

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Енергетичні установки»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Електромеханіка

За темою № 4 Індукційні нагрівальні електроустановки

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.01.2023 № 1

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 19.12.2022 № 5

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 27.01.2023 № 1

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 10.12.2022 № 8.

Розробники:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, викладач, Шокарьов Д.А..

Рецензенти:

1. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Вступ.
2. Основні поняття і визначення.
3. Вимоги до енергетичних установок
4. Питання для самоконтролю.

Література:

Основна література:

1. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського. – Вінниця, 2017. -270 с.
2. Мілих В. І. Електропостачання промислових підприємств: Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи / Третє видання, доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с.

Допоміжна література:

1. Шестеренко, В. Є. Електропостачання промислових підприємств. Посібник до курсового та дипломного проектування / Шестеренко В. Є., Шестеренко О. В. — Київ, 2015. — 424 с.
2. Електричні системи та мережі. Методичні вказівки до виконання курсового проектування районної електричної мережі для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». /Укл.: А.П. Свірідов, Т.В. Величко – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 80 с
3. Козлов В. Д. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів: підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Офіційний сайт Міністерство енергетики України <http://mpe.kmu.gov.ua/>
2. Сервер Верховної Ради України. – Режим доступу : www.rada.gov.ua.

1. Індукційні нагрівальні електроустановки.

2. Загальні відомості про індукцію

Індукційний нагрів (ВН) застосовується для:

- виплавка металів і неметалів;
- поверхнєве зміцнення;
- нагрівання виробів при пластичній деформації;
- зварювання і пайка;
- зонне очищення металів і напівпровідників;
- отримання монокристалів з тугоплавких оксидів;
- виробництво плазми.

При індукційному нагріванні в нагрітих тілах під впливом електромагнітної енергії виникають вихрові струми, які нагрівають тіло за законом Джоуля-Ленца. Індукційний нагрів застосовується в установках прямої і непрямої дії.

Принципова схема ІН наведена на рис. 4.1. Індуктор створює змінний магнітний потік і працює як первинна обмотка силового трансформатора. Нагріте тіло поміщається всередину індуктора таким чином, щоб між індуктором і корпусом залишався зазор. Нагріте тіло виконує роль вторинної обмотки трансформатора з одним к.з. оборотом. ЕРС, яка виникає в нагрітому корпусі, пропорційна магнітному потоку, і забезпечує виникнення в організмі струму, який викликає нагрівання.

$$E = 4,44Fwf,$$

де E - ЕРС, що виникає в нагрітому тілі;

F - магнітний потік, створюваний індуктором, w_b ;

w - кількість витків індуктора; f - частота мережі живлення, Гц.

Потужність, що виділяється в нагрітому корпусі, пропорційна квадрату струму і опору нагрітого тіла.

$$P = I^2 R,$$

де I - вихровий струм, що протікає в організмі, А;

R - активний опір нагрітого тіла, Ом.

Перевагами установок індукційного нагріву є:

- висока швидкість нагріву, пропорційна вхідної потужності;
- хороші санітарно-гігієнічні умови праці;
- можливість регулювання зони дії вихрових течій на дачі (ширина і глибина потепління);
- простота автоматизації технологічних процесів;
- необмежений рівень досяжних температур, достатній для нагрівання металів, плавлення металів і неметалів, перегріву, плавлення, випаровування матеріалів і виробництва плазми.

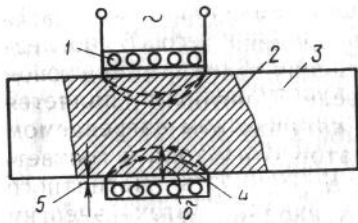


Рис. 4.1. Принципова схема ІН:

- 1 – індуктор; 2 – магнітні по струмв нагрітому тілі;
- 3 – нагріте тіло;
- 4 – індукований струм;
- 5 – повітряний прошарок

Недоліки:

- Потрібні більш складні блоки живлення;
- підвищена питома витрата ЕЕ на технологічні операції.

До особливостей індукційного нагріву можна віднести можливість регулювання просторового розташування зони протікання вихрових струмів.

Ефективність передачі енергії від індуктора до нагрітого тепла залежить від розмірів зазору між ними і збільшується при його зменшенні. Глибина нагріву тіла збільшується зі збільшенням його питомого опору і зменшується зі збільшенням частоти струму. Струм індукторів становить від сотень до декількох тисяч А при середній щільності струму $20 \text{ А} / \text{мм}^2$. Втрати потужності в індукторах можуть досягати 20-30% корисної потужності.

Індукційні електротехнологічні установки діляться на плавильні, нагрівальні і загартувальні. Печі можуть працювати на розрахунковій частоті 50 Гц, середній частоті 0, 5-10 кГц і високій частоті: від сотень до тисяч кГц.

3. Індукційні плавильні печі

Індукційні плавильні печі застосовуються для плавки чорних і кольорових металів: алюмінію, чавуну, міді, сталі. В даний час 76% куполів, 23% індукційних плавильних печей і 1% електродугових печей використовуються в чавуно- і ливарному виробництві. Спостерігається стійка тенденція до збільшення використання індукційних плавильних печей.

