

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
20 т/год."

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

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

Рецензент
канд. техн. наук, старший викладач
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО
«_____» _____ 20__ р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛІВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

«_____» _____ 20__ р.

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

Криворучка Артема Васильовича

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок індукційного каналного міксера 20 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 проектного 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

_____ Артем КРИВОРУЧКО

АНОТАЦІЯ

Криворучко А. В. "Проектування і розрахунок індукційного каналного міксера 20т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024. 31с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Метою бакалаврської роботи є вивчення конструкції роботи індукційного каналного міксера та провести розрахунок його основних розмірів та електротехнічний розрахунок. Визначити матеріальний і тепловий баланси проєктованого індукційного каналного міксера.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахований та спроектований індукційний каналний міксер ємністю 20 т/год.

В розрахунок індукційного каналного міксера входять: розрахунок самого плавильного агрегату та його основних розмірів, електротехнічних параметрів, а також матеріальний і тепловий баланси.

Графічна частина включає загальний вид індукційного каналного міксера та індуктора.

індукційний каналний міксер, матеріальний баланс, тепловий баланс.

ABSTRACT

Kryvoruchko A. V. Design and calculation of induction channel mixer 20t/h., OPP – “Computer engineering of technologies, robotics and 3D printing”, Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024. 31p. Illustration materials 2 images.

The purpose of the bachelor's thesis is to study the design of the work of an induction channel mixer and to calculate its main dimensions and electrical calculations. Determine the material and heat balances of the projected induction channel mixer.

In this bachelor's qualification work, an induction channel mixer with a capacity of 20 t/h is calculated and designed.

The calculation of the induction channel mixer includes: the calculation of the melting unit itself and its main dimensions, electrical parameters, as well as material and heat balances.

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

induction channel mixer, material balance, heat balance.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНІ КАНАЛЬНІ ПЕЧІ.....	9
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИП РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ.....	12
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА.....	15
РОЗДІЛ 4. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС.....	16
РОЗДІЛ 5. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС.....	17
РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	20
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	26
ДОДАТКИ.....	27
Додаток 1. Індукційна одиниця ІКМ.....	28
Додаток 2. Загальний вид індукційний каналний міксер.....	29

ВСТУП

Сучасна техніка і особливо такі її галузі, як машинобудування, атомна, хімічна, висувають виключно високі вимоги до якостей і властивостей металів і сплавів (однорідність і точність складу, високу міцність, високотемпературність, жароміцність і т.п.), які виплавляються. Всі ці вимоги задовольняють, як правило, метали і сплави, що виплавляються в сучасній індукційній каналній печі, в якій забезпечується, як сама плавка, так і перемішування ванни, що і дозволяє підтримувати температури плавки в дуже вузьких межах.

Перемішування і відсутність температурних перепадів є тими факторами, які необхідні для отримання однорідного і точного складу сплаву, а також повторності результатів окремих плавок.

В індукційній печі легко здійснити вакуум, а також поєднувати атмосферну плавку і вакуумну обробку, як без застосування, так і з застосуванням захисної атмосфери. Вакуумна індукційна плавка дозволяє отримати добрі результати при виробництві напівпровідників, а також надміцних, високотемпературних і жароміцних сплавів. Окрім того, поєднання атмосферної індукційної плавки і вакуумної обробки під шаром захисної атмосфери дає добрі результати при виробництві безкисневої міді, яку виплавляють у відкритій індукційній печі і безперервно розливають під шаром захисної атмосфери [1].

Наряду з вказаними перевагами, що забезпечують необхідну якість литва і, при тому, з найменшими втратами легуючих елементів, індукційна плавильна піч дає найбільшу продуктивність. До цього необхідно додати більш сприятливі умови праці і більш високу продуктивність праці при індукційній плавці. Завдяки всім цим перевагам індукційну плавку з кожним роком застосовують все більш широко.

В наш час індукційні плавильні печі використовують для виплавки майже всіх металів і сплавів, за виключенням лише особливо тугоплавких, як наприклад, ніобієвих, молібденових, вольфрамових, танталових і т.п., де прийняті нові способи електронагріву – електронно-променевий і плазмовий [1,2].

