ-6

1– каркас (сталевий кожух); 2 – футерована кришка; 3– механізм нахилу; 4– сифонний зливний жолоб; 5– футеровка; 6– гідроциліндр; 7– магнітопровід; 8– котушка

На рис. 2.2 та рис. 2.3 наведено ІКП з вертикальними каналами при виробництві чавуну.

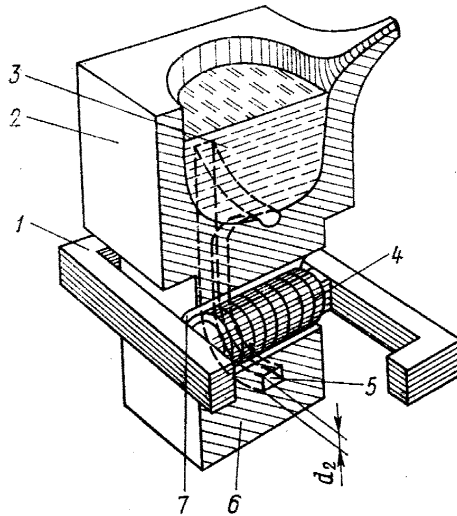


Рис 2.2. Канальна піч

1 – магнітопровід; 2 – футерована ванна; 3 – рідкий метал; 4 – індуктор; 5 – плавильний канал; 6 – подовий камінь; 7 – циліндричний отвір

ІКП складається з таких елементів: футерованої ванни, футерованої кришки, індукційної одиниці (індуктора), магнітопроводу, подового каменя, плавильного каналу [1,2,3,4].

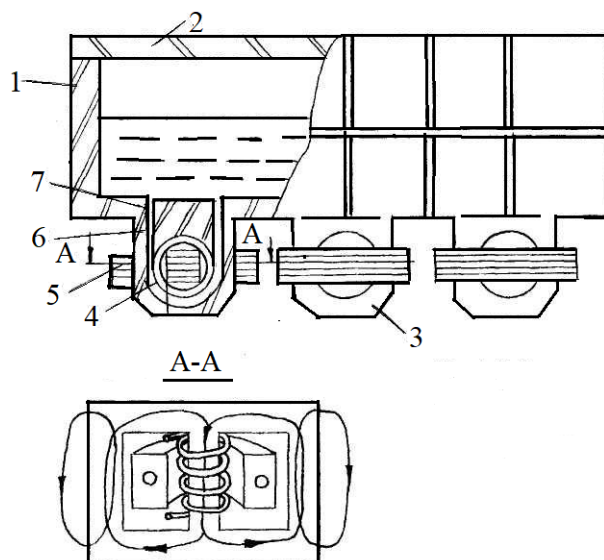


Рис 2.3. ІКП із закритим вертикальним каналом

1 – футерована ванна; 2 – футерована кришка; 3 – індуктор; 4 – плавильний канал; 5 – магнітопровід; 6 – подовий камінь; 7 – циліндричний отвір

Робота каналної печі побудована таким чином, що змінний магнітний потік повинен пронизувати замкнутий контур, який утворюється рідким металом і при цьому збуджується в цьому контурі напруга і струм.

Напруга, яка утворюється в каналі, буде, звісно, меншою напруги, яка відповідно підводиться до котушки. Сила струму, яка повинна протікати по каналу, буде залежати від повного опору каналу. Отже коли протікає струм по каналу, завжди навколо нього утворюється магнітне поле та виникає магнітний потік. Від магнітного потоку звісно залежить як індуктивна потужність, так і $\cos \varphi$ каналної печі. При більшому магнітному потоку каналу, буде більша індуктивна потужність.

Коли працює канална піч то відбувається безперервний рух рідкого металу в каналі та в місці з'єднання самого каналу з ванною печі. В результаті перегріву металу в каналі при взаємодії магнітного поля виникає звісно рух рідкого металу. Температура металу в каналі буде на 50-150 °С вища температури металу у робочому об'ємі каналної печі, отже нагрітий до відповідної температури рідкий метал з каналу повинен піднятися у робочий об'єм каналної печі, а з нього звісно надходити більш холодний метал. Якщо маємо більше значення струму в каналі, то буде більша електродинамічна сила яка впливає на рідкий метал.