Індукційні плавильні печі призначені для виробництва фасонних виливків з чорних і кольорових металів. За конструкцією плавильні печі поділяються на індукційні каналні печі (ІТП) і індукційні тигельні печі (ІТП). Канальні печі мають ядро, тигельні печі виготовляються з сердечником або без нього.

Робочий процес печей характеризується: електродинамічним і термічним рухом рідкого металу в ванні або тиглі, що сприяє отриманню однорідного складу металу і рівномірному нагріванню по всьому об'єму; невеликий опік металу (в кілька разів менше, ніж в дугових печах).

Робочі температури печей:

- 750°C - для виплавки алюмінію;
- 1200°C - для виплавки міді;
- $200-1400^\circ \text{C}$ - для виплавки чавуну;
- 1600°C - для виплавки сталі.

Індукційні каналні печі використовуються для виплавки кольорових металів, високоякісних сплавів і чавуну. Печі працюють тільки на промисловій частоті.

Переваги ІТП.

1. Висока ефективність печей.

2. Висока надійність печі при використанні новітніх футеровок, високий МТБФ печі лазні - не менше 3 років.

4. У печі також відбувається велике перемішування металу без розриву оксидної плівки, що забезпечує: однаковий хімічний склад по всьому об'єму печі; однакову температуру по всьому об'єму печі; можливість затягування легуючими елементами.

4. Висока точність підтримки температури розплаву за рахунок використання вбудованого блоку контролю температури розплаву, що забезпечує зменшення дефектів лиття, за рахунок відсутності перегріву металу, збільшення терміну служби футеровки.

5. Низькі енерговитрати на плавлення металу.

6. Низька витрата охолоджуючої води в порівнянні з тигельною піччю.

7. Зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

8. Пічний фундамент не потрібно і він кріпиться до підлоги при монтажі; висока кваліфікація обслуговуючого персоналу не потрібна.

Класифікація печей:

- за кількістю фаз: одно-, дво- і трифазні;
- за конструкцією каналу - з відкритим або закритим каналом. На практиці в основному використовуються печі із закритим каналом;
- за кількістю каналів у фазі: одно-, дво- і триканальні;
- за розташуванням каналів: з вертикальними; горизонтальні; косий;
- за формою каналу: з круглим; прямокутні; Трикутний.

Будівництво. До вузлів сну ВЧД включають плавильне відділення ванни і індукційні вузли у, до складу яких входить подовий камінь із закритим каналом, магнітний сердечник і індуктор (рис. 4.2).

Пічна ванна являє собою кожух із заліза, всередині якого знаходиться футерування. Збоку від кожуха є зливний отвір.

Індукційний блок складається з індуктора, зарядженої лупи і подового каменю з плавильними каналами, що покривають індуктор. *Індуктор* по суті є первинною обмоткою трансформатора, виконаної з міді круглого, прямокутного перетину або з мідної трубки, всередині якої циркулює вода (водяне охолодження). *Магнітний сердечник* являє собою сердечник броні або стрижневого типу, зібраний з листової трансформаторної сталі. *Подовий камінь* виготовляється з бронзи або немагнітної сталі, має один або кілька каналів тепловіддачі. Канал розплавленого металу 1 являє собою короткозамкнений поворот вторинної обмотки трансформатора. У піддоні є отвір для з'єднання ванни з вогнищевим каменем. У момент плавлення розплавлений метал циркулює від каналу до ванни і навпаки. Заміна нагрітого металу на більш холодний відбувається весь час до тих пір, поки існує різниця температур між каналом і шахтою печі. Через недостатню циркуляцію металу його температура в каналі може бути на 100 - 200 К вище температури в лазні. Ця обставина в основному визначає питому потужність ВЧД, їх продуктивність, а також термін служби прокладки каналів.

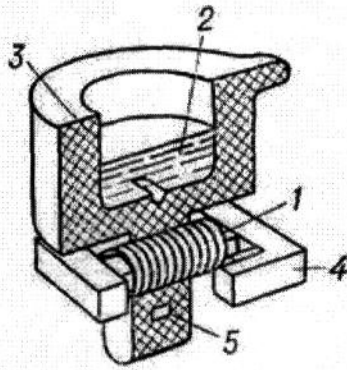


Рис. 4.2. Індукційний канал
плавильний завод:

- 1 – індуктор;
- 2 – розплавлений метал;
- 3 – ванна (шахта або тигель);
- 4 – магнітний сердечник;
- 5 – подовий камінь з каналом
тепловіддачі

Канал відведення тепла повинен постійно заповнюватися електропровідним тілом. Для початкового пуску каналних печей в канал заливають розплавлений метал або вставляють шаблон матеріалу, який буде плавитися в печі. Після закінчення виплавки метал з печі повністю не зливають, залишаючи так зване «болото», що забезпечує заповнення каналу тепловіддачі для подальшого пуску. Індукційні установки бувають одинарними і подвійними, з одним або двома каналами на індуктор (рис. 4.3). Футерування швелера виготовляється з друкованих мас різного складу, в залежності від розплавляється металу або сплаву.

Для зливу металу (рис. 4.4) через зливний носок (4) піч встановлюється за допомогою гідравлічного або електричного приводу. Завантаження печі здійснюється зверху через закритий при виплавці отвір з облицьованою кришкою (5). Підйом кришки здійснюється гідро- або електроприводом. Камінь вогнища (10) охолоджується повітрям за допомогою вентилятора (9) через зазор між індуктором і вогнищевим каменем. Електроенергія на індуктор подається по гнучких кабелях.

