



В. Д. Юхимчук

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН



ACCHEC

ACCHEC

ACCHEC

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
”ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

В. Д. Юхимчук

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА
ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Затверджено

Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України,
як підручник
для студентів вищих навчальних закладів

Харків
НТУ „ХПІ”
2014

УДК 621.313(075)

ББК 31.261

Ю 94

Рецензенти: **В. Ф. Шинкаренко**, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут» (м. Київ);

О. І. Яковлєв, д-р техн. наук, проф., Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (м. Харків);

В. Є. Ващенко, головний технолог, ДП завод «Електроважмаш» (м. Харків).

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України, лист № 1/11- 4497 від 04.04.12 р.

Юхимчук В. Д.

Ю 94 Технологія виробництва електричних машин: Підручник / В.Д. Юхимчук – Х.: Тім Пабліш Груп, 2014. – 750 с.

ISBN

Розглянуто організацію, технологічну підготовку та технологічні процеси виробництва електричних машин. Викладено загальні питання електромашинобудування, питання механічної обробки деталей, штампування, складання магнітопроводів, виготовлення колекторів та контактних кілець. Розглянуто схеми обмоток, технологічні процеси виготовлення і укладання обмоток, просочування та його контроль. Викладено питання складання і випробування електричних машин.

Призначено для студентів і викладачів електромеханічних та електромашинобудівних факультетів вузів а також інженерно-технічних працівників електромашинобудівних та електроремонтних підприємств, електриків.

Іл. 423. Табл. 71. Бібліогр.: 31 назв.

УДК 621.313(075)

ББК 31.261

ISBN

© В. Д. Юхимчук, 2012 р.

© НТУ «ХПІ», 2012 р.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕДМОВА	10
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОМАШИНОБУДУВАННЯ	14
1.1. Особливості технології електромашинобудування.....	14
1.2. Типи виробництва та методи роботи	19
1.3. Структура електромашинобудівного підприємства	21
1.4. Основні положення єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД)	26
1.4.1. Загальні положення.....	26
1.4.2. Види виробів і комплектність конструкторських документів	27
1.4.3. Стадії розробки конструкторської документації	31
1.4.4. Позначення виробів і конструкторських документів	31
1.5. Основні положення єдиної системи технологічної документації (ЄСТД)	34
1.5.1. Загальні положення.....	34
1.5.2. Стадії розробки технологічної документації.....	36
1.5.3. Технологічні документи.....	38
1.5.4. Правила розробки технологічних процесів.....	43
1.6. Стандартизація, нормалізація та уніфікація.....	49
1.7. Проектування засобів технологічного оснащення.....	62
1.8. Припуски, допуски та посадки	63
1.8.1. Припуски	63
1.8.2. Допуски та посадки	65
1.8.3. Допуски на відхилення форми, розміщення й шорсткості поверхні	77
1.9. Базування деталей.....	91
1.10. Читання креслень.....	94
1.10.1. Читання креслень деталей	94
1.10.2. Читання складальних креслень.....	97
Контрольні запитання.....	98
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ЕЛЕКТРОМАШИНОБУДУВАННІ	99
2.1. Загальні відомості.....	99
2.2. Магнітні матеріали.....	100
2.2.1. Основні параметри магнітних матеріалів	100
2.2.2. Тонколистова електротехнічна сталь	103
2.3. Провідникові матеріали	107
2.3.2. Обмотувальні проводи	109

2.3.3. Мідні шини та стрічки.....	113
2.3.4. Установлювальні проводи	113
2.3.5. Колекторна мідь.....	114
2.3.6. Мідні сплави.....	114
2.3.7. Властивості алюмінію.....	116
2.3.8. Припої і флюси.....	117
2.3.9. Щітки.....	118
2.4. Конструкційні матеріали	123
2.5. Електроізоляційні матеріали.....	127
2.5.1. Вимоги до електроізоляційних матеріалів та їх класифікація.....	127
2.5.2. Волокнисті неорганічні матеріали	129
2.5.3. Слюдяні матеріали	130
2.5.4. Синтетичні плівки.....	132
2.5.5. Композиційні матеріали.....	133
2.5.6. Лаки, емалі, компаунди, смоли.....	135
Контрольні запитання.....	140
РОЗДІЛ 3. ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК.....	142
3.1. Загальні відомості.....	142
3.2. Отримання заготовок методом лиття.....	144
3.3. Заготовки з металокераміки	155
3.4. Заготовки, отримувані обробкою металів тиском	157
3.5. Зварні заготовки.....	159
3.6. Зварювання станини машини постійного струму	173
3.7. Зварювання корпусу статора великої електричної машини	176
3.8. Зварювання валів із ребрами	178
Контрольні запитання.....	179
РОЗДІЛ 4. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ.....	181
4.1. Загальні відомості.....	181
4.2. Технологічне оснащення.....	187
4.3. Обробка валів	197
4.3.1. Класифікація та технічні вимоги до валів	197
4.3.2. Матеріали та заготовки для валів	199
4.3.3. Основні операції обробки валів	202
4.4. Обробка станин, корпусів і підшипникових щитів	210
4.4.1. Обробка станини машини постійного струму	210
4.4.2. Обробка корпусів і статорів асинхронних двигунів	212
4.4.3. Обробка корпусів на агрегатних верстатах	215
4.4.4. Обробка підшипникових щитів.....	216
Контрольні запитання.....	218
РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ ШТАМПУВАННЯ	220
5.1. Загальні відомості.....	220
5.2. Операції листового штампування	220

