

Міністерство освіти і науки України  
Кіровоградський національний технічний університет

# **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ ТА ПРИСТРОЇ**

Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання  
контрольних завдань студентів за напрямком  
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Кіровоград 2014

Міністерство освіти і науки України  
Кіровоградський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики  
Кафедра електротехнічних систем та  
енергетичного менеджменту

# **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ ТА ПРИСТРОЇ**

Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання  
контрольних завдань студентів за напрямком  
6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

*Ухвалено  
на засіданні кафедри  
"ЕТС та ЕМ"  
Протокол № 15 від 28.05.2014 р.*

Кіровоград 2014

Методичні вказівки для виконання контрольних та самостійних робіт з навчальної дисципліни «Електротехнологічні установки та пристрої» для студентів за напрямком 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Укл.: П. Г. Плешков, Р. В. Телюта - Кіровоград: КНТУ, 2014 - 79с.

Укладачі: доцент, к.т.н., П.Г. Плешков

ст. викл., к.т.н. Р.В. Телюта.

Рецензент проф., д.т.н. С.І. Осадчий.

## **Зміст**

Вступ	3
1. Загальні положення	4
2. Зміст та робоча програма курсу	6
Література	16
3. Програма дисципліни і методичні вказівки по темам	
3.1 Вступ. Класифікація електротехнологічних установок	17
3.2 Установки електродугового нагрівання	21
3.3 Електрозварювальні установки	24
3.4 Установки електронагрівання опором	29
3.5 Електролізні установки	
3.6 Установки для розмірної електрохімічної обробки матеріалів	35
3.7 Електрофізичні установки	39
3.8 Установки індукційного та діелектричного нагрівання	42
3.9 Електронно-іонні установки	54
4. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт	61
Задача 1	63
Задача 2	70
Задача 3	71
Задача 4	74

## **Вступ**

Виробнича діяльність людини і її побут нестримно наповнюються електротехнологічними установками (ЕТУ). Сфера застосування цих установок з кожним роком розширюється і електротехнологія витісняє багато традиційних технологічних процесів. Розвиток електротехнологічних процесів забезпечується розвитком енергетики країни, будівництвом, реконструкцією та модернізацією нових підприємств, заводів, електростанцій, спорудженням потужних ліній електропередач. Більшість електротехнологічних процесів енергоємні і тому електротехнологічні установки є найбільш суттєвими споживачами електричної енергії.

Під електротехнологією розуміється галузь електротехніки, яка вивчає пряме використання енергії електричного струму, електричного або магнітного полів, що підводиться безпосередньо до технологічного об'єкту і перетворюється в його робочій зоні в інші види енергії для їх використання, в результаті чого забезпечується реалізація заданого технологічного процесу. Електротехнологічні процеси є енергоємними процесами, тому підвищення рівня ефективності використання електричної енергії в цих процесах являє собою важливу ланку в реалізації задач економіки електротехнології. Електротехнологічні установки отримали широке розповсюдження в чорній і кольоровій промисловості, машинобудуванні, хімічній і ряду інших галузей промисловості.

Ефективне виконання електротехнічних процесів, а також їх удосконалення нерозривно пов'язано з автоматизацією, успішне використання якої засновано на глибокому розумінні фізичних процесів, що відбуваються в установках. Тому при проектуванні і експлуатації систем електропостачання з необхідною надійністю, якістю електроенергії і раціональним режимом електроспоживання необхідно мати глибокі фізичні уявлення про технологію перетворення електричної енергії в інші види, сфери застосування і перспективах розвитку ЕТУ, їх електричних режимах, обумовлених особливостями перетворення енергії і характером технологічного режиму, про конструктивні особливості електрообладнання систем автоматизації і електропостачання, а також шляхи раціонального перетворення електричної енергії, екологію та безпеку праці.

## **1. Загальні положення**

Дисципліна «Електротехнологічні установки та пристрої» одна з основних дисциплін, яка базується на вивченому матеріалі попередніх курсів: «Фізика», «Хімія», «Теоретичні основи електротехніки», «Промислова електроніка», «Електричні машини», «Електротехнічні матеріали», «Електричні апарати», «Електричні мережі і системи», «Електрична частина станцій і підстанцій», «Перехідні процеси в системі електропостачання», «Математичні методи і моделі», «Автоматизований електропривод», «Типовий електропривод промислових установок», «Теплоенергетичні установки», «Загальна теплотехніка», «Електропостачання промислових підприємств», а також при виконанні курсового і дипломного проектів за фахом.

Мета курсу - формування знань по фізичних основах, принципах дії, схемних і конструкторських рішеннях та управління роботою основних промислових типів електротехнологічних установок електродугового нагрівання, електрозварювальних, електронагрівання опором, електролізних, для розмірної електрохімічної обробки матеріалів, електрофізичних, електронно-іонних, для індукційного і діелектричного нагрівання та особливостям режимів роботи їх в системах електропостачання.

Завдання курсу - засвоєння понять і механізмів перетворення електричної енергії в інші види енергії; вивчення суті процесів, що відбуваються в різних середовищах під впливом перетвореної енергії; розгляд структури електротехнологічних установок і пристроїв, що використовуються в різних галузях промисловості, та їх режимів роботи; привести зразки, конструкції та способи раціональної експлуатації електротехнологічних установок різних видів та призначення.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

- знати: закономірності перетворення електричної енергії в технологічних установках, структуру та функції установок і пристроїв різних типів і призначень, галузь їх використання; закономірності і процеси перетворення електричної енергії в інші види енергії, структуру і функції установок цих типів перетворення.

- вміти: знаходити оптимальні і якісні режими технологічних установок, розрахувати потужність і кількість пристроїв, що потрібні для побудови конкретної технологічної системи; розраховувати потужність пристроїв, що складають конкретну технологічну систему; розраховувати параметри і робочі режими установок теплової, механічної, фізичної та хімічної дії, необхідні для проведення технологічного процесу даного типу.

У відповідності з учбовими планами курс ЕТУ поділяється на години самостійної роботи та години аудиторних занять, що

складаються з лекційних та лабораторних занять. Передбачено виконання контрольних робіт на протязі семестру, контрольне тестування знань студентів по курсу, залік по лабораторним роботам та екзамен з дисципліни.

Основна форма вивчення даного курсу це самостійна робота, для полегшення якої матеріал розбитий на окремі теми, до кожної з яких дані методичні вказівки, питання для самоперевірки і рекомендована література.

Курс рекомендується вивчати послідовно по темах програми. Після ознайомлення зі змістом програми і методичними вказівками слід опрацювати матеріал по вказаній літературі. Деякі питання в одному підручнику можуть викладатися коротко або зовсім бути відсутнім, тому при вивченні курсу необхідно користуватися декількома підручниками. При цьому опрацьований матеріал необхідно обов'язково конспектувати. Якщо виникнуть питання, які неможливо вирішити самостійно, слід звернутися за усною або письмовою консультацією до викладача. Після вивчення матеріалу слід перевірити, чи правильно зрозумілі і чи добре засвоєні найбільш суттєві положення теми. Для цього необхідно відповісти на питання для самоперевірки, приведені у кінці кожної теми.

Вивчаючи курс, студенти виконують лабораторні роботи, мета яких глибше засвоїти теоретичний матеріал і навчитися самостійно робити розрахунки і проводити експерименти. Для підготовки лабораторних робіт користуються методичними вказівками по виконанню лабораторних робіт. Після виконання лабораторних робіт студенти здають залік. При цьому вони повинні знати теоретичні положення, методику проведення дослідів, їх фізичний зміст і практичне значення отриманих результатів.

В процесі вивчення курсу студенти виконують контрольні роботи.

До здачі екзамену допускаються студенти які не мають пропуски занять, мають конспект лекцій, вчасно виконали і захистили контрольні та лабораторні роботи.

## **2. Зміст та робоча програма курсу**

№ теми	Назва теми та її зміст	Кількість годин	Кількість годин самот. роботи
1	2	3	4
	<b>Вступ</b>	7	6
	Предмет та значення дисципліни, його місце та роль в загальній системі підготовки спеціаліста. Класифікація електротехнологічних установок. Застосування електроенергії в технологічних процесах. Схема перетворення енергії в електротехнологічній установці.		
1	<b>Установки електродугового нагрівання</b>	19	18
	Дугові сталеплавильні печі. Електричні схеми та основне електрообладнання. Основні режими роботи, електричні параметри та характеристики. Рудно-термічні печі. Вакуумні дугові печі. Установки електродугового нагрівання як приймачі електричної енергії.		
2	<b>Електрозварювальні установки</b>	18	17
	Дугові електрозварювальні установки. Класифікація зварювальних дуг та їх характеристики. Класифікація, основні параметри, вимоги та характеристики. Зварювальні випрямлячі та генератори постійного струму. Зварювальні трансформатори для ручного зварювання. Зварювальні випрямлячі однопостові. Зварювальні випрямлячі багатопостові. Установки для аргонодугового зварювання. Зварювальні генератори постійного струму. Контактні електрозварювальні установки. Класифікація видів контактного зварювання. Електрообладнання та схеми електрозварювальних установок для контактного зварювання. Електрозварювальні установки для спеціальних видів зварювання. Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії.		
1	2	3	4
3	<b>Установки електронагрівання опором</b>	28	18



	Визначення, класифікація та основи теорії установок електронагрівання опором. Установки прямого електронагрівання. Контактні установки прямого електронагрівання. Установки непрямого електронагрівання. Класифікація електричних печей опору непрямого нагрівання. Матеріали, що використовуються при виготовленні електричних печей опору непрямого нагрівання. Теплоізоляційні матеріали. Вогнетривкі матеріали. Жаротривкі матеріали. Матеріали для нагрівальних елементів. Камерні електропечі опору непрямого нагрівання. Камерні електропечі з висувним піддоном. Електропечі шахтні, ковпакові штовхальні, конвеєрні, барабанні, рольгангові, протяжні карусельні електропечі. Установки електро-нагрівання опором як приймачі електричної енергії.		
4	<b>Електролізні установки</b>	17	16
	Основи теорії електролізу. Електролізні установки для отримання чистих металів і газів. Електролізні установки для отримання чистих металів із водних розчинів. Електролізні установки для отримання чистих металів із розплавлених сполук солей. Електролізні установки для отримання чистих газів. Джерела живлення електролізних установок для отримання чистих металів і газів. Електролізні установки для гальваностегії. Електролізні установки для гальванопластики. Джерела живлення для електролізних установок гальванотехніки. Електролізні установки як приймачі електричної енергії.		
5	<b>Установки для розмірної електрохімічної обробки матеріалів</b>	19	18
	Принцип дії та класифікація установок для розмірної електрохімічної обробки. Установки для розмірної електрохімічної обробки в стаціонарному електроліті. Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки. Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки різанням. Установки для розмірної електрохіміко-механічної обробки. Установки для чистової анодно-механічної		
1	2	3	4
	обробки. Установки для чорнової анодно-механічної		

	обробки. Установки для розмірної електрохімічної обробки як приймачі електричної енергії.		
6	<b>Електрофізичні установки</b>	26	24
	<p>Визначення та класифікація електрофізичних установок.</p> <p>Електророзрядні установки. Електроерозійні установки. Основи теорії електроерозійної обробки металу. Генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки. Класифікація генераторів імпульсів. Приводи установок для електроерозійної обробки. Зразки установок для електроерозійної обробки.</p> <p>Променеві установки. Електронно-променеві установки. Принцип дії та типові технологічні процеси. Зразки електронно-променевих установок. Принцип дії, класифікація та типові технологічні процеси. Зразки плазмових установок.</p> <p>Лазерні установки для електрофізичної обробки. Принцип дії та класифікація лазерних установок. Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів. Зразки обладнання для лазерної електрофізичної обробки матеріалів.</p> <p>Імпульсні установки.</p> <p>Ультразвукові установки. Джерела ультразвукових коливань. Джерела живлення ультразвукових установок. Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках. Зразки обладнання для ультразвукової електрофізичної обробки матеріалів.</p> <p>Електрогідроімпульсні установки. Визначення та принцип дії електрогідроімпульсних установок. Типові процеси та операції, що виконуються на електрогідроімпульсних установках. Зразки електрогідроімпульсних установок.</p> <p>Магнітно-імпульсні установки. Визначення та принцип дії магнітно-імпульсних установок. Типові процеси та операції, що виконуються на магнітно-імпульсних установках.</p> <p>Електрофізичні установки як приймачі електричної енергії.</p>		
1	2	3	4
7	<b>Установки індукційного та діелектричного</b>	19	17

	<b>нагрівання</b>		
	<p>Установки індукційного нагрівання. Основи теорії індукційного нагрівання. Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання. Особливості конструктивного виконання та принципу дії установок індукційного нагрівання. Індукційні плавильні, каналні, тигельні, спеціальні печі. Індукційні нагрівальні установки. Класифікація індукційних нагрівальних установок, їх переваги та недоліки. Технологічні процеси та операції, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок.</p> <p>Установки діелектричного нагрівання. Основи теорії діелектричного нагрівання. Класифікація установок діелектричного нагрівання. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання. Зразки установок індукційного та діелектричного нагрівання. Установки індукційного та діелектричного нагрівання як приймачі електричної енергії.</p>		
8	<b>Електронно-іонні установки.</b>	9	8
	<p>Основи теорії електронно-іонних технологій. Особливості конструктивного виконання та принципу дії електронно-іонних установок. Електронно-іонні установки газоочищення. Електронно-іонні установки електросепарації сипких сумішей. Електронно-іонні установки для електрофарбування. Електронно-іонні установки для електродруку.</p> <p>Зразки електронно-іонних установок. Електрофільтри. Коронно-електростатичні сепаратори. Фарборозпилювачі електростатичні. Електростатичний маркувальний комплекс.</p> <p>Електронно-іонні установки як приймачі електричної енергії</p>		

**Питання екзаменаційних білетів по дисципліні  
«Електротехнологічні установки та пристрої»:**

1. Що називається технологією, технологічним процесом, електротехнологією, електротехнологічними установками?
2. Як класифікуються електротехнологічні установки?
3. Установки електродугового нагрівання, визначення та основи теорії електричної дуги.
4. Електричні дуги постійного струму.
5. Електричні дуги змінного струму.
6. Класифікація установок електродугового нагрівання.
7. Дугові сталеплавильні печі, призначення, основні параметри та складові частини.
8. Електричні схеми та основне електрообладнання дугових сталеплавильних печей.
9. Основні режими роботи, електричні параметри та характеристики дугових сталеплавильних печей.
10. Рудно-термічні печі.
11. Вакуумні дугові печі.
12. Дугові сталеплавильні печі, як приймачі електричної енергії
13. Рудно-термічні печі, як приймачі електричної енергії
14. Вакуумні печі, як приймачі електричної енергії
15. Електрозварювальні установки, визначення та класифікація.
16. Які основні режими дугового електрозварювання?
17. Класифікація зварювальних дуг та їх характеристики
18. Джерела живлення зварювальної дуги, класифікація, основні параметри, вимоги та характеристики.
19. Зварювальні трансформатори як джерела живлення зварювальної дуги.
20. Зварювальні випрямлячі як джерела живлення зварювальної дуги.
21. Зварювальні генератори постійного струму як джерела живлення зварювальної дуги.
22. Зразки зварювальних трансформаторів для ручного зварювання.
23. Зразки зварювальних випрямлячів однопостових.
24. Зразки зварювальних випрямлячів багатопостові.
25. Зразки установок для аргонодугового зварювання.
26. Зразки зварювальних генераторів постійного струму.
27. Контактні електрозварювальні установки, класифікація видів?
28. Електрообладнання та схеми електрозварювальних установок для контактного зварювання.
29. Зразки електрозварювальних установок для контактного

зварювання.

30. Електрозварювальні установки для спеціальних видів зварювання.

31. Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії.

32. Установки електронагрівання опором, визначення, класифікація та основи теорії.

33. Контактні установки прямого електронагрівання

34. Установки прямого електродного нагрівання для хіміко-технологічних процесів

35. Установки прямого електродного нагрівання рідини

36. Установки непрямого електронагрівання, класифікація електричних печей опору непрямого нагрівання.

37. Печі опору періодичної дії за конструктивним виконанням.

38. Печі опору безперервної дії за конструктивним виконанням.

39. Які теплоізоляційні матеріали використовуються в електричних печах опору?

40. Які вогнетривкі матеріали використовуються в електричних печах опору?

41. Які жаротривкі матеріали використовуються в електричних печах опору?

42. Які матеріали використовуються для нагрівальних елементів електричних печей опору?

43. Які сплави металів використовуються для нагрівальних елементів печей опору.

44. Відкриті нагрівальні елементи (нагрівники) у печах опору.

45. Неметалеві нагрівальні елементи у печах опору.

46. Зразки електричних печей опору непрямого нагрівання.

47. Камерні електропечі опору непрямого нагрівання.

48. Камерні електропечі з висувним піддоном.

49. Шахтні електропечі.

50. Ковпакові електропечі.

51. Штовхальні електропечі.

52. Конвеєрні електропечі.

53. Барабанні електропечі.

54. Рольгангові електропечі.

55. Протяжні електропечі.

56. Карусельні електропечі.

57. Установки прямого електронагрівання опором як приймачі електричної енергії.

58. Установки непрямого електронагрівання опором як приймачі електричної енергії.

59. Електролізні установки, основи теорії електролізу.

60. Електролізні установки для отримання чистих металів із водних розчинів.
61. Електролізні установки для отримання чистих металів із розплавлених сполук солей.
62. Електролізні установки для отримання чистих газів.
63. Джерела живлення електролізних установок для отримання чистих металів і газів.
64. Електролізні установки для гальваностегії
65. Електролізні установки для гальванопластики
66. Джерела живлення для електролізних установок гальванотехніки
67. Електролізні установки як приймачі електричної енергії
68. Установки для розмірної електрохімічної обробки матеріалів, принцип дії та класифікація.
69. Установки для розмірної електрохімічної обробки в стаціонарному електроліті.
70. Установки для розмірної електрохіміко-гідравлічної обробки різанням
71. Установки для виконання копіювально-прошивочних операцій
72. Установки для виконання токарних та фрезерних операцій.
73. Установки для розмірної електрохіміко-механічної обробки.
74. Установки для чистової анодно-механічної обробки.
75. Установки для чорнової анодно-механічної обробки.
76. Зразки установок для розмірної електрохіміко-механічної обробки.
77. Установки для розмірної електрохімічної обробки як приймачі електричної енергії.
78. Електрофізичні установки, визначення та класифікація.
79. Електророзрядні установки.
80. Електроерозійні установки, основи теорії електроерозійної обробки металу.
81. Класифікація генераторів імпульсів установок для електроерозійної обробки.
82. Релаксаційні генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки.
83. Широкодіапазонні генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки.
84. Тиристорні генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки.
85. Способи формоутворення виробу та технологічні операції при електроерозійній обробці.
86. Операції прошивання отворів при електроерозійній обробці.