Принцип роботи печі. Індукційна піч - це різновид трансформатора, в якому первинна обмотка - індуктор, а вторинна обмотка і навантаження - замкнутий канал з розплавленим металом. Такий трансформатор працює в режимі короткого замикання, при якому вся вхідна енергія витрачається на нагрів металу. При включенні індуктора в мережу створюється змінний струм, що виникає в індукторі триразове магнітне поле, яке замикається через сталь сердечника. У свою чергу, змінний магнітний потік індуктує струм в металі каналу ЕРС, в результаті чого в металі каналу з'являється струм. Струм, індукований в замкнутому контурі каналу, буде виділяти тепло в каналі.

Основні різновиди каналних печей представлені на рис. 4.5.

У ВЧД шахтного типу плавильна камера має форму вертикального циліндра, в нижній частині якого кріпиться плавильний вузол (рис. 4.5, а). При розливі металу піч нахилиється за допомогою гідравлічного пристрою.

У ІСЦ барабанного типу, плавильна камера виконана у вигляді горизонтально розташованого циліндра. Вона встановлюється на цапфи або ролики з різними приводами механізму нахилу. Піч має кілька індукційних вузлів, які встановлені в нижній частині печі (рис. 4.5, б).

Двокамерні каналні печі виготовляються з похилими або горизонтально розташованими каналами, що з'єднують дві ванни, одна з них використовується як плавильна піч, а інша - як роздавальна (4.5, в).

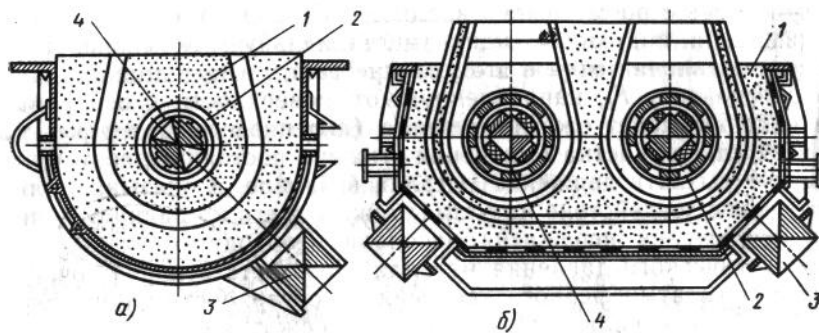


Рис. 4.4. Проектування індукційних вузлів каналних печей:

а - одиночний; б - подвійний

1 - вагонка; 2 - корпус з водяним охолодженням; 3 - магнітний сердечник; 4 - індуктор

Технічні характеристики індукційних печей. При плавленні вторинних ресурсів (дані про латунних сплавах) безповоротні втрати становлять 6-8%, продуктивність в місяць - 70-90 тонн.

Коефіцієнт потужності індукційних печей $\cos\varphi = 0,2...0,8$. Менші значення коефіцієнта потужності відповідають ВЧП для плавлення металів з низьким питомим опором (мідь, алюміній), а більші значення - для високих (сталь, чавун).

Печі живляться від мереж напругою 380 В і вище, в залежності від потужності. Печі з сердечником випускаються в одно-, дво- і трифазних потужностях до 2000 кВт. На рис. 4.7 представлена схема електропостачання промислової частоти ВП від топкового трансформатора напругою 10/0,4 кВ. Паралельно індуктору підключається батарея конденсаторів, що стоїть від постійно знаходяться на секції С і N керованих секцій С 1-С_N.

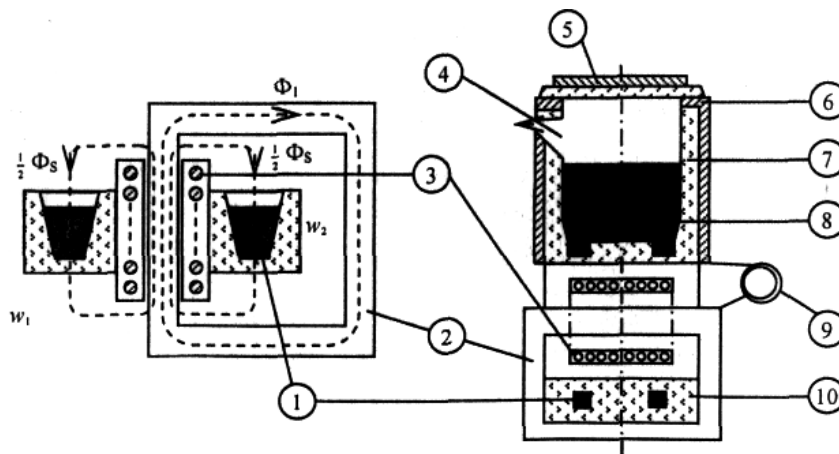


Рис. 4.4. Схема і конструкція ПВП:

1 – канал з розплавленим металом; 2 – заряджений магнітний сердечник
7 – облицьована лазня; 8 – металеві; 9 – вентилятор; 10 – подовий камінь

