

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

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Технологія виробництва електричних машин і апаратів»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти

Електромеханіка

за темою - Просочення і сушіння обмоток

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 15.08.2022 № 1.

Розробник: к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Волканін Є.Є.

Рецензенти:

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

План лекції:

1. Призначення просочення.
2. Методи просочення.
3. Сушка обмоток.
4. Просочувально-сушильні відділення.

Рекомендована література:**Основна література:**

1. Юхимчук В.Д. Технологія виробництва електричних машин: Підручник/ В.Д. Юхимчук – Х.: Тім Пабліш Груп, 2014.
2. Чучман Ю. І. Технологія машинобудування для електромеханіків.: Навч. посібник для студ. електромех. спец. ВНЗ України. - Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2001.- 356 с.
3. Чучман Ю. І. Виготовлення феромагнітних осердь електротехнічних пристроїв.: Навч. посібник для студ. електромех. спец. ВНЗ України. - Львів: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2003. - 246 с.

Допоміжна література:

1. Електричні машини: підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
2. Белікова Л.Я. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.
3. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. <https://leg.co.ua/info/elektricheskie-mashiny/tehnologiya-i-oborudovanie-proizvodstva-elektricheskikh-mashin.html>
2. <http://web.kpi.kharkov.ua/elmask/wp-content/uploads/sites/108/2017/04/Tehnologiya-proizvodstva-elektricheskikh-mashin-v-2-h-knigah.YUhimchuk-V.D.-2006.pdf>

Текст лекції

1. Призначення просочення.

В процесі виготовлення і після укладання в пази статорів, роторів і якорів обмотки просочуються лаками або компаундами з наступним сушінням.

В результаті просочення і сушіння поліпшуються такі властивості електричної ізоляції:

- 1) підвищується нагревостойкість;
- 2) поліпшується теплопровідність обмоток за рахунок зменшення повітряних прошарків між провідниками і стінками паза сердечника;
- 3) підвищується вологостійкість ізоляції, особливо волокнистої, через зменшення гігроскопічності в результаті заповнення пір і створення лакової плівки, яка перешкоджає проникненню вологи всередину обмотки;
- 4) підвищується електрична міцність ізоляції, так як електрична міцність просочувальних матеріалів вище електричної міцності повітря, що знаходиться між волокнами непропая-працьованих матеріалів;
- 5) підвищується механічна міцність ізоляції, так як просочена обмотка має добре зцементовані витки, щільна і міцно сидять в пазах сердечників. Завдяки цьому запобігається переміщення провідників в результаті вібрації і пов'язане з цим пошкодження ізоляції від стирання.

Зовнішні поверхні обмоток після сушки забарвлюють покривними емалями і лаками. Настає внаслідок цього тверда і гладка плівка товщиною 50-60 мкм добре захищає ізоляцію від вологи, мастил і скупчування пилу.

2. Методи просочення.

Для просочення обмоток користуються такими методами:

- 1) зануренням в лак;
- 2) на стендах з нижньою подачею лаку;
- 3) струменевим поливом;
- 4) компаундированием;
- 5) вакуумно-нагнітальним способом.

Вибирають метод просочення в залежності від типу лаку і конструкції обмоток.

Метод просочення зануренням. Цей метод є найбільш поширеним способом просочення лаками, що містять розчинник, як окремих котушок, так і обмоток, покладених в пази сердечників. Для кращого проникнення лаку в обмотки, вкладені в пази сердечників, останні перед зануренням в лак нагріваються до температури 60-70 °.

Перед просоченням водноемульсійним лаком ПФЛ-86 нагрівати сердечники не слід, щоб уникнути розпаду емульсії.

Режим просочення залежить від призначення електричної машини, конструкції обмоток і типу лаку. Так, кількість просочень буває від однієї і

більше, а час витримки обмотки в лаку коливається від декількох секунд до однієї години.

Час витримки обмоток в лаку при першій просочення (15 хв - 1 год) значно більше, ніж при наступних зануреннях, так як при першому зануренні відбувається основне заповнення пір і повітряних прошарків в ізоляції.

При будь-просочення обмотка повинна знаходитися в лаку до припинення виділення бульбашок повітря.

Для кращого проникнення лаку в обмотку у занурюються в бак з лаком виробів пази сердечників повинні бути розташовані вертикально або під невеликим кутом. Якір електричної машини занурюють в лак колектором вгору.

Під час просочення зазвичай буває складно захищати кінці валів, посадочні поверхні статоров і шайб якорів, тому відразу після просочення лак з цих поверхонь видаляють, протираючи посадочні поверхні бавовняними серветками, змоченими в розчиннику.