87. Операції прошивання зовнішніх поверхонь при електроерозійній обробці.
88. Операції електроерозійного маркування при електроерозійній обробці.
89. Операції нанесення фасонних поглиблень при електроерозійній обробці.
90. Електроерозійне шліфування при електроерозійній обробці.
91. Операції різання та фрезерування при електроерозійній обробці.
92. Електромеханічні приводи з кульково-гвинтовою передачею при електроерозійній обробці.
93. Координатно-прошивні електроерозійні установки.
94. Лінійні електроприводи для електроерозійної обробки.
95. Електроерозійні установки для видалення із виробів відламків інструментів.
96. Установки для електроерозійного маркування.
97. Дротовирізні електроерозійні установки.
98. Електроконтактні установки.
99. Абразивно-ерозійні установки.
100. Електронно-променеві установки, принцип дії та типові технологічні процеси.
101. Електронно-променеві установки для напилення
102. Електронно-променеві установки для зварювання
103. Плазмові установки для електрофізичної обробки, принцип дії, класифікація та типові технологічні процеси
104. Плазмові установки для зварювання.
105. Плазмові установки для різання
106. Плазмові установки для нанесення покриттів
107. Лазерні установки для електрофізичної обробки, принцип дії та класифікація лазерних установок
108. Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів
109. Машини для лазерного маркування при електрофізичній обробці матеріалів
110. Лазерні установки для обробки плоских та об'ємних заготовок при електрофізичній обробці матеріалів
111. Установки для лазерного наплавлення при електрофізичній обробці матеріалів
112. Лазерні установки для мікрообробки при електрофізичній обробці матеріалів
113. Імпульсні установки (ультразвукові).
114. Джерела ультразвукових коливань
115. Джерела живлення ультразвукових установок

116. Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках
117. Процеси та операції розмірної обробки матеріалів з використанням ультразвукових установок
118. Хіміко-технологічні процеси та операції з використанням ультразвукових коливань
119. Диспергування та коагуляція з використанням ультразвукових коливань
120. Металургійні процеси та операції з використанням ультразвукових коливань
121. Термічні та термохімічні процеси з використанням ультразвукових коливань
122. Процеси ультразвукового контролю
123. Установа для ультразвукового імпульсного зміцнювально-чистового оброблення металів
124. Установа для ультразвукового очищення
125. Установа для ультразвукового імпульсного зміцнювально-чистового оброблення металів
126. Дефектоскоп універсальний
127. Ультразвуковий технологічний апарат серії «Волна»
128. Напівавтоматична установа ультразвукового зварювання кільцевих швів
129. Електрогідроімпульсні установки, визначення та принцип дії електрогідроімпульсних установок
130. Формоутворення виробів із листових матеріалів
131. Типові процеси та операції, що виконуються на електрогідроімпульсних установках
132. Очищення виробів за допомогою електрогідроімпульсних установок
133. Отримання нерознімних з'єднань за допомогою електрогідроімпульсних установок
134. Електрогідроімпульсні установки для руйнування залізобетонних фундаментів і негабаритів мінеральних порід.
135. Електрогідроімпульсні установки для очищення.
136. Електрогідроімпульсні установки для подрібнення та кришіння матеріалів.
137. Магнітно-імпульсні установки, визначення та принцип дії магнітно-імпульсних установок.
138. Типові процеси та операції, що виконуються на магнітно-імпульсних установках.
139. Зразки магнітно-імпульсних установок.
140. Приймачі електричної енергії для електророзрядних установок.



141. Приймачі електричної енергії для електронно-променевих установок.
142. Приймачі електричної енергії для плазмових установок.
143. Приймачі електричної енергії для лазерних установок.
144. Приймачі електричної енергії для ультразвукових установок.
145. Приймачі електричної енергії для електрогідроімпульсних установок.
146. Приймачі електричної енергії для магнітно-імпульсних установок.
147. Установки індукційного нагрівання, основи теорії індукційного нагрівання.
148. Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання.
149. Індукційна плавильна піч (канальна).
150. Індукційна плавильна піч (тигельна).
151. Індукційна плавильна піч (спеціальна).
152. Індукційні нагрівальні установки, класифікація індукційних нагрівальних установок, їх переваги та недоліки.
153. Технологічні процеси та операції, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок.
154. Установки діелектричного нагрівання, основи теорії.
155. Класифікація установок діелектричного нагрівання.
156. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.
157. Зразок установки індукційної канальної печі.
158. Зразок установки індукційної тигельної печі.
159. Зразок індукційної нагрівальної установки.
160. Установка індукційного нагрівання деталей перед загартовуванням.
161. Установки індукційного та діелектричного нагрівання як приймачі електричної енергії.
162. Електронно-іонні установки, основи теорії електронно-іонних технологій.
163. Електронно-іонні установки газоочищення (електрофільтри).
164. Електронно-іонні установки електросепарації сипких сумішей.
165. Електронно-іонні установки для електрофарбування.
166. Електронно-іонні установки для електрод руку.
167. Зразки електронно-іонних установок.
168. Зразки електронно-іонних установок - електрофільтри.
169. Зразки електронно-іонних установок - коронно-

електростатичні сепаратори.

170. Зразки електронно-іонних установок - електростатичний маркувальний комплекс.

171. Зразки електронно-іонних установок - фарборозпилювачі електростатичні.

172. Електронно-іонні установки як приймачі електричної енергії.

### **Перелік лабораторних робіт**

1. Вивчення електроспоживання дискретного плавного регулювання температури печі опору.

2. Дослідження регулюємих тиристорних джерел живлення для ЕТУ і впливу їх на систему електропостачання.

3. Дослідження характеристик електричних дуг постійного і змінного струму.

4. Дослідження характеристик джерела живлення зварювальної дуги.

5. Дослідження процесу електролізу міді.

### **Література**

1. Василега П.О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник /П.О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.

2. Болотов А.В., Шапаль Г.А. Электротехнологические промышленные установки. - М.: Высш. шк., 1988.

3. Электротехнологические промышленные установки /Учебник для вузов/ И.П. Евтюкова, Л.С. Кацевич, Н.М.Некрасова, А.Д. Свенчанский; *под ред.* А.Д. Свенчанского. - М.: Энергоиздат, 1982.

4. Фомичев Е.П. Электротехнологические промышленные установки. - К.: Выща шк., 1979.

5. Методические указания, програма и контрольные задания по курсу "Электротехнологические промышленные установки" для студентов специальности 10.04 "Электроснабжение по отраслям" заочной формы обучения /Сост. П.Г. Плешков, Ю.А.Ермолаев/. - Кировоград: КИСХМ, 1992. – 36 с.

### **3. Програма дисципліни і методичні вказівки по темам**

### 3.1 Вступ. Класифікація електротехнологічних установок.

Прочитайте [1] с. 15-18; [2] с. 6-11; [3] с. 3-6, 258-259; [5].

*Технологією* називають сукупність методів обробки і переробки (виготовлення, зміни стану, властивостей, форми) сировини, матеріалу або напівфабрикату, використовуваних в процесі виробництва для отримання готової продукції, а також науку про способи дії на сировину, матеріали і напівфабрикати відповідними знаряддями виробництва. Сукупність технологічних операцій або частина виробничого процесу, виконуваних планомірно і послідовно в часі і в просторі над однорідними або аналогічними виробами, називають *технологічним процесом*.

У цій дисципліні розглядаються установки для виконання таких технологічних процесів, які засновані на явищах, що виникають при проходженні електричного струму в твердих, рідких і газоподібних середовищах і що відбуваються при цьому перетворення енергії електромагнітного поля (електротехнологічні установки). *Електротехнологією* називають сукупність методів обробки і переробки сировини, матеріалу або напівфабрикату (у подальшому матеріал), здійснюваних на основі безпосереднього перетворення електричної енергії в інші види. *Електротехнологічними установками* називають електротехнологічне обладнання, використовуване для проведення електротехнологічних процесів в комплексі із спорудами, пристосуваннями і комунікаціями (електричними, газовими, водяними, транспортними і ін.), забезпечуючими його нормальне функціонування.

Різноманітність методів, що становлять електротехнологію, а також комплексність більшості з них утрудняє виконати єдину класифікацію, що однозначно визначає значення кожного методу у ряді інших і їх взаємозв'язок. Для загальної характеристики електротехнологічних процесів і установок часто застосовують класифікацію про угрупованням їх по характеру дії електричного струму або поля. Установки ділять на наступні (рис. 1): електротермічні; електричного зварювання; електрофізичної обробки; електрохімічної обробки; електролізні; імпульсної обробки тиском; ультразвукові; електронно-іонній технології.

Метод перетворення або перетворювач

Переважна дія струму або поля

Технологічне призначення ЕТУ

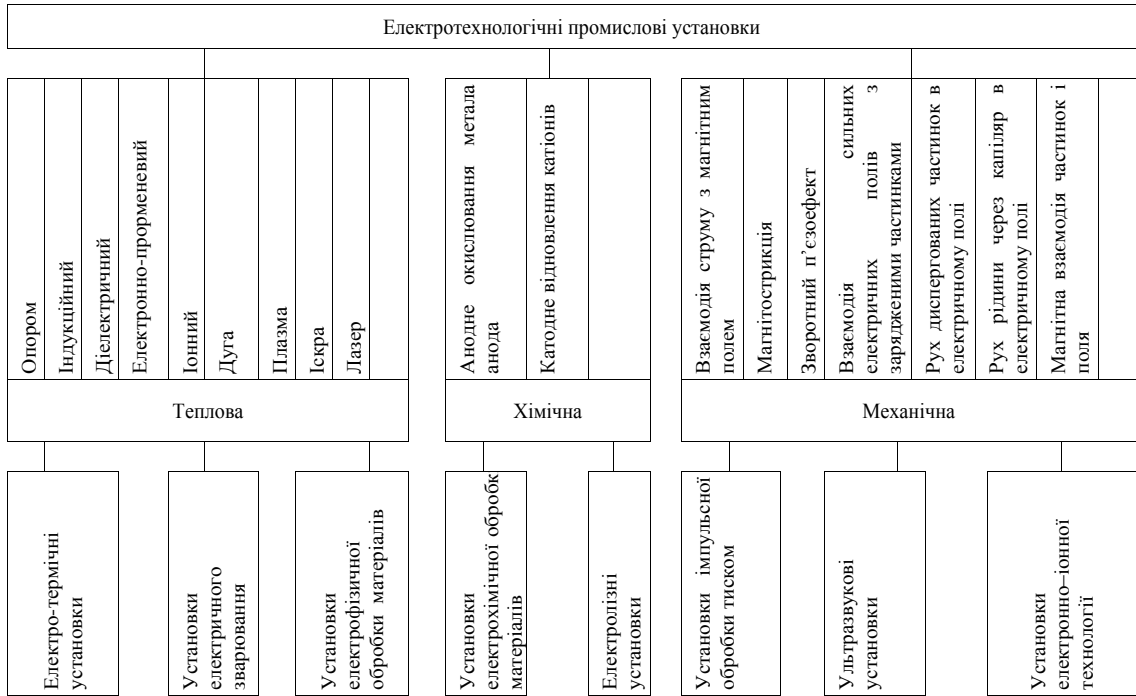


Рисунок 1. Класифікація електротехнологічних установок.

Електротехнологічні установки в залежності від характеру впливу електричного струму чи поля на оброблювані матеріали класифікуються на: електротермічні, електрозварювальні, електрохімічні, електрофізичні, електронно-іонні.

Електротермічні установки призначені для технологічного процесу теплової обробки з використанням електричної енергії як основного енергоносія. До них відносяться електричні печі, електротермічні пристрої і агрегати.

Електричні печі перетворюють електричну енергію в теплову і мають нагрівальну камеру, в якій розташовується деталі, матеріали, що нагріваються. В електротермічних пристроях на відміну від електричних печей нагрівальна камера відсутня. Електротермічні агрегати – це сукупність конструктивно зв'язаних електричних печей, пристроїв і іншого технологічного обладнання (транспортуючого, охолоджувального, вентиляційного тощо), що забезпечує проведення комплексного технологічного процесу.

За способом нагрівання електротермічні установки поділяються на:

установки опору – обробка виробів відбувається за рахунок теплової дії електричного струму, який протікає через тверді та рідкі провідники; розрізняють установки прямого та непрямого нагрівання;

дугові установки – плавлення речовин відбувається виділенням теплоти в електричній дузі; поділяються на установки прямого, непрямого і дугові печі опору;

індукційні установки – обробка металів відбувається за рахунок теплової дії індукційного струму у змінному магнітному полі; поділяються на установки з магнітопроводом (каналні плавильні печі), без магнітопроводу (тигельні печі), поверхневого та глибинного нагрівання;

діелектричні установки – обробка діелектриків та напівпровідників відбувається за рахунок виділення в них теплоти в змінному електричному полі за рахунок переміщення зарядів при електричній поляризації;

електронно-променеві установки – тепла обробка виробів відбувається за рахунок виділення теплоти при бомбардуванні виробів потоком електронів у вакуумі;

плазмові установки – виділення теплоти відбувається при обробці тіла потоком плазми;

іонні установки – виділення теплоти в тілі відбувається при його обробці потоком іонів, утвореним електричним розрядом;

лазерні установки – виділення теплоти відбувається при дії на тіло, що нагрівається, світлових променів.

Електрозварювальні установки призначені для зварювання металевих деталей електричним струмом. В залежності від способу перетворення електричної енергії та виділення теплоти у зоні зварювання електрозварювальні установки поділяються на:

установки дугового зварювання – з'єднання металевих деталей відбувається за рахунок теплової енергії електричної дуги;

установки контактного зварювання – зварювання металів відбувається за рахунок виділення теплоти в місцях стискання деталей при протіканні по ним електричного струму;

електрошлакове зварювання – плавлення кромки зварювальних деталей відбувається за рахунок теплоти, що виділяється в розплавленому шлаку при протіканні по ньому електричного струму;

високочастотне зварювання – плавлення кромки зварювальних деталей відбувається за рахунок індукційного нагрівання або ефекту близькості з використанням струмів високої частоти;

електронно–променеве зварювання – зварювання відбувається за рахунок кінетичної енергії потоку електронів, що рухаються з високими швидкостями у вакуумі;

плазмове зварювання – зварювання відбувається під дією потоку плазми;

лазерне зварювання – зварювання відбувається під дією енергії світлового променя з високою густиною енергії.

Електрохімічні установки призначені для отримання речовин чи обробки матеріалів за рахунок хімічних реакцій у рідинному середовищі під дією електричного поля. В основу роботи електрохімічних установок покладено явище електролізу – зміни концентрації іонів біля електродів з виділенням на них речовини під дією електричного поля. Основними процесами електрохімічних установок є:

отримання чистих металів – перенос речовини з одного електрода на другий через електроліт під дією електричного поля (електролітичне рафінування) або осадження на електроді речовини з розчину або розплаву (електроекстракція);

гальванотехніка – процес електрохімічного нанесення шару металів на вироби для підвищення їх механічної міцності, корозійної стійкості або покращення їх зовнішнього виду (гальваностегія), а також отримання копій з рельєфних зображень електрохімічним шляхом (гальванопластика);

анодна електрохімічна обробка – анодне розчинення металу з виробу гальванічним шляхом, коли оброблюваний виріб у гальванічній ванні підключається як анод, тобто отримання з заготовки деталі потрібної форми і розмірів за рахунок анодного розчинення металів.

Електрофізичні установки призначені для впливу на матеріали з перетворенням електричної енергії в механічну і теплову в імпульсних та акустичних процесах. Основними видами електрофізичних установок є:

ультразвукові установки – установки, в яких відбувається використання енергії ультразвукових хвиль, що утворюються при використанні електричної енергії;

електроерозійні установки – установки, в яких здійснюється тепловий вплив на металеві вироби під дією низьковольтного імпульсного електричного розряду в рідинному середовищі;

магнітоімпульсні установки – установки, в яких відбувається механічний вплив на металеві заготовки з їх пластичною деформацією під дією імпульсних магнітних полів за рахунок імпульсного високовольтного електричного розряду;

електрогідравлічні установки – установки, в яких відбувається механічна дія на матеріали і заготовки ударних хвиль, які виникають при високовольтних імпульсних розрядах в рідині.

Електронно-іонні установки здійснюють вплив сильних електричних полів на заряджені частинки в газоподібному та рідинному середовищі. В основу технологічних процесів установок покладено три явища:

електрофрез – рух під дією зовнішнього електричного поля заряджених частинок, що знаходяться у взвишеному стані в газоподібному або рідкому середовищі;

електросепарація – розділення зарядженої складнокомпонентної суміші на складові під дією електричного поля;

електроосмос – направлений рух іонів у рідині через капіляри і пористі діафрагми під дією зовнішнього електричного поля.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що називається технологією, технологічним процесом, електротехнологією, електротехнологічними установками?
2. Як класифікуються електротехнологічні установки?
3. Назвіть загальні характеристики основних типів перетворювачів електричної енергії в інші види енергії.

### **3.2 Установки електродугового нагрівання.**

Визначення та основи теорії електричної дуги. Призначення та класифікація.

Дугові сталеплавильні печі. Призначення, основні параметри та складові частини. Електричні схеми та основне електрообладнання.

Основні режими роботи, електричні параметри та характеристики.

Рудно-термічні печі.

Вакуумні дугові печі.

Установки електродугового нагрівання як приймачі електричної енергії

**Прочитайте** [1] с. 18-65; [2] с. 102-190; [3] с. 180-240; [4] с. 116-156; [5].

### **Теоретичні відомості**

Установками електродугового нагрівання називають такі, в яких електрична енергія перетворюється у теплову в основному в електричній дузі, яка вільно горить в атмосфері повітря, газовому середовищі, середовищі парів металу або у вакуумі.

Електричною дугою називають самостійний електричний розряд, який характеризується високими густиною струму і температурою, а також великою швидкістю перетворення електричної енергії в теплову. Розрізняють електричні дуги у газах і в парах металу. Залежно від джерела живлення електрична дуга буває постійного і змінного струму.

Установки електродугового нагрівання широко використовуються для плавлення матеріалів, а також для проведення високотемпературних хімічних реакцій в рідинній або газовій фазі, нагріванні газів тощо.

Установки електродугового нагрівання класифікуються за такими ознаками: за родом струму: постійного та змінного струму; за призначенням: сталеплавильні, рудно-термічні, для електрошлакового переплавлення; за способом нагрівання: прямої, непрямої та змішаної дії.

Дугові сталеплавильні печі (ДСП) є електродуговими установками прямої дії і призначені для плавлення сталі із металевого брухту (скрапу). У таких печах в основному отримують високолеговані сорти сталі, які потребують старанного очищення металу від шкідливих домішок, видалення неметалевих домішок та знегажування і які не можуть бути отриманими в конверторах або мартенівських печах.

ДСП характеризують такими основними параметрами: номінальною місткістю (ємністю), що вимірюється в тонах. За цим параметром вони класифікуються на малі (0,5; 1,5; 3,0; 6,0; 12,0 т), середні (25 та 50 т) і великі (100 та 200 т); номінальною електричною потужністю, що вимірюється у МВА або кВА і досягає в деяких сучасних зразка 125 МВА; питомими витратами електроенергії, які



становлять 450 - 1000 кВА·год на тонну готового продукту.

Поряд з ДСП змінного струму все ширше у промисловості використовуються дугові печі постійного струму плавлення сталі (ДСПТ) і чавуну (ДЧПТ), які є потужними електроприймачами, а тому живлення їх, як правило, відбувається від окремої трансформаторної підстанції. Електропостачання печей малої місткості, як правило, здійснюється на напрузі 6-10 кВ, середньої - 35 кВ, а великої - 110-220 кВ.

Режими роботи ДСП як приймача електричної енергії залежать від головних операцій, пов'язаних з плавленням сталі. До таких операцій відносять: розплавлення скрапу, розкислення металу, поновлення (введення до складу необхідних легуючих домішок).

До рудно-термічних печей відносять велику кількість установок електродугового нагрівання, різних за призначенням, конструктивним виконанням, особливостями технологічного процесу, виду джерела живлення тощо. Ці установки залежно від виду процесів, що в них відбуваються, поділяються на дві великі групи - рудоплавильні та рудовідновлювальні печі. У рудоплавильних печах відбувається нагрівання руди, яке супроводжується лише її розплавленням без проведення хімічних реакцій.

Залежно від виду електричного режиму роботи руднотермічні печі класифікують: з дуговим режимом роботи (із відкритою дугою); з бездуговим режимом роботи (із закритою дугою); зі змішаним режимом роботи.

Вакуумні дугові печі (ВДП) призначені для отримання чистих металів та їх сплавів з певними високими властивостями. Прикладами їх використання є: отримання зливоків із хімічно-активних і тугоплавких матеріалів (вольфрам, титан, цирконій, тантал, ніобій, молибден тощо) та сплавів на їх основі; отримання сталей і сплавів спеціального призначення (нержавіючих, жаростійких, підшипникових тощо); вторинне переплавлення металу з метою кращого очищення від домішок і газів.

