

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя

*Кафедра
електричної інженерії*



КАТЕДРА

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з дисципліни

ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

для студентів спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Тернопіль,
2023 р

Осадца Я.М. Конспект лекцій з дисципліни “Технологія електротехнічного виробництва” (для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). // Я.М. Осадца, В.А. Андрійчук, Л.М. Костик – Тернопіль: ТНТУ 2023 – 182 с.

Укладачі:

Осадца Ярослав Михайлович
кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри електричної інженерії

Андрійчук Володимир Андрійович
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електричної інженерії

Костик Любов Миколаївна
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електричної інженерії

Рецензент:

Кобельник Володимир Романович
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри конструювання верстатів,
інструментів та машин

**Відповідальний
за випуск**

Осадца Ярослав Михайлович

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 10 від 25 травня 2023 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 11 від «07» червня 2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
Лекція 1. ВИРОБНИЧИЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ	7
1.1 Виробничий процес. Класифікація виробничих процесів	7
1.2 Типи виробництва	8
1.3 Технологічний процес. Структура технологічного процесу	10
1.4 Види технологічних процесів	11
1.5 Технологічна документація	12
1.6 Техніко-економічні принципи технологічного проектування	14
1.7 Вхідна інформація для розробки технологічних процесів	15
1.8 Етапи проектування технологічного процесу	15
Лекція 2. ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ВИРОБІВ	16
2.1 Показники технологічності виробу	16
2.2 Аналіз технологічності конструкції деталі	17
Лекція 3. МЕХАНІЧНА ОБРОБКА	18
3.1. Характеристика процесів механічної обробки	18
3.2 Процеси обробки ріжучим інструментом	20
3.3 Обробка абразивним інструментом	24
3.4 Високоенергетична обробка металів	26
Лекція 4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЛИТТЯ	38
4.1. Загальні відомості про процес лиття	38
4.2. Приготування розплаву	39
4.3 Лиття в разові форми	42
4.4 Лиття в постійні форми	44
4.5 Специфічні способи лиття	48
4.6 Дефекти виливок	51
Лекція 5. ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ	51
5.1 Суть операцій листового штампування	51
5.2 Роз'єднувальні операції листового штампування	52
5.3 Формозмінюючі операції листового штампування	57
5.4 Високошвидкісні методи штампування	62
Лекція 6. ПЕРЕРОБКА ПЛАСТМАС	65
6.1 Основні поняття про пластмаси	65
6.2 Процеси переробки реактопластів	66
6.3 Переробка органічних термопластичних матеріалів	69
6.3.1 Шляхи отримання полімерів	69
6.3.2 Характеристика та області застосування органічних термопластичних матеріалів	70
6.3.3 Стабілізація властивостей та підвищення вогнестійкості полімерних матеріалів	73
6.3.4 Технологічні операції переробки полімерних матеріалів	75
Лекція 7. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СКЛА	85
7.1 Основні відомості про світлотехнічне скло	85
7.2 Дефекти скла	88

7.3 Загальні відомості про вироблення заготовок і виробів зі скла	89
7.4 Способи формування виробів зі скла	91
Лекція 8. ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КЕРАМІКИ	96
8.1 Основні види керамічних матеріалів	96
8.2 Виготовлення деталей із кераміки	100
Лекція 9. ПОКРИТТЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ	104
9.1. Види та властивості покриттів	104
9.2. Покриття, отримані електрохімічним осадженням металів і сплавів (гальванопокриття)	106
9.3 Спеціальні способи електрохімічної обробки	110
9.4 Електроосадження металевих покриттів	112
9.5 Вплив складу електроліту і режиму роботи гальванічних ванн на структуру осаду	113
9.6 Технологія нанесення покриттів осадженням у вакуумі	114
9.7 Лакофарбові покриття	116
9.7.1 Підготовка поверхні до нанесення лакофарбових покриттів	117
9.7.2 Способи нанесення лакофарбових покриттів	119
9.7.3 Сушіння лакофарбових покриттів	122
9.8 Покриття, одержані методом оплавлення	124
9.8.1 Властивості та матеріали покриттів	124
9.8.2 Технологічний процес гарячого емалювання	125
9.8.3 Одержання полімерних порошкових покриттів	127
9.9 Нанесення інтерференційних плівок	131
9.9.1 Нанесення плівок для зменшення коефіцієнта відбивання скла (просвітлюючі плівки)	131
9.9.2 Нанесення плівок для збільшення коефіцієнта відбивання скла	134
9.9.3 Способи нанесення інтерференційних плівок	135
Лекція 10. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНІЗМІВ ТА СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ	135
10.1 Види деталей та технологічні процеси їх виготовлення	135
10.2 Технологія виготовлення пружин	137
10.2.1 Виготовлення витих циліндричних пружини	138
Лекція 11. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН ТА МАГНІТОПРОВІДІВ	142
11.1 Види деталей та області застосування	142
11.2 Виробництво багатоамперних котушок	142
11.2.1 Процеси виготовлення багатоамперних котушок	145
11.3 Виробництво багатовиткових котушок	149
11.3.1 Типова технологія виготовлення	149
11.4 Виробництво магнітопроводів	154
11.4.1 Особливості технології виготовлення нешихтованих магнітопроводів	154
11.4.2 Технологія виготовлення шихтованих магнітопроводів	155
11.4.3 Особливості технології виготовлення стрічкових магнітопроводів	156
11.4.4 Технологія формованих магнітопроводів	158
11.5 Виробництво резисторів	158

11.5.1	Технологія виробництва плівкових резистивних елементів	159
11.5.2	Технологія дровових, стрічкових, спіральних та зигзагоподібних елементів на каркасах та без них	159
11.5.3	Технологія штампованих резистивних елементів	161
11.5.4	Технологія чавунних резистивних елементів	161
11.6	Технологія виготовлення литої ізоляції	161
	Лекція 12. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЗБОРКИ	163
12.1	Загальні відомості про процес зборки	163
12.2	Підготовка виробництва до зборочних робіт	165
12.3	Технологічні особливості складальних операцій	166
12.4	Нероз'ємні з'єднання	168
12.5	Роз'ємні з'єднання	174
	Лекція 13. ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ВИПРОБУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ	175
13.1	Технологічні операції контролю	175
13.2	Випробування електроприладівприладів	177
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	181

ВСТУП

Електротехнічне обладнання випускається на спеціалізованих заводах, які можуть здійснювати майже усі технологічні процеси, необхідні для випуску окремих деталей, вузлів та готової електротехнічної продукції. Специфіка електротехнічного виробництва вимагає створення нових спеціальних технологій електротехнічної продукції та пристосування традиційних технологічних процесів до потреб галузі.

Метою вивчення курсу «Технологія електротехнічного виробництва» є ознайомлення студентів з основними технологічними процесами електротехнічної промисловості, методами обробки деталей, матеріалами для їх виготовлення, основами проектування технологічних процесів.

Завданням вивчення курсу є отримання студентами теоретичних знань, основних положень і понять основних технологічних процесів електротехнічного виробництва, набуття практичних навичок і вмінь у розробці деталей електротехнічної продукції та обладнання для забезпечення технологічних процесів, визначення технологічності конструктивних елементів електротехнічної продукції.

Лекція 1

ВИРОБНИЧИЙ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕСИ

1.1 Виробничий процес. Класифікація виробничих процесів

Виробничий процес – це сукупність здійснюваних за допомогою засобів праці трудових дій робітників, внаслідок чого предмети праці (матеріали, сировина, напівфабрикати тощо) перетворюються у готову продукцію. Виробничий процес протікає у просторі протягом певного часу.

На сучасних підприємствах процес виробництва продукції досить складний і є сукупністю найрізноманітніших взаємопов'язаних виробничих процесів. У загальному вигляді всі виробничі процеси можна об'єднати у такі групи:

1) за роллю в процесі виробництва:

основні, в результаті яких утворюється продукція, заради виробництва якої існує підприємство;

допоміжні, в результаті яких утворюється продукція, що споживається самим підприємством і сприяє випуску основної продукції (наприклад: ремонт устаткування, виробництво інструменту тощо);

обслуговуючі, в результаті яких нова продукція не утворюється (наприклад: контроль якості продукції, транспортування, складування продукції тощо), але які сприяють протіканню основних та допоміжних процесів.

2) за стадією:

заготівельні, в результаті яких різними способами виготовляються найрізноманітніші заготовки;

оброблювальні, при допомозі яких здійснюється зміна форми, розмірів, стану поверхні заготовок тощо;

складальні, в результаті яких змінюється взаємне розташування деталей, вузлів, здійснюється їх випробування, пакування продукції тощо.

3) за видами засобів праці, які застосовуються у виробництві:

ручні, які виконуються робітниками без застосування машин і механізмів;

машинно-ручні, які виконуються з застосуванням машин і механізмів, причому силу подачу здійснює робітник;

машинні, які виконуються машинами та механізмами під безпосереднім керівництвом робітника;

автоматичні, які виконуються на спеціальних автоматах без безпосередньої участі робітника, але під його наглядом;

апаратурні, які здійснюються в спеціальних агрегатах під наглядом робітника.

4) за характером впливу на предмети праці виробничі процеси можуть бути спрямовані на змінювання форми і стану поверхні предметів праці, їх фізичних та хімічних властивостей тощо.

5) за рівнем організації:

прості, при яких технологічні операції послідовно здійснюються над одним або партією предметів праці;

складні, які являють собою сукупність узгоджених простих процесів.

Складовою частиною виробничого процесу є технологічний процес.

1.2 Типи виробництва

Залежно від номенклатури, регулярності, стабільності і обсягу випуску виробів сучасне виробництво поділяється на різні типи: одиничне, серійне і масове.

Одиничне виробництво характеризується практично необмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються, і малим обсягом випуску виробів (від кількох штук до десятків штук в рік).