У просочувальному відділенні повинен бути встановлений жорсткий контроль за складом і чистотою лаку. Просочувальні ванни і котли необхідно періодично очищати від залишків лаку, а занурюються в лак вироби перед просоченням обов'язково продувати чистим стисненим повітрям для видалення з них пилу і бруду. Щодня і після кожного розведення перевіряють в'язкість лаку, а через два-три дні - зміст основи лаку.

При звичайному методі просочення на видалення розчинників в процесі сушіння витрачається чимало часу - 10-12 год.

Для прискорення процесу просочення і подальшої за ним сушки за кордоном був розроблений новий метод просочення. Сутність цього методу полягає в тому, що виріб, що підлягає просоченню, нагрівають до температури, що трохи перевищує температуру кипіння розчинника, а потім занурюють на 10-20 сек у ванну з лаком, що має температуру цеху. У шарів лаку, що стикаються з якорем, нагрітим до температури 160 °, різко знижується в'язкість, в результаті чого лак краще проникає в пори обмотки і при цьому велика частина розчинника випаровується з обмотки.

Час сушіння після просочення для усунути залишки розчинника скорочується таким чином до 1-2 ч.

Метод просочення зануренням має ряд недоліків. Метою операції є просочення ізоляції обмоток і пазів сердечника, а в лак доводиться занурювати сердечник цілком. В результаті цього збільшується витрата лаку за рахунок покриття їм металевих деталей. До того ж цей лак доводиться з посадочних поверхонь змивати вручну.

На зовнішній поверхні статора утворюється лакова плівка, яку дуже важко змити, при забарвленні по ній якість покриття виходить невисоким.

Після просочення протягом 20-30 хв з виробів на піддони стікає лак.

Кошти, виділені в цей час пари розчинників, а також випаровування з поверхні лаку просочувальних ванн призводять до загазованості просочувально-сушильних відділень.

При певній концентрації парів розчинників просочувальне відділення стає вибухо- і пожежонебезпечних і шкідливих для здоров'я знаходяться в ньому працівників. Виняток становлять просочувальні відділення з водноемульсійними лаками.

Метод просочення з нижньою подачею лаку. Вироби, що підлягають просочення, встановлюють на спеціальні стенди. До стендів знизу підведений лакопровод, через який всередину статора або в бачок для ротора подається просочувальний склад.

При цьому методі просочення в порівнянні з просоченням зануренням скорочується витрата лаку, так як в процесі просочення лак покриває головним чином просочують обмотки і тому надмірно не витрачається; менше забруднюється просочувальний склад, так як з зовнішньою поверхнею статоров, яка не завжди буває чистою, лак не стикається; замивати доводиться у статоров тільки одну посадочну поверхню, а у роторів і якорів - кінець вала, який при просочуванні знаходився внизу бачка.

Різке зменшення загазованості, відсутність великих мас лаку в відкритих ємностях створює сприятливі умови для роботи в просочувальних відділеннях і робить їх менш небезпечними в пожежному відношенні.

Метод просочення на стендах має і недоліки: менша продуктивність, ніж при просочення зануренням; необхідність виконання додаткових робіт - замазування замазкою або закриття кришками отворів в статорі для запобігання від витікання лаку при просочуванні.

Метод просочення на стендах з нижньою подачею лаку раціональний в умовах індивідуального і дрібносерійного виробництва.

Метод просочення струменевим поливом. Застосування для просочення обмоток лаків типу КП, розроблених ВНПЕМ, дозволяє по-новому підійти до процесу просочення і сушіння. Лак типу КП - лак без розчинника.

Інститутом ВНПТЕЛЕКТРОПРОМ для просочення статоров єдиної серії 1-5-го габаритів створений новий метод просочення струменевим поливом в поєднанні з індукційним нагріванням для сушки.

Метод просочення струменевим поливом полягає в наступному. Статор, обмотка якого підлягає просоченню, встановлюють вертикально (на одну з горловин). На верхню лобову частину його поливається лак. Здатний проникати в обмотку лак добре заповнює наявні в ній проміжки і пори, витісняючи знаходиться там повітря.

Вироби, просочені в лаках типу КП, при нагріванні швидко висихають. Застосовуваний для цього індукційний спосіб нагріву дозволяє розігріти просочені статори асинхронних електродвигунів 1-5-го габаритів до необхідної температури 160- 170 ° за 6-10 хв.

Невеликий час полімеризації лаку дозволяє не витримувати вироби при цій температурі, так як лак встигає Полімеризується-тися за час охолодження статора.