У відношенні вказаних особливо тугоплавких металів і сплавів ведуться роботи по використанню індукційної плавки (так звана безтигельна плавка у вільно підвішеному в електромагнітному полі стані; метод послідовного оплавлення стержня, який швидко пересувається крізь індуктор; плавка в автотиглі і т.п.).

Все більш широке використання індукційної плавки призвело до значного прогресу в конструкції індукційних плавильних печей, а також до створення печей великої ємності.

В наш час працюють каналні індукційні печі вітчизняного виробництва для плавлення алюмінію, а також міді ємністю 16 т і тигельні індукційні печі промислової частоти ємністю 6 т для плавки алюмінієвих сплавів.

РОЗДІЛ 1. ІНДУКЦІЙНІ КАНАЛЬНІ ПЕЧІ

Перша канална індукційна піч (зі стальним сердешником) була побудована в 1890 році. Це була піч з відкритим горизонтальним каналом. Канал вміщував приблизно 90 кг рідкої сталі, з яких після розплавлення половину зливали, а половину залишали для того, щоб підтримувати замкнений вторинний ланцюг. Індуктор мав 28 витків і був виконаний із мідної трубки, що охолоджувалась водою. У трансформаторі печі був однофазний броневий магнітопровід. Канал печі представляв собою кільцеподібний жолоб із тигельної маси. Ця піч не одержала розповсюдження, тому що технологічно була дуже незручна і швидко виходила із ладу внаслідок недосконалої футеровки каналу [1].

Перша піч, яка одержала промислове використання, була побудована в 1900 р., призначалась для плавлення сталі і представляла собою піч безпосередньої індукції з горизонтальним відкритим каналом. Спочатку печі цього типу, завдяки перевагам індукційного нагріву, викликали до себе значний інтерес, тим більше, що їх почали будувати на великі ємності (до 8 т). Однак виявилися значні металургійні і електротехнічні недоліки цих печей, які обмежили їх використання і розповсюдження, що викликало необхідність в створенні інших, більш удосконалених конструкцій індукційних плавильних каналних печей. Так, в 1908 р. з'явилась піч з секціонованою первинною котушкою, створюючи яку намагалися звести до мінімуму від'ємні наслідки центробіжного ефекта.

Ще раніше, в 1906 р., з метою покращення металургійних якостей цих печей з'явилися конструкції печей з розширеним плавильним простором. Окрім того, почали будувати комбіновані печі з горизонтальним відкритим каналом і компенсуючою обмоткою для покращення електротехнічних якостей індукційних каналних печей.

Нарешті, в 1916 р., з'явилися каналні індукційні печі зі сталевим сердешником і закритим каналом для плавки латуней, які стали зразком для всіх сучасних печей цього типу.

В наш час печі з закритими каналами найбільш широко розповсюджені для плавки кольорових, важких і легких металів і сплавів, а також для отримання високоякісного чавуну. Ємність деяких таких печей досягає в наш час десятків тон. Індукційні плавильні печі зі сталевим сердешником почали будувати приблизно з 1930 р.

На сучасних підприємствах кольорової металообробної промисловості плавлення металів і сплавів ведеться, головним чином, в каналних індукційних печах зі сталевим сердешником і закритим каналом [1,2].

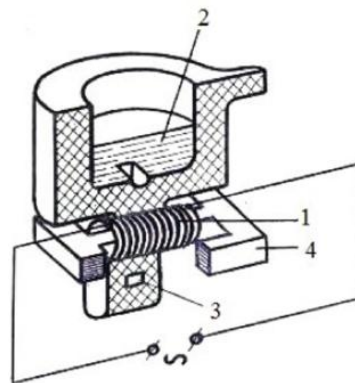


Рис. 1.1 Схема індукційно каналної печі з вертикальним плавильним каналом

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

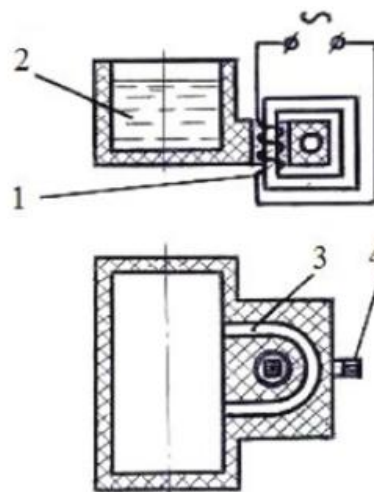


Рис. 1.2 Схема індукційно каналної печі з горизонтальним плавильним каналом

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

На рис 1.3 наведено три типи індукційно каналних печей.