На підприємствах одиничного виробництва кількість виробів, що випускаються, і розміри операційних партій заготовок (тобто кількість заготовок, що поступають на робоче місце для виконання технологічної операції) обчислюється штуками і десятками штук. На робочих місцях виконуються різноманітні технологічні операції, що повторюються нерегулярно або що не повторюються зовсім; використовується універсальне точне устаткування, яке розставляється в цехах по технологічних групах (токарна, фрезерна, свердлувальна і т.п. ділянки). Спеціальні пристосування і інструменти як правило не застосовуються (вони створюються тільки у випадках неможливості виконання операції без спеціального технологічного оснащення). Початкові заготовки – прості (литво в землю, гарячий прокат, поковки) з малою точністю і великими припусками; необхідна точність досягається методом пробних ходів і промірів з використанням розмітки; взаємозамінність деталей і вузлів у багатьох випадках відсутня, широко застосовується пригін по місцю. Кваліфікація робітників дуже висока, оскільки від неї значною мірою залежить якість продукції. Технологічна документація скорочена і спрощена; технічні норми відсутні; застосовується дослідно-статистичне нормування праці.

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що періодично повторюються, і порівняно великим обсягом випуску (від кількох десятків до 350 тис. на рік для електротехнічного виробництва).

Залежно від кількості виробів в партії або серії і значення коефіцієнта закріплення операцій розрізняють дрібносерійне (кілька десятків – 5 тис. на рік), середньосерійне (5 – 150 тис. на рік) і крупносерійне (150 – 350 тис. на рік) виробництво.

Коефіцієнт закріплення операцій визначається відношенням числа всіх різних технологічних операцій, виконаних або підлягаючих виконанню протягом місяця, до числа робочих місць. Коефіцієнт закріплення операцій складає:

для дрібносерійного виробництва – від 20 до 40 включно;

для середньосерійного – від 10 до 20 включно;

для крупносерійного – від 1 до 10 включно.

Серійне виробництво є основним типом сучасного виробництва. За всіма технологічними і виробничими характеристиками серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом.

У серійному виробництві використовується універсальне і спеціалізоване устаткування. Широко використовуються верстати з частотно-програмним управлінням (ЧПУ), оброблювальні центри, гнучкі автоматизовані системи верстатів з ЧПУ, зв'язані транспортуючими пристроями і керовані з допомогою інформаційних технологій. Устаткування розставляється по технологічних групах з урахуванням напряму основних вантажопотоків цеху по предметно-замкнених ділянках. Проте одночасно використовуються групові поточкові лінії і змінно-

потоків автоматичні лінії. Технологічне оснащення в основному універсальне, проте у багатьох випадках (особливо в крупносерійному виробництві) створюється високопродуктивне спеціальне оснащення; при цьому доцільність його створення має бути попередньо обґрунтовано техніко-економічним розрахунком. Велике розповсюдження має універсально-збиральне, переналагоджуване технологічне оснащення, що дозволяє істотно підвищити коефіцієнт оснащеності серійного виробництва. Як початкові заготовки використовується гарячий і холодний прокат, лиття в землю і лиття під тиском, точне лиття, точні поковки штампування і пресування, доцільність застосування яких також обґрунтовується техніко-економічними розрахунками. Необхідна точність досягається як методами автоматичного отримання розмірів, так і методами пробних ходів і промірів з частковим застосуванням розмітки.

Середня кваліфікація робітників вища, ніж у масовому виробництві, але нижча, ніж в одиничному. Разом з робітниками високої кваліфікації, що працюють на складних універсальних верстатах і наладчиками, використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах. Залежно від обсягу випуску і особливостей виробів забезпечується повна взаємозамінність, неповна, групова взаємозамінність складальних одиниць, проте у ряді випадків на зборці застосовується компенсація розмірів і пригін по місцю.

Технологічна документація і технічне нормування детально розробляються для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації і дослідно-статистичного нормування простих заготовок.

Залежно від розмірів партій виробів характер технологічних процесів серійного виробництва може змінюватися в широких межах, наближаючись до процесів масового (у крупносерійному) або одиничного (у дрібносерійному) типу виробництва.

Масове виробництво характеризується вузькою номенклатурою і великим обсягом випуску виробів, що безперервно виготовляються протягом тривалого часу (для електротехнічного виробництва обсяги виробництва складають від 350 доо 400 тисяч виробів на рік).

Коефіцієнт закріплення операцій для масового виробництва дорівнює одиниці, тобто на кожному робочому місці закріплюється виконання однієї операції, що постійно повторюється. При цьому використовується спеціальне високопродуктивне устаткування, яке розставляється за поточковим принципом (тобто по ходу технологічного процесу) і у багатьох випадках зв'язується транспортуючими пристроями і конвеєрами з постами проміжного автоматичного контролю, а також проміжними складами – накопичувачами заготовок, забезпеченими автоматичними перевантажувачами. Використовуються високопродуктивні багатошпindelні автомати і напівавтомати, складні верстати з ЧПУ і оброблювальні центри. Широко застосовуються автоматичні лінії і автоматизовані виробничі системи, керовані ЕОМ.

Значне застосування знаходить високопродуктивне технологічне оснащення, інструменти з синтетичних надтвердих матеріалів і алмазів, фасонні інструменти всіх видів. Широко використовуються точні індивідуальні вихідні заготовки з мінімальними припусками на механічну обробку (лит під тиском і точне лиття, гаряче об'ємне штампування і пресування, калібрування і чеканка тощо).

Необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів на настроєних верстатах при забезпеченні взаємозамінності оброблюваних заготовок і збираних вузлів. Тільки в окремих випадках застосовується селективна зборка, що забезпечує групову взаємозамінність.

Середня кваліфікація робітників у сучасному масовому виробництві нижча, ніж в одиничному. На настроєних верстатах і автоматах працюють робітники-оператори порівняно низької кваліфікації. Одночасно в цехах працюють висококваліфіковані наладчики верстатів, фахівці з електронної техніки і пневмогідроавтоматики.

Технологічна документація масового виробництва розробляється найдетальнішим чином, технічні норми ретельно розраховуються і піддаються експериментальній перевірці.

Крім вказаних типів виробництв, виділяють ще один тип – дослідне виробництво – це виробництво зразків, партій виробів для проведення дослідних робіт чи розробки конструкторської і технологічної документації для постійного виробництва. Його організація є подібною до одиничного типу виробництва.

1.3 Технологічний процес. Структура технологічного процесу

Технологічний процес – це частина виробничого процесу, яка містить послідовну зміну розмірів, форми, зовнішнього вигляду чи внутрішніх властивостей предмету виробництва та їх контроль.

Технологічна операція – це елементарна частина технологічного процесу, яка виконується одним робітником або бригадою робітників над одним предметом або партією предметів праці на спеціалізованому робочому місці без переналагодження обладнання при незмінності інструментів, оснащення, креслень тощо.

Крім основних технологічних операцій до складу технологічного процесу у ряді випадків (наприклад, в потоковому виробництві і особливо при обробці на автоматичних лініях і в гнучких технологічних комплексах) включаються допоміжні операції (транспортні, контрольні, маркувальні тощо), що не змінюють розмірів, форми, зовнішнього вигляду або властивостей оброблюваного виробу, але необхідні для здійснення технологічних операцій.

Установа – частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок або збираної складальної одиниці.

Позиція – фіксоване положення, займане незмінно закріпленою оброблюваною заготовкою або збираною складальною одиницею спільно з пристосуванням щодо інструменту або нерухомої частини устаткування, для виконання визначеної частини операції.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується постійністю вживаного інструменту і поверхонь, що утворюються обробкою або що сполучаються при зборці.

Елементарний перехід – частина технологічного переходу, що виконується одним інструментом над однією ділянкою поверхні оброблюваної заготовки за один робочий хід без зміни режиму роботи верстата.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини і(або) устаткування, які не супроводжуються зміною форми, розмірів і шорсткості поверхонь предмету праці, але необхідні для

виконання технологічного переходу. Прикладами допоміжних переходів є: установка заготовки, зміна інструменту тощо.

Робочий хід – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту щодо заготовки, що супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки.

Допоміжний хід – це закінчена частина технологічного переходу, що складається з одноразового переміщення інструменту щодо заготовки, що не супроводжується зміною форми, якості поверхні або властивостей заготовки, але необхідного для підготовки робочого ходу.

Прийом – це закінчена сукупність дій людини, вживаних при виконанні переходу або його частини і об'єднаних одним цільовим призначенням.

1.4 Види технологічних процесів

Залежно від умов виробництва і призначення технологічного процесу застосовуються різні види і форми технологічних процесів. Вид технологічного процесу визначається кількістю виробів, що охоплюються процесом (один виріб, група однотипних або різнотипних виробів).

Одиничний технологічний процес – це технологічний процес виготовлення або ремонту виробу одного найменування, типорозміру і виконання незалежно від типу виробництва. Розробка одиничних технологічних процесів характерна для оригінальних виробів (деталей, складальних одиниць), що не мають загальних конструктивних і технологічних ознак з виробами, які раніше виготовлялися на підприємстві.

Уніфікований технологічний процес – це технологічний процес, що відноситься до групи виробів (деталей, складальних одиниць), які характеризуються спільністю конструктивних і технологічних ознак. Уніфіковані технологічні процеси підрозділяються на типові і групові. Уніфіковані технологічні процеси знаходять широке застосування в дрібносерійному, серійному і частково в крупносерійному виробництвах. Застосування уніфікованих технологічних процесів залежить від наявності спеціалізованих ділянок, робочих місць, переналагоджуваного технологічного оснащення і обладнання.

Типовий технологічний процес – це технологічний процес виготовлення групи виробів із загальними конструктивними і технологічними ознаками. Типовий технологічний процес характеризується спільністю змісту і послідовності більшості технологічних операцій і переходів для групи таких виробів і застосовується як інформаційна основа при розробці робочого технологічного процесу і як робочий технологічний процес за наявності всієї необхідної інформації для виготовлення деталі, а також служить базою для розробки стандартів на типові технологічні процеси.

Груповий технологічний процес – це технологічний процес виготовлення групи виробів з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками. Відповідно до цього визначення груповим технологічним процесом є процес обробки заготовок різної конфігурації, що складається з комплексу групових технологічних операцій, які виконуються на спеціалізованих робочих місцях в послідовності технологічного маршруту виготовлення певної групи виробів. При цьому під спеціалізованим робочим місцем розуміють робоче місце, яке

призначене для виготовлення або ремонту одного виробу або групи виробів при загальній налазці і окремих підналазках протягом тривалого інтервалу часу. Груповий технологічний процес може складатися також з однієї групової операції (одноопераційний груповий технологічний процес).

