

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 індукційного каналного міксера
продуктивністю 25 т/год."**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ-22мб-1
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Ігор ГЕРАСИМЕНКО
« ____ » _____ 20__ р.

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

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

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛІВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 20__ р.

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

Герасименка Ігоря Олексійовича

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок індукційного каналного міксера продуктивністю 25 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

_____ Ігор ГЕРАСИМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Герасименко І. О. "Проектування і розрахунок індукційного каналного міксера продуктивністю 25 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025. 38 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Мета даної кваліфікаційної бакалаврської роботи – це вивчення як конструкції, так і роботи даного індукційного каналного міксера, а також розрахунок розмірів ІКМ та його електротехнічних характеристик. Визначення матеріального і теплового балансу проєктованого ІКМ ємністю 25 т/год.

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

В графічній частині наводиться загальний вигляд індукційного каналного міксера та його індуктор.

ІКМ, матеріальний баланс, електротехнічний розрахунок, тепловий баланс

ABSTRACT

Gerasimenko I. O. "Design and calculation of an induction channel mixer with a capacity of 25 t/h." specialty 131 "Applied Mechanics", OPP – "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 38 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of this qualification bachelor's work is to study both the design and operation of this induction channel mixer, as well as the calculation of the dimensions of the PCM and its electrical characteristics. Determination of the material and heat balance of the designed PCM with a capacity of 25 t/h.

The calculation of the induction channel mixer includes: first, the calculation of the PCM melting unit taking into account its main dimensions, secondly, the determination of electrical parameters, thirdly, the calculation of the material and heat balances.

The graphic part shows a 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.....	22
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ.....	23
РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ.....	24
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	27
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	33
ДОДАТКИ.....	34
Додаток 1. Індуктор ІКМ.....	35
Додаток 2. Загальний вигляд ІКМ.....	36

ВСТУП

Наразі новітня техніка, а також такі галузі, як машинобудування, агроінженерія, агропромислове виробництво, сільськогосподарська техніка, хімічне виробництво, потребують якісних металів та сплавів (тобто однорідність складу сплава, властивостей, таких як високої міцності, високотемпературність, жароміцність і т.п.), які виплавляються в ІКП. Ці вимоги до металів та сплавів задовольняються, при виплавленні в сучасних індукційних каналних печах та мікзерах.

Для отримання однорідного і точного складу металу та сплаву є перемішування металу, а також повторність результатів окремих плавок та відсутність температурних перепадів.

В індукційних печах виплавляють метал та сплави різних видів. Періоди плавлення наступні: перше завантаження і плавлення металеві шихти, друге доведення сплаву по складу та температурі, третє випуск і розливка металу.

ІКП мають наступні переваги: це нагрівання металу до відповідних високих температур; відсутнє навуглецювання металу; продуктивність висока ККД печі 70%; отримується однорідний склад сплаву при його перемішуванні; виконувати плавлення сплаву можливо в різних середовищах.

Але індукційна плавка має і свої недоліки: це відповідно низька температура, а також рафінуюча здатність шлаку; далі невелика поверхня розділу метал-шлак; та недостатня стійкість самої футеровки.

Наряду з вказаними вище перевагами ІКП, що забезпечують відповідно якість литва та з найменшими втратами також легуючих елементів, при індукційній плавці металу ІКП маємо найбільшу продуктивність. До цього також треба додати і більш сприятливі умови роботи, а також більш високу продуктивність праці при індукційній плавці металів та сплавів. І тому враховуючи всі ці переваги індукційної плавки наразі використовують ІКП дуже широко для різних металів та сплавів.

В індукційних печах можна легко здійснювати вакуум, а також поєднується атмосферна плавка та вакуумна обробка, і без захисної атмосфери. При вакуумній індукційній плавці можливо отримувати добрі показники при виробництві напівпровідників, високотемпературних та жароміцних сплавів. При поєднанні індукційної атмосферної плавки та вакуумної обробки, яка здійснюється під шаром захисної атмосфери, маємо добрі показники при виробництві відповідно безкисневої міді, яку плавлять у відкритій індукційній печі а потім розливають під шаром захисної атмосфери [1].

Натепер в наш час ІКП застосовують відповідно для плавлення багатьох металів та сплавів, за виключенням, як наприклад, таких тугоплавких тобто ніобієвих, вольфрамових, танталових, молібденових і т.п., де використовують такі способи електронагріву як електронно-променевиий та плазмовий [1,2].

Що стосується тугоплавких металів та сплавів проводяться роботи по використанню індукційної плавки, це так звана плавка безтигельна у такому вільно підвішеному стані в електромагнітному полі; також метод послідовного оплавлення стержня, він відповідно швидко пересувається крізь сам індуктор; а також плавлення у автоматичному тиглі і т.п.).

Наразі широке використання індукційної плавки призводить до значного покращення конструкції ІКП, це стосується проектування печей великої ємності.

Натепер у наш час працюють відповідно каналні індукційні печі власного виробництва для плавлення кольорових сплавів, наприклад, алюмінію, а також міді продуктивністю 10 т, а також тигельні індукційні печі відповідно промислової частоти продуктивністю 4 т для плавки алюмінієвих сплавів.

РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНІ КАНАЛЬНІ ПЕЧІ ТА МІКСЕРИ

У 1890 році на той час була створена перша КІП, яка мала відкритий горизонтальний канал з відповідною ємністю біля ≈ 90 кг рідкого сплаву, а форма жолобу для зливання металу виконана кільцеподібною з тигельної маси, і вже після виплавлення металу його половина повина була зливатися, а інша вже половина оставалася тому, що вона необхідна для підтримування відповідно замкненого вторинного ланцюга плавильного агрегату з сталевим сердешником. Індуктор даної КІП робили з мідних трубок з 28 витків та охолоджували водою. В трансформаторі на той час застосовували однофазний магнітопровід. Але цей плавильний агрегат в той час не одержав розповсюдження, тому що технологічно він був незручним та часто швидко виходив з роботи бо була недосконала футеровка каналу [1].

У 1900 р. вже почалося промислове застосування каналних печей, які також виконані з горизонтальним відкритим каналом та перевагою індукційного нагріву для плавки сталі. Але такі плавильні агрегати мали і недоліки, вони стосувалися як металургійних, так і електротехнічних параметрів, це обмежувало їх застосування. Отже вчені почали працювати над створенням інших агрегатів, більш досконалих конструкцій плавильних каналних печей індукційного нагріву.