Принцип дії ВДП базується на перетворенні електричної енергії у теплову в електричній дузі, яка горить при зниженому тиску у вакуумній камері.

Виходячи з вищерозглянутого, можна дійти висновку, що на цей час використовується велика кількість різноманітних за призначенням і конструктивним виконанням установок електродугового нагрівання. Ці установки мають ознаки, які є загальними для усіх видів або для переважної їх більшості, але є і такі, які суттєво відрізняють один вид від іншого як приймачів електричної енергії.

Загальними ознаками установок електродугового нагрівання як приймачів електричної енергії є такі: наявність суттєвої реактивної

складової потужності, тому, як правило, для її компенсації необхідно передбачувати індивідуальні засоби; установки є генераторами високих гармонік, серед яких переважають третя, п'ята, сьома та дев'ята; наявність високочастотних коливань від сотень герц до десятків кілогерц і амплітудою до 40-50% від номінального значення лінійної напруги; оскільки установки є потужними приймачами електричної енергії, то вони є хорошими регуляторами величини навантаження як для підприємства, так і для енергосистеми; установки є джерелами різних видів електромагнітних перешкод, пов'язаних із запалюванням, горінням та згасанням електричної дуги.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що називають електричною дугою?
2. Що називають установками електродугового нагрівання?
3. Як класифікуються установки електродугового нагрівання?
4. Які печі відносяться печей постійного та змінного струму?
5. Які печі відносяться печей прямої, непрямої та змішаної дії?
6. Які печі відносяться печей сталеплавильні, рудно-термічні, для електрошлакового переплавлення?
7. Дугові сталеплавильні печі, призначення, основні параметри та складові частини.
8. Основні режими роботи, електричні параметри та характеристики дугових сталеплавильних печей.
9. Які печі називаються рудно-термічні?
10. Як класифікуються рудно-термічні печі?
11. Які печі називаються вакуумними?
12. Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії.

### **3.3 Електрозварювальні установки.**

Дугові електрозварювальні установки, визначення та класифікація. Коротка історична довідка. Класифікація зварювальних дуг та їх характеристики. Класифікація, основні параметри, вимоги та характеристики. Зварювальні випрямлячі. Зварювальні генератори постійного струму. Зразки електрозварювальних установок для дугового зварювання. Зварювальні трансформатори для ручного зварювання. Зварювальні випрямлячі однопостові. Зварювальні випрямлячі багатопостові. Установки для аргонодугового зварювання. Зварювальні генератори постійного струму. Контактні електрозварювальні установки. Класифікація видів контактного зварювання. Електрообладнання та схеми електрозварювальних

установок для контактного зварювання. Зразки електрозварювальних установок для контактного зварювання.

Електрозварювальні установки для спеціальних видів зварювання.

Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії.

**Прочитайте** [1] с. 66-113; [2] с. 50-60, 190-215; [3] с. 256-325; [4] с. 161-182; [5].

### **Теоретичні відомості**

Електрозварювальні установки призначені для забезпечення технологічного процесу отримання нерознімних з'єднань окремих деталей з допомогою місцевого розплавлення матеріалів, доведення їх до пластичного стану або сумісного пластичного деформування, внаслідок чого виникають міцні зв'язки між з'єднаними деталями на атомному (молекулярному) рівні. У більшості із цих установок використовується явище перетворення електричної енергії в теплову, що виникає під час електричного дугового розряду або ж при проходженні електричного струму в місці з'єднання деталей.

Комплекс обладнання, пристосованого для забезпечення електротехнологічних процесів електрозварювання, і робочого місця зварювальника називають зварювальним постом.

Електрозварювальні установки класифікуються за такими ознаками: за родом струму: постійного та змінного; за способом перетворення електричної енергії: дугові, контактні, електрошлакові, височастотні, електронно-променеві, плазмові, лазерні; залежно від виду джерела живлення: автономні, які мають індивідуальний двигун внутрішнього згоряння (бензиновий або дизельний), і такі, що отримують живлення від електричних мереж, у тому числі й ті, що підключаються до пересувних електростанцій; за способом установлення: стаціонарні та пересувні; за ступенем автоматизації: ручного, напівавтоматичного та автоматичного керування.

На цей час основними режимами дугового електрозварювання є: режим дугового зварювання покритим електродом, що плавиться; режим зварювання електродним дротом в середовищі газу або газової суміші; режим зварювання під шаром флюсу; режим аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться.

В електрозварювальних установках розрізняють такі види дуг:

за характером середовища, в якому відбувається дуговий розряд: відкрита - та, яка горить в повітрі з домішками парів матеріалів електрода та деталей, що зварюються; закрыта - та, що горить під шаром захисного флюсу без доступу повітря в парах матеріалів

електрода, зварюваних деталей і флюсу; захищена - та, що горить в середовищі захисних газів: аргон, вуглекислий газ, гелій, азот, водень та ін.;

залежно від матеріалу і фізичного стану електрода у процесі горіння: з металевим електродом, що плавиться; з електродом, що не плавиться (вугільним, вольфрамовим, керамічним тощо);

за характером дії дуги на деталі, що зварюються: прямої та непрямої.

Основною характеристикою зварювальних дуг є статична вольт-амперна характеристика — трьох видів: падаюча при струмах від одиниць ампер до 80 А; жорстка при струмах від 80 до 350 А; зростаюча при зварюванні в середовищі вуглеводу при струмах понад 350 А.

В електрозварювальних установках джерелами живлення зварювальної дуги можуть бути: трансформатори, випрямлячі та генератори.

Залежно від роду струму джерела живлення бувають: змінного та постійного. За способом установки джерела живлення класифікують: стаціонарні та пересувні. За призначенням джерела живлення бувають: спеціальні та універсальні. Залежно від потужності джерела живлення поділяють на малої, середньої та великої потужності. За кількістю постів зварювання джерела живлення класифікують: одно-та багатопостові.

До основних параметрів джерел живлення електрозварювальних установок відносять: напругу мережі живлення, частоту мережі живлення, коефіцієнт потужності, номінальний зварювальний струм, діапазон регулювання зварювального струму, напругу неробочого ходу, номінальну робочу напругу, кількість ступенів регулювання, тривалість вмикання.

Зварювальні трансформатори є одними із поширених джерел живлення для електрозварювальних установок при зварюванні на змінному струмові. Це пояснюється, в першу чергу, простотою їх конструкції та обслуговування і надійністю в роботі. Залежно від способу отримання крутопадаючої характеристики та способу регулювання зварювального струму зварювальні трансформатори поділяють на дві групи: трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням і окремим дроселем та трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням: трансформатори з вбудованим дроселем; трансформатори з рухомою вторинною обмоткою; трансформатори з магнітними шунтами.

Зварювальні випрямлячі є джерелами постійного струму для електрозварювальних установок. Зварювальні випрямлячі, що використовуються на практиці, на цей час є дуже різноманітними за

конструкцією, електричними схемами та призначенням. Зварювальні випрямлячі класифікуються за такими основними показниками: за кількістю фаз: однофазні та трифазні; за можливістю керування: з некерованими (кремнієві та селенові діоди) та керованими (тиристори) вентилями; за видом зовнішньої характеристики: з падаючою, пологою та жорсткою характеристикою. У загальному випадку зварювальні випрямлячі мають такі головні складові частини: понижувальний трансформатор; випрямний блок; блок пускорегулювання та захисту; система примусового охолодження.

Зварювальні генератори постійного струму являють собою електричну машину постійного струму, в якій відбувається перетворення механічної енергії, що підводиться від приводного двигуна, в електричну енергію на відносно невеликій напрузі.

Зварювальні генератори постійного струму класифікуються за такими основними показниками: за видом приводного двигуна: зварювальні перетворювачі, приводним двигуном яких є трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, та зварювальні агрегати, приводним двигуном в яких є двигуни внутрішнього згоряння (бензинові або дизельні); за видом зовнішньої характеристики: з крутопадаючою, пологою і жорсткою характеристикою та універсальні; за кількістю постів зварювання: одно- та багатопостові; залежно від способу збудження: з незалежним збудженням і послідовною обмоткою розмагнічування (підмагнічування), з паралельним збудженням і послідовною обмоткою розмагнічування, з розчепленими полюсами, з поперечним полем.

В контактних електрозварювальних установках принцип дії полягає у тому, що ділянки деталей, які зварюються, приводять в контактування одна з одною, нагрівають до пластичного або розплавленого стану струмом, який проходить безпосередньо через місця зварювання; після вимкнення електричного струму і подальшого механічного стискання деталей відбувається охолодження місць зварювання і утворення нерознімного з'єднання між деталями.

До основних видів контактного зварювання відносять: точкове - деталі, що зварюються, розміщують між електродами, які закріплюються в електродотримачах; рельєфне є різновидом точкового зварювання, при якому одна із деталей має виступи, через які відбувається початкове контактування з іншою деталлю, а потім у процесі зварювання ці виступи плавляться і забезпечують створення точкового зварювального стику; роликкове - деталі розміщують між роликками, які з допомогою натискного механізму стискають їх з певним зусиллям (напрямок стискання показаний на рисунку стрілками); стикове -

можливі два різновиди: зварювання опором та зварювання оплавленням.

Обов'язковими складовими частинами електрозварювальної установки для контактного зварювання є зварювальний трансформатор та пусковий пристрій (ПП). Зварювальні трансформатори класифікуються за такими ознаками: за виконанням первинних обмоток - з циліндричними та дисковими котушками; за виконанням вторинних обмоток - з гнучким рухомим вторинним витком та з жорстким нерухомим вторинним витком; за взаємним розміщенням первинних і вторинних обмоток - із симетричним і несиметричним розміщенням обмоток; за розміщенням первинних обмоток на стрижнях магнітопроводу - на одному та на двох стрижнях; за виконанням магнітопроводу - стрижневі, броневі та кільцеві.

Типовими електричними схемами електрозварювальних установок для контактного зварювання є такі: для контактного зварювання на змінному струмі промислової частоти; для контактного зварювання на змінному струмі зниженої частоти; конденсаторна електрична схема; для зварювання на постійному струмі; електрична схема з випрямлячем струму у вторинному контурі.

Електрозварювальні установки для спеціальних видів зварювання використовуються для зварювання деталей великої товщини із кольорових металів та сплавів, нержавіючих сталей тощо. Основними видами таких установок є: електрозварювальні установки для електрошлакового зварювання; електрозварювальні установки для височастотного зварювання; електрозварювальні установки для плазмового зварювання/різання; електрозварювальні установки для лазерного зварювання/різання; електрозварювальні установки для електронно-променевого зварювання.

Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії: Режим роботи переважної більшості електрозварювальних установок повторно-короткочасний і лише для частини з них – тривалий; діапазон потужностей електрозварювальних установок дуже широкий і становить від одиниць до десятків тисяч кВА; здебільшого електрозварювальні установки являють собою однофазні приймачі електричної енергії, що підключаються до мережі на фазу 220 В або на лінійну 380 В напругу; характерним для більшості установок є низькі значення коефіцієнта потужності  $\cos\phi$ ; робота електрозварювальних установок супроводжується провалами напруги, зумовленими імпульсним характером їх навантаження; зварювальні випрямлячі є генераторами високих гармонік; електрозварювальні установки створюють перешкоди випромінювання в області частот 750 кГц, 3 і 30 МГц; робота установок супроводжується стрибками струму, що можуть досягати двократних значень від максимального робочого.

## Питання для самоконтролю

1. Електрозварювальні установки, визначення та класифікація.
2. Класифікація електрозварювальних установок.
3. Класифікація та характеристики зварювальних дуг.
4. Основні режими дугового електрозварювання.
5. Види дуг електрозварювальних установках.
6. Джерела живлення зварювальної дуги в електрозварювальних установках.
7. Основні параметри джерел живлення електрозварювальних установок.
8. Зразки електрозварювальних установок для дугового зварювання.
9. Класифікація контактних електрозварювальних установок.
10. Основні видів контактного зварювання.
11. Складові частини електрозварювальної установки для контактного зварювання.
12. Електрозварювальні установки для спеціальних видів зварювання.
13. Електрозварювальні установки як приймачі електричної енергії

### 3.4 Установки електронагрівання опором.

Визначення, класифікація та основи теорії установок електронагрівання опором.

Установки прямого електронагрівання.

Контактні установки прямого електронагрівання. Установки прямого електродного нагрівання для хіміко-технологічних процесів.

Установки непрямого електронагрівання.

Класифікація електричних печей опору непрямого нагрівання.

Матеріали, що використовуються при виготовленні електричних печей опору непрямого нагрівання. Теплоізоляційні матеріали. Вогнетривкі матеріали. Жаротривкі матеріали. Матеріали для нагрівальних елементів. Зразки електричних печей опору непрямого нагрівання. Камерні електропечі опору непрямого нагрівання. Камерні електропечі з висувним піддоном. Шахтні електропечі. Ковпакові електропечі. Штовхальні електропечі. Конвеєрні електропечі. Барабанні електропечі. Рольгангові електропечі. Протяжні електропечі. Карусельні електропечі.

Установки електронагрівання опором як приймачі електричної енергії.

**Прочитайте** [1] с. 114-186 [2] с. 26-43; [3] с. 37-94; [4] с. 56-90; [5].

### **Теоретичні відомості**

В установках електронагрівання опором електрична енергія перетворюється у теплову в елементах, які мають резистивний опір, принцип дії всіх їх базується на законі Джоуля-Ленца.

*Електронагрівання опором можливе двома способами:*

прямим нагріванням, при цьому матеріал, який необхідно нагріти, повинен бути провідником електричної енергії і мати електронну (наприклад, метали) або іонну (наприклад, електроліти) провідність;

непрямим нагріванням, під час такого нагрівання електрофізичні властивості матеріалу не мають значення (матеріал може бути як електропровідним, так і неелектропровідним), оскільки струм проходить не по виробу а по спеціальному нагрівальному елементу.

Електрична енергія перетворюється в нагрівальному елементі в теплову, а вже від нього передається до виробу такими способами: теплопровідністю - при цьому передавання теплової енергії здійснюється внаслідок взаємодії структурних одиниць речовини (молекул, іонів, атомів, вільних електронів); конвекцією - при цьому передавання теплової енергії здійснюється за рахунок переміщення об'ємів газу або рідини; тепловим випромінюванням - при цьому теплова енергія переноситься електромагнітними хвилями, що створюються внаслідок теплового руху в речовині із області з високою температурою в область з більш низькою температурою.

Установки прямого електронагрівання є найбільш прогресивними й ефективними серед установок електронагрівання опором завдяки тому, що в них перетворення електричної енергії на теплову відбувається безпосередньо в матеріалі виробу, який необхідно нагріти. У таких установках може бути використаний як постійний, так і змінний струм. У контактних установках періодичної дії забезпечується нерухоме контактування виробу з контактами, а в установках безперервної дії можуть використовуватись різні ковзні контакти: повністю сухі, напівсухі (місце контакту поливається струмопровідною рідиною), рідинні (електричний контакт забезпечується завдяки використанню розтопленого свинцю, солі або лугу).

Перевагами контактних установок прямого електронагрівання є: відносно проста конструкція; відносно малі маса, габарити та вартість; висока швидкість нагрівання виробу, яка вимірюється одиницями або десятками секунд, що зумовлює високу продуктивність; температура



нагрівання практично обмежена лише температурою плавлення матеріалу; малі втрати теплоти і відповідно високий тепловий ККД; практична відсутність втрат металу на окалину на поверхні виробу, що істотно збільшує термін служби обладнання для обробки металів пластичним деформуванням; сприйнятливі санітарно-гігієнічні умови праці.

Але ці установки мають і ряд недоліків: нерівномірність прогрівання по всій площі перерізу, яка пов'язана з поверхневим ефектом; істотне зниження ефективності роботи установки при нагріванні виробів, що мають нециліндричну форму і практично неможливе нагрівання виробів зі складною формою профілю; наявність обмежень у величині діаметра виробу та істотний вплив на ефективність роботи установки від співвідношення довжини і діаметра; складності у створенні контактів, що задовільно працюють при великих струмах і високих температурах; труднощі вимірювання і автоматичного регулювання температури виробу.

До установок прямого електродного нагрівання для хіміко-технологічних процесів належать електричні скловарні печі, печі для графітації вугільних виробів (наприклад, для отримання штучного графіту), печі для випічки хлібобулочних виробів, установки для отримання карборунду, для консервування продуктів, для розморожування блоків замороженої риби або м'яса тощо.

В установках прямого електродного нагрівання рідини змінний електричний струм проходить безпосередньо по струмопровідній рідині як по провіднику, що розміщений між електродами.

Установки непрямого електронагрівання є найбільш поширеною групою електротехнологічних установок для нагрівання твердих тіл, рідин та газів, а також плавлення металів та сплавів. Характерною особливістю таких установок є наявність електронагрівника, в якому електрична енергія перетворюється в теплову, а вже потім від нього передається тілу, що необхідно нагріти.

Класифікація електричних печей опору непрямого нагрівання: залежно від робочої температури електричні печі опору непрямого нагрівання класифікують на: низькотемпературні (до 700 °С), в яких значна частина тепла передається конвекцією; середньотемпературні (від 700 до 1250 °С), в яких значна частина тепла передається випроміненням; високотемпературні (понад 1250 °С). За призначенням печі опору класифікують на: плавильні - для плавлення переважно легкоплавких кольорових металів і сплавів; нагрівальні - для термічної обробки чорних і кольорових металів, кераміки, скла, для сушіння виробів, для забезпечення необхідного теплового режиму під час хімічних процесів, для нагрівання перед куванням, зварюванням, вальцюванням тощо. За видом середовища в робочому просторі печі

класифікують на печі: з окислювальною (повітряною) атмосферою; з контрольованою атмосферою з одним або декількома газами. У свою чергу за характером взаємодії з матеріалом виробу контрольовану атмосферу поділяють на: інертну (очищений азот, аргон, гелій); відновлювальну (водень, азотно-водневі суміші); науглецьовано-відновлювальну (продукти спалювання і крекінгу вуглеводневих газів або рідин з нестачою повітря); спеціальну (для хромування, бурування тощо); окислювальну (водяна пара, вологий водень тощо); вакуумні, залежно від рівня залишкового тиску печі класифікують на низько- (вище 10 Па), середньо- (10-10<sup>2</sup>Па), високо- (10<sup>3</sup>-10<sup>5</sup>Па) та надвисоковакуумні (нижче 10<sup>5</sup> Па). Залежно від області використання печі опору класифікують на промислові, лабораторні та побутового і комунального призначення. За характером роботи печі опору класифікують на печі періодичної (садочні печі) та безперервної (методичні печі) дії. У печах опору періодичної дії виріб, що нагрівається (садка), за весь час нагрівання не змінює свого положення в печі. У печах опору безперервної дії виріб за час нагрівання безперервно або циклічно переміщується від місця завантаження його в піч до місця вивантаження.

Печі опору періодичної дії за конструктивним виконанням класифікують на: камерні печі; печі з висувним подом; шахтні печі; ковпакові печі.

Печі опору безперервної дії за конструктивним виконанням класифікують на: конвеєрні печі; штовхальні печі; барабанні печі; рольгангові печі; протяжні печі; карусельні печі.

Специфічні умови роботи печей опору, що пов'язані з високими температурами, потребують використання матеріалів, які б здатні були нести навантаження та ізолювати робочий об'єм камер з високою температурою від навколишнього середовища. Залежно від призначення матеріали, що використовуються в електропечобудуванні, класифікують на: вогнетривкі, теплоізоляційні, жаротривкі і матеріали для нагрівальних елементів (нагрівників).

Вогнетривкі матеріали використовуються в основному для виготовлення внутрішніх частин камери, які перебувають під дією високих температур.