Групова технологічна операція характеризується спільністю використовуваного устаткування, технологічного оснащення і налазки (при допущенні тільки незначної підналазки засобів технічного оснащення).

Групові технологічні процеси розробляють для всіх типів виробництва тільки на рівні підприємства.

Перспективний технологічний процес – це технологічний процес, що відповідає сучасним досягненням науки і техніки, методи і засоби здійснення якого повністю або частково належить освоїти на підприємстві.

Робочий технологічний процес – це технологічний процес, що виконується по робочій технологічній і(або) конструкторській документації. Робочий технологічний процес розробляють тільки на рівні підприємства і застосовують для виготовлення або ремонту конкретного предмету виробництва.

Проектний технологічний процес – це технологічний процес, що виконується за попереднім проектом технологічної документації.

Тимчасовий технологічний процес – це технологічний процес, що використовується на підприємстві протягом обмеженого періоду часу через відсутність належного устаткування або у зв'язку з аварією до заміни на сучасніший.

Стандартний технологічний процес – це технологічний процес, встановлений стандартом. Під стандартним технологічним процесом розуміється технологічний процес, що виконується по робочій технологічній і(або) конструкторській документації, оформлений стандартом, і відноситься до конкретного устаткування, режимів обробки і технологічного оснащення.

Комплексний технологічний процес – це технологічний процес, до складу якого включаються не тільки технологічні операції, але і операції переміщення, контролю і очищення оброблюваних заготовок по ходу технологічного процесу. Комплексні технологічні процеси проектуються при створенні автоматичних ліній і гнучких автоматизованих виробничих систем.

1.5 Технологічна документація

Технологічний документ – це документ, який визначає технічне рішення і(або) технологічний процес відповідно до встановленої форми. Всі технологічні документи поділяються на основні і допоміжні.

Основні технологічні документи – це документи, які містять зведену інформацію для вирішення одного або комплексу інженерно-технічних, планово-економічних та організаційних завдань. Основні документи цілком визначають технологічний процес (операцію) виготовлення чи ремонту виробу.

Допоміжні технологічні документи – документи, що застосовуються при розробці, впровадженні і функціонуванні технологічних процесів і операцій.

Основні технологічні документи поділяють на документи загального і спеціального призначення.

Документи загального призначення – це документи, які застосовуються окремо чи в комплектах документів на технологічні процеси (операції) незалежно від технологічних методів виготовлення чи ремонту виробів (наприклад, технологічна інструкція, карта ескізів, титульний лист).

Документи спеціального призначення – документи, які використовуються при описі технологічних процесів і операцій залежно від типу виробництва, технологічних методів виготовлення або ремонту виробів (наприклад, маршрутна карта, карта технологічного процесу, операційна карта).

До основних і допоміжних документів відносяться:

- титульний аркуш (лист) (ТЛ);
- маршрутна карта (МК);
- карта технологічного процесу (КТП);
- карта типового технологічного процесу (КТТП);
- операційна карта (ОК);
- операційна карта типова (ОКТ);
- операційна карта технологічного контролю (ОКТК);
- карта ескізів (КЕ);
- комплектувочна карта (КК);
- карта технологічної інформації (КТІ);
- карта наладки (КН);
- карта замовлення на розробку УП (управляючу програму) (КЗ/П);
- карта кодування інформації (ККІ);
- відомість скадання виробу (ВСВ);
- відомість деталей (складальних одиниць) до типового техпроцесу (операції) (ВТП, ВТО);
- відомість оброблюваних деталей (ВОД);
- відомість операцій (ВОП);
- відомість операцій технічного контролю (ВОК);
- відомість розцеховки (ВР);
- відомість оснащення (ВО);
- відомість матеріалів (ВМ);
- технологічна інструкція (ТІ);
- відомість технологічних документів (ВТД);
- технологічна пояснювальна записка (ТПЗ).

Розроблені технологічні процеси оформляються на відповідних технологічних документах, ступінь деталізації яких встановлюється залежно від типу і характеру виробництва, а також від складності і точності оброблюваних виробів. У технологічній документації можуть бути прийняті такі описи технологічних документів:

Маршрутний опис технологічного процесу, при якому проводиться скорочений опис всіх технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання без вказування переходів і технологічних режимів. Маршрутний опис технологічних процесів звичайно використовується в одиничному, дрібносерійному і дослідному виробництвах.

Операційний опис технологічного процесу, при якому дається повний опис всіх технологічних операцій в послідовності їх виконання з вказівкою переходів і

технологічних режимів. Операційний опис технологічних процесів застосовується в серійному і масовому виробництвах і для особливо складних деталей в дрібносерійному і навіть в одиничному.

Маршрутно-операційний опис технологічного процесу, при якому дається скорочений опис технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання з повним описом окремих операцій в інших технологічних документах. Маршрутно-операційний опис рекомендується до застосування в серійному, дрібносерійному і дослідному виробництвах, коли виріб, що виготовляється, включає окремі складні і точні деталі.

Вибір комплекту форм документів для технологічного процесу проводиться залежно від типу і характеру виробництва і видів технологічних процесів.

Відповідно до вимог Єдиної системи технологічної документації маршрутна карта є документом загального призначення, тобто в цьому документі можна описати технологічний процес будь-яких видів робіт, у тому числі і складальних. В той же час маршрутна карта є обов'язковим документом. При маршрутному описі технологічного процесу його технологічні операції викладаються укрупнено, тобто без вказування переходів і технологічних режимів. При потребі вказання переходів і технологічних режимів для здійснення технологічного процесів механічної обробки і зборки користуються картами технологічного процесу або операційними картами. При операційному описі технологічного процесу в комплект документів входить також маршрутна карта, що є зведеним документом.

1.6 Техніко-економічні принципи технологічного проектування

В основу розробки технологічних процесів покладено три принципи: технічний, економічний, організаційний.

Згідно з *технічним принципом* технологічний процес повинен повністю забезпечити виконання вимог креслення і технічних умов на виготовлення виробу – точності, якості поверхонь, технологічності деталей і конструкцій. Висока точність виробу ставить вищі вимоги до точності виготовлення окремих деталей. Якість і термообробка деталей також впливають на довговічність конструкції виробу.

Згідно з *економічним принципом* вироби повинні виготовлятися з мінімальними затратами праці і витратами виробництва. Для цього необхідне виконання таких умов:

- заготовки за розмірами і формою повинні максимально наближатися до готових деталей. Розподіл припусків на чорнову, чистову і остаточну обробку має бути раціональним;

- послідовність і структура операцій повинні бути такими, щоб виготовлення деталей здійснювалося з мінімальними матеріальними затратами;

- технологічне обладнання і оснащення повинні бути недорогими і високоефективними.

Згідно з *організаційним принципом* виготовлення деталей конструкцій і їх складання повинно здійснюватися в умовах, що забезпечують максимальну ефективність виробництва, тобто форма організації технологічного процесу має відповідати типу виробництва: розташування обладнання на ділянці повинно забезпечити безперервне виготовлення виробів і найкоротші шляхи

транспортування; робочі місця повинні задовольняти умови наукової організації праці і санітарно-гігієнічні умови; робочі місця повинні бути забезпечені інструментом і заготовками тощо.

1.7 Вхідна інформація для розробки технологічних процесів

Технологічні процеси розробляють при проектуванні нових і реконструкції існуючих виробництв. Залежно від умов, для яких проектується технологічний процес, потреба у вихідній документації може бути різною. Всю вихідну документацію поділяють на базову, керуючу і довідкову.

Базова інформація включає відомості, що містяться в конструкторській документації на вироби, та програму випуску.

Керуюча інформація містить вимоги галузевих державних стандартів до технологічних процесів та методів управління ними, а також стандарти на обладнання і оснастку, документацію на діючі одиничні, типові і групові технологічні процеси, класифікатори техніко-економічної інформації, виробничі інструкції, матеріали для вибору технологічних нормативів (режимів обробки, припусків, норм витрати матеріалів тощо), документацію з техніки безпеки.

Довідкова інформація містить технологічну документацію досвідного виробництва, опис прогресивних методів виробництва, каталоги, паспорти, довідники, альбоми технологічної оснастки, методичні матеріали з управління технологічними процесами.

Обов'язковими даними для проектування нових виробів є:

- ринкова потреба у даних виробках;
- робочі креслення виробів;
- специфікації деталей;
- опис конструкції виробів;
- технічні умови на виготовлення та здачу виробів.

1.8 Етапи проектування технологічного процесу

Проектування технологічних процесів відбувається у три етапи:

I етап – технічне завдання – містить технічні вимоги до технологічної документації, ступінь її деталізації, виконавців, джерела фінансування. На цьому етапі також проводять орієнтовні розрахунки техніко-економічної ефективності проектних рішень. Затверджене технічне завдання є основою для розробки технічного проекту.

II етап – технічне проектування. На цьому етапі розробляють проектний маршрутний технологічний процес і приймають основні принципові технічні рішення. Технічний проект після розгляду і затвердження є основою детальніших розробок.

III етап – робоче проектування. На цьому етапі залежно від прийнятого ступеня деталізації розробляють робочі маршрутно-операційні або операційні технологічні процеси. Виконавець може самостійно встановлювати необхідність кожної стадії і окремих робіт на кожній стадії робочого проектування.

З метою скорочення трудомісткості і тривалості технологічних розробок зіставлення і вибір оптимального варіанту необхідно проводити на більш ранніх стадіях проектування. Технологічне проектування є ітераційним процесом, пов'язаним з багаторазовими поверненнями, переглядами, поглибленнями рішень, прийнятих на більш ранніх стадіях проектування.

Лекція 2

ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ВИРОБІВ

2.1 Показники технологічності виробу

Одним з факторів, які суттєво впливають на характер технологічних процесів, є технологічність конструкції виробу та його складових частин. При конструюванні виробів необхідно не тільки забезпечити експлуатаційні вимоги, а й вимоги до їх найбільш економічного виготовлення. Чим менша трудомісткість і собівартість виготовлення, виробу, тим більше він вважається технологічним. Тому проектуванню технологічних процесів передують відпрацювання виробу на технологічність. Технологічна конструкція виробу повинна передбачати широке використання уніфікованих складальних одиниць, стандартизованих та нормалізованих деталей і їх елементів; мінімальну кількість оригінальних деталей та їх якомога більшу повторюваність, а також використання стандартних деталей із попередніх конструкцій. Конструкції виробу повинні відповідати вимогам складання, мати зручні складальні бази, мінімум підгінних робіт, можливість паралельного складання складальних одиниць.