5.3. Основні елементи штампів.....	221
5.4. Штampi для листового штампування.....	222
5.5. Зазори між матрицею і пуансоном.....	227
5.6. Виконавчі (робочі) розміри пуансона й матриці.....	228
5.7. Стійкість штампа.....	230
5.8. Особливості листового штампування неметалевих матеріалів.....	232
5.9. Вибір штампів і пресів.....	233
5.10. Обладнання, що використовується для штампування листів осердя.....	234
5.11. Автоматичне штампування на листоштампувальних установках.....	236
5.12. Штампування листів полюсів.....	240
5.13. Штампування сегментів великих електричних машин.....	242
5.14. Розкрій електротехнічної сталі.....	245
5.15. Приклад розрахунку дільниці для технологічного процесу штампування.....	252
5.15.1. Технічне завдання.....	252
5.15.2. Вибір матеріалу.....	253
5.15.3. Вибір типового технологічного процесу.....	253
5.15.4. Вибір обладнання та оснащення.....	253
5.15.5. Планування дільниці штампування.....	256
Контрольні питання.....	257

РОЗДІЛ 6. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ ОСЕРДЬ

МАГНІТОПРОВІД.....	259
6.1. Вимоги до магнітопроводів.....	259
6.2. Порядок технологічних операцій.....	262
6.3. Зняття задирок, лакування, термообробка та оксидування листів осердь.....	263
6.4. Складання осердь статора й ротора на оправку.....	267
6.5. Складання осердя якоря (ротора) на вал.....	276
6.6. Складання та кріплення осердя статора до корпусу.....	284
6.7. Складання та кріплення осердь статора із сегментів.....	287
6.7.1. Складання та кріплення осердь статора на шпильках.....	287
6.7.2. Складання та кріплення осердь статора на клинах типу ластівчина хвоста.....	295
6.8. Складання та кріплення осердь полюсів.....	301
6.8.1. Складання та кріплення полюсів машин постійного струму.....	301
6.8.2. Складання та кріплення полюсів роторів синхронних машин.....	307
Контрольні питання.....	316

РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОЛЕКТОРІВ

І КОНТАКТНИХ КІЛЕЦЬ.....	317
7.1. Конструкції колекторів і вимоги до них.....	317
7.2. Виготовлення колекторних пластин.....	323
7.3. Виготовлення колекторних прокладок.....	331
7.4. Виготовлення ізоляційних манжет і циліндрів.....	332

7.5. Складання та опресовування циліндра пластин.....	336
7.6. Розточування ластівчина хвоста	341
7.7. Загальне складання колектора	342
7.8. Виготовлення колекторів на пластмасі.....	346
7.8.1. Класифікація колекторів на пластмасі	346
7.8.2. Виготовлення колектора з ручним складанням пакета пластин.....	349
7.8.3. Виготовлення колектора з механізованим складанням пакета пластин	350
7.8.4. Виготовлення колекторів для машин малої потужності	351
7.9. Технологія виготовлення контактних кілець	358
7.9.1. Особливості конструкції контактних кілець	358
7.9.2. Виготовлення контактних кілець способом гарячого пресування на втулку	361
7.9.3. Виготовлення контактних кілець на пластмасі	363
Контрольні питання	363

РОЗДІЛ 8. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ОБМОТУВАЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

8.1. Вимоги до обмотувально-ізоляційного виробництва.....	365
8.2. Види і способи нанесення ізоляції обмоток.....	367
Контрольні питання	370

РОЗДІЛ 9. СХЕМИ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

9.1. Вимоги до складання схем обмоток машин змінного струму.....	371
9.2. Типи схем обмоток.....	372
9.3. Правила складання схем.....	374
9.4. Схеми одношарових трифазних обмоток.....	376
9.5. Схеми двошарових обмоток	379
9.6. Обмотки з дробовою кількістю пазів на полюс і фазу	380
9.7. Схеми обмоток багатшвидкісних асинхронних двигунів	384
9.8. Схеми обмоток одно- і двофазних двигунів	388
9.9. Заспокійлива обмотка явнопольосного ротора синхронної машини.....	393
9.10. Обмотки якорів колекторних машин.....	394
9.11. Вирівнювальні з'єднання	403
9.12. Схеми з'єднань обмоток полюсів	405
9.13. Приклад складання схеми обмотки	409
Контрольні запитання.....	412