У 1906 р. з метою покращення та використання відповідно металургійних якостей каналних печей з'явилися нові конструкції печей відповідно з розширеним вже плавильним простором. Також створили і комбіновані плавильні агрегати з горизонтальним відкритим каналом та компенсуючою до них обмоткою – це покращувало їх електротехнічні якості як плавильних каналних індукційних печей.

Вже в 1908 р. з'явилися сучасні плавильні агрегати виконані з секціонованою первинною котушкою, це дало змогу, що при створенні неї зводили до мінімуму від'ємні такі наслідки відповідно центробіжного ефекту.

Модернізовані каналні індукційні печі (КІП) виконані з сталевим сердешником та закритим каналом для плавлення кольорових сплавів, напри-

клад, латуней з'явилися вже в 1916 р. отже, вони стали відповідно прототипом для плавильних агрегатів цього типу.

Наразі сучасні плавильні агрегати з закритими каналами найбільш широко використовуються для плавлення кольорових, важких і легких металів та сплавів, а також для отримання і високоякісного чавуну. Натепер в наш час ємність таких плавильних агрегатів може досягати вже десятки тон. Отже, індукційні плавильні печі з сталевим сердешником використовуються з 1930 р.

Також сучасні каналні печі можна використовувати і для процесів лиття, як міксери, роздавальних та плавильних печей.

В цих плавильних агрегатах як каналні печі рідкий метал відповідно оточений вогнетривким матеріалом з усіх боків, він укладається в сталевий корпус. Рідкий метал відповідно заповнює простір у вогнетривкому матеріалі який має форму відповідно вигнутого каналу.

Робочий простір самого плавильного агрегату буде з'єднаний з каналом двома отворами, а рідкий метал, який заповнює плавильний агрегат відповідно утворює замкнутий контур то агрегат виконує роботу. При надходженні напруги на котушку в каналі в цьому випадку, будучи при цьому вторинним витком, то відповідно створюється вихрове електричне поле та напруга. Також при протіканні струму по самому каналу так і навколо нього, буде створюватися як магнітне поле, а також, і потік магнітний. Напрямок самого магнітного потоку в каналі буде протилежний напрямку магнітного потоку в магнітопроводу. Канал плавильного агрегату буде розташовуватися навколо тієї частини магнітопроводу, на якій буде знаходитись котушка для зменшення відповідно впливу магнітного потоку. Робиться це для того, щоб магнітний потік каналу залежав від відстані до самої котушки, а сама відстань від каналу до котушки вибирається також мінімальною [1,2,3].

Коли канална плавильна піч виконує роботу, то в ній плавиться метал при сталому руху металу в каналі та в місцях його з'єднання з ванною плавильного агрегату. В результаті перегріву металу та впливу на нього магнітного

поля виникає рух металу в каналі, його температура в каналі становить 50 – 150°С – це вище температури металу у самій ванні агрегату плавильного, тому що нагрітий метал з каналу буде піднімається у ванну печі, а з неї вже буде надходити тільки більш холодний метал.

В процесі плавки металу на нього впливає магнітне поле, при цьому виникають електродинамічні сили, які відповідно намагаються стиснути і виштовхнути метал з каналу. Коли більша величина струму в каналі, тим більша буде за величиною електродинамічна сила, яка впливає на метал.

Коли в плавильному агрегаті, тобто печі відбувається зливання металу нижче допустимого рівня він також буде скачуватися з каналу, при цьому буде відбуватися примусове відключення агрегату через процес розривання електричного контуру [1,2,3].

Кількість металу (болото) в плавильному агрегаті, яка необхідна для нормальної роботи печі, буде визначатися наступним, враховуючи те, що маса металу над каналом повина перевищувати електродинамічну силу, то відбувається процес, який відповідно виштовхує метал з каналу.

За призначенням КІП можна поділити на плавильні печі, міксери і роздавальні печі.

Плавильні печі. Виконуючи порівняння каналних печей з тигельними маємо наступні переваги каналних печей: перше, що вартість каналних печей наближено становить 50 - 70 % вартості тигельних печей; друге через низькі втрати теплоти, ванна каналної печі має добру теплову ізоляцію агрегату, та достатньо вищий ККД індуктора каналної печі.

Недоліки КІП наступні: це відсутність гнучкості регулювання самого хімічного складу виплавленого металу; друге існування болота в каналній печі – це буде затрудняти перехід від плавлення одного сплаву до іншого; третє, повільний рух металу у самій ванні каналної печі [1,2,3].

Охарактеризуємо основні вузли КІП. *Каркас* печі він повинен бути міцним та виготовлятися з низьковуглецевої сталі 0,1% С товщиною десь 30 - 70 мм. В нижній частині каркаса повині розташовуватися вікна з фланцями,

до них треба кріпити індуктори. Вся поверхня каркаса плавильного агрегату має відповідно отвори діаметром 5 мм з кроком десь 300 мм, через які повина удалятися пара, яка утворюється в процесі сушки футеровки [1,2,3].

Враховуючи конструкцію, призначення та тривалість роботи каналних печей можна використовувати для плавильного простору печі різні вогнетривкі матеріали.

Внутрішня футеровка каналної печі знаходиться відповідно у найбільш несприятливих умовах в плавильному агрегаті, маючи спільну поверхню стикання з металом, а також піддається досить великим механічним навантаженням при плавленні металу, тобто хімічному та тепловому впливу. Отже внутрішній шар футеровки повинен виконуватися з заливної маси, яка складається та містить до 90% Al_2O_3 маючи достатньо високу механічну міцність, вогнетривкість, шлакостійкість та термостійкість. Наступний шар вогнетриву застосовують наближено 60% Al_2O_3 , третій вже шар використовують шамотний вогнетрив, до теплоізоляційного шару можна віднести – це азбестові плити, що встановлюють по всій поверхні внутрішнього каркаса печі [1,2,3].

Індуктор каналної печі має сталевий корпус, футеровку, магнітопровід, котушки та елементи охолодження як корпуса, так і котушки. Вимога до корпусу індуктора наступна: він не повинний утворювати так званий замкнений електричний контур навколо магнітопроводу. Тому, що на ньому буде індуктуватись струм. При врахуванні цього корпус індуктора виконують рознімним, а окремі його частини треба обов'язково ізолювати один від одного [1,2,3].