Якість просочення лаками типу КП зазвичай висока, обмотка монолітна, добре зцементована. При випробуванні на теплове старіння статори, просочені лаками типу КП, витримують більшу кількість пробних циклів до виходу з ладу, ніж статори, просочені лаком № 447.

Компаундування обмоток. Компаундування обмоток в бітумних компаундах - процес, дещо відмінний від просочення обмоток в лаках.

Компаундування піддаються полюсні котушки з ізоляцією класу А і котушки статорів високовольтих електричних машин і машин, що працюють на повітрі в умовах з високою вологістю. В процесі компаундування компаундних маса, що подається в котел під тиском, опрессовивая котушку, добре заповнює проміжки між проводами, між проводами і зовнішньої ізоляцією. Гарному проникненню бітумної маси в котушку сприяє вакуумирование котушок перед подачею в автоклав бітуму, в результаті цього з проміжків і пір ізоляції видаляються повітря і волога.

Процес компаундування здійснюється в автоклавних установках.

Вакуумно-нагнітальний спосіб просочення. Просочення котушок збудження в кремнийорганіческій лаку. Просочення котушок головних полюсів з паралельною обмоткою, що мають велику кількість витків, методом занурення скрутна.

Ще більше утруднення для проникнення лаку створюють деталі шаблону, на якому, наприклад, просочуються в кремнийорганіческій лаку К-47к котушки з ізоляцією класу Н. Тому такі котушки просочуються вакуумно-нагнітальним способом.

Установка для просочення таким способом складається з автоклава, бака з лаком, вакуум-насоса і компресора.

Послідовність процесу наступна: сушка котушок перед просоченням в печі; охолодження на повітрі до температури 70-80°; сушка котушок під вакуумом в автоклаві; просочення лаком під тиском 6-8 атм; стікання з котушок надлишків лаку; продування котушок в автоклаві повітрям за допомогою вакуум-насоса при відкритій кришці автоклава; сушка котушок в печі.

Просочення котушок з ізоляцією типу «моноліт». Розглянемо технологічний процес виготовлення котушок з ізоляцією типу «моноліт» на прикладі виготовлення моноблоків додаткового полюса.

Перед просоченням виробляють ізолювання сердечників полюса і складання моноблоків.

Сердечники полюсів, попередньо знежирені протиранням бавовняними серветками, змоченими в бензині, закріплюють в лещатах, вручну щільно обгортають ізоляцією і туго тягнуть стрічкою.

Завершують виготовлення моноблоків операції: зачистка вивідних пластин, прогін різьблення мітчиком, забарвлення котушок емаллю і контроль.

3. Сушка обмоток.

Перед просоченням і після її обмотки піддають сушінню. Сушка перед просоченням необхідна для видалення вологи з пір ізоляції, що перешкоджає проникненню лаку.

Обмотки з вологостійкими ізоляційними матеріалами (емаль-провода, дроти зі скловолоконистої ізоляцією; пазовая ізоляція зі скловолокна) перед просоченням сушінні не піддають.

Сушка обмоток після просочення призначена для видалення розчинників і запікання лакової плівки.

Для сушіння обмотки поміщають в спеціальні сушильні печі.

Час сушіння виробів перед просоченням і після кожної просочення залежить від матеріалу ізоляції обмоток, що застосовуються для просочення лаків, способу сушіння, а також температури, при якій вона відбувається.

Встановлено, що зі збільшенням температури сушіння прискорюється виділення розчинника і вологи з обмоток. Однак з підвищенням температури швидше старіє ізоляція. Тому температура сушки обмоток не може бути довільною, допустима максимальна величина її визначається класом ізоляції.

За інших рівних умов на час сушки впливають габарити виробів, що підлягає сушінню, і способи їх укладання в печі. Вироби з більшою масою для свого розігріву вимагають більше часу; при хорошому омиванні виробів гарячим повітрям час сушки скорочується. Ось чому одночасно в печі не слід сушити, наприклад, якоря малих і великих величин. Укласти вироби для сушіння в печі слід з урахуванням гарного доступу повітря до кожного виробу.

При завантаженні в піч виробів, що мають температуру цеху, температура в ньому знижується, тому відлік часу сушіння, зазначених вище в заводських інструкціях, слід вести з моменту досягнення в печі заданої температури.

Процес сушіння після просочення поділяється на дві стадії: видалення парів розчинника і запікання лакової плівки.

У більшості просочувальних складів видалення розчинників відбувається в процесі розігріву до температури сушки.

Кремнійорганічні лаки вимагають ступінчастою температури сушки: 110 - 130° для видалення розчинника і 180 - 190 ° для запікання плівки лаку.