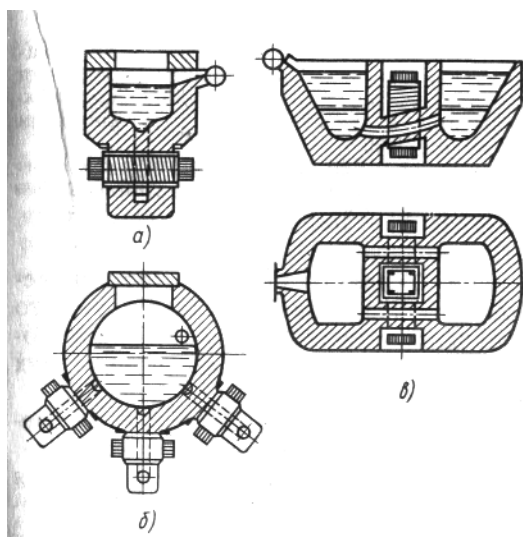


Рис. 4.5. Основні типи структур ІКП:
 а – шахта; б – барабан;
 б – двокамерний

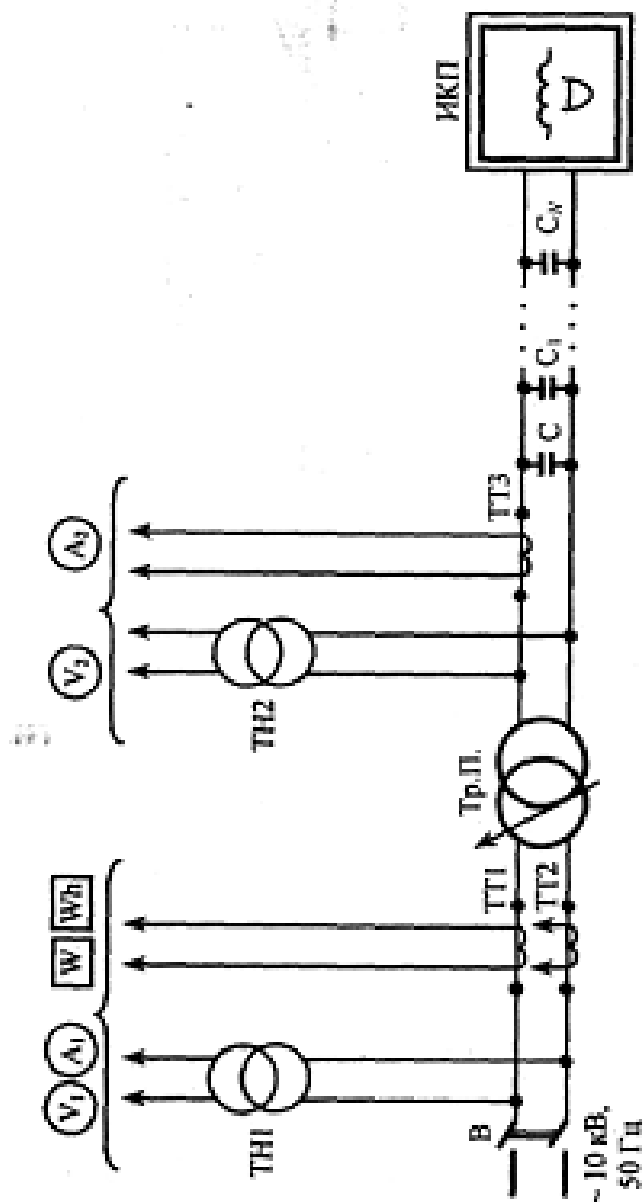


Рис. 3.7. Принципиальна електрична схема живлення ІКП
промислою частотою

Таблиця 4.1 Вимоги до ресурсів за компонентами
Технічні характеристики деяких сучасних МЦП

Параметр	Марка печі					
	ПЛ1К- 0,25	ПБ1К- 0,25	ПЛ1К- 0,7	ПБ1К- 0,7	ПЛ1К- 1,2	ПБ1К- 1,2
Номінальна ємність Квт	60	60	130	130	130	130
Максим. температура, °С	1100	1300	1300	1300	1300	1300
Напруга, В	380/220			380		

Закінчив. 4.1

Параметр	Марка печі					
	ПЛ1К- 0,25	ПБ1К- 0,25	ПЛ1К- 0,7	ПБ1К- 0,7	ПЛ1К- 1,2	ПБ1К- 1,2

Кількість фаз	1	1	3	3	3	3
Місткість печі, кг	250	250	700	700	1200	1200
Маса печі, т	3	3	4	4	4	4

Індукційні тигельні печі (ІТП) застосовуються для швидкісної плавки чорних і кольорових металів, для плавки чорних металів. Печі працюють на різних частотах: промислових (50 Гц); середніх (0, 5-10 кГц) і високих (сотні тисяч кГц).