Метал заливають через сифонний жолоб, який виключає попадання шлаку в робочий об'єм печі. Метал випускають з каналної печі через другий сифонний жолоб, який розташований на протилежній торцевій стіні. Шлак періодично видаляють з печі через робоче вікно. Електроенергію до індукційних одиниць подають по гнучким водоохолоджуваним кабелям [1,2,3,4].

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ІКМ

При конструюванні основних геометричних розмірів ІКМ продуктивністю 6 т/год проводиться, як відомо, на основі однотипного ІКМ ємністю 40 т/год. Так як ІКМ, який ми конструємо, подібний до типового, то основні розміри можливо визначати за допомогою коефіцієнта, на який потім треба ділити всі основні розміри ІКМ продуктивністю 40 т. Врахувавши це, в результаті розрахунку, одержуємо реальні розміри міксерів, який ми конструємо [1,5].

При визначенні основних розмірів знаходимо коефіцієнт за наступним виразом, який дорівнює корню кубічному відношення продуктивностей даних міксерів.

За відомими продуктивностями ІКМ визначимо коефіцієнт:

$$k = \sqrt[3]{40/6} = 1,88 \quad (3.1)$$

Потім за допомогою визначеного коефіцієнта k розраховуємо основні розміри ІКМ, який проектуємо. Результати цих розрахунків наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

ІКМ продуктивністю 25 т/год. його та основні геометричні розміри

№ п/п	Основні геометричні розміри	Відстань, мм
1.	Діаметр зовнішнього кожуха	1680
2.	Довжина і ширина завантажувального вікна	295
3.	Довжина внутрішнього простору	1648
4.	Внутрішній діаметр сифонного жолоба	115
5.	Товщина футеровки	221
6.	Діаметр внутрішнього простору	1170
7.	Зовнішній діаметр ванни	1224
8.	Рівень металу	358
9.	Рівень болота	155
10.	Габаритний розмір по висоті	2287

РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ

Матеріальний баланс каналного міксера включає наступне [1,3,5]:

- параметри складових вихідних матеріалів;
- хімічні явища ливарного процесу;
- спосіб складання шихти;
- складання повного матеріального балансу.

ІКМ, який ми будемо конструювати, виконує роботу в комплексі з іншим плавильним агрегатом продуктивністю 6 т, він відповідно буде використовуватися тільки для перегріву чавуну, тому маємо на вході, а також і на виході ІКМ чавун в кількості 6 т. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Матеріальний баланс ІКМ на одне перегрівання

Показник	Маса, т	В результаті отримано	Маса, т
Чавун	6	Чавун	6

РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ

Розрахунок теплового балансу каналного міксеру стосується визначення теплоти, яка буде отримуватися від трансформації електричної енергії в процесах роботи каналного міксеру. Тепловий баланс каналного міксеру можна записати наступним виразом, який поєднує статті прибутку та видатку теплоти при роботі каналного міксеру. Для рівняння теплового балансу статтею прибутку є теплота, яка отримується при умові трансформації електричної енергії при роботі каналного міксеру, а статтями видатку є корисна витрата теплоти при роботі каналного міксеру, витрата теплоти кладкою в навколишнє середовище – це конвекція теплоти, також витрата теплоти випромінюванням та витрата теплоти з вихідними газами [1,3,4,6].

Отже, рівняння теплового балансу робочого простору печі має наступний вигляд:

$$Q_{ел.ен.} = Q_1 + \sum Q_{5i} ; \sum Q_{5i} = Q_{5кл} + Q_{5випр} + Q_{5виб} \quad (5.1)$$

де $Q_{ел.ен.}$ – теплота при трансформації електричної енергії;

Q_1 – корисна витрата теплоти;

$Q_{5кл}$ – витрата теплоти в навколишній простір через кладку;

$Q_{5випр}$ – втрата теплоти випромінюванням;

$Q_{5виб}$ – втрата теплоти з вихідними газами.