Оцінка технологічності конструкції може бути двох видів: якісна і кількісна. *Якісна оцінка* характеризує технологічність конструкції узагальнено на підставі досвіду виконавця і проводиться на всіх стадіях проектування як попередня. Її характеризують показники: добре – погано. *Кількісна оцінка* базується на визначенні відношення досягнутих показників до базових.

Відпрацювання конструкції на технологічність рекомендується виконувати в такому порядку: підібрати і проаналізувати вихідні (початкові) матеріали, необхідні для оцінки технологічності; визначити показники технологічності базової і призначеної до виготовлення конструкції; провести порівняльну оцінку і розрахунок рівня технологічності; розробити заходи щодо поліпшення показників технологічності.

Основними показниками технологічності конструкції виробу є трудомісткість, собівартість, матеріаломісткість і енергомісткість.

Трудомісткість виготовлення або ремонту виробу виражається сумою нормо-годин, витрачених на технологічні процеси виготовлення або ремонт усіх його складальних частин і складання. Рівень технологічності конструкції щодо трудомісткості

$$K_m = \frac{T_o}{T_б}, \quad (2.1)$$

де T_o і $T_б$ – відповідно очікувана (проектна) і базова трудомісткості виготовлення або ремонту виробу, котрі виражаються в нормо-годинах.

Собівартість – сумарне (по всіх складових частинах виробу) значення витрат на матеріали, заробітну плату виробничих робітників з нарахуваннями і накладних витрат. Собівартість є узагальненим показником якості виробу.

$$C_{д.м.} = C_m + C_z + C_{об}, \quad (2.2)$$

де $C_{o.m.}$ – собівартість деталі технологічна, грн.;

C_m – вартість початкового матеріалу, грн.;

C_3 – вартість виготовлення заготовки, грн.;

$C_{об}$ – вартість обробки заготовки, грн.

Рівень технологічності конструкції за собівартістю

$$K_c = \frac{S_o}{S_б}, \quad (2.3)$$

де S_o і $S_б$ – очікувана (проектна) і базова собівартості виготовлення виробу, грн.

Матеріаломісткість характеризує кількість матеріалів, витрачених на виготовлення виробу, одиниці маси. На практиці часто використовують матеріаломісткість як відношення маси виробу до одного з основних його технічних параметрів (наприклад, потужності).

Рівень технологічності за матеріаломісткістю

$$K_m = \frac{M_o}{M_б}, \quad (2.4)$$

де $M_o, M_б$ – очікувана (проектна) і базова матеріаломісткості виготовлення виробу, грн.

Енергомісткість характеризує кількість паливно-енергетичних ресурсів, які витрачаються на виготовлення виробу. Рівень технологічності виробу за енергомісткістю

$$K_e = \frac{E_o}{E_б}, \quad (2.5)$$

де $E_o, E_б$ – очікувана (проектна) і базова енергомісткості виготовлення виробу, кВт·год.

2.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності деталей розпочинають після встановлення типу виробництва, оскільки кожному типу виробництва притаманні свої способи виготовлення заготовок і методи їх обробки.

Аналізуючи технологічність деталі, необхідно перевірити:

- можливість спрощення деталі та заміни її матеріалу, створення деталі більш раціональної форми з легкодоступними для обробки поверхнями і достатньою жорсткістю з метою зменшення металомісткості та трудомісткості (достатня жорсткість деталей дає змогу обробляти їх на верстатах з найбільш продуктивними режимами різання);

- можливість зменшення кількості та протяжності поверхонь деталей, що обробляються;

- наявність на деталях зручних базуючих поверхонь або можливість створення допоміжних технологічних баз;

- можливість технологічно пов'язати розміри, що забезпечують якнайкоротші технологічні розмірні ланцюги;

- можливість вибору раціонального методу виготовлення заготовки, що забезпечує найбільш високий коефіцієнт використання матеріалу та найменшу трудомісткість механічної обробки;

- наявність у конструкціях, термічно оброблюваних деталей конструктивних елементів, що зменшують короблення при нагріванні та охолодженні.

Технологічність конструкції виробу передбачає:

- збирання без або з найменшим числом доводочних робіт;
- можливість незалежного збирання вузлів виробу;
- мінімальну кількість і асортимент деталей;
- найвищий рівень взаємозамінності, стандартизації, уніфікації складальних одиниць;
- уникнення розбирання при регулюванні.

Лекція 3

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

3.1. Характеристика процесів механічної обробки

Механічна обробка представляє собою складний процес деформування та руйнування матеріалів, в результаті якого з поверхні вихідної заготовки видаляється стружка та утворюється деталь заданих форм, розмірів та жорсткості поверхні. За допомогою механічної обробки отримують різні деталі електричних апаратів: рами, каркаси, корпусні деталі, основи, кришки, шкафи, контактні деталі, пружини, кронштейни світильників, з'єднувальні елементи, тощо.

Механічну обробку застосовують також для отримання посадочних поверхонь у деталей, виготовлених литтям та штампуванням, наприклад здійснюють проточку корпусів вибухозахищених світильників для спряження їх з фланцями. Широке застосування механічна обробка знайшла для отримання посадочних поверхонь при складанні виробів.

Всі різальні інструменти, за допомогою яких здійснюється видалення стружки, в своїй основі поєднує різець, який має форму клина. Конструктивно різець складається з робочої частини, що приймає участь в процесі різання, і тримача, який служить для закріплення його в різцетримачі. Робоча частина різця утворюється шляхом спеціальної заточки і складається з наступних елементів: передньої поверхні, задньої поверхні, різальних кромки та вершини (рис.3.1).

Кути α, β, γ визначають ріжучі властивості та стійкість різця.

Розрізняють три основні види стружки: звивну, сколювання та надлому. Вид стружки залежить від твердості оброблювального матеріалу та кутів заточки різця. При обробці пластичних металів відбувається виникнення звивної стружки в вигляді прямої або завитої стрічки. При різанні крихких металів виникає утворення стружки сколювання у вигляді окремих елементів довільної форми. При обробці твердих пластичних металів окремі елементи стружки досить щільно з'єднуються між собою, утворюючи стружку надлому.

Для відведення тепла від різального інструменту застосовують змазувально-охолоджуючі рідини, які одночасно служать для покращення якості оброблювальної речовини та підвищення стійкості різального інструменту.

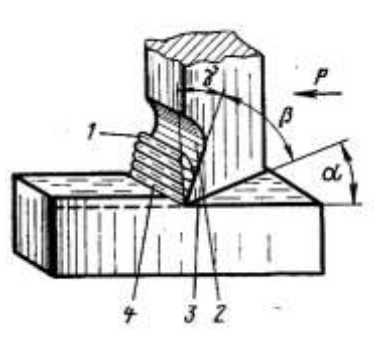


Рисунок 3.1 – Схема, що пояснює процес різання:

- 1 – стружка; 2 – передня поверхня різця, по якій сходить стружка;
- 3 – задня поверхня різця; 4 – ріжуча кромка;
- α – задній кут; β – кут заострення; γ – передній кут.

Видалення шару матеріалу з поверхні заготовки здійснюють трьома способами:

- 1) за допомогою ріжучого інструменту, в якості якого використовуються різці клиновидної та іншої форм, свердла, фрези, протяжки і т. д.;
- 2) за допомогою абразивного інструменту, в якості якого застосовують шліфувальні круги;
- 3) шляхом випаровування або розплавлення частини металу під дією високих енергій: електронного імпульсу, лазера, променя, ультразвуку або під дією плазми.

В залежності від цього всі операції механічної обробки поділяються на три основні групи (рис. 3.2): процеси обробки ріжучим інструментом, процеси обробка абразивним інструментом, процеси високоенергетичної обробки.

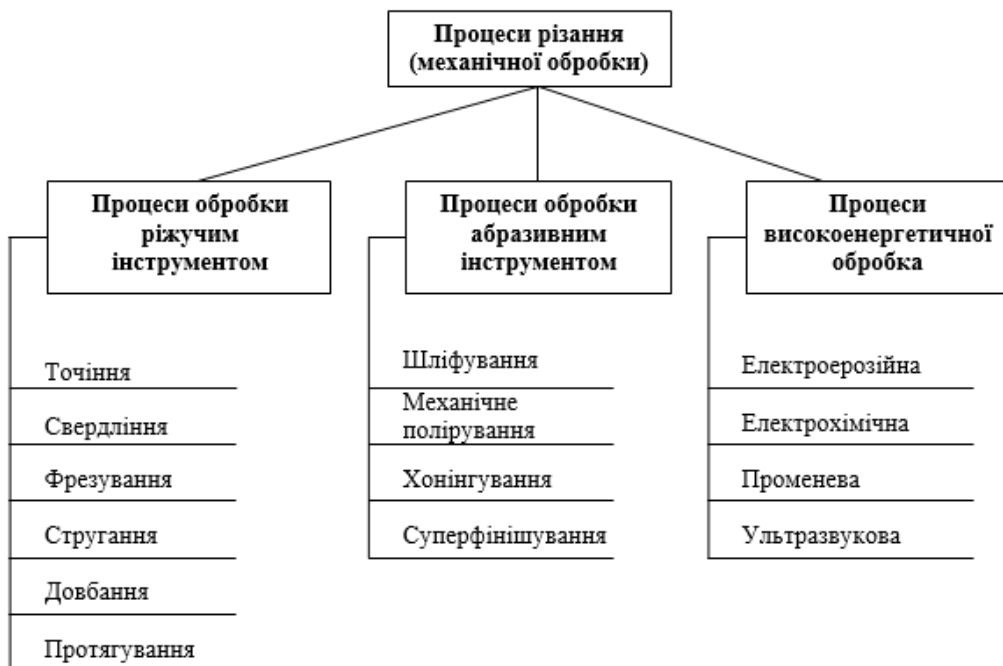


Рисунок 3.2 – Класифікація процесів

Існують такі режими різання:

1) *Головний рух* – переміщення різального інструменту відносно оброблюваної деталі або навпаки. Головним рухом при точінні є обертовий рух заготовки. При свердленні – обертовий рух свердла. При фрезеруванні – фрези. При струганні та довбанні – обертово-поступальний рух різця. При протягуванні – поступальний рух протяжки.