РОЗДІЛ 10. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБМОТОК З КРУГЛОГО ПРОВІДНИКА

10.1. Конструкція ізоляції виспних обмоток	413
10.2. Послідовність технологічних операцій при виготовленні виспних обмоток	415
10.3. Укладання обмоток ручним способом	421

10.4. Укладання одношарових і одно-двошарових обмоток механізованим способом.....	428
10.5. Укладання обмоток на агрегатних верстатах.....	437
10.6. Укладання обмоток на автоматичних лініях	438
10.7. Капсулювання обмотки статора	439
Контрольні питання	442

РОЗДІЛ 11. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШАБЛОННИХ ОБМОТОК З ПРЯМОКУТНИХ ПРОВІДНИКІВ 443

11.1. Конструктивні особливості шаблонних обмоток з прямокутних провідників.....	443
11.2. Виготовлення обмоток для напіввідкритих пазів	444
11.3. Укладання обмоток у напіввідкриті пази осердь.....	450
11.4. Конструкції високовольних шаблонних обмоток	455
11.5. Виготовлення високовольних котушок з безперервною ізоляцією...459	
11.6. Виготовлення високовольних котушок з гільзовою ізоляцією.....	469
11.7. Випробування електричної міцності ізоляції високовольних котушок.....	475
11.8. Укладання високовольних котушок	477
Контрольні питання	485

РОЗДІЛ 12. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРИЖНЕВИХ ОБМОТОК 357 950 – 357 238 487

12.1. Конструктивні особливості стрижневих обмоток	487
12.2. Виготовлення стрижнів статорів турбогенераторів	493
12.3. Укладання стрижневих обмоток у пази статора турбогенератора.....	500
12.4. Виготовлення стрижнів роторів асинхронних двигунів	509
12.5. Укладання та з'єднання стрижневих обмоток роторів асинхронних двигунів.....	512
Контрольні питання	516

РОЗДІЛ 13. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБМОТОК ЯКОРІВ 517

13.1. Виготовлення обмоток якорів із круглих провідників	517
13.2. Виготовлення одновиткових котушок якоря	524
13.3. Виготовлення багатовиткових котушок якоря.....	532
13.4. Укладання обмоток якорів.....	534
13.5. Бандажування обмоток	540
13.6. Паяння і зварювання колектора	543
13.7. Обробка якоря.....	544
Контрольні питання	547

РОЗДІЛ 14. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОБМОТОК ПОЛЮСІВ..... 549

14.1. Типи обмоток полюсів.....	549
14.2. Виготовлення котушок полюсів з ізольованого провідника	555

14.3. Виготовлення котушок полюсів із шинної міді, що намотується плиском	560
14.4. Виготовлення котушок полюсів із шинної міді, намотаних на ребро	562
14.5. Виготовлення котушок полюсів гідрогенераторів	566
14.6. Виготовлення котушок компенсаційної обмотки	569
Контрольні питання	571

РОЗДІЛ 15. ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСОЧУВАННЯ І КОМПАУНДУВАННЯ ОБМОТОК..... 573

15.1. Способи й операції просочування	573
15.2. Сушіння обмотувального вузла перед просочуванням	573
15.3. Просочування зануренням	574
15.4. Просочування у вакуумі й під тиском.....	581
15.5. Просочування у вакуумі.....	585
15.6. Просочування струминним способом.....	586
15.7. Контроль за якістю просочування	592
15.8. Вибір способу просочування.....	595
Контрольні питання	597

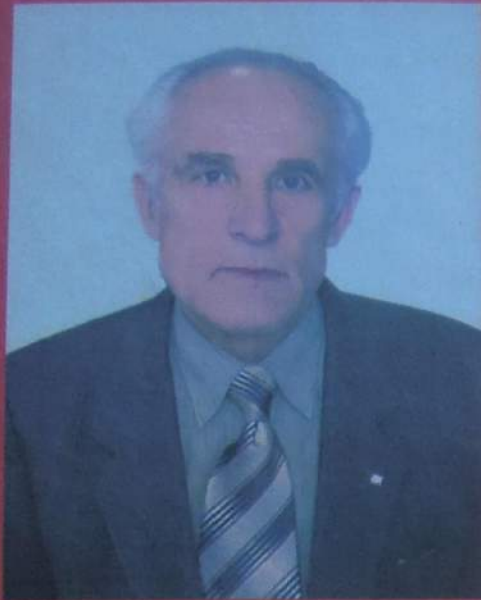
РОЗДІЛ 16. КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ ОБМОТОК 598