Для індуктора також треба використовувати вологі або сухі вогнетривкі маси. Вологі маси використовують звичайно у вигляді заливних та набивних матеріалів. Заливні маси, це бетон, використовують у випадку складного профілю індуктора, коли ущільнити набивну масу по всьому індуктору це неможливо. Отже заливною масою заповнюють відразу весь індуктор та ущільнюють зануреними електричними вібраторами. Індуктор далі заповнюють пошарово вже набивною масою та ущільнюють відповідно ная-

вними пневматичними трамбовками. Сухі маси відповідно засипають в індуктор також відразу та ущільнюють відомими електричними вібраторами. Використання сухих вогнетривких мас в індукторі дозволяє виключити процес сушки індуктора перед тим як його встановлюють на каналну піч. При виробництві чавунного литва футеровка індуктора КІП виготовляється з вогнетривких мас, які повині містити до 98% Mg.

Магнітопровід індуктора складається з трансформаторної сталі, тобто окремих її пластин, товщина яких повина становити 0,5 мм. Окремі пластини трансформаторної сталі ізолюють один від одного, це виконують відповідно для зменшення втрат від так званих вихрових струмів. Розміри поперечного переріза стрижня магнітопроводу, тобто це тієї його частини магнітопроводу, на яку встановлюють котушку, залежать від потужності індуктора. Після складання магнітопроводу відповідно стягують шпильками або болтами. Потім стяжні планки, шпильки та болти також треба ізолювати від пластин магнітопроводу таким матеріалом як електрокартон. Це виконують також для запобігання утворення так званих короткозамкнених витків навколо самого магнітопроводу [1,2,3].

Котушку індуктора каналної печі треба виготовляти з мідного профільованого проводу. Перетин самого витка котушки треба брати в залежності від номінального навантаження струму, а також способу її охолодження. При повітряному охолодженні допускаємо силу струму до 4 А/мм², при водяному до 20 А/мм². Котушку бажано також закріплювати на магнітопроводу відповідно за допомогою клинів, при цьому використовують ізоляційний матеріал. Зазор між котушкою та магнітопроводом використовують для надходження та подачі повітря, це в свою чергу також буде охолоджувати котушку. Водоохолоджувальний екран встановлюють між котушкою та футерівкою, як правило його виготовляють з немагнітної сталі або міді, ці матеріали не дають можливості перегрівання котушки. Котушки можна виготовляти одношарові або багатшарові в залежності від числа їх витків [1,2,3].

При запобіганні перегрівання елементів індуктора, (це відповідно стосується корпусу, екрану котушки, котушки) їх примусо обов'язково треба охолоджувати.

В індукторі також встановлюється шаблон, тобто це такий профіль, який відповідає профілю самого каналу. Шаблон треба встановлювати в індуктор до заповнення його вогнетривкою масою. Кінці шаблону, які виступають з індуктора, з'єднують один з одним перемичкою за допомогою електрозварювання. Шаблон дійсно використовують для отримання точних розмірів каналу, а також для сушки та розігрівання футеровки індуктора перед тим як він заповнюється металом. Індуктор відповідно має повітряне охолодження котушки, а також водяне охолодження корпусу та екрана. Котушку на індукторі можна охолоджувати за допомогою встановленого відцентрового вентилятора [1,2,3].

Індуктор закріплюють до каркаса печі при допомозі болтів. До корпусу індуктора також приварені ще два штирі, які використовують при його транспортуванні та монтажу індуктора.

Стан футеровки індуктора каналної печі треба оцінювати за допомогою температури води, яка відповідно охолоджує елементи індуктора. Коли зруйнується футеровка, метал, який заповнює канал, буде наближатись до водоохолоджувальних елементів, а температура води відповідно при цьому буде підвищуватися – це буде сигналом для заміни самого індуктора, бо він може вийти з ладу. В процесі роботи індуктора КІП необхідно також контролювати його активний та індуктивний опір. Активний опір R каналу буде залежати завжди від площі поперечного перерізу та довжини каналу. Якщо в процесі роботи каналної печі відбувається збільшення каналу, то це приводить до збільшення опору R , а його розширення, призводить до зменшення опору R . При подовженні каналу опір R буде збільшуватися, при укороченні опір R зменшуватися [1,2,3].

Індуктивний опір каналу КІП буде залежати від його розташування відповідно до котушки самого індуктора. Якщо канал розташований ближче до

катушки, то відповідно індуктивний опір буде меншим і, навпаки, чим буде більша відстань між каналом та катушкою, значення індуктивного опору буде більшим.

Механізм нахилу печі повинен забезпечувати процес плавного нахилу печі при зливанні металу, а також і при заміні індуктора для цього використовують і гідравлічний привід, він включає в себе насосну станцію та гідроциліндр, або електромеханічний привід, який складається з електродвигуна, редуктора а також ланцюгової передачі [1,2,3].

Електроустаткування печі включає трансформатор, конденсаторну батарею для компенсації значення коефіцієнта потужності плавильного агрегату, конденсаторна батарея і дросель для підключення однофазного індуктора печі до трифазної мережі, а також щитів керування та кабелів живлення КПП [1,2,3].

Трансформатор КПП під'єднується до мережі відповідно напругою 6 - 10 кв. На вторинній стороні трансформатора передбачено до 10 ступіней напруги для регулювання потужності агрегату печі в заданому діапазоні.

Система водяного охолодження КПП передбачена для охолодження її елементів. Спеціально підготовлена вода повинна циркулювати по замкнутому контурі, який включає теплообмінник, що охолоджується звичайною промисловою водою. На зливальних патрубках, які розташовані від елементів каналної печі можна встановлювати індуктори витрати води і термометри, що показують температуру води [1,2,3].

Міксери. Призначення міксерів наступне: вони використовуються для накопичення необхідної кількості металу та його витримки при відповідно заданій температурі. В міксері також усереднюється хімічний склад металу або сплаву відповідно до різних плавок, а сама ємність міксера, повина обов'язково дорівнювати дворазової годинної продуктивності плавильного агрегату.