Головними властивостями, які повинні мати ці матеріали, є: вогнетривкість - здатність витримувати без деформації і оплавлення високі температури; термостійкість - здатність витримувати різкі коливання температури без появи тріщин у вогнетривкому матеріалі; механічна міцність при високих температурах, яка проявляється в тому, що вогнетривкий шар кладки повинен витримувати масу виробів, тари, нагрівальних елементів з пристроями їх кріплення, транспортних засобів тощо; хімічна нейтральність при низьких і

високих температурах - здатність не створювати хімічних сполук з матеріалами виробів, нагрівальних елементів, теплоізоляції, газового середовища тощо; малі теплопровідність та теплоємність, що дозволяє зменшити масу печі і знизити температуру теплоізоляційного шару; великий електричний опір; відсутність усадки; технологічність виготовлення виробів різної конфігурації.

Теплоізоляційні матеріали призначені для зменшення теплових втрат у печах опору, а тому головними вимогами до них є малі теплопровідність та теплоємність. *Прикладами теплоізоляційних матеріалів є:* діатоміт; азбест та азбестомісткі матеріали; перліт; скляна та мінеральна вата. Робоча температура вищеперелічених теплоізоляційних матеріалів і становить від 250 до 1100 °С.

Жаротривкі матеріали призначені для виготовлення складових частин печей, що несуть основні механічні навантаження в зонах високих температур, завантажувальних пристроїв, деталей транспортних засобів, що призначені для переміщення безпосередньо всередині печі виробів під час їх нагрівання.

Головними властивостями, які повинні мати жаротривкі матеріали, є: висока жаростійкість - здатність протистояти хімічному руйнуванню під дією середовища (повітря, газу, пари) при високих температурах; висока жароміцність - здатність збереження механічної міцності при високих температурах; достатня пластичність при тривалому навантаженні, що визначається величиною відносного подовження за час тривалої роботи до моменту руйнування; оброблюваність - здатність матеріалу до таких операцій, як зварювання, відливання, вальцювання, волочіння тощо.

У нагрівальних елементах (нагрівниках) печей опору відбувається перетворення електричної енергії в теплову. Головними властивостями, які повинні мати матеріали для нагрівальних елементів, є: великий питомий опір; сталість величини електричного опору в часі; малий температурний коефіцієнт електричного опору; високі жаростійкість і жароміцність.

Сплави металів є основними матеріалами для нагрівальних елементів промислових печей опору з робочою температурою до 1200 °С і класифікують на: ніхром, мають найбільшу відповідність головним вимогам до матеріалів нагрівальних елементів. Їх основу становлять нікель, хром і залізо; у залізохромоалюмінієвих сплавах за основні легувальні добавки використовують хром і алюміній, які забезпечують жаростійкість.

Відкриті нагрівальні елементи (нагрівники) виготовляють у вигляді окремих секцій, які з'єднуються між собою згідно зі схемою під'єднання послідовно, паралельно, в «зірку» або «трикутник». У печах опору найбільшого поширення набули спіральні та

зигзагоподібні нагрівники. У печах опору непрямого нагрівання також використовуються закриті нагрівальні елементи - трубчасті електронагрівники (ТЕН).

Неметалеві нагрівальні елементи використовують у печах опору з робочою температурою 1200-2800 °С. Прикладами матеріалів для таких нагрівальних елементів є: карборунд (карбід кремнію SiO), який отримують спіканням при температурі 1600-1700 °С маси, що складається із кремнезему і молотого коксу; графіт використовують для нагрівальних елементів, що працюють у високотемпературних вакуумних печах або в печах з нейтральною атмосферою з робочою температурою до 2800 °С; десиліцид молібдену (карбід кремнію MoSiO<sub>2</sub>), який отримують методом порошкової металургії.

Загальними ознаками установок електронагрівання опором як приймачів електричної енергії є такі: переважна більшість установок нагрівання опором належать до приймачів II категорії; установки мають підвищені вимоги до точності підтримання напруги джерела живлення

Специфічними ознаками установок електронагрівання опором як приймачів електричної енергії є такі:

Установки прямого електронагрівання опором: як правило, є однофазними приймачами електричної енергії; режим роботи переважної більшості установок періодичної дії є повторно-короткочасним і лише для частини з них - тривалим.

Установки безперервної дії мають тривалий режим роботи: коефіцієнт потужності установок становить  $\cos\phi=0,8-0,85$ ; під час використання тиристорних контакторів установки є джерелами вищих гармонік; питомі витрати електроенергії становлять 150-250 кВт·год/т.

Для установок непрямого електронагрівання опором: потужність установок коливається від декількох кВт до десятків МВт; напруга живлення печей малої і середньої потужності 220/380 В, а для печей великої потужності - 6 і 10 кВ; в установках середньої і великої потужності сумарна потужність допоміжних механізмів співмірна з потужністю нагрівальних елементів і може сягати 30 % і більше; для переважної більшості установок характерним є тривалий режим роботи; нагрівальні елементи установок створюють активний характер навантаження, і їх коефіцієнт потужності близький до одиниці; питомі витрати електроенергії становлять 300- 400 кВт·год/т; графік навантаження електропечей опору періодичної дії (садочні печі) є циклічним, а для печей безперервної дії (методичні печі) - рівномірним; установки з тиристорним регулюванням напруги/частоти є джерелами вищих гармонік.

### **Питання для самоконтролю**

1. Визначення та класифікація установок електронагрівання опором.
2. Способи електронагрівання опором.
3. Контактні установки прямого електронагрівання
4. Установки прямого електродного нагрівання для хіміко-технологічних процесів та рідини.
5. Печі опору періодичної та безперервної дії за конструктивним виконанням.
6. Які теплоізоляційні, вогнетривкі, жаротривкі матеріали використовуються в електричних печах опору?
7. Які матеріали та сплави металів використовуються для нагрівальних елементів електричних печей опору?
8. Відкриті та неметалеві нагрівальні елементи у печах опору.
9. Зразки електричних печей опору непрямого нагрівання.
10. Установки прямого та непрямого електронагрівання опором як приймачі електричної енергії.

### **3.5 Електролізні установки.**

Основи теорії електролізу.

Електролізні установки для отримання чистих металів і газів. Електролізні установки для отримання чистих металів із водних розчинів. Електролізні установки для отримання чистих металів із розплавлених сполук солей. Електролізні установки для отримання чистих газів. Джерела живлення електролізних установок для отримання чистих металів і газів.

Електролізні установки для гальваностегії. Електролізні установки для гальванопластики. Джерела живлення для електролізних установок гальванотехніки.

Електролізні установки як приймачі електричної енергії.

**Прочитайте** [1] с. 266-300; [2] с. 239-254; [3] с. 325-345; [4] с. 182-197; [5].

### **Теоретичні відомості**

В основу принципу дії таких електролізних установок покладене явище електролізу.

Суть явища електролізу полягає у виділенні із електроліту, під час проходження через нього струму, частин речовини й осідання їх на електродах (такий процес називається електроекстракцією) або в перенесенні речовин з одного електрода через електроліт на інший

(електролітичне рафінування). Електролітами називають речовини, розчини і розплави яких можуть проводити електричний струм, носіями якого є іони, що утворюються в результаті електролітичної дисоціації. Електролітичною дисоціацією називається процес розпаду речовини на рівномірно заряджені іони під час її розчинення або розплавлення. Згідно з цією самою теорією поряд із процесом дисоціації також відбувається зворотний процес молізації - об'єднання окремих іонів у молекули.

За певних сталих умов при одночасному перебігу цих двох процесів у розчині встановлюється рухома рівновага між іонами, що утворюються, та іонами, що сполучаються.

Якщо в електроліт помістити металевий електрод, матеріал якого має іони тієї самої речовини, то при певній різниці потенціалів між металом і розчином не буде відбуватися ні розчинення матеріалу електрода, ні осідання на ньому речовини із розчину. Тобто на межі метал-розчин зовнішній струм буде відсутнім. Таку різницю потенціалів називають нормальним електродним потенціалом речовини.

Якщо на електрод подати більш додатний потенціал, ніж нормальний електродний потенціал для цього матеріалу, то відбудеться розчинення електрода, і такий процес називається *анодним*. Якщо ж реальний потенціал електрода буде більш від'ємний, то на електроді відбуватиметься виділення речовини, і такий процес називається *катодним*.

Проходження іонного струму через електроліт супроводжується перенесенням маси речовини, числове значення якої визначається двома законами Фарадея.

В електролітичних установках для отримання чистих металів із водних розчинів отримують такі метали: нікель, цинк, мідь, кадмій, кобальт, хром, марганець, залізо, срібло, золото тощо. Всі ці метали мають нормальний електродний потенціал вище за - 1.

В установках для електролізу розплавлених сполук солей металів отримують такі метали, як алюміній, кальцій, натрій, магній, берилій, фтор, рідкоземельні метали тощо. Всі ці речовини мають нормальний потенціал нижче за - 1.

Електролітичні установки для отримання чистих газів використовують для отримання великих об'ємів таких газів, як кисень, водень, хлор тощо. Найбільш широке використання в промисловості отримали електролітичні установки для отримання водню і кисню шляхом розкладання води.

До джерел живлення електролітичних установок для отримання чистих металів і газів ставляться такі основні вимоги: забезпечення

високої стабільності сили струму; можливість плавного регулювання напруги; забезпечення високої надійності електропостачання, яка б відповідала вимогам електропостачання приймачів I категорії.

З урахуванням вище перелічених вимог живлення електролізних установок можливе від генераторів постійного струму, діодних або тиристорних випрямних агрегатів.

Генератори постійного струму, незважаючи на ряд їх переваг (можливість плавного регулювання напруги на виході в широкому діапазоні без погіршення коефіцієнта потужності в мережі змінного струму та незалежність її величини від коливань напруги в мережі живлення змінного струму) на цей час майже не використовуються. Це пояснюється їх основними недоліками: наявність обертових частин з великими інерційними моментами, що потребує масивних фундаментів для їх установлення; порівняно низька надійність та високі вартість і експлуатаційні витрати, низький ККД. Завдяки високому ККД (97-99%) та відсутності рухомих частин діодні випрямні агрегати є більш поширеними джерелами живлення для електролізних установок, недоліки в яких вдається уникнути в тиристорних випрямних агрегатах.

Гальванотехнікою називають область прикладної електрохімії, в якій використовуються процеси електролітичного осадження металів на поверхню металевих та неметалевих виробів. Гальванотехніка поділяється на гальваностегію і гальванопластику.

Гальваностегією називають процес електролітичного нанесення покриттів на поверхні металевих та неметалевих виробів з метою підвищення їх механічної міцності, корозостійкості та покращання декоративних якостей. Суть процесу гальваностегії в більшості випадків базується на перенесенні металу анода на катод. При цьому анод є розчинним в електроліті і його виготовляють у вигляді прутка або пластини із матеріалу, шаром якого повинен бути покритий виріб. Функцію катода виконує виріб, на який необхідно нанести покриття.

Електроліт - це водний розчин солей того металу, що наноситься на виріб. Для покращання струмопровідних властивостей, як правило, електроліт має кислотний або лужний характер, для чого до його складу вводять нормовану кількість лугу або кислоти.

Перед тим як безпосередньо приступити до процесу гальваностегії поверхню виробу ретельно обробляють з метою вилучення слідів бруду, окислів, жиру тощо. Для цього виконують такі операції: знежирення - обробка в гарячих розчинах лугів або в таких органічних розчинниках, як гас або бензин; травлення - обробка в розчинах сірчаної або соляної кислоти; механічна обробка з метою отримання гладких поверхонь - шліфування, полірування.

Залежно від вимог, які ставляться до функціональних ха-

ракетистик виробів, що підлягають гальваностегії, покриття класифікують на такі: захисні - забезпечують антикорозійний захист поверхні виробу; декоративні - надають поверхні виробу певний декоративний вигляд; захисно-декоративні - забезпечують виконання двох попередніх функцій; спеціальні - надають поверхні виробу спеціальні властивості (покращання міцності, зносостійкості тощо).

Прикладами гальваностегії є: цинкування - один із найбільш поширених захисних видів гальванічних покриттів; анодування - процес отримання оксидних плівок на поверхні виробів із алюмінію, магнію, титану та їх сплавів; нікелювання - процес нанесення шару нікелю або його сплавів на поверхню виробу; хромування - процес нанесення шару хрому або його сплавів на поверхню виробу; обміднення застосовують і в декоративних цілях, але в основному його використовують для нанесення попереднього шару покриття на сталеві вироби з подальшим нанесенням шару нікелю або хрому; сріблення та позолочення виконують у першу чергу з метою надання виробу кращих декоративних якостей, але при цьому також поліпшуються і антикорозійні властивості.

Гальванопластикою називають процес електролітичного нанесення металевих покриттів на шаблони (форми) з метою отримання точних копій з оригіналу.

Використовують процеси гальванопластики в тих випадках, коли виріб має дуже складний профіль і виготовлення його литтям або з використанням механічних способів обробки є дорогим, трудомістким або просто неможливим. З використанням гальванопластики виготовляють копії статуй, предметів інтер'єру, складних штампів, друкарських кліше, грампластинок, металевих труб, стрічок тощо.

Процес отримання гальванокопій передбачає такі операції: виготовлення матриці (форми) - відтиску, що має дзеркальне відображення оригіналу; нанесення струмопровідного (якщо матеріал є діелектриком) або роздільного (якщо матеріал є провідником) шару на оригінал; зарядження матриці; завантаження матриці у ванну і виконання безпосередньо гальванопластики.

Джерелами живлення для електролізних установок гальванотехніки є випрямні агрегати, що підключаються до мережі 220/380 В 50 Гц. На цей час у промисловості знайшли найбільше поширення тиристорні та інверторні агрегати. Тиристорні випрямні агрегати виготовляються нереверсивними (серії ТЕ, ТВ) та реверсивними (серії ТЕР, ТВР), з повітряним (серії ТЕ, ТЕР) та водяним (серії ТВ, ТВР) охолодженням. Інверторні випрямні агрегати є наступним кроком на шляху розвитку джерел живлення для електролізних установок



гальванотехніки. Принцип дії таких агрегатів базується на височастотному перетворенні електричної енергії.

Електролізні установки як приймачі електричної енергії: для переважної є тривалий режим роботи і лише для частини з них - повторно – короткочасний; електролізні установки для отримання чистих металів і газів належать до приймачів I категорії надійності електропостачання; для гальванотехніки є приймачами II категорії; електролізні установки є енергоємними; графік навантаження більшості електролізних установок, за умови належного контролю за перебігом технологічного процесу, є рівномірним; установки мають підвищені вимоги до точності підтримання напруги джерела живлення та/або густини струму, оскільки їх потужність прямо пропорційна квадрату струму/напруги живлення, а від потужності, у свою чергу, залежать продуктивність та якість; оскільки до складу переважної більшості електролізних установок входять випрямні агрегати, то вони вносять у мережу вищі гармоніки; ККД установок коливається від 0,7 до 0,97; коефіцієнт потужності електролізних установок  $\cos\phi = 0,6-0,94$ ; окремо взяті ванни є низьковольтними приймачами електричної енергії з великими значеннями сили струму. Об'єднання ванн у серії з декількох десятків, а то і сотень послідовно з'єднаних ванн зумовлює підвищення напруги на серії до декількох сотень вольтів.

### **Питання для самоконтролю**

1. Електролізні установки, основи теорії електролізу.
2. Електролізні установки для отримання чистих металів із водних розчинів та розплавлених сполук солей.
3. Електролізні установки для отримання чистих газів.
4. Джерела живлення електролізних установок для отримання чистих металів і газів.
5. Електролізні установки для гальваностегії та гальванопластики.
6. Джерела живлення для електролізних установок гальванотехніки.
7. Електролізні установки як приймачі електричної енергії.

### **3.6 Установки для розмірної електрохімічної обробки матеріалів.**

Принцип дії та класифікація установок для розмірної електрохімічної обробки.

Установки для розмірної електрохімічної обробки в стаціонарному електроліті.

Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки.  
Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки різанням.

Установки для розмірної електрохіміко-механічної обробки.  
Установки для чистової анодно-механічної обробки. Установки для  
чорнкової анодно-механічної обробки. Зразки установок для розмірної  
електрохіміко-механічної обробки.

Установки для розмірної електрохімічної обробки як приймачі  
електричної енергії.

**Прочитайте** [1] с. 301-330; [2] с. 260-312; [3] с. 344-384; [4] с.  
197-243; [5].

### **Теоретичні відомості**

В установках для розмірної електрохімічної обробки матеріалів  
відбувається перетворення електричної енергії в хімічну. Мета  
розмірної обробки - зміна стану поверхні, форми та розмірів виробу.

Поява і подальше широке використання цього способу обробки  
було зумовлене необхідністю обробки твердих і надтвердих,  
жароміцних, хімічностійких, нержавіючих і магнітних сталей,  
напівпровідникових матеріалів тощо, які використовуються під час  
виробництва турбін, реактивних двигунів, обладнання атомних  
електростанцій, виробів електронної техніки тощо. Обробка виробів із  
таких матеріалів традиційними механічними способами була  
ускладненою, а іноді й просто неможливою.

Принцип дії установок для розмірної електрохімічної обробки  
базується на явищі анодного (електрохімічного) розчинення матеріалу  
виробу при проходженні струму через електроліт, який подається в  
зазор між електродами. Матеріал виробу, що виконує функцію анода,  
спочатку переходить із металевого стану в іонне шляхом віддачі  
металом електронів.

Установки для розмірної електрохімічної обробки поділяють на  
три групи: установки для обробки в стаціонарному електроліті;  
установки для електрохіміко-гідралічної обробки; установки для  
електрохіміко-механічної обробки.

Установки для розмірної електрохімічної обробки в  
стаціонарному електроліті базується на анодному розчиненні  
матеріалу виробу і полягає в тому, щоб, наприклад, зняти з поверхні  
виробу зайвий шар металу з метою надання поверхні більшої гладкості  
(шліфування, полірування), її очищення (травлення), зміни форми  
(анодне оброблення), нанесення зображення (маркування).

Операції в стаціонарному електроліті: анодне полірування  
відбувається при відносно малих густині струму і швидкості

розчинення матеріалу; травлення проводиться аналогічно вищеописаній операції, але при значно більших густині струму і швидкості розчинення; прикладом установки для проведення розмірної електрохімічної обробки металевих виробів у стаціонарному електроліті з метою зміни форми виробу може бути установка для виконання операцій загострення. Електрохімічне маркування використовують для отримання зображення на поверхні металевого виробу без її пошкодження.

Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки базуються на одночасному анодному розчиненні й винесенні матеріалу обробки струменем електроліту. Характерною ознакою таких установок є те, що в процесі роботи між виробом (анодом) та інструментом (катодом) відсутній безпосередній механічний контакт, а обов'язковим є зазор, у який подається електроліт.

Вони поділяються на установки: для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки різанням робочим інструментом-електродом може бути: диск, стрічка або дріт. Безпосередньо до зони обробки подається електроліт. У процесі роботи рухомим може бути лише інструмент-електрод, а виріб залишається нерухомо закріпленою на робочому столі; для виконання копіювально-прошивочних операцій у процесі роботи електрод-інструмент (катод) і заготовка (анод) здійснюють періодичні рухи, як правило, в одній координаті (наприклад, вгору-вниз) без взаємного контактування; для виконання токарних та фрезерних операцій.

Установки для розмірної електрохіміко-механічної обробки (анодно-механічної) обробки також базуються на анодному розчиненні матеріалу виробу в середовищі електроліту. Але на відміну від попередньо розглянутих установок для електрохімікогідралічної обробки в цих установках в процесі роботи відбувається механічне контактування електрода-інструмента й електрода-виробу, а тому в них одночасно використовується електрохімічна і механічна дія на виріб у зоні обробки.