16.1. Види контролю й випробування обмоток	598
16.2. Вимірювання активного опору обмоток	600
16.3. Вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу машини й між обмотками.....	605
16.4. Випробування електричної міцності ізоляції обмоток.....	607
16.5. Випробування міжвиткової ізоляції.....	611
16.6. Випробування обмоток якорів.....	614
16.7. Сучасні прилади контролю обмоток електричних машин.....	616
16.8. Автоматизація технологічних процесів контролю обмоток.....	618
Контрольні питання	619

РОЗДІЛ 17. ВИГОТОВЛЕННЯ КОРОТКОЗАМКНЕНИХ ОБМОТОК РОТОРІВ..... 621

17.1. Типи короткозамкнених обмоток та особливості технології їхнього виготовлення	621
17.2. Технологія заливання роторів під високим тиском.....	629
17.3. Технологія заливання роторів під низьким тиском	632
17.4. Технологія заливання роторів статичним способом.....	633
17.5. Технологія заливання роторів вібраційним і відцентровим способами.....	635
17.6. Виготовлення обмотки з алюмінієвих шин	635
17.7. Виготовлення обмотки з мідних і латунних стрижнів	638
17.8. Заливання роторів міддю	644
Контрольні питання	649

РОЗДІЛ 18. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	650
18.1. Проектування технологічних процесів складання	650
18.2. Складання рухомих і нерухомих з'єднань	655
18.3. Обертові з'єднання	661
18.4. Складання короткозамкнених роторів	676
18.4.1. Способи кріплення осердя на валу	676
18.4.2. Кріплення осердя на валу пресуванням пластмаси	677
18.4.3. Кріплення осердя на валу заливанням алюмінію	678
18.4.4. Кріплення осердя на валу обтисканням крайніх листів	678
18.4.5. Кріплення осердя на валу посадкою з натягом	679
18.4.6. Кріплення осердя на валу шпонкою	682
18.5. Технологія балансування	683
18.6. Технологія складання машин змінного струму	695
18.6.1. Складання осердя й корпусу посадкою з натягом	695
18.6.2. Загальне складання машини змінного струму	696
18.7. Технологія складання машин постійного струму	701
Контрольні питання	707
РОЗДІЛ 19. ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	709
19.1. Загальні відомості	709
19.2. Програма приймально-здавальних випробувань	713
19.3. Норми й методи контролю і випробувань	714
19.4. Випробувальні станції й автоматизація процесів контролю	725
19.5. Техніка безпеки при випробуванні електричних машин	729
Контрольні питання	730
РОЗДІЛ 20. ОБРОБКА, КОНСЕРВАЦІЯ І ПАКУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН	732
20.1. Обробка деталей, вузлів і складених електричних машин	732
20.2. Консервація електричних машин	741
20.3. Пакування електричних машин	743
Контрольні питання	746
ЛІТЕРАТУРА	748



Юхимчук Володимир Данилович, професор кафедри електричних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук.

Є висококваліфікованим науково-педагогічним фахівцем, більше 40 років працював на посадах інженера, завідувача лабораторії, асистента, старшого наукового співробітника, доцента, професора кафедри електричних машин.

Основним напрямком наукової діяльності є розрахунок, конструювання, експериментальні випробування та технологія виготовлення електричних машин загальнопромислового призначення та спеціальних електричних машин для верстатобудування, рудникових тягових і високомоментних низькооберткових електродвигунів.

Має 112 публікацій, з них 57 наукового призначення, 32 навчально-методичного характеру, 21 авторське свідоцтво та 2 патенти на винаходи.

Є автором трьох навчальних посібників із грифом Міністерства освіти і науки України:

«Технологія ремонту машин постійного струму»

У підручнику розглянуті організація, технологічна підготовка та технологічні процеси виробництва електричних машин.

Підручник складається з 20 розділів, послідовність яких показує порядок виконання основних технологічних операцій та процесів у виробництві електричних машин.

У перших розділах підручника розглянуті загальні питання технології виробництва електричних машин, активні, ізоляційні та конструкційні матеріали, які застосовують в електромашинобудуванні, одержання заготовок, механічна обробка деталей, технологія штампування та складання осердь магнітопроводів.

У наступних розділах розглянуті технології виробництва колекторів та контактних кілець, загальні питання обмотково-ізоляційного виробництва, схеми обмоток електричних машин, технології виготовлення та укладання обмоток з круглого та прямокутного проводів, стрижневих обмоток, обмоток якорів і полюсів, технології просочування та компаундування обмоток, контроль і випробування обмоток, виготовлення короткозамкнених обмоток роторів, технологія балансування роторів (якорів), технології складання та випробування електричних машин, а також оздоблювання, консервування та пакування електричних машин.