Робота без жильних печей заснована також на трансформаторному принципі передачі енергії шляхом індукції від первинного контуру до вторинного контуру. Електрична енергія змінного струму, що подається в піч, перетворюється в електромагнітну енергію, яка по вторинному контуру перетворюється в електричну, а потім в теплову. Обмотка - це індуктор, вторинна обмотка і навантаження - розплавлений метал, завантажений в тигель і поміщений всередину індуктора. Магнітний потік проходить через сам заряд, тому магнітні властивості, а також розмір і форма заряду, що завантажується, мають велике значення. Магнітна проникність для феромагнітних матеріалів досить висока і постійна за величиною до температури 740-770 ° С. У цьому випадку заряд одночасно грає роль відкритого сердечника. Після того, як температура розплавленого матеріалу перевищує задані значення, робота печі стає аналогічною роботі трансформатора без сердечника. Величина ЕРС в кожному витку пропорційна частоті і величині магнітного потоку. При відсутності сердечника провідність для ліній магнітного поля зменшується, тому частоту змінного струму збільшують.

На рис. На рисунку 4.8 представлений безжильний ІТП, який складається з індуктора (1), підключеного до джерела живлення змінного струму, розплавленого металу (2), розташованого всередині тиглоплавкого тигля (3). У тигельних печах великої потужності передбачений зовнішній магнітний сердечник (рис. 4.9). У тигель можна завантажити будь-який заряд: відходи ливарного виробництва, злитки, дрібні відколи і т. Д.

Індуктори виготовляються з мідної трубки (круглого або квадратного перетину), охолодженої водою, нанесеної в один шар. Обмотка складається з декількох змійовиків, які мають роздільне водяне охолодження. Печі можуть працювати як зі сплавом, так і без нього (25-30% від ємності тигля).

У високопотужних ІТП використовуються блоки живлення промислової частоти, середньої і малої ємності - високої і високої частоти.

Неелектропровідні тиглі виготовляються з кварцитових, магнезитових, цирконієвих матеріалів. Вони розміщені всередині індуктора, не поглинають енергію магнітного поля і при цьому є теплоізоляторами між розплавленим металом і охолодженими стінками індуктора.

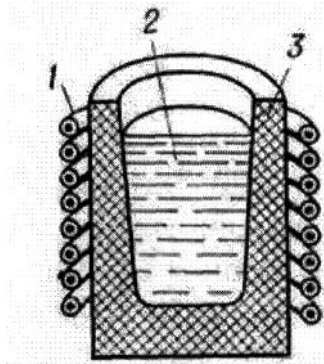


Рис. 4.8. Індукційна тигельна піч:

- 1 – індуктор;
- 2 – розплавлений метал;
- 3 – тигель

Конструкції тигельних печей показані на рис. 4.9-4.1 1.

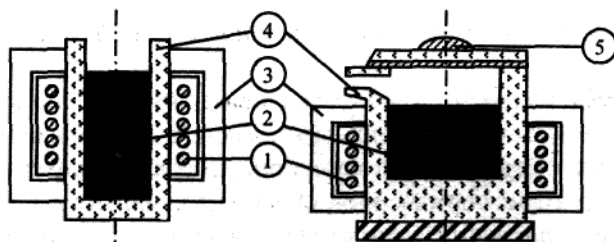


Рис. 4.9. Схема і конструкція індукційної тигельної печі:

- 1 – індуктор; 2 – розплавлений метал; 3 – магнітний сердечник;
- 4 – вогнетривкий тигель; 5 – кришка підйомника

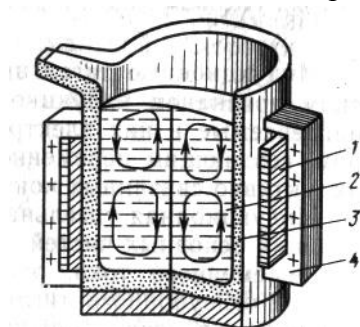


Рис. 4.10. Напрямок струмів в розплавленому металі

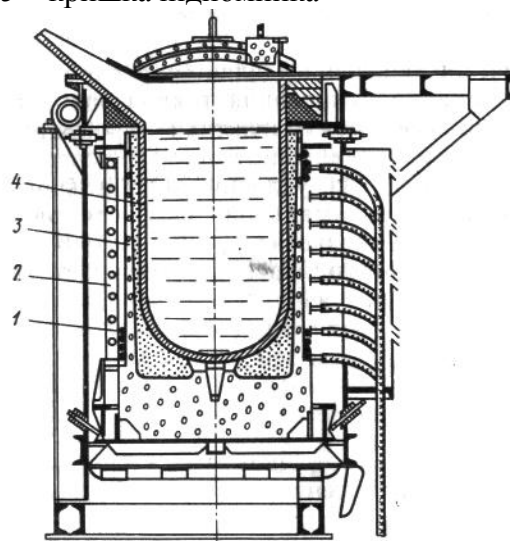


Рис. 4.1 1. Індукційна тигельна піч зі сталевим тиглем для магнієвої плавки:

- 1 – індуктор; 2 – магнезитовий трубопровід;
- 3 – друкована підкладка; 4 – сталевий тигель

Електропровідні тиглі виготовляються з жароміцних сталей, легованих чавунів і графітів. Вони поглинають більшу частину енергії змінного електромагнітного поля. Нагрівання перед плавленням відбувається непрямым: випромінюванням (для заряду, подрібненого з невеликим коефіцієнтом наповнення), а потім контактним. Зовнішні стінки таких тиглів повинні бути ізольовані від внутрішніх стінок індуктора.

Технічні характеристики печі.