Корисна витрата теплоти

$$Q_1 = P \cdot c_u \cdot \Delta t_u, \quad (5.2)$$

де P – продуктивність ІКМ;

c_u – теплоємність чавуну; $c = 0,83$ кДж/кг;

Δt_u – температура перегріву чавуну; $\Delta t_u = 100$

$$Q_1 = 6000/3600 \cdot 0,83 \cdot 100 = 138$$

Втрата теплоти через кладку в навколишній простір

$$Q_{5кл} = \alpha(t_{нов} - t_n)F, \quad (5.3)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні кладки в навколишній простір випромінюванням і вільною конвекцією, $\alpha = 15$;

$t_{нов}$ – температура зовнішньої поверхні стінки, $t_{нов} = 90$ °С;

t_n – температура повітря, $t_n = 20$ °С;

F – зовнішня поверхня кладки, м².

Канальний міксер барабанного типу, внутрішня поверхня та відповідно, зовнішня поверхня кладки мають форму циліндра. Тому площа зовнішньої поверхні кладки виражається рівнянням:

$$F = 2F_{бок} + F_{зов}, \quad (5.4)$$

де $F_{бок}$ – площа бокової стінки ІКМ;

$F_{зов}$ – площа зовнішньої циліндричної стінки каналного міксера.

Знаючи основні геометричні розміри, визначаємо площу зовнішньої поверхні кладки печі:

$$F_{бок} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 1,170^2 / 4 = 1,074 \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

$$F_{зов} = \pi DL = 3,14 \cdot 1,17 \cdot 1,648 = 6,054 \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

$$F = 2 \cdot 1,074 + 6,054 = 8,202 \text{ м}^2 \quad (5.7)$$

Визначивши площу зовнішньої поверхні кладки, розраховуємо $Q_{5кл}$:

$$Q_{5кл} = 15(90 - 20) \cdot 8,2 = 8,61 \text{ кВт}. \quad (5.8)$$

$Q_{5випр} + Q_{5виб}$ чисельно становить (0,10...0,15) $Q_{ел.ен.}$

Приймаємо

$$Q_{5випр} + Q_{5виб} = 0,15 Q_{ел.ен.} \quad (5.9)$$

Дані статей прибутку і видатку теплоти підставимо в рівняння теплового балансу:

$$Q_{ел.ен.} = 138 + 8,61 + 0,15Q_{ел.ен.} \quad (5.10)$$

Розв'яжемо отриманий вираз теплового балансу і визначимо $Q_{ел.ен.}$:

$$0,85Q_{ел.ен.} = 146,61 \quad (5.11)$$

$$Q_{ел.ен.} = 146,61/0,85 = 172,48 \text{ кВт} \quad (5.12)$$

Визначимо термічний ККД ІКМ

$$\eta_m = Q_1 / Q_{ел.ен.} = 138/172,48 = 0,80 \quad (5.13)$$

Результати проведеного теплового балансу каналного міксера показані в табл. 5.1

Таблиця 5.1

Тепловий баланс каналного міксера

№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт	№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт
	Прибуток теплоти				Видаток теплоти		
1.	Теплота, яка виділяється від трансформації електричної енергії	$Q_{ел.ен.}$	173	1.	Корисна витрата теплоти	Q_1	138
	Всього		173	2.	Втрата теплоти через кладку	$Q_{5кл}$	8,61
				3.	Втрата теплоти випромінюванням	$Q_{5випр}$	13,19
				4.	Втрата теплоти вихідними газами	$Q_{5виб}$	13,19
					Всього		173

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Елетротехнічний розрахунок каналного індукційного міксера полягає в наступному [1,3,5]:

- визначити основні електричні та геометричні параметри індуктора;
- вибір трансформатора.

Вихідні дані для розрахунку індуктора:

- продуктивність 6 т/год;
- температура перегріву чавуну 100 °С;
- напруга електромережі 10 кВт
- частота струму 50 Гц.