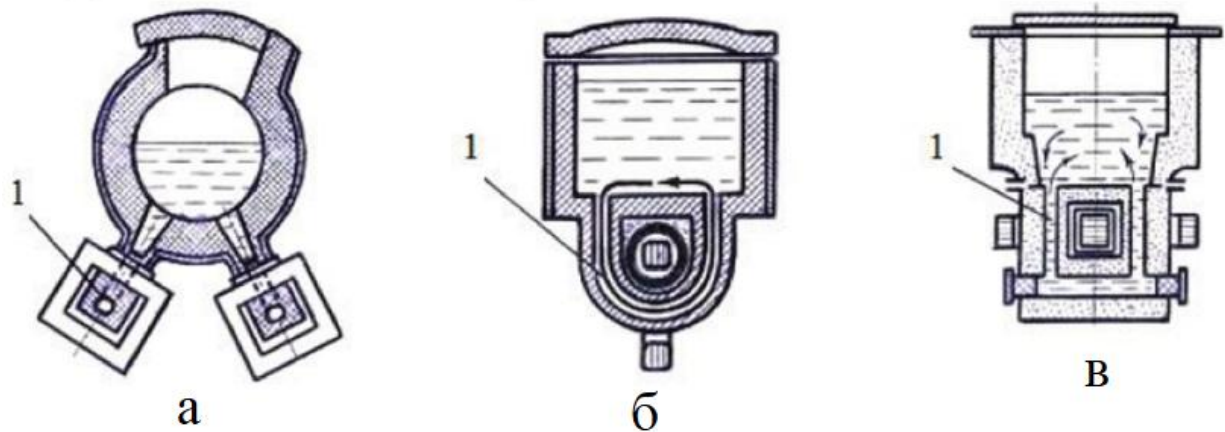


Рис. 1.3 Схеми індукційно каналних печей з вертикальним каналом
а – барабанні; *б* – вертикальні з овальним каналом; *в* – вертикальні з прямокутним каналом; 1 – індукційна одиниця

Канали прямокутної форми використовують для плавлення швидкоокислюваних металів, наприклад, алюмінієві сплави.

Для індукційно каналних печей притаманно, що ККД становить 80%. Індукційно каналні печі, це печі, які працюють безперервно і мають високу продуктивність, чистоту поверхні сплавів і мінімальні втрати.

Індукційно каналні печі застосовуються для плавлення кольорових сплавів, наприклад, мідних – це печі типу ІЛК, для плавлення алюмінію ІАК та для перегріву в міксері чавуну типу ІЧКМ.

Індукційно каналні печі складаються в основному з таких частин: шахти; каналу плавлення; магнітопроводу; індуктору. Шахта печі виконана зі сталі, під печі з немагнітних сплавів. У футеровці подової частини печі знаходиться в захисному циліндрі сердешник трансформатору з індуктором, а також вертикальні канали. Трансформатор виконаний зі спеціальної трансформаторної сталі, товщина листа якої 0,35 мм. Рідкий метал з індукційно каналної печі розливається через зливний жолоб [1, 2 ,3].

РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИП РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ

Індукційний каналний міксер призначений для накопичення визначеної кількості рідкого металу і витримки його при заданій температурі. Ємність міксера приймається не менше двочасової продуктивності плавильних печей. На рис.2.1 показана індукційна канална піч типу ІЧКМ-20, яка працює як міксер при виробництві чавуну.