2) *Рух подачі*. Під рухом подачі розуміють величину поступального руху різального інструменту (або деталі) за один оберт деталі (мм/об). При точінні рухом подачі є поступальний рух різця.

3) *Швидкість головного руху* – обертовий рух деталі або різального інструменту.

4) *Глибина різання* (мм) – відстань між обробленою та необробленою поверхнею, тобто товщина зрізаного шару матеріалу.

5) *Зусилля різання F* :

$$F = \frac{P}{\sin \beta}, \quad (3.1)$$

де P – сила, що прикладена до різального інструменту;

β – кут загострення різального інструменту.

б) *Основний машинний час* – час, необхідний для обробки тієї чи іншої поверхні або деталі.

В залежності від швидкості обробки, процеси різання поділяються на звичайну обробку зі швидкістю різання $U < 500$ м/хв; на високошвидкісну обробку $500 < U < 1000$ м/хв та на надшвидкісну обробку $U > 1000$ м/хв.

Швидкість залежить від потужності устаткування та від твердості оброблюваного матеріалу, а подача й глибина різання обмежується параметрами жорсткості та щільності оброблюваного інструменту.

При обробці різанням до 99,5% прикладеної енергії виділяється в вигляді тепла. Частина тепла виділяється зі стружкою (10 – 90%), частина поглинається матеріалом, а частина інструментом. Температура в зоні різання може досягати 1500 °С, тому для захисту різального інструменту застосовують змазувально-охолоджувальні рідини.

3.2 Процеси обробки ріжучим інструментом

Залежно від форми оброблюваної деталі, типу ріжучого інструменту та способу його переміщення розрізняють декілька видів механічної обробки ріжучим інструментом:

- токарна обробка;
- свердлильні обробка;
- фрезерна обробка;
- строгальна та довбальна обробка;
- протягування.

Токарна обробка – обробка зовнішніх та внутрішніх поверхонь деталей, що мають форму обертання (рис. 3.3).

Токарні операції виконуються на спеціальних токарних станках. Обробка деталей на токарних станках здійснюється за допомогою токарних різців (рис.3.3).

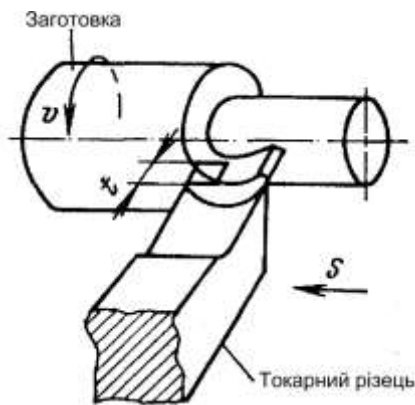


Рисунок 3.3 – Схема токарної обробки.

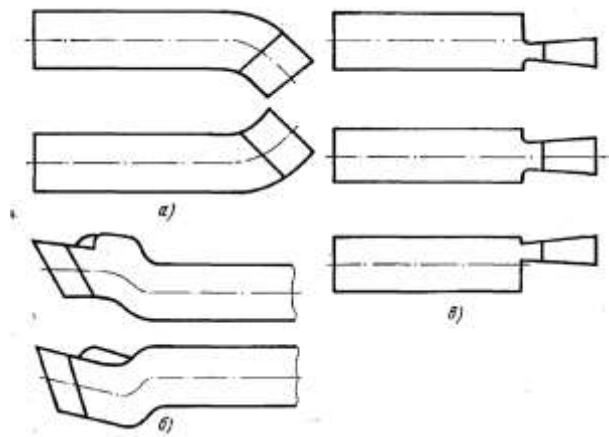


Рисунок 3.3 – Види різців:
а) проходні; б) підрізні; в) відрізні.

Прохідні різці служать для обточування зовнішніх поверхонь. По формі вони можуть бути прямими, відігнутими та упорними. Перші два типи різців служать для обробки жорстких деталей, ними здійснюються проточування та зняття фасок. Упорні різці крім обточування дозволяють здійснювати також підрізання виступів. Залежно від напрямку обточування прохідні та упорні різці можуть бути правими або лівими. Правими різцями проводять обточування при напрямку повздовжньої подачі від задньої бабки станка до передньої, а лівими – при обточуванні від передньої бабки. Підрізання торців деталей та виступів в ступінчатих валах здійснюють *підрізними різцями*. Підрізання торців довгих заготовок проводять з встановленням деталей в патроні і центрі або в двох центрах. Обробку торцевих поверхонь деталей невеликої довжини виконують в патроні. Підрізання здійснюють від зовнішньої поверхні деталі до її центра. Для відділення від заготовки деталі або розрізання заготовки на частини здійснюють операцією відрізання. При відрізанні необхідно забезпечувати необхідну довжину відрізної частини і перпендикулярність торцевої поверхні заготовки. Відрізання виконують *відрізними різцями*, які мають довгу та вузьку головку, необхідну для прорізання заготовок. Операцію відрізання виконують переважно при закріпленні заготовок в патроні з мінімальним віддаленням місця прорізи міжзакримних кулачків. Для розточки застосовують *розточні різці*, які залежно від призначення поділяються на різці для проміжних та глухих отворів. Розточні різці мають невисоку жорсткість, тому режими різання для них значно легші, ніж для чорнового обточування. Для отримання на зовнішній та внутрішній поверхнях деталей фасонних канавок застосовують спеціальні фасонні різці, різальний контур яких відповідає профілю канавки.

Свердління – операція, за допомогою якої в суцільному матеріалі отримують отвори чи нарізають внутрішню різьбу. Свердління здійснюється на такому обладнанні: свердлильні, розточні, токарні, револьверні станки, а також на ручних свердлильних машинах.

На свердлильних станках здійснюються наступні види робіт: свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, цекування та нарізання різьби.

При обробці на свердлильних станках інструмент здійснює два робочих рухи: обертання відносно повздовжньої осі та нарізання різьби (рис.3.5). На рис.3.6 показано ріжучий інструмент, що використовується на свердлильних станках.

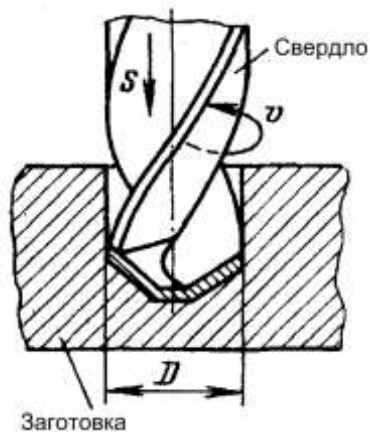


Рисунок 3.5 – Схема свердління.

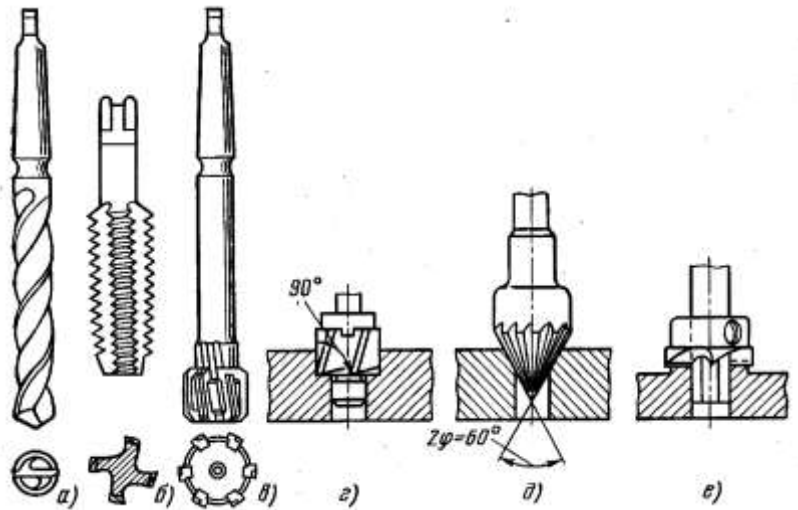


Рисунок 3.6 – Свердлильний інструмент:
а) свердло; б) мітчик; в) зенкер; г) цековка;
д) зенкер конічний; е) зенкер торцевий.

Розсвердлювання застосовують в тих випадках, коли необхідно збільшити діаметр вже існуючого отвору, отриманого в заготовці при відливці або штамповці, або отвору, отриманого свердлильним інструментом меншого діаметру.

Зенкерування виконують для збільшення діаметру вже існуючого отвору, а також для отримання конічних та циліндричних заглиблень для головок гвинтів. Здійснюється ця операція спеціальним інструментом – зенкером. При зенкеруванні отворів діаметром до 25 мм застосовують циліндричні спіральні зенкери, отворів діаметром 25-50 мм – насадочні зенкери, які є масивною головкою з чотирма різними зубцями. При зенкеруванні отворів діаметром більше 50 мм застосовують насадочні зенкери з вставними різцями. Підрізання плоских торців виконують торцевими зенкерами. Для отримання конічних або фасонних фасок в отворі застосовують відповідно конічні або фасонні зенкери.

Цековка – різновидність зенкерування. Інструмент виготовлений у вигляді головки з ріжучими зубцями на торцевій поверхні. Він має нижню гладку направляючу частину, що вставляється в отвір, навколо якого проводиться обробка, що дозволяє витримувати взаємну перпендикулярність отриманої поверхні та осі отвору.

Розгортання застосовують для отримання отворів високого класу точності та жорсткості поверхні. Розгортання здійснюють спеціальним інструментом – розгорткою, яка представляє собою багатолезний інструмент, призначений для зняття шару металу товщиною 0,25-0,5 мм по діаметру при чорновій обробці та 0,05-0,15 мм при числовій.

Нарізання різьби в отворах здійснюють мітчиками, що представляють собою гвинт, оснащений однією або кількома прямими або гвинтовими повздожніми канавками, які утворюють різальні кромки. У світлотехніці також дрібні різьби отримують за допомогою розкатників. Різьби, отримані розкатниками, мають високу якість поверхні, при обробці різьби не вимагаються видалення дрібної стружки з різьбових отворів. Розкатники виготовляють три- та чотиригранними.