Корисна теплова потужність, що передається рідкому металу

$$W_{теор} = 0,23 \text{ кВт}\cdot\text{Г/Т} \quad (6.1)$$

$$P_{кор} = W_{теор} \Delta t \Pi = 0,23 \cdot 100 \cdot 6 = 138 \text{ кВт} \quad (6.2)$$

Активна потужність печі. Приймаємо $\eta_{терм} = 0,8$

$$P = P_{кор} / \eta_{терм} = 138 / 0,8 = 172,5 \text{ кВт} \quad (6.3)$$

З метою запасу потужності приймаємо $P = 180 \text{ кВт}$.

Активна потужність індуктора. Приймаємо, що дана піч буде мати два індуктори, $N = 2$.

$$P_{інд} = P / N = 180 / 2 = 90 \text{ кВт} \quad (6.4)$$

Площа поперечного перерізу стержня магнітопроводу. Приймаємо: $\psi = 7$, ψ коефіцієнт, який враховує відношення маси сталі магнітопроводу до маси міді котушки індуктора; j_1 – допустима густина електричного струму в котушці, $j_1 = 3 \text{ А/мм}^2$; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності індуктора, $\cos \varphi = 0,55$; B – магнітна індукція в стержні магнітопроводу, Тл:

$$F_{мг} = 0,3 \sqrt{10^5 P_{інд} \psi / (B j_1 \cos \varphi)} = 0,3 \sqrt{10^5 \cdot 90 \cdot 7 / 1,85 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,55} = 193 \quad (6.4)$$

Діаметр стержня магнітопроводу

k_d – коефіцієнт заповнення навколо стержня, $k_d = 0,8$.

$$d_{мг} = 11,3\sqrt{F_{мг}/k_d} = 11,3\sqrt{193/0,8} = 175 \quad (6.5)$$

Зовнішній діаметр котушки.

S_3 – товщина зазору між стержнем магнітопроводу і котушкою;

$S_{кот}$ – товщина котушки. Приймаємо $S_3 = 16$ мм, $S_{кот} = 50$ мм

$$d_{кот} = d_{мг} + 2(S_3 + S_{кот}) = 175 + 2(16 + 50) = 291 \text{ мм.} \quad (6.6)$$

Внутрішній діаметр каналу

S_1 – товщина футеровки між каналом і котушкою; S_2 – товщина зазору між котушкою і футеровкою. Приймаємо $S_1 = 95$ мм; $S_2 = 30$ мм

$$d_{к.в.} = d_{кот} + 2(S_1 + S_2) = 291 + 2(95 + 30) = 446 \text{ мм} \quad (6.7)$$

Ширина каналу. Приймаємо ширину каналу 110 мм, тобто $b_k = 110$ мм.

Визначення довжини каналу полягає у виконанні ескізу каналу (рис. 6.1) та визначення довжини по середній лінії каналу.

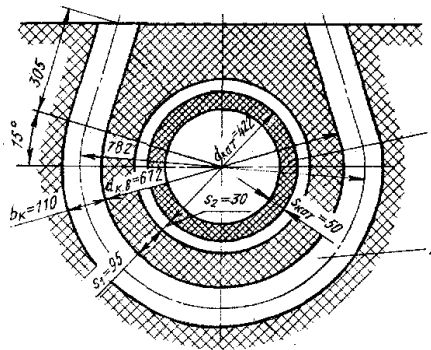


Рис. 6.1 Ескіз каналу

На рис. 6.2 наведені взаємодії струму в каналі з магнітним полем, а на рис. 6.3 рух рідкого сплаву в каналній печі