Піч представляє собою горизонтально розташований циліндр з зовнішнім діаметром 3175 мм. Внутрішній діаметр печі 1465 мм. Піч має два індуктори 6, що знімаються, потужність кожного 250 кВт. Для зливання металу з печі передбачений сифонний жолоб 4. Наявність сифона виключає попадання повітря в піч і зменшує тим самим угар елементів. Нахил печі відбувається навколо поздовжньої осі, за допомогою котків, на яких стоїть сама піч. Зусилля для повертання передається від привода 3, змонтованого поряд. Для приєднання індукторів в данній частині печі є отвори, які розширені в сторону робочого простору печі, що виключає перегрів рідкого металу в цій частині печі, а відповідно покращує умови роботи футеровки. Кожний індуктор має замкнутий магнітопровід 7 і котушку 8, що охолоджується повітрям [1,2,3].

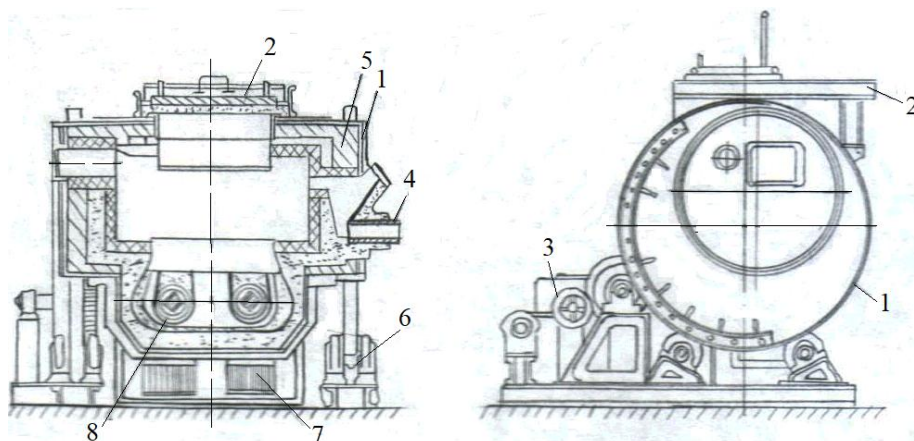


Рис. 2.1. Схема індукційного каналного міксера типу ІЧКМ-20

- 1— каркас (металевий кожух); 2 — футерована кришка; 3— механізм нахилу; 4— зливний жолоб; 5— футеровка; 6— гідроциліндр; 7— магнітопровід; 8— котушка

На рис. 2.2 та рис. 2.3 наведено індукційну каналну піч з вертикальними каналами при виробництві чавуну

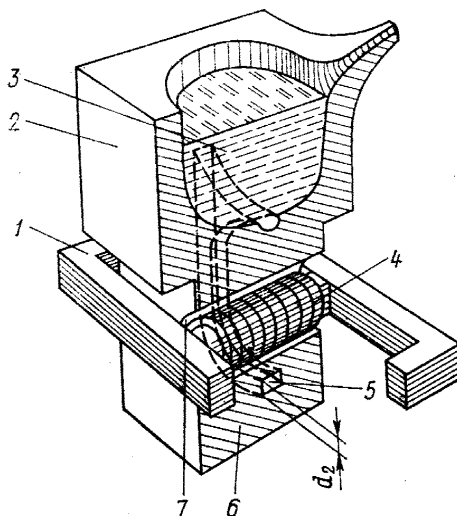


Рис 2.2. Канальна піч

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

Індукційна канална піч має основні елементи: футеровану ванну, футеровану кришку, декілька індукційних одиниць (індуктор), магнітопровід, подовий камінь, плавильний канал [1,2,3,4].

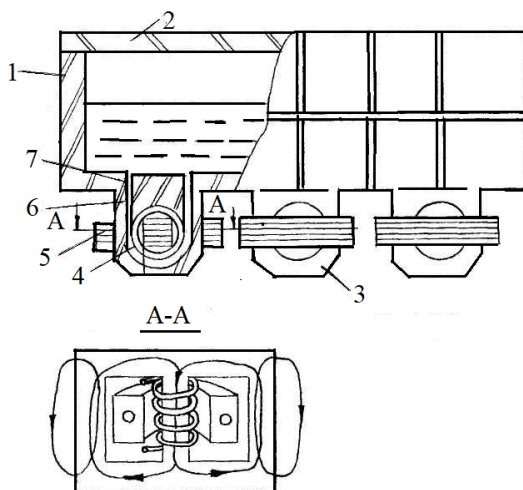


Рис 2.3. Індукційно канална піч із закритим вертикальним каналом

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

Принцип дії каналної печі побудований на тому, що змінний магнітний потік пронизує замкнутий контур, який утворений рідким металом і збуджує в цьому контурі напругу і струм.