Якість просочення і сушіння обмоток перевіряють за величиною опору ізоляції, яка повинна відповідати величині, зазначеної в технологічній інструкції.

Деяке перевищення температури сушіння обмоток над гранично допустимої при роботі в тривалих умовах, зазначеної в ГОСТ для кожного класу ізоляції, не робить істотного впливу на старіння ізоляції, так як вплив цієї температури недовго за часом.

Способи сушки. Для здійснення процесу сушіння обмотки необхідно нагріти.

Застосовуються наступні способи нагріву обмоток електричних машин:

- 1) конвекційний;
- 2) терморадіаційний;
- 3) індукційний, струмами високої або промислової частоти;
- 4) струмовий (пропускання по обмотці струму).

Конвекційна сушка проводиться в спеціальних печах.

Тепло піддаються сушці виробам передається циркулює в печі нагрітим повітрям. Повітря ж нагрівається при проходженні через калорифер печі.

При конвекційному способі розігрів виробів відбувається з поверхні, що утворюється при цьому плівка перешкоджає випаровуванню з-під неї розчинників. Такий метод сушіння є найтривалішим.

Терморадіаційний спосіб сушіння полягає в нагріванні виробів інфрачервоними променями. Генераторами променів служать спеціальні електричні лампи, трубчасті електронагрівальні елементи, спеціальні металеві панелі. Нагріті до температури 300-450 ° панелі і трубчасті електронагрівальні елементи починають випромінювати інфрачервоні промені.

Терморадіаційна сушка ефективніше сушки конвекційним способом, так як розігрів просочувального складу відбувається знизу від металевих частин, що нагріваються інфрачервоними променями, завдяки чому створюються сприятливі умови для видалення розчинника і освіти наскрізний просочення.

Час сушіння якорів, просочених олійно-бітумним лаком, при інфрачервоному нагріві скорочується в порівнянні з конвекційною сушінням в п'ять-шість разів, а питома витрата електроенергії - в два рази.

При індукційному способі сушіння для нагріву виробів використовують явища магнітної індукції. Вироби поміщають в спеціальний індуктор, конфігурація якого відповідає формі і розмірам цих виробів. Індуктори підключають до генераторам для харчування струмами високої частоти (ТВЧ) або струмами промислової (нормальної) частоти (ТНЧ).

Під впливом змінного магнітного поля в виробі наводяться індукційні струми, які і нагрівають його.

При струмового сушінні через обмотку ротора, статора або якоря пропускається електричний струм, який і служить причиною нагріву виробів.

Для нагріву виробів краще змінний струм, т. К. При проходженні його, крім нагріву провідників за рахунок активних втрат, сталеві деталі машини нагріваються за рахунок потоків розсіювання.

При індукційної і струмового сушках, як і при терморадіаційної сушінні, створюються сприятливі умови для видалення парів розчинника, так як спочатку нагрівається метал виробів.

4. Просочувально-сушильні відділення.

Просочування та сушіння обмоток електричних машин на різних стадіях виробництва через специфіку технологічного процесу здійснюються в

спеціальних сушильно-просочувальних відділеннях, розташованих найчастіше в окремих приміщеннях.

Устаткування сушильно-просочувального відділення складається з:

1. Просочувальний ванн, автоклавів та сушильних печей, в яких проводиться процес просочення і сушіння.

2. Підйомно-транспортних засобів та допоміжних пристроїв, необхідних для правильного і безперебійного функціонування відділення (ємності для зберігання лаку, фільтри та насоси для його перекачування, вентиляційні пристрої, розподільна та контрольно-вимірювальна апаратура).

Конструкція ванн і печей залежить від ваги і габариту виробів, виду просочувальних лаків, способів нагріву, типу виробництва. Тому обладнання просочувально-сушильних відділень відрізняється великим конструктивним різноманітністю.

Залежно від типу виробництва сушильно-просочувальні відділення механізовані в більшій чи меншій мірі.

Найменш механізованими є відділення на заводах і в цехах з дрібносерійним типом виробництва. Для просочення виробів в них служать ємності з лаком, а для сушіння - окремо розташовані тупикові печі або блок з декількох печей. Всі транспортні операції, в тому числі занурення виробів в бак з лаком, завантаження і розвантаження висувних візків сушильних печей, здійснюються за допомогою кран-балки, керованої з підлоги робочим.

Найбільш досконалими і повністю механізованими є конвеєрні сушильно-просочувальні відділення заводів великосерійного і масового виробництва.

Устаткування сушильно-просочувальних відділень не стандартизовано, воно проектується і виготовляється самими електромашинобудівний підприємствами.