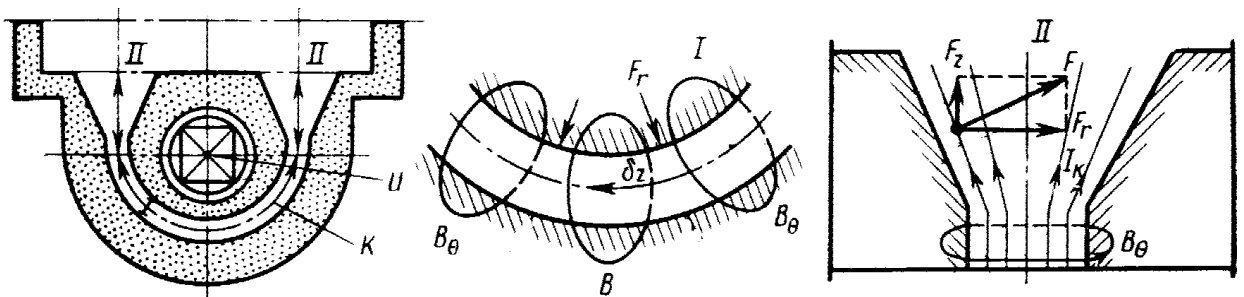


Рис. 6.2 Взаємодії струму каналу з магнітним полем

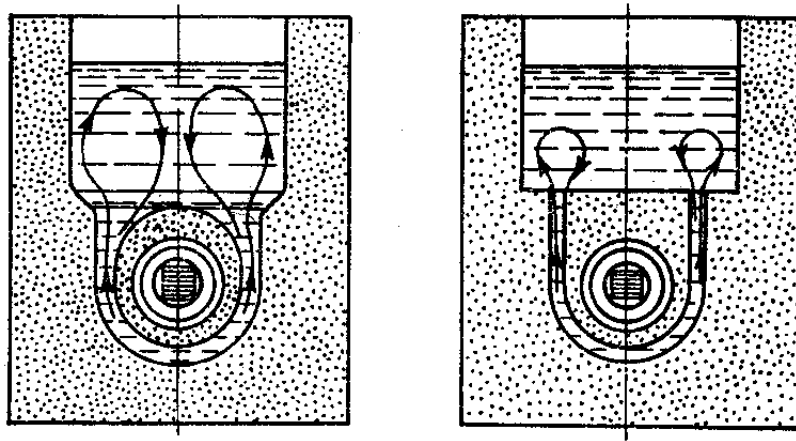


Рис. 6.3 Циркуляція сплаву в каналній печі

Довжина криволінійної частини каналу 1320 мм, довжина прямолінійної ділянки 280 мм $l_k = 1320 + 2 \cdot 280 = 1880$ мм

Площа поперечного перерізу каналу.

j_z – густина струму в каналі, А/м². Приймаємо $j_z = 4,2 \cdot 10^6$ А/м²

$$F_k = 10^3 P_{\text{інд}} / (j_z^2 \rho_m l_k) = 10^3 90 / [(4,2 \cdot 10^6)^2 \cdot 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88] = 0,0022 \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

Форма поперечного перерізу каналу. Приймаємо канал у формі овалу з розмірами, тоді $b_k = 110$ мм, $h_k = 185$ мм, $F_k = 0,011 \text{ м}^2$, радіус R14.

Активний опір каналу

$$R = \rho_m l_k / F_k = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88 / 0,0022 = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.8)$$

Індуктивність каналу. Відстань від осі каналу до котушки 180 мм. Глибина проникнення струму в котушку 10 мм, тому $R_1 = 190$ мм, $R_2 = 55$ мм.

Приймаємо індукцію в стержні магнітопроводу, яка дорівнює 1,85 Тл, $l_p = 1,55$, l_p – коефіцієнт, який враховує розсіювання енергії індуктором в залежності від індукції в стержні

$$L_{\text{зовн}} = 2 \cdot 10^{-7} l_p l_k \ln(R_1/R_2) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,55 \cdot 1,88 \ln(0,19/0,055) = 7,22 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (6.9)$$

$$L_g = 10^{-7} l_k / z = 10^{-7} \cdot 1,88 / 2 = 0,94 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (6.10)$$

$$L = L_{\text{зовн}} + L_g = 7,22 \cdot 10^{-7} + 0,94 \cdot 10^{-7} = 8,16 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (6.11)$$

Індукційний опір каналу

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 8,16 \cdot 10^{-7} = 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.12)$$

Повний опір каналу

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(1,06 \cdot 10^{-4})^2 + (2,56 \cdot 10^{-4})^2} = 1,19 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.13)$$

Коефіцієнт потужності каналу

$$\cos \varphi = R/Z = 1,06 \cdot 10^{-4} / 1,19 \cdot 10^{-4} = 0,89 \quad (6.14)$$