Вони поділяються на установки: для чистової анодно-механічної обробки; при електроабразивній обробці функцію робочого інструмента виконує спеціальний струмопровідний круг, який виготовляється із суміші абразивних зерен з металевим порошком (металоабразивний) або графітом (графітоабразивний); при електроалмазній обробці функцію робочого інструмента виконує спеціальний круг, що має металеву основу з нанесеним на її робочу поверхню шаром з алмазних зерен; для чорнової анодно-механічної обробки. Як приймачі електричної енергії становки для розмірної електрохімічної обробки: для переважної більшості установок характерним є тривалий режим роботи і лише для частини з них -

повторно-короткочасний; графік навантаження більшості установок, за умови належного контролю за перебігом технологічного процесу, є рівномірним; установки в переважній більшості є приймачами II категорії електропостачання, і лише незначна частина належить до приймачів I категорії; живлення установок здійснюється від мережі змінного синусоїдального струму напругою 380/220 В 50 Гц з подальшим зниженням до одиниць/десятків вольтів та випрямленням у діодних або тиристорних випрямлячах; установки мають підвищені вимоги до точності підтримання напруги джерела живлення та/або густини струму, оскільки їх потужність прямо пропорційна квадрату струму/напруги живлення, а від потужності, у свою чергу, залежать продуктивність та якість; ККД установок коливається від 0,7 до 0,95; установки з тиристорними випрямлячами є джерелами вищих гармонік.

### **Питання для самоконтролю**

1. Установки для розмірної електрохімічної обробки матеріалів, принцип дії та класифікація.
2. Установки для розмірної електрохімічної обробки в стаціонарному електродіті.
3. Установки для розмірної електрохіміко-гідралічної обробки різанням.
4. Установки для виконання копіювально-прошивочних операцій.
5. Установки для виконання токарних та фрезерних операцій.
6. Установки для розмірної електрохіміко-механічної обробки.
7. Установки для чистової анодно-механічної обробки.
8. Установки для чорнкової анодно-механічної обробки.
9. Зразки установок для розмірної електрохіміко-механічної обробки.
10. Установки для розмірної електрохімічної обробки як приймачі електричної енергії.

### **3.7 Електрофізичні установки.**

Визначення та класифікація електрофізичних установок.

Електророзрядні установки.

Електроерозійні установки. Основи теорії електроерозійної обробки металу. Генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки. Класифікація генераторів імпульсів. Релаксаційні генератори імпульсів. Широкодіапазонні генератори імпульсів. Тиристорні генератори імпульсів. Способи формування виробу та

технологічні операції при електроерозійній обробці. Приводи установок для електроерозійної обробки. Електромеханічні приводи з кульково-гвинтовою передачею. Лінійні електроприводи. Зразки установок для електроерозійної обробки. Координатно-прошивні електроерозійні установки. Електроерозійні установки для видалення із виробів відламків інструментів. Дротовирізні електроерозійні установки. Електроконтактні установки. Абразивно-ерозійні установки.

Променеві установки. Електронно-променеві установки . Принцип дії та типові технологічні процеси. Зразки електронно-променевих установок. Електронно-променеві установки для зварювання. Плазмові установки для електрофізичної обробки. Принцип дії, класифікація та типові технологічні процеси. Зразки плазмових установок. Плазмові установки для різання. Плазмові установки для зварювання. Плазмові установки для нанесення покриттів. Лазерні установки для електрофізичної обробки. Принцип дії та класифікація лазерних установок. Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів. Зразки обладнання для лазерної електрофізичної обробки матеріалів. Машина для лазерного маркування. Лазерні установки для обробки плоских та об'ємних заготовок. Установки для лазерного наплавлення. Лазерні установки для мікрообробки.

Імпульсні установки. Ультразвукові установки. Джерела ультразвукових коливань. Джерела живлення ультразвукових установок. Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках. Процеси та операції розмірної обробки матеріалів. Процеси та операції з'єднання матеріалів. Хіміко-технологічні процеси та операції. Диспергування та коагуляція. Металургійні процеси та операції. Термічні та термохімічні процеси. Процеси ультразвукового контролю. Зразки обладнання для ультразвукової електрофізичної обробки матеріалів. Установка для ультразвукового очищення. Установка для ультразвукового імпульсного зміцнювально-чистового оброблення металів. Ультразвуковий технологічний апарат серії «Волна». Напівавтоматична установка ультразвукового зварювання кільцевих швів. Дефектоскоп універсальний. Електрогідроімпульсні установки. Визначення та принцип дії електрогідроімпульсних установок. Типові процеси та операції, що виконуються на електрогідроімпульсних установках. Формоутворення виробів із листових матеріалів. Очищення виробів. Отримання нерознімних з'єднань. Зразки електрогідроімпульсних установок. Електрогідроімпульсні установки для руйнування залізобетонних фундаментів і негабаритів мінеральних порід. Електрогідроімпульсні установки для очищення.

Електрогідроімпульсні установки для подрібнення та кришіння матеріалів. Магнітно-імпульсні установки. Визначення та принцип дії магнітно-імпульсних установок. Типові процеси та операції, що виконуються на магнітно-імпульсних установках.

Електрофізичні установки як приймачі електричної енергії

**Прочитайте** [1] с. 331-459; [2] с. 260-312; [3] с. 344-384; [4] с. 197-243; [5].

### **Теоретичні відомості**

До електрофізичних установок належить велика кількість різних за принципом дії, схемним та конструктивним рішенням установок, загальним для яких є використання електричної енергії або специфічних фізичних явищ, що створюються цією енергією, з метою зміни стану поверхні, форми та розмірів виробу, впливу на хід процесів, що відбуваються в рослинах, організмі тварини або людини.

Усі установки можна поділити на три групи: електророзрядні (електроерозійні, електроконтактні, абразивно-ерозійні), променеві (лазерні, електронно-променеві, плазмові) та імпульсні (ультразвукові, електрогідроімпульсні, магнітоімпульсні). Крім того, існує велика кількість комбінованих установок, робота яких базується на принципі дії двох-трьох перелічених вище груп.

Характерною ознакою в роботі електророзрядних установок є наявність електричного розряду в середовищі діелектрика (газу або ріднини) між електродом-інструментом і електродом-виробом. У деяких установках у процесі роботи електричний розряд відбувається між електродами, що між собою не контактують, а в деяких - при короткочасному їх контактуванні. Під час проходження електричного розряду відбувається видалення частин матеріалу виробу і його формоутворення.

Електророзрядні установки використовують для обробки виробів із струмопровідних матеріалів, які важко обробляються звичайними методами: обробка порожнин штампів, прес-форм, ливарних форм, отримання криволінійних щілин та пазів, отворів малого діаметра та складної конфігурації, прямолінійне та контурне різання, клеймування тощо.

В установках для електроерозійної обробки формування електричних імпульсів, що підводяться до електродів, здійснюється з допомогою генераторів імпульсів. Велика різноманітність видів обробки, вимог до продуктивності та якості, діелектричного середовища та інші фактори зумовили розроблення та використання великої кількості різноманітних методів генерування імпульсів та

схемних рішень.

Генератори імпульсів класифікують за такими ознаками: за впливом електричних характеристик міжелектродного зазору на формування імпульсів поділяють на залежні та незалежні; за кількістю ступенів перетворення енергії на одно-, дво- та триступеневі; за методами генерування імпульсів: ті, що безпосередньо генерують уніполярні або знакозмінні імпульси шляхом перетворення механічної енергії в електричну з подальшим випрямленням знакозмінних імпульсів; ті, що забезпечують перетворення постійного або змінного струму в імпульсний за допомогою тиристорів або транзисторів; ті, що забезпечують переривання постійного або змінного струму; ті, в яких забезпечується переривання безперервного змінного струму в імпульсний змінний струм з допомогою нелінійних пристроїв з подальшим випрямленням; ті, в яких відбувається підсумовування декількох напруг змінної частоти та напруги постійного струму з подальшим випрямленням; за діапазоном частоти імпульсів генератори поділяють на: низькочастотні (до 300 Гц), середньочастотні (400-1000 Гц), підвищеної частоти (1000-20 000 Гц), високочастотні (вище ніж 20 000 Гц) та широкодіапазонні; за основними конструктивними і схемними ознаками генератори поділяють на релаксаційні, широкодіапазонні, тиристорні, машинні, магнітонасичені тощо.

Під час електроерозійної обробки формоутворення виробу можливе такими способами: копіюванням форми профільованого електрода-інструмента або його перерізу; взаємним переміщенням непрофільованого електрода-інструмента і заготовки; комбінацією двох попередніх способів.

Найбільш поширеними технологічними операціями, що виконуються на електроерозійних установках є: прошивання отворів, прошивання зовнішніх поверхонь, електроерозійного маркування, нанесення фасонних поглиблень, електроерозійне шліфування, різання та фрезерування.

Основною вимогою до приводу установки для будь-якого виду електроерозійної обробки є забезпечення оптимального міжелектродного зазору перед початком кожного циклу електричного розряду. Виконання такої вимоги є запорукою забезпечення оптимального режиму іскроутворення і, як наслідок, досягнення найвищої продуктивності і якості обробки при найменшому зношенні електрода-інструмента. У сучасних зразках установок для електроерозійної обробки найбільше поширення отримали електромеханічні приводи з кульково-гвинтовою передачею (КГП) та лінійні електроприводи.

Електроконтактні установки є різновидом електроерозійних установок, принцип дії яких також базується на електричній ерозії

металу виробу в середовищі рідинного (наприклад, вода) або газового (наприклад, повітря) діелектрика. Але на відміну від електроерозійних у контактних установках обов'язково має місце контакт (безперервний або короточасний) між електродом-виробом і електродом-інструментом. Обов'язковою умовою електроконтактної обробки є також безперервний рух (найчастіше обертовий) лише електрода-інструмента, або електрода-інструмента і електрода-виробу.

Залежно від характеру процесів, що відбуваються у зоні обробки, розрізняють такі три різновиди електроконтактної обробки: електрод-інструмент і електрод-виріб у процесі взаємного переміщення мають постійний контакт; електрод-інструмент і електрод-виріб перебувають у такому взаємному положенні, що механічний тиск між ними практично відсутній; електрод-інструмент і електрод-виріб перебувають у такому взаємному положенні, що струм проходить у місцях контактування електрода-інструмента з мікровиступами на поверхні електрода-виробу

До головних переваг установок для електроконтактної обробки відносять: можливість досягнення значно вищої продуктивності, ніж на електроерозійних установках (до 200 000 мм<sup>3</sup>/хв); використання дешевого і нескладного інструмента у вигляді диска або стрічки; можливість істотної зміни характеру проходження процесу і результату обробки зміною електричних параметрів; малі значення питомого тиску інструмента на виріб (0,3- 0,5 кгс/см<sup>2</sup>); можливість роботи як на постійному, так і змінному струмах при безпечних для обслуговуючого персоналу напругах; можливість у більшості випадків обробки як у середовищі рідинного, так і газового діелектрика. До головних недоліків установок для контактної обробки відносять: низькі чистоту та точність поверхні виробу після обробки; істотні термічні навантаження на виріб, що можуть призвести до зміни структури поверхні металу; підвищений рівень шуму під час роботи установки.

В установках для абразивно-ерозійної обробки функцію робочого інструмента виконують спеціальні абразивні струмо-провідні круги (наприклад, ельборові, алмазні тощо), які виготовляють із суміші абразивних зерен з металевим порошком (металоабразивний) або графітом (графітоабразивний). Металева або графітова домішка забезпечує струмопровідними властивостями абразивний круг, а з допомогою абразивних зерен виконується механічне видалення з поверхні виробу продуктів електричної ерозії, що з'являються в зоні обробки. При використанні як абразив алмазу обробку ще називають алмазно-ерозійною обробкою.

До переваг абразивно-ерозійних установок належить: висока продуктивність; можливість використання неагресивних рідинних ді-



електриків; можливість використання як спеціальних, так і звичайних шліфувальних станків після нескладної їх модернізації; низькі питомі тиски круга на виріб; робота на безпечних напругах. До недоліків установок для абразивно-ерозійної обробки відносять: необхідність використання спеціальних значно дорожчих кругів замість традиційних; істотне зношення струмопровідного круга; округлення гострих кромок деталей після обробки.

Робота променевих установок для електрофізичної обробки базується на процесах розмірного видалення матеріалу заготовки плавленням і випаровуванням у зоні обробки під дією енергії променевих потоків або високоенергетичних струменів. Променеві установки залежно від способу отримання променевого потоку або високоенергетичного струменя класифікуються на електронно-променеві, плазмові та лазерні (світлопроменеві).

Принцип дії електронно-променевих установок базується на використанні кінетичної енергії електронів, що летять з великою швидкістю у вигляді сфокусованого променя (пучка), яка перетворюється на теплову енергію при різкому гальмуванні електронів у момент їх попадання на поверхню виробу.

Типовими технологічними процесами обробки на електронно-променевих установках є: прошивання мікроотворів з великим відношенням глибини до діаметра, отримання фасонних щілин і пазів у виробах із важкооброблювальних матеріалів (наприклад, отворів у фільсах для отримання об'ємного синтетичного волокна), вирізання елементів із напівпровідникових матеріалів, розмірна обробка матеріалів, які легко окислюються в повітрі; зварювання та лютування різних виробів, у тому числі із неметалевих та тугоплавких матеріалів, тих, що мають велику різницю в товщині та габаритах; напилювання тонких плівок тощо.

Перевагами установок для електронно-променевої обробки є: можливість порівняно легкого фокусування електронного пучка на малих площах і безінерційного його переміщення у будь-яку точку поверхні, яка обробляється; виконання багатьох операцій, наприклад, різання, без створення дефектного шару, практично без відходів і з високою продуктивністю; легке модулювання за потужністю. Недоліками установок для електронно-променевої обробки є: складність і висока вартість; необхідність виконання обробки в середовищі вакууму.

Принцип дії плазмових установок базується на використанні певним чином сформованого струменя іонізованого газу - плазми. Стан речовини у вигляді плазми є четвертим станом поряд з твердим, рідинним та газоподібним. Такий стан є властивим для всіх речовин, нагрітих до високої температури. Якщо речовину в твердому стані

нагрівати, то у міру її нагрівання вона переходить у рідинний, газоподібний, а потім у плазмовий стан. У плазмовому стані відбувається порушення енергетичних зв'язків уже на рівні електронів та ядер. У такому стані речовина являє собою суміш нейтральних атомів, вільних від'ємно заряджених електронів і додатно заряджених іонів.

Головною складовою частиною плазмових установок є плазмотрон - пристрій, у якому в результаті взаємодії електричної дуги з робочим газом створюється плазма, а потім формується плазмовий струмінь. Залежно від способу створення електричної дуги плазмотрони бувають двох видів: з дугою прямої дії та непрямої дії. Для забезпечення стабільності роботи плазмотрона, підвищення довговічності сопла та температури струменя плазми використовують різні способи стабілізації (стискання) плазмової дуги: вихровий; стабілізації газом шаром; стабілізації стінками сопла.

Типовими технологічними процесами, які проводять на плазмових установках, є: різання; зварювання; наплавлення; напилення; інтенсифікація металургійних та високотемпературних хімічних процесів; буріння гірських порід тощо.

Принцип дії лазерних (світлопроменевих) установок базується на використанні тепла, яке генерується у сфокусованому світловому промені, характерними ознаками якого є високомонохромність (надзвичайно вузький інтервал хвиль) і когерентність (фаза й амплітуда електромагнітних коливань однакові або різниця між ними стала). У точці фокусування лазерного променя на поверхні виробу відбувається перетворення світлової енергії в теплову і, як наслідок, інтенсивна теплова дія в зоні обробки, яка зумовлює такі явища, як миттєве розплавлення, випаровування, руйнування часток матеріалу виробу або зміну його структури.

Головною складовою частиною лазерних установок є оптичний квантовий генератор (ОКГ) - лазер. Залежно від робочої речовини, в якій проходять процеси, що зумовлюють виникнення когерентного світлового променя, ОКГ класифікують на: твердотільні; газові; рідинні; напівпровідникові.

Перевагами лазерних електротехнологічних установок є: забезпечення високої концентрації енергії, що підводиться, і локальність її дії; висока технологічність лазерного променя; легкість автоматизації процесів обробки і можливість швидкого переналадження; відсутність поняття «зношення інструмента»; висока швидкість різання; висока якість розрізу та мала його ширина; можливість обробки в середовищі повітря без використання спеціальних рідинних або газових середовищ; відсутність механічної дії на виріб. Недоліками лазерних електротехнологічних установок є: обмеження за глибиною обробки; низький коефіцієнт корисної дії (для

твердотільних - 1,5%; для газових - 10-20%) складність стабілізації параметрів випромінювання; створення напливу розтопленої фази на поверхні деталі; осідання виділених продуктів світлової ерозії на поверхнях.

Імпульсні установки для електрофізичної обробки поділяють на три групи: ультразвукові, електрогідроімпульсні та магнітно-імпульсні. Принцип дії кожної із груп установок базується на різних фізичних явищах, але характерною загальною ознакою для всіх їх є імпульсний характер силової дії на об'єкт обробки.

Для перетворення електричної енергії в механічну енергію ультразвукових коливань використовують спеціальні перетворювачі (вібратори). На практиці найбільш широке використання отримали два види ультразвукових перетворювачів: магнітострикційні та п'єзоелектричні. У магнітострикційних перетворювачах використовується явище поздовжньої магнітострикції, що полягає у зміні довжини металевих тіл, які виготовлені із феромагнітних матеріалів (залізо, нікель, кобальт, пермендюр - сплав 49% заліза, 49% кобальта і 2% ванадію; альфер - сплав 87% заліза і 13% алюмінію) під дією магнітного поля. У п'єзоелектричних перетворювачах використовується явище п'єзоєфекту, який полягає у зміні геометричних розмірів п'єзоелектричних матеріалів в електричному полі.

Джерела живлення ультразвукових установок призначені для перетворення електричної енергії промислової частоти в електричну енергію ультразвукової частоти з метою збудження ультразвукових перетворювачів. Цю функцію в ультразвукових установках виконують ультразвукові генератори як універсальні, так і спеціалізовані. Універсальні високочастотні генератори можуть застосовуватися у різних технологічних процесах з використанням різних ультразвукових перетворювачів, а спеціалізовані призначені для роботи лише з одним або невеликою кількістю ультразвукових перетворювачів з певними характеристиками і призначені для використання в певних технологічних процесах.

Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках:

процеси та операції розмірної обробки матеріалів: прошивання глухих та наскрізних отворів і порожнин у твердих і крихких матеріалах, вирізання складних за профілем виробів, обробка непрофільованим інструментом, віброобробка поверхні виробу, видалення задирок, облою, рубчиків, грату з дрібних деталей, гравіювання;

процеси та операції з'єднання матеріалів: зварювання металів, зварювання термопластичних матеріалів, комбіноване зварювання,

мікрозварювання, покриття металами із розплавів (металізація), металізація неметалів, лютування, склеювання, спікання металевих порошків, спікання полімерних порошків;

хіміко-технологічні процеси та операції: травлення, очищення поверхні виробу від забруднень, знежирення, інтенсифікація процесів гальванічного нанесення металопокриттів, сушіння, просочення пористо-капілярних матеріалів рідиною, піногасіння, прискорення процесу тужавіння будівельних розчинів;

диспергування та коагуляція: ультразвукове розпилення рідин ультразвукове емульгування, запобігання створенню накипу, диспергування твердих матеріалів, очищення забруднених газових викидів;

металургійні процеси та операції: видалення неметалевих забруднень із рідкого металу, дегазація розплавленого металу, зонне плавлення металів для очищення, модифікування та легування металевих розплавів, покращання заповнення ливарних форм, отримання композитних матеріалів.