ІКП піч типу ІЧКМ при виробництві тобто виготовлені чавуну виконує роботу як міксер. Наприклад, продуктивність печі: 20 т, корисна 10 т і болота

5 т. Піч при цьому має вертикально розташований циліндр з зовнішнім діаметром 3160 мм та висотою до 2 м. Внутрішній діаметр печі внизу дорівнює 2200 мм, а вгорі дорівнює 2340 мм. Індуктор печі має потужність до 700 кВт. Верх печі закривається футерованою кришкою. В печі наявний сифонний жолоб для зливу металу. Шлак з печі треба скачувати через вікно, яке закривається за допомогою дверцят. Наклон каналної печі виконується за допомогою двох гідроциліндрів. При нахилу каналної печі використовуються дві стійки і отвори у корпусі каналної печі [1,2,3].

В днищі ІКП маємо отвори для приєднання індуктора до самої печі. Вони відповідно розширені вбік робочої частини каналної печі, це виключає перегрів самого металу в цій частині, а саме покращує умови роботи футеровки плавильного агрегату. Індуктор також має замкнутий магнітопровід та відповідно охолоджувальну повітрям котушку. Коли заміняють індуктор відповідно каналну піч повертають так, щоб кожух печі завжди розташовувався вертикально. ІКП повина встановлюватися в приямку, він має поглиблення, яке призначене для збору металу та відповідно шлаку [1,2,3].

Промисловість виготовляє ІКП для витримки і перегріву чавуну наступних марок ІЧКМ-6/0,5; ІЧКМ-16/0,5; ІЧКМ-40/1,0 продуктивністю, т/год при перегріванні чавуна на 100°C.

Роздавальні печі. Призначені для заливання виплавленого металу безпосередньо у ливарну форму. Для видачі металу з ІКП застосовують механізми нахилу печі, електродинамічні насоси і надлишковий тиск газу над рівнем металу в каналній печі.

ІКП, яка використовує надлишковий тиск газу для видавання металу з ванни печі закривається герметичною кришкою. Заливання металу з печі виконується відповідно через заливний сифон, а у ливарну форму через розливочний сифон, а його верхня частина виконана у вигляді ванни з отвором. В робочий простір ІКП через трубку повино подаватися стиснене повітря або також і інший інертний газ. Тому під дією тиску повітря метал вже повинен витіснятися з ванни в заливочний та розливочний сифони. Кількість металу,

яка подається через отвір у ливарну форму, буде регулюватися з достатньою точністю. Обігрівання КІП відбувається індуктором [1,2,3].

Печі подібного типу мають ємність до 20 т. Промисловість виготовляє для заливання рідкого чавуна безпосередньо в ливарні форми ІКП: наступних марок ІЧКР-0,6/0,06; ІЧКР-2,5/0,15; ІЧКР-6,0/0,15 з продуктивністю т/год при перегріванні чавуна на 100°C.

Наразі на сучасних підприємствах металообробної промисловості плавка металів і сплавів здійснюється, головним чином, в каналних індукційних печах (рис. 1.1, рис.1.2, рис.1.3) [1,2].

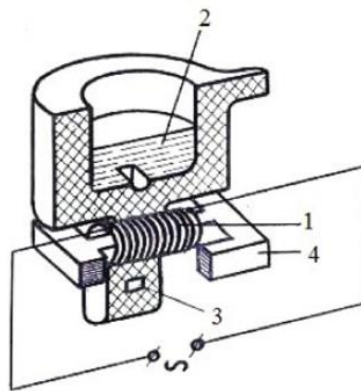


Рис. 1.1 Схема з вертикальним плавильним каналом ІКП

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

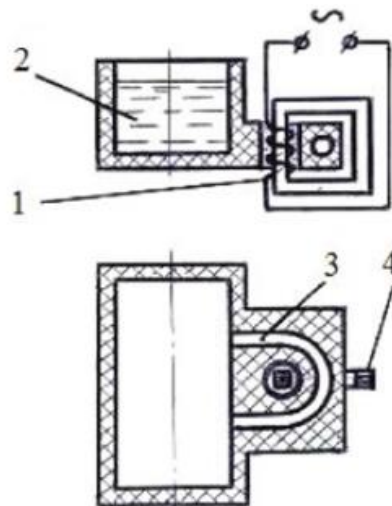


Рис. 1.2 Схема з горизонтальним плавильним каналом каналної печі

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

4 - магнітопровід

На рис 1.3 наведено три типи індукційно каналних печей.

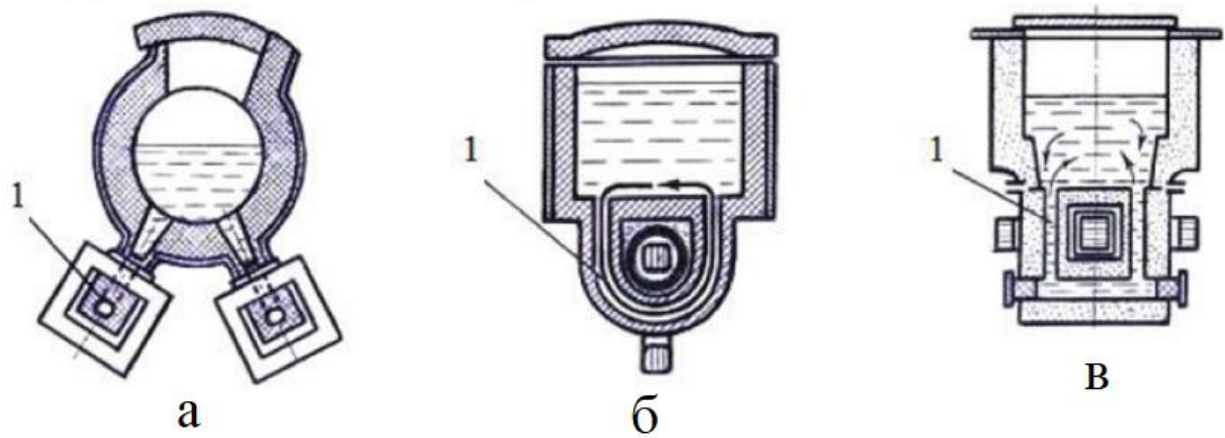


Рис. 1.3 Схеми з вертикальним каналом індукційних каналних печей
а – барабанні; *б* – вертикальні з овальним каналом; *в* – вертикальні з прямокутним каналом; 1 – індуктор

Наприклад, канали з прямокутною формою застосовують для плавки швидкоокислювальних металів, алюмінієвих сплавів.

Необхідно відзначити, що індукційні каналні печі мають високий ККД, який становить 70-80%. Індукційні каналні печі можуть працювати безперервно, при цьому мають високу продуктивність та добру чистоту поверхні сплаву, а також мінімальні втрати.