Напруга, яка утворюється в каналі, менше напруги, яка підводиться до котушки. Сила струму, яка протікає по каналу, залежить від повного опору каналу. При протіканні струму по каналу, навколо нього утворюється магнітне поле, а відповідно і магнітний потік. Від магнітного потоку залежать індуктивна потужність і $\cos \phi$ печі. Чим більший магнітний потік каналу, тим більша індуктивна потужність.

Під час роботи печі спостерігається безперервний рух рідкого металу в каналі і в місці з'єднання каналу з ванною печі. Рух металу виникає в результаті перегріву металу в каналі, а також в результаті взаємодії магнітного поля. Температура металу в каналі на 50-150 °С вища температури металу в ванні печі, тому гарячий метал із каналу піднімається у ванну, а з неї надходить більш холодний метал. Чим більший струм в каналі, тим більша електродинамічна сила діє на метал.

При спорожненні печі нижче допустимого рівня рідкий метал викидається із каналу і відбувається самодовільне відключення печі внаслідок розриву електричного контуру, який утворюється рідким металом в каналі. Мінімальна кількість металу в печі, яка необхідна для нормальної роботи печі, визначається, виходячи з того, щоб маса стовпа рідкого металу над каналом перевищувала електродинамічну силу, яка виштовхує метал із каналу. Ця кількість металу в каналній печі називається болотом [1,2,3,4].

РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА

Проектування основних геометричних розмірів індукційного каналного міксера ємністю 20 т/год виконано на основі однотипного індукційного каналного міксера ємністю 40 т/год. Оскільки міксер, який проектується, подібний до типового, то основні розміри можна визначити за допомогою коефіцієнта, на який потім ділимо всі основні розміри індукційного каналного міксера ємністю 40 т. В результаті цього отримуємо дійсні розміри міксера, який проектується [1,5].

Коефіцієнт для визначення основних розмірів знаходиться як корінь кубічний із числа, яке дорівнює відношенню ємностей даних міксерів.

За відомими ємностями даних міксерів знаходимо коефіцієнт:

$$k = \sqrt[3]{40/20} = 1,25992105 \quad (3.1)$$

За допомогою визначеного коефіцієнта розраховуємо основні розміри міксера, який проектується. Результати розрахунків приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні геометричні розміри індукційного каналного міксера продуктивністю 20 т/год

№ п/п	Назва геометричного розміри	Відстань, мм
1.	Діаметр зовнішнього кожуха	3160
2.	Довжина і ширина завантажувального вікна	555
3.	Довжина внутрішнього простору	3100
4.	Внутрішній діаметр сифонного жолоба	216
5.	Товщина футеровки	416
6.	Діаметр внутрішнього простору	2200
7.	Зовнішній діаметр ванни	2302
8.	Рівень металу	674
9.	Рівень болота	293
10.	Габаритний розмір по висоті	4300

РОЗДІЛ 4. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС

Матеріальний баланс індукційної канальної печі включає [1,3,5]:

- 1) знаходження характеристик складових вихідних матеріалів;
- 2) показ хімічних явищ ливарного процесу; 3) показ способу складання шихти; 4) складання загального матеріального балансу.

Оскільки індукційний канальний міксер, який проектується, працює в комплексі з іншим плавильним агрегатом продуктивністю 20 т і призначений лише для перегріву чавуну, то на вході і на виході міксера буде чавун у кількості 20 т. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Матеріальний баланс міксера на один перегрів

Показник	Маса, т	В результаті отримано	Маса, т
Чавун	20	Чавун	20

РОЗДІЛ 5. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Метою розрахунку теплового балансу індукційного каналного міксеру є визначення теплоти, яка отримується від трансформації електричної енергії. Тепловий баланс виражає рівняння, яке зв'язує статті прибутку і видатку теплоти. Для даного рівняння теплового балансу статтею прибутку є теплота, яка отримується внаслідок трансформації електричної енергії, а статтями видатку буде: корисна витрата теплоти, витрата теплоти кладкою в навколишній простір, витрата теплоти випромінюванням, витрата теплоти з вибивними газами [1,3,4,6].