термічні та термохімічні процеси: загартування, рекристалізаційний відпал, відпускання металевих виробів та заготовок, інтенсифікація дисперсійного твердіння, термохімічна обробка виробів із металів у рідинному середовищі, термохімічна обробка виробів із металів у газовому і твердому середовищах;

процеси ультразвукового контролю.

Електрогідроімпульсними установками називають такі електротехнологічні установки, в яких електрична енергія перетворюється в механічну під час високовольтного імпульсного розряду в рідинному середовищі. Принцип дії таких установок базується на електрогідролічному ефекті - виникнення надвисокого тиску (до 300 МН/м<sup>2</sup>) в зоні проходження електричного високовольтного розряду і поширення навколо каналу розряду в рідинному середовищі імпульсної ударної хвилі.

Електрогідроімпульсні установки використовуються при поведенні великої кількості різних технологічних процесів і операцій, головними видами яких є:

деформаційна обробка пластичних матеріалів: операції обробки тиском і формоутворення виробів із листових матеріалів: штампування, витяжка, вигинання, відборткування тощо; розвальцювання труб і запресування їх у трубних решітках; калібрування трубчастих деталей; імпульсне формоутворення об'ємних деталей з використанням процесів кування, карбування тощо; наклепування поверхні металевих деталей і виробів.

диспергування твердих і крихких матеріалів: очищення виробів від ливарного пригару; подрібнення та кришіння різних матеріалів:

мінералів, гірських порід, скла, алмазів тощо; отримання суспензій і колоїдних розчинів.

гідродинамічна дія технологічного призначення: створення імпульсно-ударних струменевих установок для різання, очищення тощо; приведення в дію гідравлічних установок; розпилення або імпульсно-струменеве викидання рідини.

Перевагами таких електрогідроімпульсних установок є: забезпечення високої хімічної чистоти подрібненого матеріалу; отримання необхідної крупності подрібненого матеріалу з необхідними гранулометричними характеристиками (розміром і формою зерен) для повторного використання (наприклад, для виготовлення керамічних виробів із вторинної сировини); можливість повної механізації і автоматизації процесу; значне покращання екології виробництва. Сферами використання таких установок є: підприємства гірничовидобувної, хімічної, будівельної, вогнетривкої, радіоелектронної, паливно-енергетичної та інших галузей примисловості.

Магнітно-імпульсними установками називають такі електротехнологічні установки, в яких електрична енергія, що накопичується в генераторі імпульсів, під час електричного розряду перетворюється в енергію імпульсного магнітного поля, яке зумовлює появу імпульсних електромагнітних сил, під дією яких відбувається пластична деформація струмопровідного матеріалу заготовки.

Магнітно-імпульсні установки використовуються при проведенні великої кількості різних технологічних процесів і операцій, головними видами яких є: формозміна листових заготовок, формозміна або деформування трубчастих заготовок, отримання нерознімних з'єднань, розділювальні операції.

Враховуючи істотну відмінність у принципі дії кожної із трьох груп (електророзрядні, променеві та імпульсні) електрофізичних установок, велику кількість для кожної із груп різних за призначенням видів таких установок, а також велику різноманітність конструктивного і схемного виконання окремих типів установок, можна стверджувати, що загальні ознаки для всіх без винятку електрофізичних установок як приймачів електричної енергії відсутні.

Специфічними ознаками електрофізичних установок як приймачів електричної енергії є такі:

для електророзрядних установок: з точки зору надійності електропостачання установки до належить до II і лише частина до III категорії приймачів електричної енергії; діапазон потужностей таких установок широкий і становить від десятків вольт-ампер до десятків кіловольт-ампер; для них є характерним тривалий або

повторно-короткочасний режим роботи; діапазон робочих частот установок коливається від сотень герц до сотень кілогерц;

для електронно-променевих установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до I і II категорії приймачів електричної енергії; діапазон потужностей установок широкий і коливається від одиниць кіловат до десятків мегават; для них є характерним тривалий або повторно-короткочасний режим роботи;

для плазмових установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до I і II категорії приймачів електричної енергії; потужність установок становить від одиниць до десятків тисяч кіловат; для таких установок характерним є тривалий режим роботи зі слабо змінним циклічним характером навантаження; частина установок є високовольтними приймачами електричної енергії, що живиться від мережі 6-10 кВ; установки постійного струму з тиристорними випрямними блоками є джерелами вищих гармонік;

для лазерних установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до II категорії приймачів електричної енергії; діапазон потужностей таких установок становить від десятків ват до десятків кіловат; установки є низьковольтними приймачами електричної енергії, що живляться від мережі 220/380 В, 50 Гц; для них є характерним повторно-короткочасний та тривалий режим роботи;

для ультразвукових установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до II категорії приймачів електричної енергії; діапазон потужностей таких установок становить від десятків ват до десятків кіловат; установки є низьковольтними приймачами електричної енергії, що живляться від мережі 220/380 В, 50 Гц або від акумуляторного блока; для них є характерним повторно-короткочасний та тривалий режим роботи;

для електрогідроімпульсних установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до II категорії приймачів електричної енергії; діапазон потужностей таких установок становить від одиниць до сотень кіловольт-ампер, енергія накопичення може сягати 160 кДж; живлення установок здійснюється від мережі 220/380 В або 380/660 В, 50 Гц, а робоча напруга може сягати 50 кВ; для них є характерним короткочасний і повторно-короткочасний режим роботи;

для магнітно-імпульсних установок: з точки зору надійності електропостачання установки відносять до II категорії приймачів

електричної енергії; діапазон потужностей таких установок становить від одиниць до сотень кіловольт-ампер, енергія накопичення може сягати 100 кДж; живлення установок здійснюється від мережі 220/380 В або 380/660 В, 50 Гц, а робоча напруга може сягати 50 кВ; для них є характерним короткочасний і повторно-короткочасний режими роботи.

### **Питання для самоконтролю**

1. Електрофізичні установки, визначення та класифікація.
2. Електророзрядні установки.
3. Електроерозійні установки, основи теорії електроерозійної обробки металу.
4. Класифікація генераторів імпульсів установок для електроерозійної обробки.
5. Способи формоутворення виробу та технологічні операції при електроерозійній обробці.
6. Операції прошивання отворів та поверхонь, маркування, шліфування, різання та фрезерування при електроерозійній обробці.
7. Електромеханічні приводи при електроерозійній обробці.
8. Установки для електроерозійного маркування.
9. Електроконтактні установки.
10. Електронно-променеві установки, принцип дії та типові технологічні процеси.
11. Плазмові установки для електрофізичної обробки, принцип дії, класифікація та типові технологічні процеси
12. Лазерні установки для електрофізичної обробки, принцип дії та класифікація лазерних установок
13. Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів.
14. Лазерні установки для обробки плоских та об'ємних заготовок, наплавлення, мікрообробки при електрофізичній обробці матеріалів.
15. Імпульсні установки (ультразвукові).
16. Джерела ультразвукових коливань
17. Джерела живлення ультразвукових установок
18. Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках
19. Процеси та операції розмірної обробки матеріалів з використанням ультразвукових установок
20. Хіміко-технологічні, металургійні, термічні та термохімічні процеси та операції з використанням ультразвукових коливань
21. Установка для ультразвукового імпульсного

- зміцнювально-чистового оброблення, очищення, оброблення металів
22. Електрогідроімпульсні установки, визначення та принцип дії електрогідроімпульсних установок
  23. Формоутворення виробів із листових матеріалів
  24. Типові процеси та операції, що виконуються на електрогідроімпульсних установках.
  25. Електрогідроімпульсні установки для руйнування залізобетонних фундаментів і негабаритів мінеральних порід, очищення, подрібнення та кришіння матеріалів.
  26. Магнітно-імпульсні установки, визначення та принцип дії магнітно-імпульсних установок.
  27. Типові процеси та операції, що виконуються на магнітно-імпульсних установках.
  28. Зразки магнітно-імпульсних установок.
  29. Приймачі електричної енергії для електророзрядних, електронно-променевих, плазмових, лазерних, ультразвукових, електрогідроімпульсних, магнітно-імпульсних установок.

### **3.8 Установки індукційного та діелектричного нагрівання.**

Установки індукційного нагрівання. Основи теорії індукційного нагрівання. Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання. Особливості конструктивного виконання та принципу дії установок індукційного нагрівання. Індукційні плавильні печі. Індукційні каналні печі. Індукційні тигельні печі. Індукційні спеціальні печі. Індукційні нагрівальні установки. Класифікація індукційних нагрівальних установок, їх переваги та недоліки. Технологічні процеси та операції, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок.

Установки діелектричного нагрівання. Основи теорії діелектричного нагрівання. Класифікація установок діелектричного нагрівання. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.

Зразки установок індукційного та діелектричного нагрівання. Індукційна канална піч. Індукційні тигельні печі. Індукційні нагрівальні установки.

Установки індукційного та діелектричного нагрівання як приймачі електричної енергії.

**Прочитайте** [1] с. 460-509; [2] с. 65-94; [3] с. 100-180; [4] с. 90-116; [5].



## Теоретичні відомості

Характерною загальною ознакою як для установок індукційного, так і діелектричного нагрівання є те, що в них електрична енергія перетворюється в теплову безпосередньо в тілі нагрівання. Відмінність таких установок полягає в принципі їх дії. Принцип дії установок індукційного нагрівання базується на поглинанні електромагнітної енергії металевим тілом нагрівання, яке знаходиться в змінному електромагнітному полі індуктора, і перетворенні її в теплову енергію. Принцип дії установок діелектричного нагрівання базується на перетворенні електричної енергії в теплову в тілі нагрівання, що виготовлене із діелектрика або напівпровідникового матеріалу і знаходиться в змінному електричному полі конденсатора.

Установки індукційного нагрівання набули широкого використання під час проведення різних технологічних процесів і операцій: плавлення чорних і кольорових металів, отримання напівпровідників, термічна обробка, крапельна та зонна переплавка, вирощування монокристалів, зварювання, нагрівання заготовок перед пластичною деформацією (штампування, пресування, кування, вальцювання), лютування тощо.

Установки індукційного нагрівання класифікують за такими ознаками: за частотою струму - промислової частоти 50 Гц та високочастотні понад 10 кГц; за призначенням - плавильні печі; за тривалістю роботи - безперервної, напівперервної та періодичної дії; за конструктивним виконанням - плавильні печі: каналні, тигельні та спеціальні; нагрівальні установки: садочні, методичні шагові та методичні послідовні.

Залежно від особливостей конструктивного виконання та принципу дії індукційні плавильні печі поділяють на каналні, тигельні та спеціальні.

Канальні печі належать до індукційних установок з осердям. Назва цих печей пов'язана з наявністю у їх конструкції каналу з розплавленим металом. Під час роботи печі спостерігається інтенсивне природне перемішування розплавленого металу завдяки проявам таких головних ефектів: відцентровий, він проявляється у відштовхуванні рідкого металу від внутрішньої поверхні каналу до зовнішньої і зумовлений взаємодією магнітного потоку зі струмом у каналі індукційної одиниці; тепловий, цей ефект зумовлений різницею миттєвих значень температури розплавленого металу по довжині каналу і особливо різницею температур металу в каналі і суміші розплавленого металу з шихтою в надканальному просторі ванни; вихровий, він проявляється в циркуляції рідкого металу вздовж усього каналу і зумовлений взаємодією струму різної густини в каналі, у зв'язку з його

змінним значенням, з магнітним полем; стискаючий, цей ефект зумовлений взаємодією струму в каналі з магнітним потоком і проявляється в стискаючому зусиллі, що діє на рідкий метал.

До переваг каналних печей відносять: високий електричний ККД (0,93-0,97), низькі питомі витрати електроенергії (300-350 кВт·год/т); можливість порівняно простого отримання однорідного хімічного складу вихідного продукту; малі втрати на угар металу. До недоліків каналних печей відносять: порівняно велику частку (25-30 % від повного об'єму печі) «болота»; необхідність безперервної цілодобової роботи печі для уникнення «заморожування печі»; необхідність частої заміни футерівки каналу; необхідність плавлення в одній печі металу або сплаву лише одного складу.

Індукційні каналні печі знайшли широке використання для плавлення чавуну і кольорових металів (алюмінію, міді, цинку) та сплавів на їх основі. Також ці печі використовуються як спеціалізовані міксери для витримки і перегрівання рідкого чавуну, кольорових металів і сплавів перед розливанням у ливарні форми.

Індукційна тигельна піч має дві головні складові частини - індуктор і тигель. В тигельних печах використовують два види тиглів: неелектропровідні тиглі, які виготовляються із кварцитових, магнезитових або цирконієвих мас. Електропровідні тиглі, які виготовляються із жаротривкої сталі, легованого чавуну або графіту.

До переваг тигельних печей відносять: компактність, простоту і зручність обслуговування; можливість роботи печі в періодичному режимі; наявність природного інтенсивного перемішування рідкого металу без використання допоміжних пристроїв; можливість досягнення високої концентрації енергії в матеріалі; малі окислення та втрати на угар металу; можливість створення в печі будь-якої атмосфери (окисної, поновлювальної або нейтральної) при будь-якому тиску (включаючи плавлення у вакуумі); забезпечення високої гігієнічності процесу плавлення і малого забруднення навколишнього середовища; порівняно високий термін служби футерівки печі завдяки відсутності її перегрівання. До недоліків тигельних печей належать: необхідність використання для печей малої і середньої місткості джерел живлення середніх і високих частот; порівняно низька температура шару жужелиці на поверхні дзеркала розплавленого металу; значно нижчі порівняно з каналними печами значення електричного ККД (0,6-0,8); суттєве випинання поверхні рідкого металу, яке зумовлене дією великих електродинамічних сил, що діють у розплаві.

Тигельні печі переважно використовуються для плавлення високоякісних сталей і чавунів під фасонне литво при безперервному та періодичному режимах роботи. Також їх використовують при

плавленні кольорових металів і сплавів (наприклад, бронз, які згубно впливають на футерівку каналних печей).

До основних видів індукційних спеціальних печей відносять такі: печі для струминного плавлення; для гарнісажного плавлення; для плавлення в електромагнітному тиглі; для безтигельного зонного плавлення.

Залежно від режиму роботи індукційні нагрівальні установки класифікують на установки періодичної та безперервної дії. Залежно від глибини прогрівання індукційні нагрівальні установки класифікують на такі: для наскрізного нагрівання; для глибинного нагрівання, в таких установках виділення тепла відбувається в поверхневому шарі тіла нагрівання порівняно великої товщини (з приблизно однаковою температурою всього шару), з різким спаданням температури поза цим шаром; для поверхневого нагрівання, в таких установках виділення тепла відбувається в порівняно тонкому поверхневому шарі тіла нагрівання.

До переваг установок індукційного нагрівання належать: висока продуктивність; можливість нагрівання як всього тіла нагрівання, так і його окремих частин; можливість нагрівання на необхідну глибину; значно менший угар металу; можливість забезпечення поточного процесу виробництва з широким упровадженням механізації та автоматизації; компактність та можливість виготовлення рознімної конструкції індуктора; забезпечення високої гігієнічності процесу. До недоліків установок індукційного нагрівання відносять: для нагрівання деталей з діаметром менше 100 мм уже необхідне використання середніх частот; порівняно низький коефіцієнт потужності, що зумовлює використання засобів для компенсації реактивної енергії.

До найбільш поширених процесів і операцій, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок, належать: індукційне нагрівання перед пластичною деформацією; індукційне поверхнєве гартування; індукційне нагрівання перед лютуванням індукційне зварювання; індукційне нагрівання перед з'єднанням/роз'єднанням спряжених деталей; індукційне прогрівання залізобетону.

В установках діелектричного нагрівання принцип дії базується на перетворенні електричної енергії в теплову безпосередньо в тілі нагрівання, що виготовлене із діелектрика або напівпровідника і знаходиться в змінному електричному полі конденсатора.

Установки діелектричного нагрівання отримали широке використання під час проведення різних технологічних процесів і операцій. За технологічними ознаками установки діелектричного нагрівання можна розділити на чотири групи: перша група - це установки, що використовуються для проведення технологічних

процесів і операцій промислової обробки великих виробів, які потребують швидкого нагрівання; друга група - це установки, що використовуються для нагрівання протяжних плоских виробів; третя група - це установки, що використовуються для нагрівання, як правило, неоднорідних тіл та об'ємів з порівняно невеликою швидкістю; четверта група - це установки, що використовуються для місцевого розігрівання з метою зварювання, лютування та склеювання виробів. Залежно від робочої частоти установки діелектричного нагрівання класифікують: середньохвильового діапазону робочий діапазон частот яких становить 0,3 - 3 МГц; короткохвильового діапазону 3 - 30 МГц; ультракороткохвильового (метрового) діапазону 30 - 300 МГц; надвисокочастотного нагрівання (НВЧ - нагрівання) 1000 МГц і вище.

Для частини каналних і тигельних печей та індукційних установок наскрізного нагрівання робочою частотою є частота 50 Гц, а тому для них джерелом живлення є електрична мережа напругою 220/380, 380/660 В або 6-10 кВ. Такі установки, як правило, створюють одно- або двофазне навантаження на електричну мережу. Живлення установок діелектричного нагрівання, а також значної частини установок індукційного нагрівання здійснюється від спеціальних джерел живлення підвищеної частоти, функції яких можуть виконувати: машинні генератори, тиристорні перетворювачі частоти, лампові генератори, транзисторні генератори та магнетрони.

Для установок індукційного та діелектричного нагрівання як приймачів електричної енергії: характерним є тривалий режим роботи і лише для частини з них - повторно-короткочасний; установки належать до I і II категорій приймачів електричної енергії; діапазон потужностей таких установок широкий і становить від одиниць до тисяч кіловатів; низький природний коефіцієнт потужності, який становить  $\cos\varphi = 0.1 - 0.4$ ; створення однофазного або двофазного навантаження, яке зумовлює асиметрію напруг у мережі живлення; використання статичних перетворювальних агрегатів, які зумовлюють появу в мережі живлення вищих гармонік; робочі частоти установок діелектричного нагрівання і деякої частини індукційних нагрівальних установок належать до діапазону радіочастот, тому конструкція таких установок повинна передбачати захист від радіоперешкод; Установки діелектричного нагрівання і частина установок індукційного нагрівання, в яких використовуються генератори високих частот, можуть створювати шкідливий вплив на обслуговуючий персонал і навколишнє середовище.

## Питання для самоконтролю

1. Установки індукційного нагрівання, основи теорії індукційного нагрівання.
2. Класифікація установок індукційного нагрівання.
3. Індукційні плавильні печі канална, тигельна, спеціальна.
4. Індукційні нагрівальні установки, класифікація індукційних нагрівальних установок, їх переваги та недоліки.
5. Технологічні процеси та операції, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок.
6. Установки діелектричного нагрівання, основи теорії.
7. Класифікація установок діелектричного нагрівання.
8. Джерела живлення установок індукційного та діелектричного нагрівання.
9. Зразки установок індукційної каналної та тигельної печей, індукційної нагрівальної установки.
10. Установки індукційного та діелектричного нагрівання як приймачі електричної енергії.

### 3.9 Електронно-іонні установки.

Основи теорії електронно-іонних технологій.

Особливості конструктивного виконання та принципу дії електронно-іонних установок. Електронно-іонні установки газоочищення (електрофільтри). Електронно-іонні установки електросепарації сипких сумішей. Електронно-іонні установки для електрофарбування. Електронно-іонні установки для електродруку.

Зразки електронно-іонних установок. Електрофільтри. Коронно-електростатичні сепаратори. Фарборозпилювачі електростатичні. Електростатичний маркувальний комплекс.

Електронно-іонні установки як приймачі електричної енергії

**Прочитайте** [1] с. 510-530; [2] с. 239-254; [3] с. 325-345; [4] с. 182-197; [5].

### Теоретичні відомості

Електронно-іонними (електростатичними) установками називаються такі електротехнологічні установки, в яких використовується дія електростатичного поля високої напруженості на речовину, яка знаходиться у твердому, рідинному або газоподібному стані, з метою зміни її фізичних та/або хімічних властивостей, що досягається в основному за рахунок цілеспрямованого розподілу її

складових частин.