Індукційні каналні печі використовують для плавки кольорових сплавів, наприклад, мідних – це печі типу ІЛК, для плавлення алюмінію ІАК та для плавки і перегріву в міксері чавуну типу ІЧКМ.

Індукційні каналні печі включають, в основному, такі елементи: профіль каналу плавки металу; магнітопровода; індуктора. Ванна печі виконана зі сталі, під печі відповідно з немагнітних сплавів. У футеровці подової частини каналної печі знаходиться в захисному циліндрі сердешник трансформатора з індуктором, а також вертикальні канали, де плавиться метал. Трансформатор виконується з спеціальної трансформаторної сталі, товщина листа якої становить 0,35 мм. Готовий рідкий метал з індукційно каналної печі розливається як було вказано вище через зливний жолоб у ливарні форми [1, 2,3].

РОЗДІЛ 2. РОБОТА ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ ТА МІКСЕРА

Індукційний каналний міксер (ІКМ) застосовують для накопичення визначеної кількості рідкого металу, а потім його витримка при заданій відповідній температурі. Приймаємо, що ємність міксера повинна бути не менше ніж двочасова продуктивність печі. На рис.2.1 показана індукційна канална піч типу ІЧКМ-25, яка може працювати як міксер при виробництві чавуну.

ІКМ являє собою горизонтально розташований циліндр із зовнішнім діаметром розміром 3185 мм. Внутрішній діаметр печі становить 1475 мм. ІКМ має два індуктори 6, які можна знімати, потужність кожного 260 кВт. Для зливу рідкого металу в печі передбачено сифонний жолоб 4. Наявність сифонного жолоба не дає можливості попадати повітря в каналний міксер, а також зменшує і угар елементів. Нахил печі здійснюється навколо поздовжньої осі, за допомогою котків, на яких стоїть сам ІКМ. Зусилля для повертання ІКМ передається від привода 3, який змонтований поряд. Для приєднання індукторів в данній частині ІКМ є отвори, які розширені в сторону робочого простору ІКМ, який виключає перегрів металу в цій частині ІКМ, а відповідно при цьому покращуються умови роботи футеровки. Кожен індуктор має як замкнутий магнітопровід 7, так і котушку 8, вони охолоджуються повітрям [1,2,3].

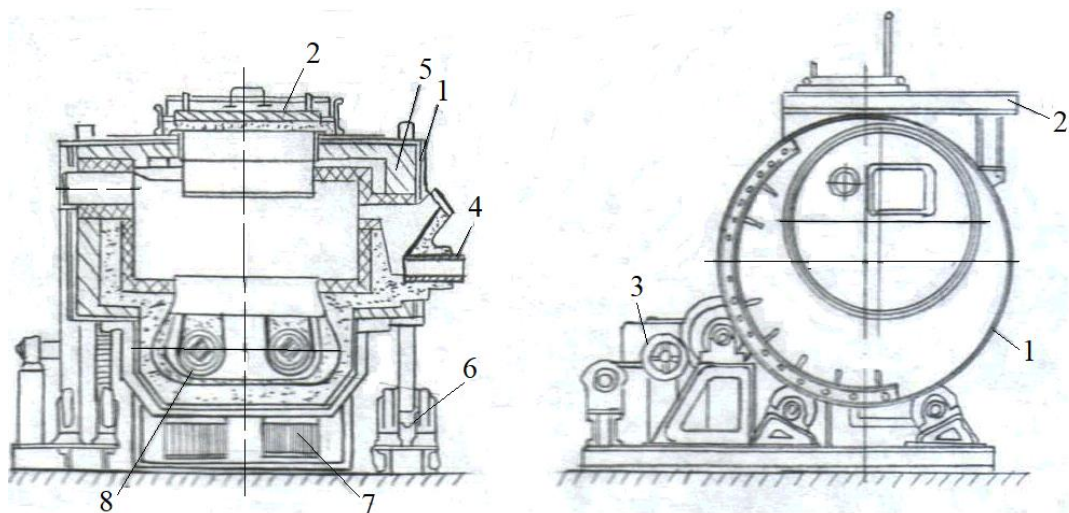


Рис. 2.1. Схема ІКМ марки ІЧКМ-25

- 1– каркас (сталевий металевий 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

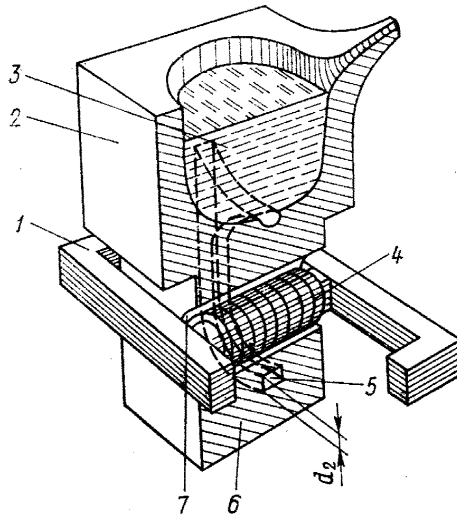


Рис 2.2. Канальна піч

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

ІКП має основні елементи: футеровану ванну, футеровану кришку, індукційну одиницю (індуктор), магнітопровід, подовий камінь, плавильний канал [1,2,3,4].

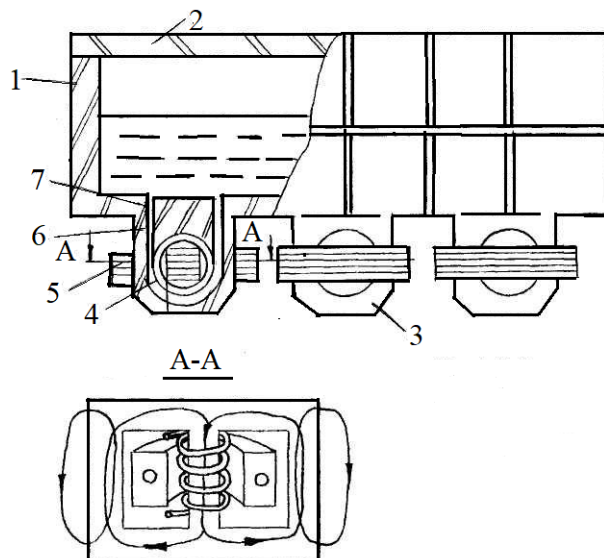


Рис 2.3. ІКП із закритим вертикальним каналом

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

Робота та принцип дії ІКП 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 відповідно утворюється в каналі, є меншою напруги, яка відповідно підводиться до котушки. Сила струму, яка повина протікати по каналу, залежить також від повного опору каналу. Тому при протіканні струму по каналу, завжди навколо нього буде утворюватися магнітне поле, а відповідно також і магнітний потік. Як відомо від магнітного потоку повина залежати індуктивна потужність і $\cos \varphi$ печі. Якщо більший магнітний потік каналу, отже буде і більша індуктивна потужність.