Робоча частина мітчика складається з забірної та калібрувальної частин. Забірна частина має конічну форму і служить для плавного вривання в тіло

оброблюваної деталі. Калібрувальна частина служить для зачистки поверхні різьби та її кінцевого калібрування, а хвостова частина – для закріплення мітчика в патроні.

При свердлінні однотипних деталей при серійному та масовому виробництві застосовують спеціальні кондуктори, в яких затискають деталі. Свердло при цьому подається через спеціальні кондукторні втулки.

Фрезерування – процес обробки плоских та криволінійних поверхонь, який здійснюється за допомогою спеціального багатозубового інструменту, що називається фрезою (рис. 3.7). Кожен зуб фрези є одиничним різцем, що має спеціальну геометричну форму (рис. 3.8).

По формі зубців фрези бувають гостроконечні та з затилованими зубцями. Для відведення стружки, що утворюється при обробці, на фрезі роблять спеціальні канавки, які бувають прямі та гвинтові. Прямі канавки розміщуються паралельно осі фрези, гвинтові розміщуються по гвинтовій лінії.

За конструкцією фрези виготовляють цілими з зубцями, виконаними безпосередньо на корпусі фрези, і набірними з зубцями із тугоплавких вставок.

Фрезерування здійснюють на фрезерних станках.

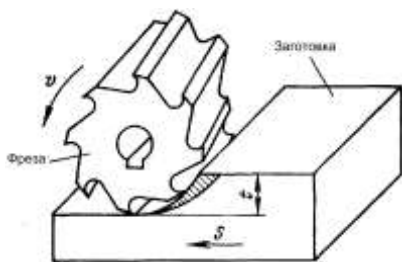


Рисунок 3.7 – Схема фрезерування.

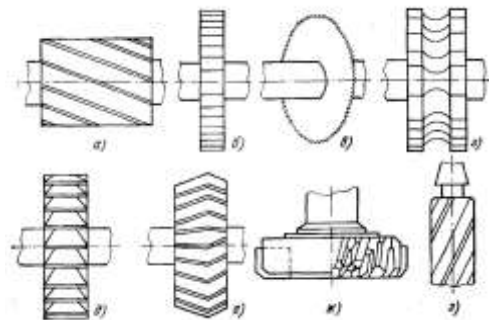


Рисунок 3.8 – Основні види фрез:
а) циліндрична; б) дискова; в) пазова;
г) дискова фасонна; д) прорізна;
е) прорізна фасонна; ж) торцева;
з) пальцева.

Стругальні та довбальні роботи. В основному ці роботи застосовуються для обробки плоских та фасонних поверхонь складних профілів.

Стругальні роботи здійснюються на спеціальних стругальних станках. Існує дві кінематичні схеми роботи таких станків: різець переміщується відносно нерухомої деталі, деталь переміщується відносно нерухомого різця (рис. 3.9). Станки, на яких здійснюється переміщення різця, називають поперечно-стругальними. Станки, на яких здійснюється переміщення оброблюваної заготовки, називаються повздовжньо-стругальними.

Довбальні роботи проводяться в тих випадках, коли необхідна обробка внутрішніх поверхонь деталей, наприклад при виготовленні шпоночних пазів в отворах шестерень, зірочок і т.д. Довбальні роботи можуть виконуватися як вручну, так і на спеціальних станках.

Протягування – спосіб обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь заготовок за допомогою ріжучих інструментів – протяжок (рис.3.10).

Протяжкою називається багатолезний ріжучий інструмент. За допомогою операцій протягування отримують канавки, проміжні отвори, проріди різної форми.

Протягування здійснюють на спеціальних протяжних станках. Процес обробки заготовки протягуванням відрізняється високою продуктивністю та отриманням поверхні високої якості. При протягуванні послідовно зрізується кожним лезом протяжки дуже тонкий шар матеріалу.

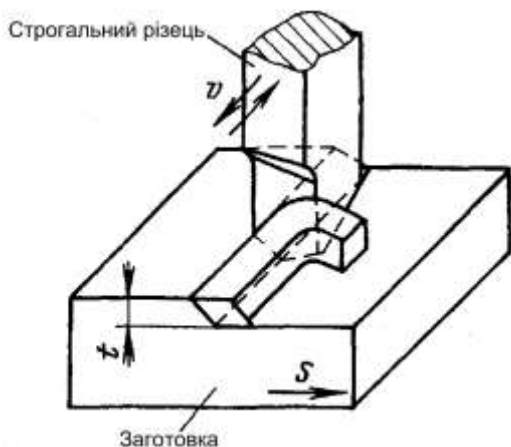


Рисунок 3.9 – Схема строгання.

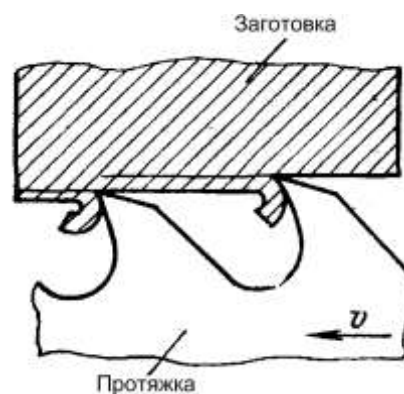


Рисунок 3.10 – Схема протягування.

3.3 Обробка абразивним інструментом

Шліфувальні та полірувальні операції досить широко застосовують у електротехнічному виробництві, зокрема для забезпечення певних оптичних властивостей відбивачів приладів світлових приладів, так і для отримання високого класу чистоти декоративних елементів виробів. Дана група операцій різання пов'язана з впливом на оброблювальний матеріал спеціального абразивного інструменту, що має в своїй основі дрібнодисперсні зерна різної форми, які застосовуються в вигляді шліфувальних кругів, полірувальних паст і т.д. Конструктивно шліфувальні круги виконують в вигляді великої кількості з'єднаних між собою в формі кільця зерен. Полірувальні пасти, що застосовуються при поліруванні, відрізняються ще більш дрібнодисперсною структурою, що дозволяє отримати дуже рівні з точки зору мікронерівностей поверхні.

Шліфувальні операції здійснюються на спеціальних станках, які поділяються на круглошліфувальні центрові та безцентрові, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні.

У процесі кожного шліфування заготовка отримує кругову та повздовжню подачі, остання з яких забезпечується зворотно-поступальним рухом стола. При безцентровому шліфуванні деталь захвачується двома кругами і отримує при цьому обертовий рух. При внутрішньоцентровому шліфуванні заготовка отримує круговий рух від електродвигуна і поступальний від зворотно-поступального руху стола.

При плоскому шліфуванні деталі встановлюють на магнітному столі, шліфувальний круг працює своєю периферією або торцем. В якості робочого інструменту використовують абразивні шліфувальні круги (рис. 3.11). Для отримання якісної поверхні матеріал абразивного круга повинен мати вищу твердість, ніж оброблювальний матеріал.

Абразивні матеріали поділяються на природні (алмаз, корунд, оксид хрому) та штучні (синтетичний алмаз, електрокорунд, карбід кремнію і т.д.). Залежно від зерна та зв'язки шліфувальні круги поділяються на сім класів: м'які, середньої м'якості, середні, середньої твердості, тверді, досить тверді, надзвичайно тверді.

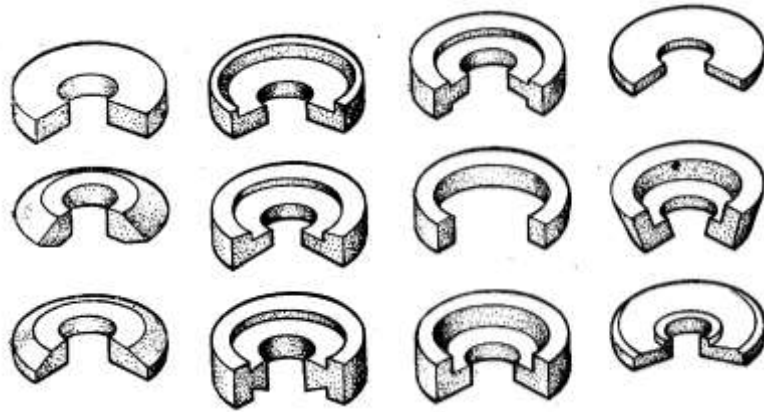


Рисунок 3.11 – Форми шліфувальних кругів.

М'які круги застосовують для чистої обробки загартованих сталевих деталей, тверді – для глибокого шліфування. Для внутрішньоцентрового шліфування відбивачів з алюмінію використовують фетрові або войлочні диски, на зовнішню поверхню яких за допомогою столярного клею наносять порошкоподібний абразивний склад.

Полірувальні операції застосовують досить широко у виробництві світлотехнічної продукції. Для їх здійснення використовують універсальні полірувальні станки та спеціальні станки, що створюються на світлотехнічних підприємствах. В якості робочого інструменту застосовують м'які полірувальні, войлочні, фетрові, шкіряні або тканинні круги при значному їх змащуванні полірувальними пастами, які складаються з абразивних порошків та хімічно активних речовин. Паста прискорює процес полірування і є робочим тілом, що здійснює процес різання. Хімічно активні речовини, що входять до складу паст окислюють оброблювальну поверхню, яка потім легко видаляється абразивними зернами. Отримана в результаті полірування поверхня є «дзеркальною» і має високий рівень чистоти.

Поліруванням не виправляються похибки геометричної форми та місцеві дефекти, а досягається лише висока чистота поверхні. Висока точність деталі при цьому не забезпечується.

Полірування здійснюється після операції шліфування, як правило, на автоматичних та напівавтоматичних лініях.

Внутрішні поверхні відбивачів, що мають форму тіл обертання, полірують на спеціальних одношпindelних полірувальних станках. Для підвищення продуктивності шліфування та полірування мілких деталей часто здійснюють на обертових барабанах, в які деталі засипають разом з абразивними матеріалами. В якості абразивів при шліфуванні застосовують дроблені круги, а при поліруванні – сталеві шарики та обрізки шкіри.

Хонінгування – це вид абразивної обробки матеріалів із застосуванням хонінгувальних головок (хонів). Як правило такий вид обробки застосовується для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь при суміщеному обертальному та зворотно-поступальному рухам хона з закріпленими на ньому розсувними абразивними брусками. Область обробки зрошується змазувально-охолоджуючою рідиною. Хонінгування застосовують для зменшення шорсткості поверхні чи для створення специфічного мікропрофілю оброблюваної поверхні у вигляді сітки (для утримання змазувальних речовин).