Під час проходження всіх цих явищ під дією електростатичного поля відбувається переміщення не окремих іонів, а мікрочастинок речовини, які становляться із порівняно великої кількості молекул.

Робота електронно-іонних технологічних установок базується на використанні таких явищ, як: електрофорез - рух частинок, що знаходяться в завислому стані в рідинному або газовому середовищі, під дією електростатичного поля; електросепарація (електростатичне збагачення) - відокремлення від суміші необхідних компонентів у результаті дії сильного електростатичного поля на електрично заряджену дисперговану суміш; електроосмос - рух рідини через капіляри і пористі діафрагми під дією електростатичного поля.

Електронно-іонними установками газоочищення, або електрофільтрами, називають високовольтні електротехнологічні установки, в яких використовується коронний розряд для зарядження завислих у газовому середовищі частинок, що знаходяться в твердому або рідинному стані, та їх уловлювання в електростатичному полі. Ці установки знайшли широке використання в чорній та кольоровій металургії, енергетиці, хімічній та гірничорудній промисловості, промисловості будівельних матеріалів та інших і призначені для високоефективного очищення технологічних газів та аспіраційного повітря від твердих і туманоподібних забруднень (пилу, туману), що виділяються під час проходження різних технологічних процесів (сушінні, валалі, агломерації, спалюванні тощо).

Електросепарацією сипких сумішей називається процес розділення сипких дрібнозернистих або здрібнених матеріалів (зерен рослин, гірських порід, промислових відходів тощо) в електричному полі сепаратора.

Робота електронно-іонних установок для електрофарбування базується на використанні електростатичних сил для роздрібнення, перемішування, перенесення та осадження частин лакофарбового матеріалу на поверхню виробу, що підлягає фарбуванню.

Принцип роботи електронно-іонних установок для електродруку базується на створенні потоку монодисперсних крапель рідини, наданні кожній із них електричного заряду і керуванні рухом зарядженої краплі до моменту потрапляння її на поверхню друку. Найбільш поширеними зразками таких установок є електрокрапелеструминні маркувальні пристрої (принтери), що призначені для нанесення різної інформації (літерно-цифрової, рисунок тощо) на поверхню виробу.

Електронно-іонні установки як приймачі електричної енергії: для переважної більшості електронно-іонних установок характерним є тривалий режим роботи; електронно-іонні установки належать до

приймачів II категорії електропостачання; графік навантаження більшості установок є рівномірним; діапазон потужностей таких установок становить від десятків ватів до сотень кіловатів; електронно-іонні установки в переважній більшості - це однофазні приймачі електричної енергії, що підключаються до мережі на фазну 220 В або на лінійну 380 В напругу; для більшості установок використовуються джерела постійного струму високої напруги (від 40 до 150 кВ), які повинні забезпечувати стабільність випрямленої напруги, можливість плавного регулювання в певному діапазоні і мати високі надійність, економічність і безпеку в роботі; оскільки до складу переважної більшості таких установок входять статичні випрямні агрегати, то вони вносять в мережу вищі гармоніки; коефіцієнт потужності установок становить  $\cos\varphi=0,7-0,95$ .

### **Питання для самоконтролю**

1. Електронно-іонні установки, основи теорії електронно-іонних технологій.
2. Електронно-іонні установки газоочищення, електросепарації сипких сумішей, електрофарбування, електродруку.
3. Зразки електронно-іонних установок.
4. Електронно-іонні установки як приймачі електричної енергії.

### **4. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт**

Контрольні завдання містять контрольні питання (це питання екзаменаційних білетів з їх розподілом по варіантам, які наведені в табл. 1) та чотири завдання практичного характеру, що відбивають основні розділи курсу. Для студентів заочної форми навчання індивідуальне завдання є контрольним завданням.

При виконанні контрольних робіт необхідно керуватися наступними вимогами:

1. Завдання має бути оформлене відповідно до нормативних документів.
2. Відповіді на питання давати чітко, коротко, вичерпно: пояснювати фізичні основи електротехнології, конструкції ЕТУ, електрообладнання, системи автоматики і управління.
3. Однотипні розрахунки мають бути зведені в таблиці.
4. В ході виконання завдання приводити посилання на літературу.

Таблиця 1. Розподіл контрольних питань по варіантам.

Передостання цифра шифру	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,43,86, 129	2,44,87, 130	3,45,88, 131	4,46,89, 132	5,47,90, 133	6,48,91, 134	7,49,92, 135	8,50,93, 136	9,51,94, 137	10,52,95, 138
1	11,53,96, 139	12,54,97, 140	13,55,98, 141	14,56,99, 142	15,57,100, 143	16,58,101, 144	17,59,102, 145	18,60,103, 146	19,61,104, 147	20,62,105, 148
2	21,63,106, 149	22,64,107, 149	23,65,108, 150	24,66,109, 151	25,67,110, 152	26,68,111, 153	27,69,112, 154	28,70,113, 155	29,71,114, 156	30,72,114, 157
3	31,73,115, 158	32,74,116, 159	33,75,117, 160	34,76,118, 161	35,77,119, 162	36,78,120, 163	37,79,121, 164	38,80,122, 165	39,81,123, 167	40,82,124, 168
4	41,83,125, 169	42,84,126, 170	43,85,127, 171	44,86,128, 172	1,45,87, 129	2,46,88, 130	3,47,89, 131	4,48,90, 132	5,49,91, 133	6,50,92, 134
5	7,58,101, 144	8,59,102, 145	9,60,103, 146	10,61,104, 147	11,62,105, 148	12,63,106, 149	13,64,107, 150	14,65,108, 151	16,67,109, 152	17,68,110, 153
6	18,69,111, 154	19,70,112, 155	20,71,113, 156	21,72,114, 157	22,73,115, 158	23,74,116, 159	24,75,117, 160	25,76,119, 161	26,77,120, 162	27,78,121, 163
7	28,79,122, 164	29,80,123, 165	30,81,124, 166	31,82,125, 167	32,83,126, 168	33,84,127, 169	34,85,128, 170	35,86,129, 171	36,87,130, 172	37,88,131, 168
8	38,89,132, 167	39,90,133, 168	40,91,134, 169	41,92,135, 170	42,93,135, 171	43,94,136, 172	1,44,95, 138	2,45,96, 140	3,46,97, 141	4,47,98, 142
9	5,48,99, 143	6,49,100, 144	7,50,101, 145	8,51,102, 146	9,52,103, 147	10,53,104, 148	11,54,105, 149	12,55,106, 150	13,56,107, 151	14,57,108, 152



## Задача 1

Електрична піч опору для нагріву сталевих виробів споживає потужність на фазу  $P_{\phi}$ , кВт, при фазній напрузі  $U_{\phi}$ , В.

Необхідно зробити розрахунок нагрівальних елементів; вибрати матеріал нагрівальних елементів.

Розрахувати нагрівальні елементи круглого і прямокутного перетину, а також їх довжину при температурі нагріву виробу  $t_{вир}$ , °С.

Початкові дані приведені в таблиці. 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\phi}$ , кВт	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
$U_{\phi}$ , В	660	660	380	380	380	380	380	220	220	220

Таблиця 1.2 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{вир}$ , °С	1100	1050	1000	950	900	850	800	750	700	650

## Короткі методичні вказівки

Розрахунок параметрів нагрівальних елементів електричних печей опору полягає у виборі його матеріалу, визначень розмірів і маси на фазу, сили і щільності струму в ньому.

Матеріал нагрівальних елементів вибирається по максимальній температурі виробу. Для цього слід скористатися таблицями 1.6 [2] чи іншими, де приводяться основні властивості матеріалів для нагрівальних елементів табл. 1.3.

Необхідно врахувати, що максимальна робоча температура нагрівальних елементів має бути на 50...150 °С вище за температуру виробів. При цьому з урахуванням заданого значення температури виробу  $t_{вир}$  згідно з рис.1.1 та табл.1.4 визначають рекомендовану температуру на нагрівнику. При цьому обов'язковим є виконання умови

$$t_{вир} < t_{роб} < t_{max}$$

де  $t_{роб}$  - робоча температура на нагрівальному елементі;

$t_{max}$  - максимально допустима температура на нагрівальному елементі за умови збереження нормативного терміну служби.

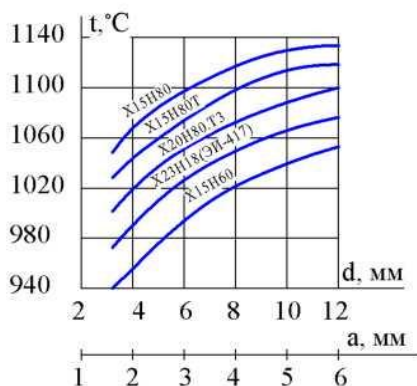


Рисунок 1.1 - Рекомендовані температури на нагрівниках із різних сплавів залежно від діаметра дроту  $d$  або товщини стрічки  $a$  при  $m=10$  для терміну служби 10 000 год.

Таблиця 1.4 Рекомендовані температури нагрівників.

Матеріал нагрівника	Рекомендована температура, °С, для печей	
	безперервної дії	періодичної дії
X20H80, X20H80T	1050	1060
X15H60	950	900
X25H20, X23H18	850	800
X13Ю4	750	650
OX23Ю5А	1050	1000
OX27Ю5А	1150	1100
Карборунд	1350	1300
Дисиліцид молібдену	1550	1500

Примітка. Для металевих нагрівників дані з таблиці належать до нагрівників з діаметром дроту  $d = 4$  мм і товщиною стрічки  $a = 2$  мм. При  $d > 7-10$  мм і  $a > 3-5$  мм значення температури збільшують на 50-80°С.

Відповідно до заданої температури виробу по кривих рис. 2.15 [2], рис. 20 [3] визначається допустима питома поверхневе навантаження нагрівального елемента. Питома поверхнева потужність  $w$ , Вт/м<sup>2</sup>, ідеального нагрівника з абсолютно чорного тіла визначають за рис.1.2 залежно від температури виробу  $t_{вир}$  і робочої температури нагрівника  $t_{наг}$ .

Таблиця 1.3 Властивості матеріалів для нагрівальних елементів печей опору.

Назва	Марка	Питома вага, кг/м <sup>3</sup>	Питомий електричний опір при 20 °С, 10 <sup>-6</sup> Ом·м	Температурний коефіцієнт електричного опору 1/°С·10 <sup>3</sup>	Температура плавлення, °С	Максимальна робоча температура, °С
Сплави металів						
Ніхроми	X20H80-H	8400	1,1	0,035	1400	1100
	X20H80-T3	8200	1,27	0,022	1400	1100
	X15H60-H	7900	1,1	0,1	1390	1000
Залізохромо-нікелеві сплави	X25H20C2	7840	0,92	0,38	1420	900
	X23H18	7800	0,9	0,4	1420	900
Ніхроми з алюмінієм	XH70Ю	7900	1,34	-	1400	1200
	X15H60Ю3A	7900	1,21	-	1390	1200
Залізохромо-алюмінієві сплави	OX27Ю5A	7200	1,42	0,022	1525	1300
	OX23Ю5A	7270	1,35	0,05	1525	1200
	OX13Ю4	7300	1,26	0,15	1450	800
Чисті тугоплавкі метали						
Молібден	-	10200	0,052	5,1	2525	1700/2200
Тантал	-	16600	0,15	4,0	3000	2500/2800
Вольфрам	-	19340	0,05	4,3	3400	2500/2800
Ніобій	-	8500	0,17	4,0	2470	1700/2200
Неметалеві матеріали						
Карборунд	-	2300	800-900	Змінний	-	1500
Графіт	-	1600	8-13	Змінний	-	2300/2800
Вугілля	-	1600	40-60	Змінний	-	2300/2800
Дисиліцид молібдену	-	5600	0,2-0,4	Середній 4,8	-	1700

Розраховують основні конструктивні розміри нагрівника. Діаметр дротяних нагрівачів, товщина стрічкових нагрівачів і довжина нагрівальних елементів на фазу розраховуються по виразах, приведених в [2;3].

Для нагрівників із матеріалу круглого перерізу (дріт, пруток) розрахункове значення діаметра  $d$ , м визначається за формулою

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P_\phi^2 \cdot 10^6}{\pi^2 \cdot U_\phi^2 \cdot w_{\text{вир}}}}$$

де  $\rho$  - питомий електричний опір матеріалу нагрівника, Ом·м, (табл.1.3);

$P_\phi$  - потужність на фазу, кВт;

$U_\phi$  - напруга на фазі, В.

З табл. 1.5 вибирають стандартне значення діаметра  $d$  нагрівника за умови

$$d \geq d_p.$$

Для нагрівників з матеріалу прямокутного перерізу (стрічка) розрахункова товщина стрічки  $a$ , м, визначається за формулою

$$a_p = \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot P_\phi^2 \cdot 10^6}{2m \cdot (m+1) \cdot U_\phi^2 \cdot w_{\text{вир}}}}$$

де  $m$  - коефіцієнт, що визначає співвідношення ширини „b“ стрічки до її товщини „a“:  $m = b/a$ . Згідно з табл.3.5  $m = 5 - 18$ .

За табл.3.5 вибирають найближче стандартне значення товщини „a“ стрічки нагрівника. Для промислових печей рекомендується застосовувати стрічку товщиною не менше 2 мм.

Для нагрівників із матеріалу круглого перерізу довжина нагрівника, м, визначається за формулою

$$l_\phi = \frac{\pi \cdot U_\phi^2 \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot P_\phi \cdot 10^3}$$

Для нагрівників із матеріалу прямокутного перерізу довжина нагрівника, м, визначається за формулою

$$l_\phi = \frac{U_\phi^2 \cdot ma^2}{\rho \cdot P_\phi \cdot 10^3}$$

Виконують перевірку нагрівника на допустиму питому поверхневу потужність.

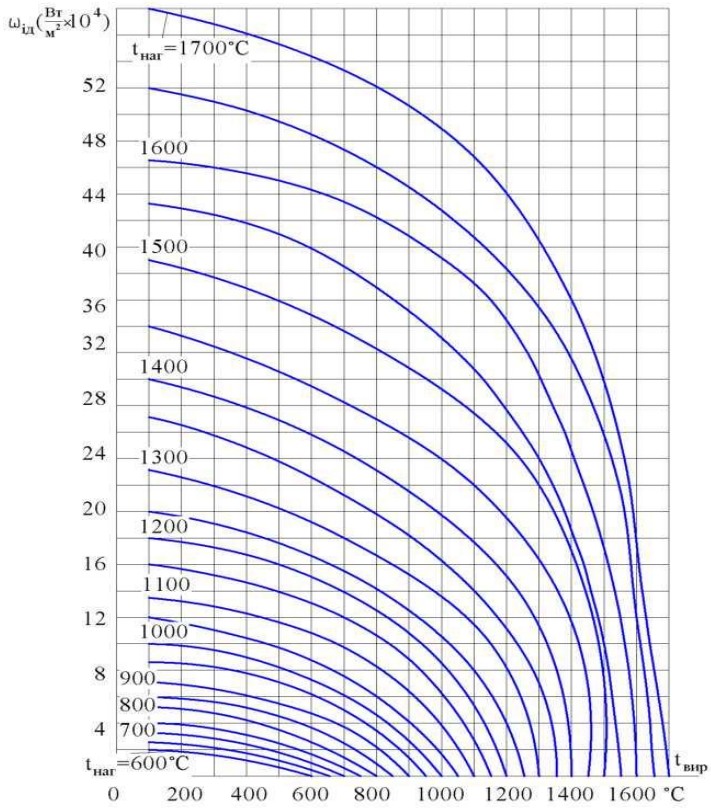


Рисунок 1.2 Криві питомої поверхневої потужності ідеального нагрівника

Таблиця 1.5 - Геометричні характеристики і маса ім дроту і стрічки зі сплавів опору

Діаметр дроту (розмір стрічки), мм	Площа поперечного перерізу, мм <sup>2</sup>	Поверхня 1м, см <sup>2</sup>	Маса 1м, г		
			X15H60; X15H60Ю3; X20H80T; X20H80T3	X23H18; (X25H20) X27H7Ю3	OX23Ю5A; OX27Ю5A
1	2	3	4	5	6
Дріт					
2,0	3,1416	62,800	26,7	24,8	22,8
2,2	3,8013	69,0800	31,2	29,3	27,6
2,5	4,9087	78,5000	41,2	38,8	35,6
2,8	6,1694	87,9200	51,8	48,7	45,7

продовження таблиці 1.5.

1	2	3	4	5	6
3,2	8,0425	100,5309	67,7	63,6	59,7
3,6	10,1787	113,0972	85,5	80,3	73,8
4,0	12,5600	125,6000	105,5	99,1	91,1
4,5	15,8962	141,3000	133,5	125,6	115,2
5,0	19,6250	157,0000	164,8	145,0	141,3
5,6	24,6301	175,9290	206,7	181,9	177,2
6,3	31,1724	197,9202	261,6	246,0	225,7
7,0	38,4400	219,8000	322,9	303,6	278,7
8,0	50,2400	251,2000	422,0	396,9	364,6
9,0	63,3350	282,6000	532,0	500,3	459,2
10,0	78,5000	314,0000	659,4	620,1	569,1
11,0	94,9850	345,4000	797,9	750,4	698,6
12,0	113,0400	376,8000	949,5	893,0	819,6
13,0	132,7323	408,4070	1114,4	1048,0	961,8
14,0	153,9380	439,8230	1292,3	1215,4	1063,2
15,0	176,7142	471,2380	1487,4	1395,2	1220,5
16,0	204,0618	502,6544	1686,8	1587,3	1388,5
17,0	226,9799	534,0703	1906,0	1791,9	1567,5
18,0	254,4687	565,4862	2136,0	2008,9	1757,3
19,0	283,5285	596,9021	2379,8	2238,1	1957,9
20,0	314,1590	628,3180	2636,8	2479,8	2169,3
Стрічка					
2,0 x 10	20,0	240	168	158	145
1,5 x 15	22,5	330	189	178	163
2,0 x 15	30,0	340	252	237	217
2,2 x 20	44,0	444	370	347	319
2,5 x 20	50,0	450	420	395	363
3,0 x 20	60,0	460	504	474	435
2,2 x 25	55,0	544	462	434	399
2,5 x 25	62,5	550	525	494	453
3,0 x 25	75	560	630	593	545
2,2 x 30	66,0	644	554	521	478
2,5 x 30	75,0	650	630	593	543
3,0 x 30	90,0	660	756	711	653
2,2 x 36	79,0	764	664	624	573
2,5 x 36	90,0	770	756	711	653
3,0 x 36	108,0	780	907	853	783
2,2 x 40	88,0	844	740	695	638
2,5 x 40	100,0	850	840	790	725
3,0 x 40	120,0	860	1020	947	870

Розраховують фактичну питому поверхневу потужність нагрівника  $w_{наг}$ , Вт/м<sup>2</sup>, за формулами:

- для дротяного нагрівника

$$w_{наг} = \frac{P_{\phi} \cdot 10^3}{\pi \cdot d \cdot l_{\phi}}$$

- для стрічкового нагрівника

$$w_{наг} = \frac{P_{н\phi} \cdot 10^3}{\pi \cdot d \cdot l_{\phi}}$$

Виконують перевірку дотримання умови  $w_{наг} < w_{вир}$ . Якщо ця умова виконується - нагрівник розраховано правильно. Якщо умова не виконується, то можливі такі варіанти: змінити схему з'єднання нагрівників з метою збільшення напруги на фазу; зменшити потужність на фазу, щоб при тому самому перерізі отримати більшу довжину, а відповідно і площу поверхні нагрівника; збільшити площу перерізу нагрівника.