Під час роботи ІКП відбувається безперервний рух рідкого металу в каналі, а також в місці з'єднання самого каналу з ванною печі. В результаті перегрівання металу в каналі, а також в результаті взаємодії магнітного поля повинен виникати рух рідкого металу. При цьому температура металу в каналі на 50-150 °С вища температури металу у ванні каналної печі, отже нагрітий рідкий метал з каналу повинен підніматися у ванну, а з неї вже потім повинен надходити більш холодний метал. При більшому струмі в каналі, буде більша електродинамічна сила, яка діє на рідкий метал.

При виходу металу з каналної печі нижче допустимого рівня він повинен залишати канал, при цьому відбувається самостійне відключення каналної печі внаслідок того, що розривається електричний контур, який утворюється відповідно рідким металом в каналі. Мінімальна кількість ІКП, яка необхідна для нормальної її роботи повина визначатися, враховуючи те, що маса рідкого металу (болото) над каналом перевищує електродинамічну силу, яка виштовхує метал із каналу [1,2,3,4].

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ ІКМ

При проектуванні основних геометричних розмірів ІКМ продуктивністю 25 т/год при цьому проводиться це проектування на основі однотипного ІКМ ємністю 40 т/год. Так як ІКМ, який ми проектуємо, подібний до типового, то основні розміри можливо визначати відповідно за допомогою коефіцієнта, на який потім треба ділити всі основні розміри ІКМ продуктивністю 40 т. Врахувавши це в результаті розрахунку одержуємо реальні розміри міксе-ра, який ми проектуємо [1,5].

При визначенні основних розмірів знаходимо коефіцієнт як корінь кубічний із числа, яке дорівнює відношенню продуктивностей даних міксерів.

За відомими продуктивностями ІКМ визначаємо коефіцієнт:

$$k = \sqrt[3]{40/25} = 1,169607 \quad (3.1)$$

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	3950
2.	Довжина і ширина завантажувального вікна	694
3.	Довжина внутрішнього простору	3875
4.	Внутрішній діаметр сифонного жолоба	270
5.	Товщина футеровки	520
6.	Діаметр внутрішнього простору	2750
7.	Зовнішній діаметр ванни	2877
8.	Рівень металу	842
9.	Рівень болота	366
10.	Габаритний розмір по висоті	5375

РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ

Матеріальний баланс ІКМ включає наступне [1,3,5]:

- складові вихідних матеріалів та визначення їх характеристик;
- хімічні явища ливарного процесу;
- визначення способу складання шихти;
- формування загального матеріального балансу.

Так як ІКМ, який ми проектуємо, повинен виконувати роботу в комплексі з іншим плавильним агрегатом продуктивністю 25 т. і він використовується тільки для перегрівання чавуну, то на вході і на виході ІКМ буде чавун в кількості 25 т. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Матеріальний баланс ІКМ на одне перегрівання

Показник	Маса, т	В результаті отримано	Маса, т
Чавун	25	Чавун	25

РОЗДІЛ 5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ

Мета розрахунку теплового балансу ІКМ є визначення теплоти, яка отримується від трансформації електричної енергії при роботі ІКМ. Тепловий баланс ІКМ можливо виразити рівнянням, яке відповідно поєднує статті прибутку і видатку теплоти при роботі ІКМ. Для приведеного рівняння теплового балансу статтею прибутку є теплота, яка отримується внаслідок трансформації електричної енергії при роботі ІКМ, а статтями видатку є корисна витрата теплоти при роботі ІКМ, витрата теплоти кладкою в доквілля тобто конвекція теплоти в простір, також витрата теплоти випромінюванням та витрата теплоти з вихідними газами [1,3,4,6].

Отже, рівняння теплового балансу 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, отримана від трансформації електроенергії;

Q_1 – корисна витрата теплоти;

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

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

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

Корисна витрата теплоти

$$Q_1 = P \cdot c_q \cdot \Delta t_q, \quad (5.2)$$

де P – продуктивність ІКМ;

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

Δt_q – температура перегрівання чавуну; $\Delta t_q = 100$

$$Q_1 = 25000/3600 \cdot 0,83 \cdot 100 = 837$$

Втрата теплоти через кладку в доквілля

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

де α – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні кладки в доквілля 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.

Так як проєктований ІКМ барабанного типу, внутрішня поверхня і, відповідно, зовнішня поверхня кладки має циліндричну форму. Відповідно з цього випливає, що площа зовнішньої поверхні кладки буде дорівнювати:

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

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

$F_{зов}$ – площа зовнішньої циліндричної стінки ІКМ.

Визначивши основні геометричні розміри, розраховуємо площу зовнішньої поверхні кладки:

$$F_{бок} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 2,877^2 / 4 = 6,50 \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

$$F_{зов} = \pi DL = 3,14 \cdot 2,877 \cdot 5,1 = 46,07 \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

$$F = 2 \cdot 6,5 + 46,07 = 59,07 \text{ м}^2 \quad (5.7)$$

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

$$Q_{5кл} = 15(90 - 20) \cdot 59,07 = 62 \text{ кВт}. \quad (5.8)$$

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

Прийmemo

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

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

$$Q_{ел.ен.} = 837 + 62 + 0,15Q_{ел.ен.} \quad (5.10)$$

При розв'язку отриманого виразу теплового балансу визначемо $Q_{ел.ен.}$:

$$0,85Q_{ел.ен.} = 899 \quad (5.11)$$

$$Q_{ел.ен.} = 899 / 0,85 = 1057 \text{ кВт} \quad (5.12)$$

Визначимо термічний ККД ІКМ

$$\eta_m = Q_1 / Q_{ел.ен.} = 837 / 1057 = 0,79 \quad (5.13)$$

Визначені результати теплового балансу ІКМ приведемо в табл. 5.1

Таблиця 5.1

Тепловий баланс ІКМ

№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт	№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт
	Прибуток теплоти				Видаток теплоти		
1.	Теплота, яка виділяється від трансформації електричної енергії	$Q_{ел.ен.}$	1057	1.	Корисна витрата теплоти	Q_1	837
	Всього		1057	2.	Втрата теплоти через кладку	$Q_{5кл}$	62
				3.	Втрата теплоти випромінюванням	$Q_{5випр}$	79
				4.	Втрата теплоти вибивними газами	$Q_{5виб}$	79
					Всього		1057

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Електротехнічний розрахунок ІКМ полягає в наступному [1,3,5]:

1. Розрахунок основних електричних і геометричних параметрів індуктора.