Активна напруга в каналі

$$U_{к.а.} = \sqrt{P_{інд} \cdot R} = \sqrt{90000 \cdot 1,06 \cdot 10^{-4}} = 3,08 \quad (6.15)$$

Повна напруга в каналі

$$U_{к} = U_{к.а.} / \cos \varphi = 3,08 / 0,64 = 4,81 \text{ В} \quad (6.16)$$

Повна потужність індуктора

$$S_{інд} = P_{інд} / \cos \varphi = 90 / 0,64 = 140,6 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (6.17)$$

Реактивна (індуктивна) потужність, яка виділяється в індукторі

$$Q_{інд} = \sqrt{S_{інд}^2 - P_{інд}^2} = \sqrt{140^2 - 90^2} = 33,91 \text{ квар} \quad (6.18)$$

Повна потужність печі

$$S = NS_{інд} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ кВ} \cdot \text{А} \quad (6.19)$$

Реактивна потужність печі

$$Q = NQ_{інд} = 2 \cdot 33,91 = 67,82 \text{ квар} \quad (6.20)$$

Число витків котушки індуктора. Вибираємо трансформатор з наступною характеристикою. Первинна напруга 10000 В, вторинна (5 ступенів): 244, 360, 416, 490, 555 В. Приймаємо, що потужність індуктора 90 кВт буде при подачі на котушку напруги 360 В.

$$n = U_1 / U_{к} = 416 / 15,33 = 27 \text{ витків} \quad (6.21)$$

Для зменшення довжини котушки приймаємо набивку у два шари по 13 витків у кожному.

Сила струму у котушці

$$I_1 = S_{інд} / U_1 = 10^3 \cdot 140 / 416 = 336 \text{ А} \quad (6.22)$$

Площа поперечного перерізу витка котушки. Приймаємо $j_1 = 3 \text{ А/мм}^2$

$$F_{вит} = I_1 / j_1 = 336 / 3 = 112 \text{ мм}^2 \quad (6.23)$$

Ширина $b_{вит}$ і висота $h_{вит}$ котушки. Для виготовлення котушки вибираємо мідний провід прямокутного перерізу 3 x 8 мм. Число проводів у витку $112 \div (3 \times 8) = 4,66 \approx 5$

З урахуванням ізоляції приймаємо $b_{вит} = 18$ мм, $h_{вит} = 10$ мм.

Довжина котушки

$$l_{кот} = b_{вит} n / k_{сл} = 18 \cdot 35 / 2 = 315 \text{ мм} \quad (6.24)$$

Ємність конденсаторної батареї

$$C = 10^9 Q_{інд} / (2\pi f U_1^2) = 10^9 \cdot 33,91 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 416^2) = 314 \text{ мкф.} \quad (6.25)$$

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано розрахунок сконструйованого каналного міксера продуктивністю 6 т/год.:

1. Виконано розрахунок основних геометричних розмірів ІКМ, це визначення коефіцієнта, за допомогою якого наближено розраховуються всі основні розміри каналного міксера.

2. Складено тепловий баланс та визначена теплота, яка отримується від трансформації електричної енергії і також визначено термічний ККД ІКМ.

3. Виконано електротехнічний розрахунок каналного міксера. До нього входить розрахунок основних електричних та геометричних параметрів індуктора і вибір трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сабірзянов, Т.Г. Печі ливарних цехів: навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ. 2007. 280 с.
2. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студентів денної та заочної форм навчання / Кропивний В.М. та ін. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
3. Павленко Т.П., Петренко О.М., Лукашова Н.П. Електротехнологічні установки: Конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 130 с.
4. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. академіка НАН України Найдека В.Л. К: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
5. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Виробництво виливків із кольорових металів». *Печі для плавлення кольорових сплавів для студентів напряму ”Ливарне виробництво”*. [укл.: Сігарьов М.К., Стороженко С.А.]. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 30с.
6. Турич В.В., Руткевич В.С. Матеріалознавство: навч. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2012. 100с.

ДОДАТКИ