Таким чином, рівняння теплового балансу буде мати 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 навколишнє середовище 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 міксеру;

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

Δt_q – температура перегріву чавуну; $\Delta t_q = 150$

$$Q_1 = 20000/3600 \cdot 0,83 \cdot 150 = 692$$

Втрата теплоти через кладку в навколишнє середовище

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

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

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

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

F – зовнішня поверхня кладки, м².

Оскільки проєктований міксер барабанного типу, внутрішня поверхня і, відповідно, зовнішня поверхня кладки має циліндричну форму. З цього випливає, що площа зовнішньої поверхні кладки буде дорівнювати:

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

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

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

Знаючи основні геометричні розміри, знаходимо площу зовнішньої поверхні кладки:

$$F_{бок} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 2,302^2 / 4 = 4,15 \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

$$F_{зов} = \pi DL = 3,14 \cdot 2,302 \cdot 5,1 = 36,86 \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

$$F = 2 \cdot 4,15 + 36,86 = 45,16 \text{ м}^2 \quad (5.7)$$

Знаючи площу зовнішньої поверхні кладки, знаходимо $Q_{5кл}$:

$$Q_{5кл} = 15(90 - 20) \cdot 45,16 = 46 \text{ кВт}. \quad (5.8)$$

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

Приймаємо

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

Значення статей прибутку і видатку теплоти підставляємо в рівняння теплового балансу:

$$Q_{ел.ен.} = 692 + 46 + 0,15Q_{ел.ен.} \quad (5.10)$$

Розв'язуємо отримане рівняння теплового балансу і знаходимо $Q_{ел.ен.}$:

$$0,85Q_{ел.ен.} = 738 \quad (5.11)$$

$$Q_{ел.ен.} = 738 / 0,85 = 868 \text{ кВт} \quad (5.12)$$

Знаходимо термічний ККД міксера

$$\eta_m = Q_1 / Q_{ел.ен.} = 692 / 868 = 0,8 \quad (5.13)$$

Отримані результати теплового балансу наводимо в табл. 5.1

Таблиця 5.1

Тепловий баланс

№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт	№ п/п	Назва статті	Поз.	кВт
	Прибуток теплоти				Видаток теплоти		
1.	Теплота, яка виділяється від трансформації електричної енергії	$Q_{ел.ен}$	868	1.	Корисна витрата теплоти	Q_1	692
	Всього		868	2.	Втрата теплоти через кладку	$Q_{5кл}$	46
				3.	Втрата теплоти випромінюванням	$Q_{5випр}$	65
				4.	Втрата теплоти вибивними газами	$Q_{5виб}$	65
					Всього		868

РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

В електротехнічний розрахунок індукційного каналного міксера входить [1,3,5]:

- розрахунок основних електричних і геометричних параметрів індуктора;
- вибір трансформатора.

Розрахунок індуктора проводимо за такими вихідними даними:

- продуктивність 20 т/год;
- температура перегріву чавуну 150 °С;
- напруга електромережі 10 кВт
- частота струму 50 Гц.

Корисна теплова потужність, яка передається рідкому металу

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

$$P_{кор} = W_{теор} \Delta t \Pi = 0,23 \cdot 150 \cdot 20 = 690 \text{ кВт} \quad (6.2)$$

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

$$P = P_{кор} / \eta_{терм} = 690 / 0,8 = 862 \text{ кВт} \quad (6.3)$$

З метою запасу потужності приймаємо $P = 900 \text{ кВт}$.