2. Вибір трансформатора.

Розрахунок індуктора ІКМ виконуємо за наступними вихідними даними:

- а) продуктивність 25 т/год;
- б) температура перегріву чавуну 100...150 °С;
- в) напруга електромережі 10 кВТ;
- г) частота струму 50 Гц.

Корисна теплова потужність, що буде безпосередньо передаватися рідкому металу

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

$$P_{кор} = W_{теор} \Delta t \Pi = 0,23 \cdot 150 \cdot 25 = 862 \text{ кВт} \quad (6.2)$$

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

$$P = P_{кор} / \eta_{терм} = 862 / 0,8 = 1077 \text{ кВт} \quad (6.3)$$

Далі враховуючи вираз (6.3) для запасу потужності прийmemo, що $P = 1100$ кВт.

Активна потужність індуктора ІКМ. Приймаємо, що ІКМ повинен мати два індуктори, $N = 2$.

$$P_{інд} = P / N = 1100 / 2 = 550 \text{ кВт} \quad (6.4)$$

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

$$F_{мг} = 0,3\sqrt{10^5 P_{інд} \psi / (Bj_1 \cos \varphi)} = 0,3\sqrt{10^5 \cdot 550 \cdot 7 / 1,85 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,55} = 476 \quad (6.4)$$

Визначаємо діаметр стержня магнітопроводу ІКМ

$$d_{мг} = 11,3\sqrt{F_{мг} / k_d} = 11,3\sqrt{476 / 0,8} = 275 \quad (6.5)$$

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

Визначаємо зовнішній діаметр котушки $d_{кот}$.

$$d_{кот} = d_{мг} + 2(S_3 + S_{кот}) = 275 + 2(16 + 50) = 407 \text{ мм.} \quad (6.6)$$

де S_3 – товщина зазору між стержнем магнітопроводу і котушкою ІКМ;

$S_{кот}$ – товщина котушки ІКМ. Прийmemo, що $S_3 = 16$ мм, $S_{кот} = 50$ мм

Визначаємо внутрішній діаметр каналу ІКМ $d_{к.в.}$.

$$d_{к.в.} = d_{кот} + 2(S_1 + S_2) = 407 + 2(95 + 30) = 657 \text{ мм} \quad (6.7)$$

де S_1 – товщина футеровки між каналом і котушкою; S_2 – товщина зазору між котушкою і футеровкою. Прийmemo, що $S_1 = 95$ мм; $S_2 = 30$ мм

Визначаємо ширину та довжину плавильного каналу.

Прийmemo ширину плавильного каналу 110 мм, тобто $b_k = 110$ мм.

Довжина плавильного каналу. Для визначення довжини плавильного каналу робимо його ескіз каналу (рис. 6.1). Та визначаємо довжину каналу по його середній лінії.

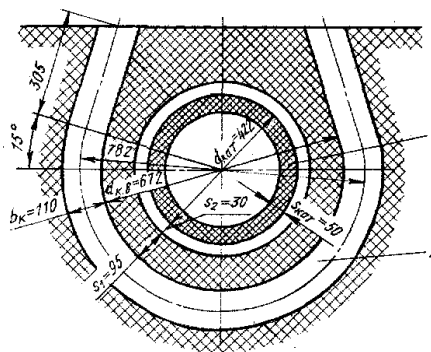


Рис. 6.1 Ескіз плавильного каналу

На рис. 6.2 наведена схема взаємодії току в плавильному каналі з магнітним полем, а на рис. 6.3 відповідно рух сплаву в ІКМ

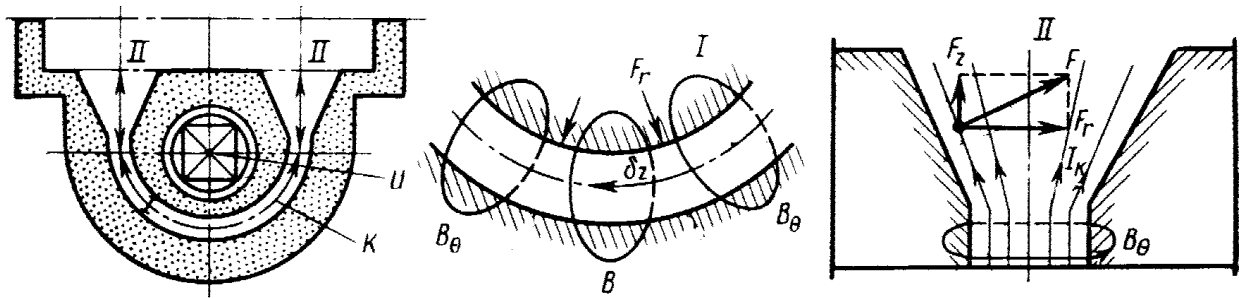


Рис. 6.2 Схема взаємодії току плавильного каналу з магнітним полем

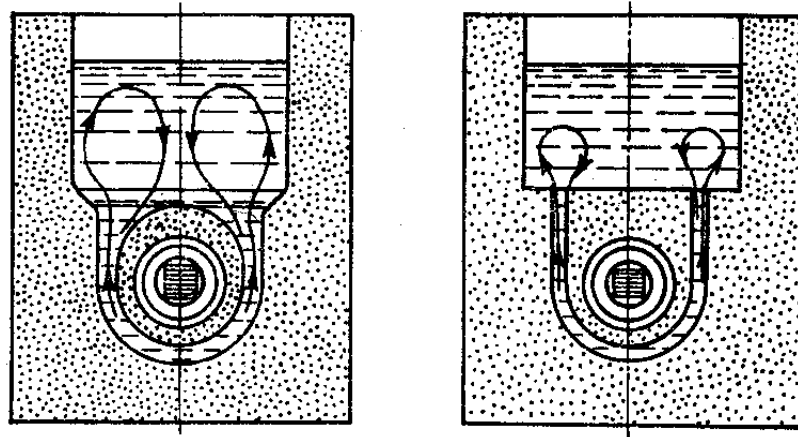


Рис. 6.3 Циркуляція сплаву в індукційно каналній печі

Довжина криволінійної частини плавильного каналу становить 1350 мм, довжина прямолінійної ділянки становить 300 мм.