Вибирають інші конструктивні розміри та виконують розрахунок маси фази нагрівника:

а) для нагрівників із матеріалу круглого перерізу визначають:

- діаметр  $D$ , м, (рис.1.3а) спіралі дротяного нагрівника:  $D=(4-6)d$  - для хромоалюмінієвих сплавів,  $D=(7-10)d$  - для ніхромів;

- крок  $t$ , м, (рис.1.3а) витків спіралі:  $t=(3-5)d$ ;

- крок  $t$ , м, (рис.1.3б) дротяного зигзага:  $t>(5-9)d$ ;

- висота  $H$ , м, (рис.1.3б) дротяного зигзага:  $H=0,15-0,3$  м - для хромоалюмінієвих сплавів,  $H=0,2-0,4$  м - для ніхромів;

- радіус  $R$ , м, (рис.1.3б) закруглення зигзага:  $R>d$ ;

б) для нагрівників із матеріалу прямокутного перерізу визначаються за формулами:

- крок  $t$ , м, (рис.1.3б) стрічкового зигзага:  $t>(2-5)b$ ;

- висота  $H$ , м, (рис.1.3б) стрічкового зигзага:  $H=0,15-0,3$  м - для хромоалюмінієвих сплавів,  $H=0,2-0,4$  - для ніхромів;

- радіус  $R$ , м, (рис.1.3б) закруглення зигзага:  $R=(4-5)a$ .

Масу, кг, фази нагрівника визначають за формулою

$$G = l_{\phi} g_n,$$

де  $g_n$  - маса 1 м дроту або стрічки нагрівника, яка визначається за табл.1.5.

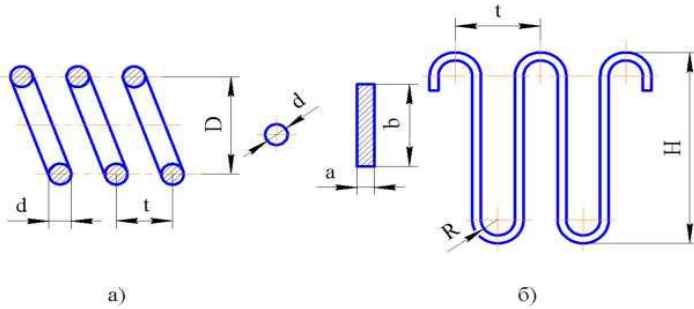


Рисунок 1.3 Конструктивні розміри нагрівників: а - нагрівник круглого перерізу, б - нагрівник прямокутного перерізу.

### Задача 2

У електричній печі опору періодичної дії нагріваються сталеві вироби до температури  $t_p$ , °С. Маса завантаження виробу і допоміжних виробів складає  $M$ , т. Час нагріву,  $\tau_n$ , год. Питома теплоємність сталі  $C = 0,1$  ккал/кг ККД печі  $\eta = 0,8$ . Останні дані приведені в таблиці 2.1,2.2.

Таблиця 2.1

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M$ , т	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$\tau_n$ , ч	2	2,5	3,0	3,2	3,6	4,0	4,2	4,5	4,8	5

Таблиця 2.2

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_p^o$ , °С	1300	1280	1250	1200	1180	1150	1100	1000	950	850
$t_n^o$ , °С	600	580	550	520	500	480	450	420	400	380

### Необхідно визначити:

1. Кількість електроенергії, необхідна для нагріву завантаження в двох випадках:

- нагрів робився від початкової температури доквілля  $t_n^o = 20^o\text{C}$ ;
- завантаження було заздалегідь нагріте до температури  $t_n^o$ , °С.

$$Q_p = cM(t_p - t_n)$$



де  $c$  - ;

$t_n^0$  – температура нагріву для обох випадків.

2. Економію електроенергії в результаті попереднього нагріву завантаження визначається як різниця спожитої потужності для двох випадків.

3. Середню потужність, яка необхідна для нагріву завантаження без попереднього підігрівання.

$$P_{cp} = \frac{P_p}{\tau_n}$$

де  $P_p$  – переведене значення кількості витраченої енергії *Дж* в потужність *кВт·год*.

4. Час нагріву у разі попереднього підігрівання завантаження за умови, що середня потужність залишилася колишньою, тобто що відповідає нагріву завантаження баз підігрівання.

$$\tau'_n = \frac{P_p}{P_{cp}}$$

### **Короткі методичні вказівки**

Розрахунки необхідно проводити відповідно до методики теплового розрахунку, викладеної в [1-3].

Кількість електроенергії, що витрачається для нагріву, визначається виходячи з необхідної для нагріву завантаження теплоти. При цьому необхідно врахувати, що 860 ккал теплоти еквівалентні 1 кВт·год електроенергії.

### **Задача 3**

У індукційній печі тигля робиться плавка металу. Вихідні дані приведені в табл. 3.1,3.2. Необхідно розрахувати і побудувати графік глибини проникнення вихрових струмів в метал при індукційному нагріві від температури 20 °С до  $t_{max}^0$ .

### **Короткі методичні вказівки**

Згідно із законом електромагнітної індукції в струмопровідному тілі нагрівання індукується ЕРС  $E_2$ , В, величина якої визначається за формулою

$$E_2 = 4,44 \Phi_m w_2 f 10^2$$

де  $\Phi_m$  - максимальне значення магнітного потоку, який створює індуктор, Вб;  $w_2$  - кількість послідовно з'єднаних витків, які створюють контур тіла нагрівання (як правило,  $w_2=1$ );  $f$  - частота струму джерела живлення індуктора, Гц.

Таблиця 3.1 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Метал	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Сталь	Алю-міній	Бронза	Латунь	Мідь
$t^{\rho}_{max}, ^\circ\text{C}$	1000	1000	1100	1100	1200	1300	600	800	700	600
при 20 $^\circ\text{C}$	0,1	0,11	0,12	0,13	0,13	0,13	0,028	0,055	0,07	0,017
Середній температурний коефіцієнт:										
$\alpha$	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0066	0,0044	0,004	0,002	0,0039
$\mu$	100	90	80	70	60	50	1	1	1	1

Таблиця 3.2 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f$ , кГц	0,05	0,5	1	2,5	8	10	40	70	150	250

Під дією ЕРС  $E_2$  в тілі нагрівання проходять вихрові струми (струми Фуко)  $I_2$ , А, що визначаються за формулою

$$I_2 = E_2 \sqrt{R_2^2 - X_2^2},$$

де  $X_2$  - реактивний опір тіла нагрівання, Ом;  $R_2$  - активний опір, Ом, тіла нагрівання, що визначається за формулою

$$R_2 = \frac{\rho_t l}{S},$$

де  $l$  - довжина середнього шляху проходження вихрових струмів у тілі нагрівання, м;  $S$  - площа поперечного перерізу тіла нагрівання, м<sup>2</sup>;  $\rho_t$  - питомий опір матеріалу тіла нагрівання при температурі  $t$ , Ом·м.

Питомий опір  $\rho_t$ , Ом·м, тіла нагрівання залежить від його температури  $t$  і визначається за формулою

$$\rho_t = [\rho_{20} + \alpha(t - 20)],$$

де  $\rho_{20}$  - питомий опір матеріалу тіла нагрівання при температурі 20  $^\circ\text{C}$ , Ом·м.

Згідно із законом Джоуля-Ленца в струмопровідному тілі нагрівання під час проходження по ньому струму буде виділятися тепло. Потужність  $P_t$ , Вт, що передається тілу нагрівання, визначається за формулою

$$P_t = I_2^2 R_2 = I_1^2,$$

де  $I_1$  - сила струму в обмотці індуктора, А;  $R_2$  - активний опір, Ом, тіла нагрівання, що приведений до параметрів обмотки індуктора і визначається (за умови, що  $w_2 = 1$ ) за формулою

$$R'_2 = R_2 w_1^2,$$

де  $w_1$  - кількість витків обмотки індуктора.

Отже, теплова енергія, що виділяється в тілі нагрівання, пропорційна квадрату сили струму в індукторі і залежить від багатьох факторів, головними серед яких є: електричний опір матеріалу тіла нагрівання, його магнітна проникність, частота струму, геометричні розміри тіла нагрівання та індуктора тощо.

Збільшення кількості тепла, що виділяється в тілі нагрівання при індукційному нагріванні, на практиці в основному досягається двома способами. При першому способі намагаються максимально зменшити опір магнітному потоку на тих ділянках, де він не проходить по тілу нагрівання. Цього досягають завдяки використанню металевого магнітопровода (осердя). При другому способі збільшується частота струму, для чого живлення індуктора здійснюється від височастотного джерела живлення.

Глибина проникнення магнітного потоку (вихрового струму) в метал, а отже і товщина  $h$ , м, шару нагрівання приблизно визначається за формулою Штейнметца

$$A_3 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho_T}{\mu \cdot f}},$$

де  $\mu$  - відносна магнітна проникність матеріалу тіла нагрівання.

При високих частотах струму (до 1000 Гц і вище) можна отримати тонкий нагрітий шар, наприклад, для поверхневої термічної обробки виробу. При низьких частотах (наприклад, 50 Гц) можна забезпечити наскрізне нагрівання виробу.

Глибина проникнення вихрових струмів розраховується по викладеній методиці та [1-3]. Слід врахувати, що досягши температури нагріву сталі 770 °С (критична точка) відносна магнітна проникність матеріалу стрибком зменшується до одиниці.

Розрахунок глибини проникнення вихрових струмів провести при 20, 110, 200 °С, а для сталі також при 770 °С. На основі проведених розрахунків побудувати графік залежності глибини проникнення

вихрових струмів  $\Delta \sigma$  від температури нагріву  $t$ .

#### Задача 4

Побудувати електричні і робочі характеристики ДСП. Залежність електричних параметрів режиму роботи ДСП - підведеною  $P_a$  і корисній  $P_{пол}$  потужності, потужності електричних втрат  $\Delta P_{ел}$ , коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$  і ККД  $\eta_o$  від струму  $I_2$  називають електричними характеристиками ДСП.

Залежність робочих (технологічних) параметрів режиму роботи ДСП - питомої витрати електроенергії  $W_{y\delta}$ , годинної продуктивності печі  $\delta$ , часу плавлення однієї тонни сталі  $\tau_{пл}$ , повного ККД від струму  $I_2$  називають робочими характеристиками ДСП.

Обґрунтувати оптимальний режим роботи ДСП.

Скласти схему короткої мережі ДСП.

Початкові дані приведені в табл. 4.1, 4.2.

#### Короткі методичні вказівки

Для побудови електричних і робочих характеристик будується схема заміщення електричної мережі (див. рис 4.1).

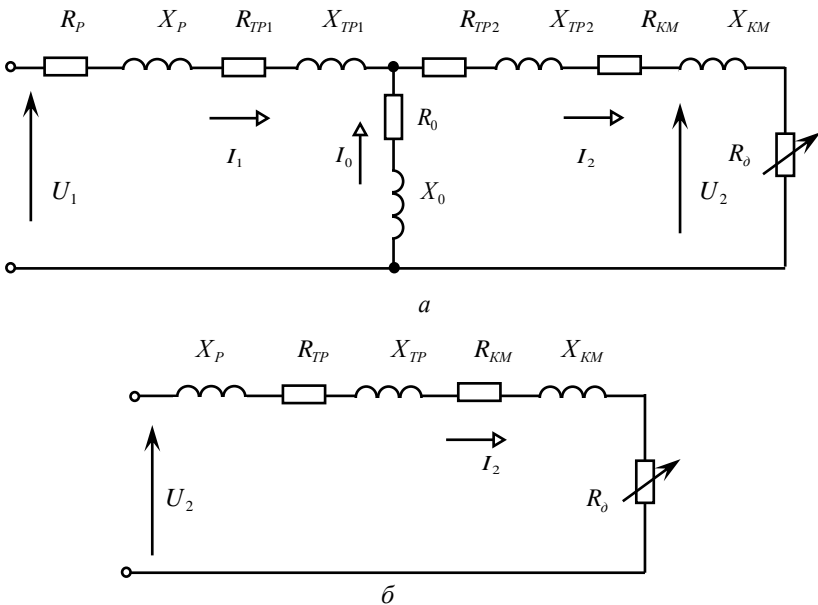


Рисунок 4.1 Схема заміщення дугової печі: а-повна, б-спрощена.

Вважаючи ДСП симетричною трифазною системою, можна її схему заміщення представити у вигляді однофазного ланцюжка індуктивних і активних опорів: індуктивного, опори реактора  $X_p$  (активним опором  $R_p$  і опорами гілки намагнічення трансформатора  $X_o$  і  $R_o$  зважаючи на їх крихту нехтуємо), індуктивного і активного опору трансформатор  $X_{T1}$ ,  $X_{T2}$ ,  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$ ; індуктивного і активного опору короткої мережі  $X_{kc}$ ,  $R_{kc}$ ; опори дуги  $R_d$  (див. рисунок, а). Усі опори схеми заміщення приводяться до вторинної стороні трансформатора (див. малюнок, б). При цьому опір дуги змінюється від  $R_d = \infty$  при струмі холостого ходу  $I_2 = 0$  до  $R_d = 0$  при короткому замиканні  $I_2 = I_{кз}$ .

Таблиця 4.1 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип ДСП	ДСП-0,5	ДСП-1	ДСП-2	ДСП-3	ДСП-5	ДСП-6	ДСП-10	ДСП-25	ДСП-50	ДСП-100
Потужність пічного трансформатора, кВ·А	400	1000	1500	2250	2800	3500	6000	16000	32000	45000
Вторинна фазна напруга при холостому ході, В	110	116	121	127	157	133	234	261	350	417
Активний опір трансформатора, Ом·10 <sup>-4</sup>	17	8	5	3	3,2	2	1	1,07	0,82	0,55
Індуктивний опір трансформатора, Ом·10 <sup>-4</sup>	73	36	21	13	30	20	11	5	6	5
Індуктивний опір дроселя, Ом·10 <sup>-4</sup>	150	70	60	25	15	10	25	17	-	-

Таблиця 4.2 Вихідні данні

Вихідні дані	Варіант до ДСП-6					Варіант з ДСП-10				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активний опір короткої мережі, Ом·10 <sup>-4</sup>	43	36	25	20	18	15	12	8	6	5
Індуктивний опір короткої мережі, Ом·10 <sup>-4</sup>	48	43	30	28	25	20	25	28	30	35
Схема короткої мережі*	1	1	2	2	3	2	2	3	3	4

Примітки. Опір, вказаний в таблицях, до вторинної обмотки трансформатора:

- \*схема 1 – трикутник на ошиновці трансформатора;
- схема 2 – трикутник на електродах;
- схема 3 – несиметричний трикутник на електродах;
- схема 4 – триангульована коротка мережа.

Значення сумарного зведеного активного  $R_{3B}$  і реактивного  $X_{3B}$  опорів, Ом, визначають за формулами:

$$R_{3B} = R_{TP} + R_{KM},$$

$$X_{3B} = X_{TP} + X_P + X_{KM},$$

де  $R_{TP}$ ,  $X_{TP}$  - опори обмоток пічного трансформатора, відповідно активний і реактивний, Ом;

$R_{KM}$ ,  $X_{KM}$  - опори короткої мережі, відповідно активний і реактивний, Ом;

$X_P$  - реактивний опір реактора, Ом.

Струм короткого замикання  $I_{2кз}$ , А, розраховують для випадку, коли опір дуги дорівнює нулю, за формулою

$$I_{2кз} = \frac{U_2}{\sqrt{(R_{TP} + R_{KM})^2 + (X_{TP} + X_P + X_{KM})^2}}$$

де  $U_2$  - номінальне значення напруги вторинної обмотки, В.

Для побудови електричних і робочих характеристик задаються п'ятьма - сімома значеннями струму  $I_2$  від нуля до  $I_{кз}$ . Для вибраних значень сили струму необхідні електричні залежності можна визначити з наступних виразів:

Повна потужність, ВА:

$$S = U_2 I_2;$$

Активна потужність ДСП:

$$P_a = I_2^2 (R_\theta + R_{TP} + R_{KM}) = 3U_2 I_2 \cos\varphi;$$

Потужність, що виділяється в дузі:

$$P_{пол} = P_a - \Delta P_{ел} = 3I_2^2 R_\theta = 3U_2 I_2 \cos\varphi - 3U_2 I_2 (R_{TP} + R_{KM});$$

Потужність електричних втрат:

$$\Delta P_{ел} = 3I_2^2 (R_{TP} + R_{KM});$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P_a}{S} = \frac{I_2 (R_\partial + R_{TP} + R_{KM})}{U_2} = \sqrt{1 - \left[ \frac{X_{TP} + X_P + X_{KM}}{U_2} \right]^2 I_2^2};$$

Електричний ККД ДСП:

$$\eta_{ел} = \frac{P_{пол}}{P_a} = \frac{R_\partial}{R_\partial + R_{TP} + R_{KM}}$$

На основі розрахунків та отриманих даних, які зводять в таблиці, побудувати графічні залежності приклад яких наведений на рис.4.2.

Для визначення робочих залежностей роботи ДСП від сили струму можуть використовуватися наступні вирази:

Питома витрата електричної енергії:

$$W_{y\partial} = \frac{P_a}{\partial};$$

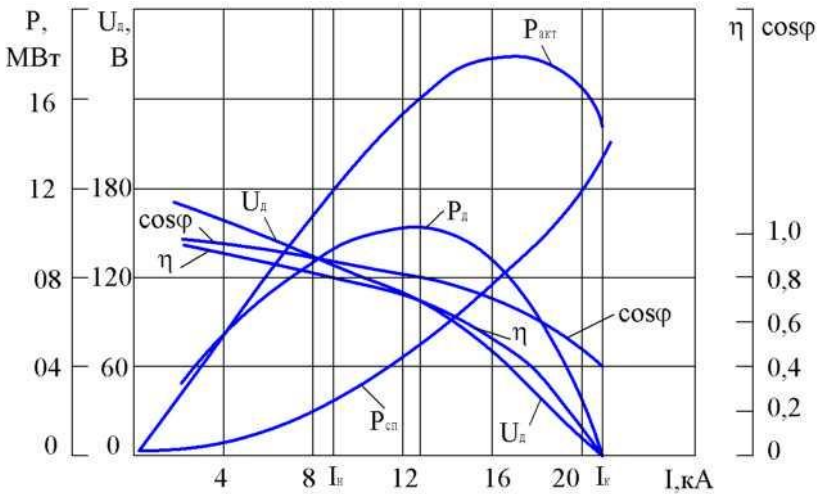


Рисунок 4.2 Графіки залежностей основних електричних параметрів ДСП від сили струму.

Година продуктивність ДСП:

$$\partial = \frac{P_{пол}}{a_T} = \frac{P_{пол}}{340};$$

де  $a_T = 340$  кВт·год/т - середня теоретична кількість електричної енергії яка необхідна для розплавлення 1 т сталі.

Час плавлення:

$$\tau_{пл} = \frac{1}{\delta};$$

Повний ККД:

$$\eta = \eta_{ел}; \quad \eta_T = \frac{340}{W_{y\theta}} = \frac{340 \cdot \delta}{P_a};$$

На основі розрахунків та отриманих даних, які зводять в таблиці, побудувати графічні залежності: годинної продуктивності ДСП від струму  $I_2$ ; питомої витрати електричної енергії від струму  $I_2$ ; часу плавлення тони сталі від струму  $I_2$ ; повного ККД від струму  $I_2$ .



Методичні вказівки для самостійної роботи та виконання контрольних завдань студентів за напрямком 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Укладачі: доцент, к.т.н., П.Г. Плешков  
ст. викл., к.т.н. Р.В. Телюта.

Підписано до друку \_\_.\_\_.20\_\_. Здано до тиражування \_\_.\_\_.20\_\_.

Формат 60x86 1/16. Ум. друк. арк. 5. Тираж 50 прим. Зам. № \_\_/20\_\_

© РВЛ КНТУ, м. Кіровоград, пр. Університетський 8, т. 390-541.