Загальний ККД тигельної печі становить 0,48-0,68. Коефіцієнт потужності ІТП $\cos\varphi = 0,05-0,4$. Конденсатори потрібні для компенсації реактивної потужності. Мінімальний ККД ІТП може досягати 4500. кВт·А

Всі плавильні печі відносяться до електроприймачів II категорії за ступенем надійності електропостачання.

Високочастотні і високочастотні установки живляться від тиристорних або машинних перетворювачів індукторного типу.

Індукційні тигельні печі середньої частоти нового покоління. Російська електротехнологічна компанія розробила ряд індукційних тигельних печей середньої частоти (ІПСЧ) для швидкорізальної плавки чорних і кольорових металів, що відповідають сучасним вимогам металургійного і ливарного виробництва. Кращі експлуатаційні показники ІПСЧ багато в чому визначаються оптимальним вибором геометричних параметрів індуктора, частотою струму збудження і питомою активною потужністю плавки певного металу, а також фізичними характеристиками і товщиною Підкладку.

Для виплавки чорних металів завод випускає тигельні печі серії ВЕС продуктивністю від 60 до 400 кг, що працюють на частоті 2400 Гц. Технічні характеристики цих печей наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 Вимоги до ресурсів за компонентами

Тип обладнання	Ємність тигля, т	Частота, Гц	Номинальна потужність, кВт	Час виплавки чавуну, хв.	Питома витрата ел. енергія, кВт*год/т
ІПП-0,06-2,4	0,06	2400	100	45	540
ІПП-0, 16-2,4	0,16	2400	160	55	550
ІПП-0,25-2,4	0,25	2400	250	55	550
ІПП-0,40-2,4	0,40	2400	320	75	560

При високих питомих потужностях в 800-1000 кВт / т забезпечується висока швидкість підвищення температури металу (оптимальні її значення - 30-35 ° С / хв), що скорочує цикли виплавки чавуну до 45 хвилин при питомих енерговитратах близько 560 кВтг / т. Печі цієї серії мають міцну конструкцію, каркас якої виконаний з нержавіючої сталі. Індуктор виконаний з прямокутної мідної трубки. Товщину стінки труби вибирають виходячи з умов міцності і мінімізації електричних втрат. Витки індуктора закріплюються на вертикальних стовпах ізоляції. Ізоляція індуктора виконана таким чином, щоб забезпечити виділення вологи назовні при сушінні «мокрих» накладок. Подіумна частина печі виконана з литого армостійкого бетону. Розташування індуктора щодо тигля вибирається так, щоб мінімізувати знос футерування у верхній зоні при збереженні гарантованого перемішування металу.

Для цих обсягів і робочої частоти в конструкції печей не передбачена установка магнітних жил, тому для зменшення нагріву за рахунок розсіювання полів елементи корпусу виготовляють з немагнітних металів.

Індукційні печі серії ІПММ розраховані на виплавку чорних металів обсягами від 1 до 10 тонн. Печі цієї серії працюють на частотах 200,1000 Гц, їх технічні характеристики наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 Вимоги до ресурсів за компонентами

Тип обладнання	Ємність тигля, т	Частота Гц	Номінальна потужність, кВт	Час виплавки чавуну, хв.	Питома витрата ел. енергія, кВт*год/т
ПММ-1,0-1,0	1,0	1000	750	60	540
ПММ -2,5-0,5	2,5	500	1100	80	560
ПММ -6,0-0,25	6,0	250	7000	60	530

Із зовнішнього боку індуктора встановлюються магнітні сердечники для підвищення сили магнітного поля в зоні розплаву металу і підвищення ефективності роботи печі і, як наслідок, зниження споживання електроенергії до 500-520 кВт *год / т. Для зниження тепловтрат в печах цієї серії над тиглем встановлюється кришка з гідравлічним поворотним механізмом.

Для плавки стружки кольорових металів використовуються індукційні печі з завантажувальним ковпаком і ваговим пристроєм. Індігайська піч характеризується вогнетривким ковпаком з центральною трубкою подачі стружки безпосередньо в розплав. Її розміри забезпечують адекватне згоряння будь-яких емульсій, що містять вуглеводні, без будь-яких додаткових втрат металу. Геометричні та електричні характеристики печі забезпечують ефективне змішування стружки з розплавом в центрі ванни, вільної від Шлак. Піч оснащена ваговим пристроєм, який автоматично контролює завантаження і вихід. Додаткові контрольні пристрої, необхідні спеціальними процесами, можуть поставлятися, якщо піч інтегрована в існуючу виробничу лінію.

Технічні дані низькочастотної тигельної печі:

- тип печі: гідравлічно похилий;
- потужність 200–3600 кВт;
- Місткість 0,8-15 т.