$$l_k = 1350 + 2 \cdot 300 = 1950 \text{ мм}$$

Визначаємо площу поперечного перерізу плавильного каналу.

j_z – густина струму в плавильному каналі, А/м². Прийmemo, що $j_z = 4,2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$

$$F_k = 10^3 P_{\text{інд}} / (j_z^2 \rho_m l_k) = 10^3 \cdot 550 / [(4,2 \cdot 10^6)^2 \cdot 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88] = 0,0132 \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

Визначаємо форму поперечного перерізу плавильного каналу. Приймаємо плавильний канал у формі овалу з наступними розмірами, $b_k = 110 \text{ мм}$, $h_k = 185 \text{ мм}$, $F_k = 0,0132 \text{ м}^2$, радіус R143.

Активний опір плавильного каналу

$$R = \rho_m l_k / F_k = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88 / 0,0132 = 1,78 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.8)$$

Індуктивність плавильного каналу. Відстань від осі плавильного каналу до котушки 180 мм. В ІКМ відстань, тобто глибина проникнення струму в ко-

тушку становить 10 мм, отже $R_1 = 190$ мм, $R_2 = 55$ мм. Прийнемо індукцію в стержні магнітопроводу ІКМ, яка дорівнює 1,85 Тл, $l_p = 1,55$, l_p – коефіцієнт, що враховує розсіювання енергії індуктором в залежності від індукції в стержні ІКМ

$$L_{зовн} = 2 \cdot 10^{-7} l_p l_k \ln(R_1/R_2) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,55 \cdot 1,88 \cdot \ln(0,19/0,055) = 7,23 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (6.9)$$

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

$$L = L_{зовн} + L_g = 7,23 \cdot 10^{-7} + 0,94 \cdot 10^{-7} = 8,17 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (6.11)$$

Індукційний опір плавильного каналу

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 8,17 \cdot 10^{-7} = 2,57 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.12)$$

Повний опір плавильного каналу

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(2,14 \cdot 10^{-4})^2 + (2,56 \cdot 10^{-4})^2} = 3,34 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.13)$$

Коефіцієнт потужності плавильного каналу

$$\cos \varphi = R/Z = 2,14 \cdot 10^{-4} / 3,34 \cdot 10^{-4} = 0,641 \quad (6.14)$$

Активна напруга в плавильному каналі

$$U_{к.а.} = \sqrt{P_{інд} \cdot R} = \sqrt{550000 \cdot 2,14 \cdot 10^{-4}} = 10,849 \quad (6.15)$$

Повна напруга в плавильному каналі

$$U_k = U_{к.а.} / \cos \varphi = 10,849 / 0,64 = 16,951 \text{ В} \quad (6.16)$$

Повна потужність індуктора ІКМ

$$S_{інд} = P_{інд} / \cos \varphi = 550 / 0,64 = 859,375 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (6.17)$$

Реактивна (індуктивна) потужність ІКМ, яка повина виділятися в індукторі

$$Q_{інд} = \sqrt{S_{інд}^2 - P_{інд}^2} = \sqrt{859^2 - 550^2} = 659,834 \text{ квар} \quad (6.18)$$

Повна потужність ІКМ

$$S = NS_{інд} = 2 \cdot 859 = 1718 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (6.19)$$

Реактивна потужність ІКМ

$$Q = NQ_{інд} = 2 \cdot 659 = 1318 \text{ квар} \quad (6.20)$$

Число витків котушки індуктора ІКМ. Вибираємо трансформатор з наступною характеристикою. Первинна напруга 10000 В, вторинна (7 ступенів): 245, 365, 416, 490, 555, 596, 640 В. Прийmemo, що потужність індуктора 550 кВт буде при подачі на котушку напруги 725 В.

$$n = U_1 / U_k = 640 / 16,951 = 38 \text{ витків} \quad (6.21)$$

Для зменшення довжини котушки приймаємо набивку у два шари по 19 витків у кожному.

Сила струму у котушці ІКМ

$$I_1 = S_{\text{інд}} / U_1 = 10^3 \cdot 859 / 640 = 1342 \text{ А} \quad (6.22)$$

Визначимо площу поперечного перерізу витка котушки. Прийmemo $j_1 = 3 \text{ А/мм}^2$

$$F_{\text{вит}} = I_1 / j_1 = 1342 / 3 = 447 \text{ мм}^2 \quad (6.23)$$

Ширина $b_{\text{вит}}$ і висота $h_{\text{вит}}$ котушки. Котушки краще виготовляти з мідного проводу прямокутного перерізу 3 x 8 мм. Розраховуємо число проводів у витку $477 \div (3 \times 8) = 19,875 \approx 20$

Врахувавши ізоляцію приймаємо $b_{\text{вит}} = 34 \text{ мм}$, $h_{\text{вит}} = 20 \text{ мм}$.

Довжина котушки ІКМ

$$l_{\text{кот}} = b_{\text{вит}} n / k_{\text{сл}} = 34 \cdot 36 / 2 = 612 \text{ мм} \quad (6.24)$$

Ємність конденсаторної батареї ІКМ

$$C = 10^9 Q_{\text{інд}} / (2\pi f U_1^2) = 10^9 \cdot 550 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 640^2) = 4276,35 \text{ мкф.} \quad (6.25)$$

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній бакалаврській роботі було виконано повний розрахунок проектованого ІКМ продуктивністю 25 т/год.

Виконано розрахунок ІКМ та його проектування з приведеними методиками та графічною частиною.

1. Розрахунок основних геометричних розмірів ІКМ, полягав у визначенні відповідного коефіцієнта, за допомогою якого можна розраховувати всі основні розміри ІКМ.

2. Визначено матеріальний баланс.

3. Визначено тепловий баланс, метою якого було визначення теплоти, яка одержується від трансформації електричної енергії, а також визначено термічний ККД ІКМ.

4. Виконано електротехнічний розрахунок ІКМ, до якого входять: розрахунок основних електричних і геометричних параметрів індуктора та 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 студ. 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