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

$$P_{інд} = P / N = 900 / 2 = 450 \text{ кВт} \quad (6.4)$$

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:

$$F_{мг} = 0,3 \sqrt{10^5 P_{інд} \psi / (B j_1 \cos \varphi)} = 0,3 \sqrt{10^5 \cdot 450 \cdot 7 / (1,85 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,55)} = 431 \quad (6.4)$$

Діаметр стержня магнітопроводу

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

$$d_{мг} = 11,3\sqrt{F_{мг}/kd} = 11,3\sqrt{431/0,8} = 262 \quad (6.5)$$

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

$$d_{кот} = d_{мг} + 2(S_3 + S_{кот}) = 262 + 2(16 + 50) = 394 \text{ мм.} \quad (6.6)$$

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

$$d_{к.в.} = d_{кот} + 2(S_1 + S_2) = 394 + 2(95 + 30) = 644 \text{ мм} \quad (6.7)$$

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

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

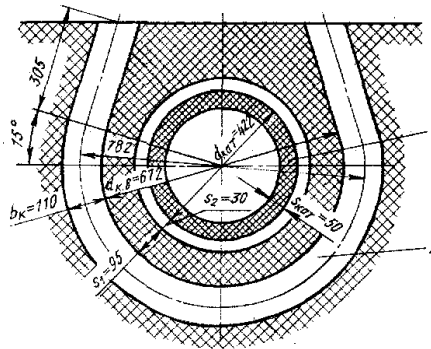


Рис. 6.1 Ескіз каналу

На рис. 6.2 наведена схема взаємодії току в каналі з магнітним полем, а на рис. 6.3 рух сплаву в індукційно каналній печі

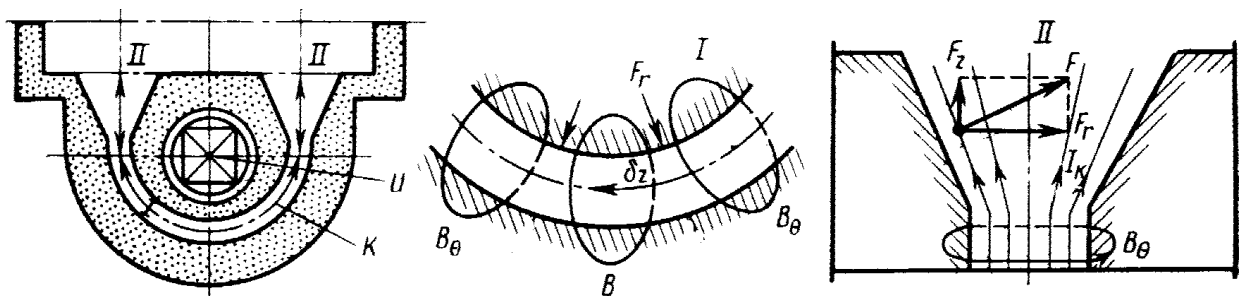


Рис. 6.2 Схема взаємодії току каналу з магнітним полем

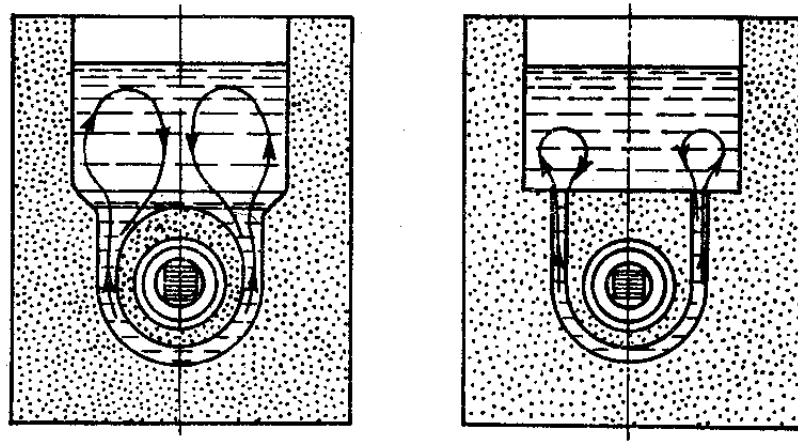


Рис. 6.3 Циркуляція сплаву в індукційно каналній печі

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

$$F_k = 10^3 P_{\text{інд}} / (j_z^2 \rho_m l_k) = 10^3 450 / [(4,2 \cdot 10^6)^2 \cdot 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88] = 0,011 \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

Форма поперечного перерізу каналу. Приймаємо канал у формі овалу з розмірами, тоді $b_k = 110$ мм, $h_k = 185$ мм, $F_k = 0,011$ м², радіус R14.