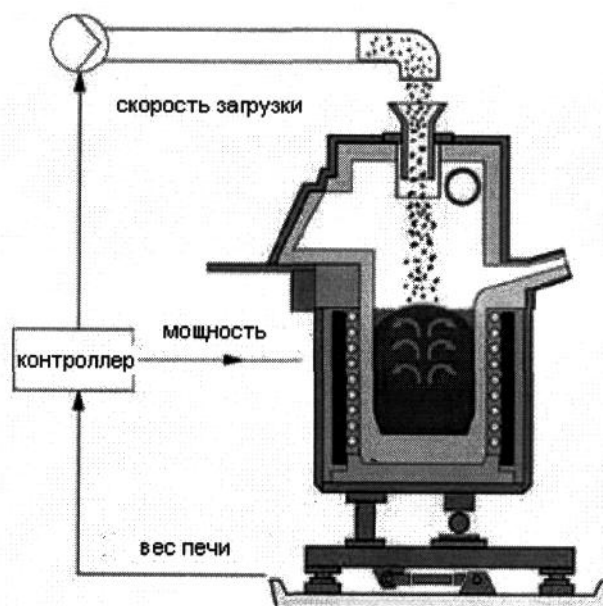


Рис. 4.12. Індукційна піч ІНДУГА

4. Індукційні нагрівальні установки

Індукційні нагрівальні установки (ІНУ) широко застосовуються в різних технологічних процесах в машинобудуванні та інших галузях промисловості. Вони діляться на два основних види: *наскрізні і поверхневі нагрівальні агрегати*.

Установки для загартовування і наскрізного нагріву, в залежності від призначення, живляться від мереж змінного струму на частоті від 50 Гц до сотень кГц. Високочастотні агрегати живляться від тиристорних або машинних перетворювачів. Установки відносяться до електроприймачів II категорії за ступенем надійності електропостачання.

У порівнянні з іншими видами опалення (в полум'яних печах і печах резисторного нагріву), індукційний нагрів має невеликий прогорання металу і меншу дефектність за рахунок попадання накипу в оброблюваний продукт. Індукційні через нагрівальні агрегати використовуються для нагріву заготовок для подальшої пластичної деформації: кування, штампування, пресування, прокатки і т.д. Залежно від геометричних параметрів нагрітих деталей і їх матеріалу джерела живлення індукційних установок виготовляються на частоті 50-10 000 Гц. Для наскрізних нагрівальних установок робоча частота підбирається так, щоб тепло виділялося шаром достатньої товщини по перетину деталі при відсутності великого температурного градієнта між поверхнею і шаром певної товщини. При цьому буде менше перегріву поверхніпаркану і більш висока ефективність установки.

За режимом роботи наскрізного нагрівального агрегату поділяють на **періодичні і безперервні установки**.

У **пакетних** установках - нагрівається тільки одна заготовка або її частина. При нагріванні заготовок з магнітного матеріалу змінюється споживана потужність: спочатку вона збільшується, а потім, при досягненні точки Кюрі, зменшується до 60-70% від початкової. При нагріванні заготовок з кольорових металів потужність в кінці нагріву трохи збільшується за рахунок збільшення питомого електричного опору.

У **безперервних** установках є кілька заготовок, розташованих одночасно в поздовжньому або поперечному магнітному полі (рис. 4.14). В процесі нагріву вони рухаються по довжині індуктора, нагріваючись до заданої температури. У нагрівачах безперервної дії більш повно використовується потужність блоку живлення, так як середня потужність, споживана ними від джерела живлення, вище середньої споживаної періодичним нагрівачем потужності. Дії.

Нагрівачі безперервної індукції мають більш високий ККД блоку живлення. Продуктивність вище, ніж у пакетних установок. Можливе живлення декількох нагрівачів від одного джерела, а також підключення декількох генераторів до одного нагрівача, що складається з декількох секцій (рис. 4.14 в)

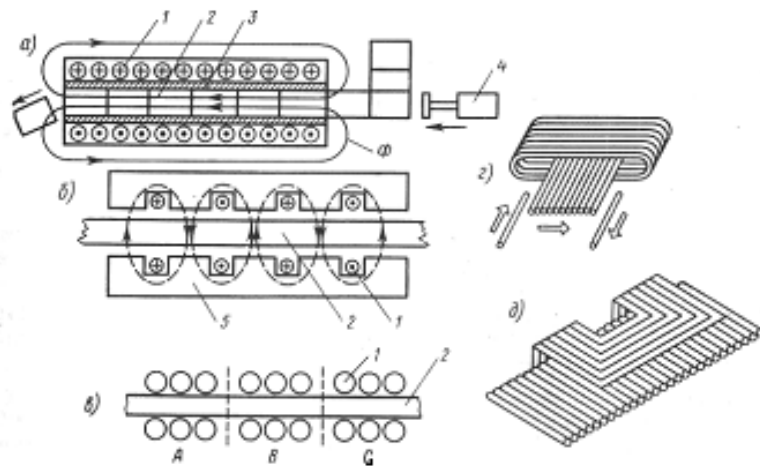


Рис. 3.14. Схеми індукційних нагрівальних установок
непрерывного действия в поперечном (а, в, г) и продольном магнитном
поле. 1-индуктор; 2- нагреваемое тело; 3- теплоизоляция; 5-магнитопровод

Конструкція індуктора для наскрізного нагріву залежить від форми і розмірів деталей. Індуктори виконують круглий, овальний, квадратний або прямокутний перетин. Для обігріву торців заготовок виготовляють індуктори з щілинними або петлевими (рис. 4.15, г, е).