Хонінгування зовнішніх поверхонь здійснюється на спеціальних горизонтально-хонінгувальних станках.

Суперфінішування проводиться звичайно після шліфування для отримання більш гладкої поверхні без підвищення точності розмірів. Здійснюють дану операцію на спеціальних станках абразивними чи алмазними брусками, які закріплюють у спеціальній головці. Для суперфінішування характерним є коливний рух шліфувальних брусків при обертальному переміщенні заготовки. Амплітуда коливань брусків становить від 1,5 до 6 мм, частота коливань – від 4000 до 12000 хв⁻¹.

3.4 Високоенергетична обробка металів

У даний час для обробки твердих матеріалів, таких, як алмаз, ферит, кварц, корунд та інші застосовують фізико-хімічну, променеву та інші види обробки в тих випадках, коли механічна обробка ускладнена або й зовсім неможлива. Наприклад отримання дуже точних отворів, обробка фасонних прорізів малої величини та інших фасонних поверхонь. Залежності від суті використовуваного процесу розрізняють шість груп високоенергетичної обробки:

- електроерозійна обробка;
- ультразвукова обробка;
- променева обробка;
- плазмова обробка;
- лазерна обробка;
- електрохімічна обробка.

Електроерозійна обробка. Електроерозійні методи обробки базуються на явищі ерозії (руйнування) електродів із струмопровідних матеріалів при пропусканні між ними імпульсного електричного струму. Електричний розряд між двома електродами відбувається в газовому середовищі чи при заповненні міжелектродного проміжку діелектричною рідиною (гасом, мінеральним маслом і т. д.). У рідкоподібному середовищі процес електроерозії проходить інтенсивніше.

При наявності потенціалу на електродах міжелектродний проміжок іонізується. Коли різниця потенціалів досягає певної величини, в середовищі між електродами утворюється канал провідності, по якому протікає електрична енергія в вигляді іскрового або дугового розряду. Завдяки високій концентрації енергії на проміжку часу за 10^{-5} – 10^{-8} с миттєва густина струму в каналі провідності досягає 8000 – 10000 А/мм², в результаті чого температура на поверхні заготовки-електрода досягає 10000 – 12000°C. При такій температурі миттєво плавиться і випаровується елементарний об'єм металу і на поверхні, що обробляється, утворюється отвір. Видалений метал застигає в діелектричній рідині у вигляді сферичних гранул діаметром 0,01– 0,005 мм. Наступний імпульс струму пробиває міжелектродний проміжок там, де відстань між електродами виявиться найменшою. При безперервному підведенні до електродів імпульсного струму процес ерозії продовжується до тих пір, поки не буде видалений весь матеріал, що знаходиться між електродами на відстані, при якій можливий електричний пробій (0,01 – 0,005 мм) при заданій напрузі імпульсу. Для продовження процесу необхідно зближити електроди до вказаної відстані і тоді ерозія відновиться.

Крім теплового впливу при електроерозійних методах обробки на матеріал заготовки–електрода діють електродинамічні і електростатичні сили, а також тиск рідини від явища кавітації (явище утворення газових або повітряних бульбашок в рідині, в тому числі під дією ультразвукових коливань). Захлопування бульбашок викликає гідравлічні удари, здатні зруйнувати тверді і крихкі матеріали, оскільки в момент захопування тиск в бульбашках досягає декількох сотень атмосфер), що супроводжує процес імпульсного розряду. Сукупність теплових і силових факторів до руйнування металу і формоутворенню поверхні заготовки–електрода.

Методом електроерозійної обробки можна здійснювати різання, шліфування полірування, отримувати та обробляти отвір з криволінійною віссю. Розрізняють наступні види електроерозійної обробки:

- 1) електроіскрова;
- 2) електроімпульсна;
- 3) високочастотна електроіскрова;
- 4) електроконтактна
- 5) анодно-механічна.

Електроіскрова обробка основана на використанні імпульсного іскрового розряду між двома електродами, один з яких є заготовкою, що обробляється (анод), а другий – інструментом (катод).

Принципова схема електроіскрового станка з генератором імпульсів RC приведена на рис. 3.12. Конденсатор C , включений в зарядний контур, заряджається через опір R від джерела постійного струму, з напругою 100 – 200 В. Коли напруга на електродах 1 і 3, включених паралельно до конденсатора, котрі утворюють розрядний контур, досягає значення пробійної, утворюється канал провідності, через який здійснюється розряд енергії, накопиченої конденсатором. Тривалість імпульсу складає 20 – 200 мкс.

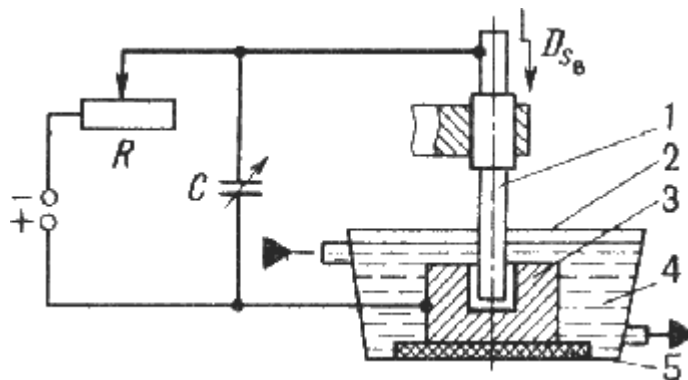


Рисунок 3.12 – Схема електроіскрового станка:

- 1 – електрод–інструмент; 2 – ванна; 3 – заготовка–електрод; 4 – діелектрична рідина; 5 – ізолятор.

При збільшенні ємності конденсатора, накопичуваний в ньому заряд енергії збільшується і, як наслідок, збільшується продуктивність процесу. Із збільшенням опору зростає час зарядки конденсатора і протяжність ерозійного циклу.

В залежності від енергії, що реалізується в імпульсі, режим обробки ділять на жорсткий або середній для попередньої чорнової обробки і м'який для кінцевої обробки. Для забезпечення неперервності процесу обробки необхідно, щоб зазор між інструментом–електродом і заготовкою був постійним. Для цього електроіскрові станки виготовляють із спостережною системою і автоматичною

подачею інструмента. Величина подачі залежить від режиму обробки. Інструменти–електроди виготовляють з латуні, міді, вулцевографітових та інших металів.

Електроіскровим методом обробки обробляють всі струмопровідні матеріали. Рационально обробляти тверді сплави, складнооброблювальні метали та їх сплави, тантал, вольфрам, молібден та інші матеріали.

Електроіскровим методом отримують наскрізні отвори будь-якої форми поперечного січення, глухі отвори, фасонні отвори і площини, отвори з криволінійними осями, вирізають заготовки з листа при використанні дротового або стрічкового інструмента–електрода, виконують плоске, кругле і внутрішнє шліфування, розрізають заготовки, клеймують і т.д. Електроіскрову обробку широко застосовують для виготовлення штампів, пресформ, ріжучого інструменту, деталей паливної апаратури, двигунів внутрішнього згорання, сіток, сит, нарізання різьби тощо.

До переваг методу відносять простоту обробки і простоту обладнання. Проте метод має порівняно низьку продуктивність; крім того швидко руйнуються інструменти–електроди.

Електроімпульсна обробка базується на тому, що полярний ефект при імпульсах малої і середньої тривалості приводить до підвищеної ерозії анода, що використовується при електроіскровій обробці. При імпульсах більшої тривалості (дуговий розряд) значно швидше руйнується катод. Тому при електроімпульсній обробці застосовують зворотну полярність включення електродів і обробляють при дії уніполярних імпульсів, що створюються електромашинним (рис. 3.13) або електронним генератором. Тривалість імпульсів в залежності від типу генератора, складає 500 – 10 000 мкс.

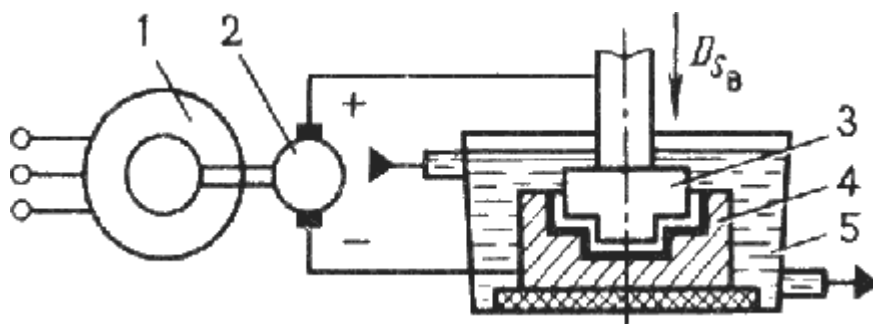


Рисунок 3.13 – Схема електроімпульсної обробки:

1 – електродвигун; 2 – імпульсний генератор постійного струму; 3 – інструмент – електрод; 4 – заготовка – електрод; 5 – ванна.

При електроімпульсній обробці інструменти–електроди зношуються значно повільніше, ніж при електроіскровій обробці. Великі потужності імпульсів забезпечують високу продуктивність процесу. Метод найбільш раціональний при попередній обробці штампів, турбінних лопаток, фасонних отворів в деталях з твердих, корозостійких (нержавіючих) і жаростійких сплавів. Точність розмірів і шорсткість оброблених поверхонь залежать від режиму обробки. При електроімпульсній обробці знімання металу за одиницю часу в 8 – 10 раз вище, ніж при електроіскровій обробці.

Високочастотна електроіскрова обробка застосовується для підвищення точності і зменшення шорсткості оброблених поверхонь заготовок. Метод

базується на використанні електричних імпульсів малої енергії при частоті 100 – 150 кГц.

Схема високочастотної електроіскрової обробки показана на рис. 3.14. Конденсатор C розряджається при замиканні первинного конуру імпульсного трансформатора перемикачем, вакуумною лампою або тиратроном. Так як інструмент–електрод і заготовка включені у вторинний контур трансформатора, то це виключає виникнення дугового розряду. Продуктивність методу в 30–50 разів вища порівняно з електроіскровим методом при значному підвищенні точності і зменшенні шорсткості. Зношення інструмента незначне.