Активний опір каналу

$$R = \rho_m l_k / F_k = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,88 / 0,011 = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.8)$$

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, $lp = 1,55$, lp – коефіцієнт, який враховує розсіювання енергії індуктором в залежності від індукції в стержні

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

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

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

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

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(2,14 \cdot 10^{-4})^2 + (2,56 \cdot 10^{-4})^2} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (6.13)$$

Коефіцієнт потужності каналу

$$\cos \varphi = R/Z = 2,14 \cdot 10^{-4} / 3,33 \cdot 10^{-4} = 0,64 \quad (6.14)$$

Активна напруга в каналі

$$U_{\kappa.a.} = \sqrt{P_{\text{ind}} \cdot R} = \sqrt{450000 \cdot 2,14 \cdot 10^{-4}} = 9,81 \quad (6.15)$$

Повна напруга в каналі

$$U_{\kappa} = U_{\kappa.a.} / \cos \varphi = 9,81 / 0,64 = 15,33 \text{ В} \quad (6.16)$$

Повна потужність індуктора

$$S_{\text{ind}} = P_{\text{ind}} / \cos \varphi = 450 / 0,64 = 703 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (6.17)$$

Реактивна (індуктивна) потужність, яка виділяється в індукторі

$$Q_{\text{ind}} = \sqrt{S_{\text{ind}}^2 - P_{\text{ind}}^2} = \sqrt{703^2 - 450^2} = 540 \text{ квар} \quad (6.18)$$

Повна потужність печі

$$S = NS_{\text{ind}} = 2 \cdot 703 = 1406 \text{ кВ}\cdot\text{А} \quad (6.19)$$

Реактивна потужність печі

$$Q = NQ_{\text{ind}} = 2 \cdot 540 = 1080 \text{ квар} \quad (6.20)$$

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 450 кВт буде при подачі на котушку напруги 550 В.

$$n = U_1 / U_{\kappa} = 550 / 15,33 = 35 \text{ витків} \quad (6.21)$$

Для зменшення довжини котушки приймаємо набивку у два шари по 15 витків у кожному.

Сила струму у котушці

$$I_1 = S_{\text{ind}} / U_1 = 10^3 \cdot 703 / 550 = 1278 \text{ А} \quad (6.22)$$

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

$$F_{\text{вит}} = I_1 / j_1 = 1278 / 3 = 426 \text{ мм}^2 \quad (6.23)$$

Ширина $b_{вит}$ і висота $h_{вит}$ котушки. Для виготовлення котушки вибираємо мідний провід прямокутного перерізу 3 х 8 мм. Число проводів у витку $426 \div (3 \times 8) = 17.76 \approx 18$

З урахуванням ізоляції приймаємо $b_{вит} = 34$ мм, $h_{вит} = 20$ мм.

Довжина котушки

$$l_{кот} = b_{вит} n / k_{сл} = 34 \cdot 35 / 2 = 595 \text{ мм} \quad (6.24)$$

Ємність конденсаторної батареї

$$C = 10^9 Q_{інд} / (2\pi f U_1^2) = 10^9 \cdot 540 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 550^2) = 5685 \text{ мкф.} \quad (6.25)$$

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній бакалаврській роботі було виконано повний розрахунок проектного індукційного каналного міксеру продуктивністю 20 т/год.

До повного розрахунку входить:

1. Розрахунок основних геометричних розмірів міксеру, який полягає у визначенні коефіцієнта, за допомогою якого розраховуються всі основні розміри.
2. Тепловий баланс, метою якого є визначення теплоти, яка отримується від трансформації електричної енергії та визначення термічного ККД печі.
3. Електротехнічний розрахунок, до якого входять:
 - розрахунок основних електричних і геометричних параметрів індуктора;
 - вибір трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ, 2007. 280 с.
2. Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А., Босий М.В., Кузик О.В. Технологія основних виробництв. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
3. Павленко Т.П., Петренко О.М., Лукашова Н.П. Електротехнологічні установки: конспект лекцій для магістрів усіх форм навчання за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. 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. Навчальний посібник. 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. Навчальний посібник. Вінниця: РВВ ВНАУ. 2012. 100с.

ДОДАТКИ