Індукційний нагрів поверхні супроводжується проявом поверхневого ефекту і ефекту близькості. Завдяки ефекту поверхні струм в нагрітому продукті розподіляється нерівномірно. Найбільша щільність струму відбувається в поверхневих шарах виробу. При використанні високої частоти в поверхневих шарах можна отримати великі щільності струму, що забезпечують швидке нагрівання металу.

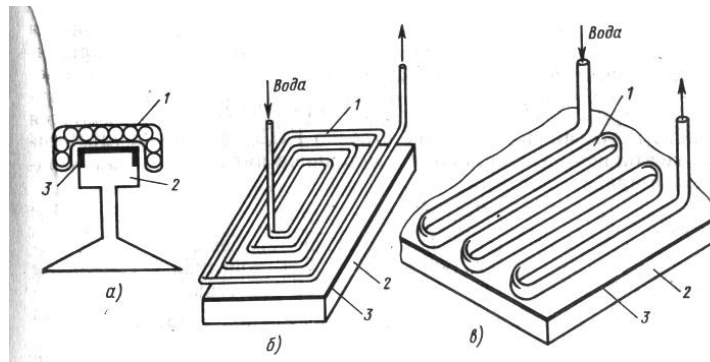
Індукційні нагрівальні установки поверхні використовуються для нагріву деталей для подальшої термохімічної обробки (зміцнення, цементация, азотування та ін.).

Індукційне зміцнення полягає в швидкому нагріванні поверхні виробу з подальшим швидким охолодженням на повітрі, воді або маслі. При цьому поверхня набуває високу твердість і здатність добре працювати на тертя, а «сира» (м'яка) сердечник забезпечує високу стійкість до ударних навантажень. При такому нагріванні можна значно зменшити обсяг нагрітого металу (в порівнянні з наскрізним нагрівом) і значно знизити витрату електроенергії.

Необхідність підтримки високої електричної і теплової ефективності системи корпусу з підігрівом індуктора обумовлює виключно велику кількість форм і розмірів індукторів. Схеми деяких індукторів поверхневого нагріву наведені на рис. 4.15 а-с. Між індуктором і вогнетривким циліндром укладається шар теплоізоляційного матеріалу, який знижує тепловтрати і захищає електричну ізоляцію індуктора.

Індукційні установки мають, як правило, низький коефіцієнт потужності, а його значення варіюються в досить широких межах в залежності від частоти струму, зазору між індуктором і виробом, магнітної проникності, питомого опору і розмірів нагрітих продуктів. Залежність коефіцієнта потужності від частоти струму і діаметра нагрітих продуктів дозволяє правильно підібрати реактивну потужність компенсуючого конденсатора батареї, керуючись не

тільки мінімальним енергоспоживання, а також зниження витрат на установку і скорочення необхідних виробничих площ.



4.15. Технологічні схеми поверхневої індукції опалення: 1 – індуктор; 2 – нагрітий продукт; 3 – нагрітий шар виробу

5 Діелектричні нагрівальні установки

У діелектричних нагрівальних установках нагрітий матеріал поміщається в електричне поле конденсатора і нагрівання відбувається за рахунок струмів зміщення. Ця група установок широко використовується для склеювання і сушіння деревини, нагрівання прес-порошків, пайки і зварювання пластмас, стерилізації виробів і т.д. Харчування здійснюється змінним струмом частотою 20-40 МГц і вище. Установки відносяться до електроприймачів II категорії за ступенем надійності електропостачання.

Застосування електричного струму, що проходить через діелектрики і напівпровідники в змінному електричному полі, є основою діелектричного нагріву, що має переваги перед іншими способами нагріву. Це швидкість, рівномірність і висока продуктивність. З енергетичної точки зору такий обігрів є найбільш ефективним, так як при його проведенні вся енергія вводиться в масу нагрітого матеріалу.

За технологічними особливостями височастотні нагрівальні установки діляться на три типи.

Установки першого типу використовуються в процесах промислової переробки великогабаритних виробів, що вимагають швидкого нагрівання в однорідному електричному полі: сушка вовняних або бавовняних волокон, целюлози і лісоматеріалів, випал великих електричних ізоляторів і порцелянових виробів, виробництво звуко- і теплоізоляційних матеріалів, зварювання пластмас і полімерних плівок.

Установки другого типу використовуються для нагрівання екстенсивних плоских виробів: сушка текстильного волокна, візерунки на тканинах, папір, фотоплівка, хімічні та фармацевтичні препарати, полімеризація клеїв, нагрівання гуми, пастеризація та ін.

В установках третього типу здійснюються процеси, що не вимагають швидкого і рівномірного нагріву: розморожування продуктів, нагрівання і швидке приготування посуду, випал простих керамічних виробів, сушка грибів, чаю та ін.

Застосування якісного опалення дозволяє підвищити якість продукції, що випускається, прискорити технологічні процеси і отримати велику економію при масовому виробництві, незважаючи на високу вартість обладнання.

5 Питання для самоконтролю

1. Дати поняття фізичному значенню індукційного нагріву і глибини проникнення електромагнітної хвилі в метал.
2. Привести і описати графіки зміни питомого електричного опору, магнітної проникності і глибини проникнення електромагнітної хвилі в метал залежно від температури для сталі і міді.
3. Описати конструкцію і призначення індукційних печей каналного типу. Привести ескіз печі з вертикальними каналами. Детально описати особливості печей для плавки томпаку.