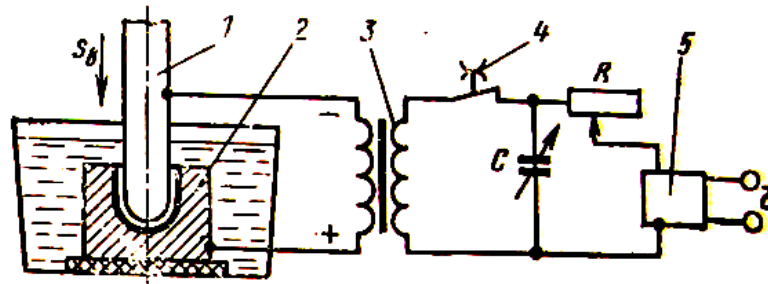


Рисунок 3.14 – Схема високочастотної електроіскрової обробки:

- 1 – інструмент–електрод; 2 – заготовка–електрод; 3 – імпульсний трансформатор;
4 – перемикач струму; 5 – випрямляч.

Високочастотний електроіскровий метод широко застосовують при обробці деталей з твердих сплавів, оскільки він виключає структурні зміни і мікротріщини в поверхневому шарі матеріалу, оброблюваної заготовки.

Електроконтактна обробка. Метод оснований на локальному нагріві заготовки в місці її контакту з інструментом–електродом і видалення розм'якшеного або розплавленого металу з зони обробки механічним способом за рахунок відносно руху заготовки та інструмента (рис. 3.15). Джерелом утворення тепла в зоні обробки є імпульсні дугові розряди.

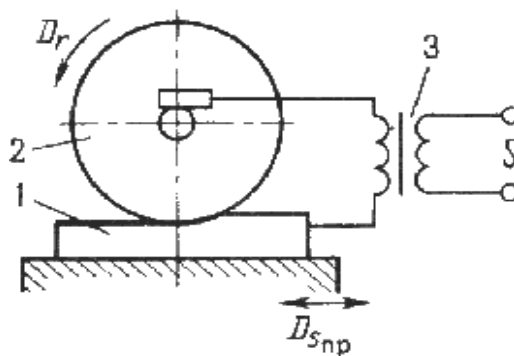


Рисунок 3.15 –Схема електроконтактної обробки плоскої поверхні:

- 1 – оброблюванна заготовка; 2 – інструмент – електрод; 3 – трансформатор.

Інструментом-електродом є чавунний або мідний диск, якому надається обертовий рух. Деталі обробляють на постійному або змінному струмі з напругою 10 – 40 В. У процесі обробки диск охолоджується. Електроконтактну обробку застосовують при точінні, свердлінні та інших заготовочних операціях: розрізанні злитків, очистці складних фасонних і плоских поверхонь, очистці деталей від

окалини і т.д. Метод не забезпечує високу точність і низьку шорсткість, проте є високопродуктивним внаслідок використання великих електричних потужностей.

Анодно-механічна обробка є перехідною між електроерозійним та електрохімічним методами обробки. Анодно-механічний спосіб обробки побудовано на законах електролізу та явища поляризації. Оброблювана деталь підключається до анода, а інструмент – до катода. В якості інструмента використовують металеві диски, циліндри, стрічки, проводи. Процес здійснюється в середовищі електроліту при постійному струмі. Заготовці та інструменту надають переміщення, як при звичайних методах механічної обробки. Електроліт подають в зону різання через сопло. (рис.3.16)

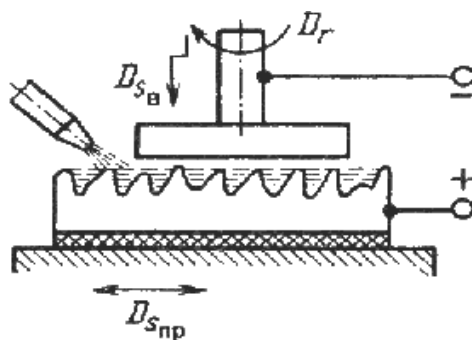


Рисунок 3.15 – Схема анодно-механічної обробки плоскої поверхні.

При пропусканні через електроліт постійного електричного струму відбувається процес анодного розчинення, властивий електрохімічній обробці. При дотиканні інструменту-катода з мікронерівностями оброблюваної поверхні заготовки-анода відбувається процес електроерозії, властивий електроіскровій обробці. Крім того, при пропусканні електричного струму метал заготовки розігрівається в точках контакту її з інструментом, як при електроконтактній обробці, і оброблюваний метал розм'якшується. Продукти електроерозії і анодного розчинення видаляються із зони обробки за рахунок відносних переміщень інструмента і заготовки.

Електрохімічні методи обробки базуються на явищі анодного розчинення при електролізі. При проходженні постійного електричного струму через електроліт на поверхні заготовки, яка є анодом, проходять хімічні реакції і поверхневий шар металу перетворюється в хімічні сполуки. Продукти електролізу переходять в розчин або видаляються механічним способом.

Продуктивність процесів електрохімічної обробки залежить в основному від електрохімічних властивостей електроліту, оброблюваного струмопровідного матеріалу і густини струму.

До електрохімічних методів відносяться:

- електрохімічне полірування;
- електрохімічна розмірна обробка;
- електроабразивна і електроалмазна обробка;
- електрохонінгування.

Електрохімічне полірування. Схема обробки заготовки електрохімічним поліруванням показана на рис. 3.17. Обробку здійснюють у ванні, заповненій електролітом. В залежності від оброблюваного металу або сплаву електролітом служать розчини кислот або лугів. Оброблювану заготовку підключають до аноду; другим електродом – катодом, служить металева пластина з свинцю, міді, сталі і

т.д. Для більшої інтенсивності процесу, електроліт підігрівають до температури 40–80°C.

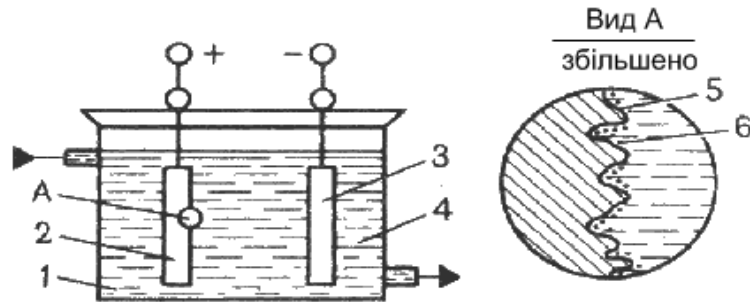


Рисунок 3.17 – Схема електрохімічного полірування:

1 – ванна; 2 – оброблювана заготовка; 3 – пластина – електрод; 4 – електроліт; 5 – мікровиступ; 6 – продукт анодного розщеплення.

При подачі напруги на електроди починається процес розчинення матеріалу заготовки–аноду. Розчинення відбувається головним чином на виступах мікронерівностей поверхні внаслідок більш високої густини струму на їх вершинах. Крім того, впадини між мікровиступами заповнюються продуктами розщеплення: окислами або солями, що мають понижену провідність. В результаті вибіркового розщеплення, тобто більшої швидкості розщеплення виступів, мікронерівності згладжуються і оброблювана поверхня набуває металевого блиску. Електрополірування покращує електрофізичні характеристики деталей, оскільки зменшується глибина мікротріщин, поверхневий шар оброблених поверхонь не деформується, виключаються ущільнення і термічні зміни структури, підвищується стійкість до корозії.

Електрополірування дозволяє одночасно обробляти партію заготовок по всій їх поверхні. Цим методом отримують поверхні деталей під гальванічні покриття, доводять робочі поверхні ріжучого інструмента, виготовляють тонкі стрічки і фольгу, очищують і декоративно прикрашають деталі.

Електрохімічна розмірна обробка. Особливістю методу є обробка в струмені електроліту, що прокачується під тиском через міжелектродний проміжок, утворений оброблюваною заготовкою–анодом та інструментом–катодом (рис. 3.18).

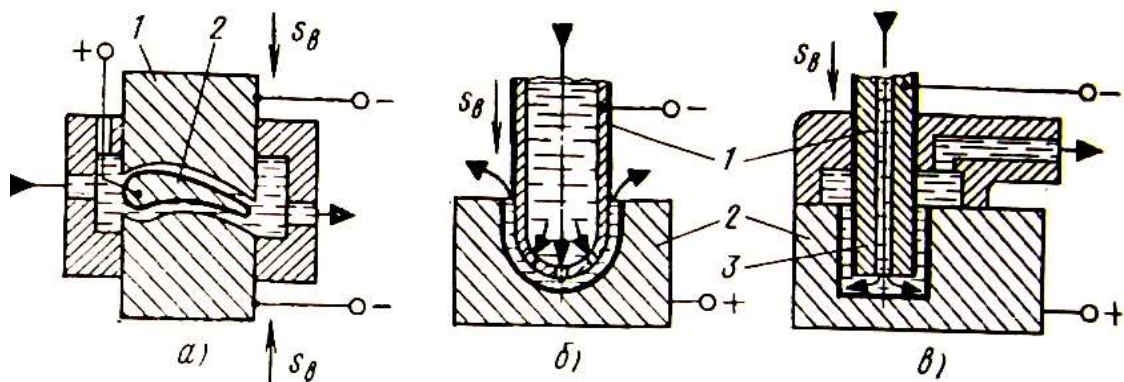


Рисунок 3.18 – Схема електрохімічної розмірної обробки:

1 – інструмент–електрод; 2 – заготовка; 3 – ізолятор.

На рис.3.17 показані схеми обробки заготовок в струмені проточного електроліта: турбінної лопатки (а), штампа (б) і схема прошивання наскрізного циліндричного отвору (в).

Струмінь електроліту, що неперервно подається в міжелектродний проміжок, розчиняє продукти анодного чинення, що утворюються на заготовці–аноді і видаляє їх з зони обробки. При цьому способі одночасно обробляється вся поверхня заготовки, що знаходиться під активною дією катоду, що забезпечує високу продуктивність процесу. Частина заготовки, що не потребують обробки, ізолюються. Інструменту надається форма оброблюваної поверхні.

Для розмірної електрохімічної обробки використовуються нейтральні електроліти. Найбільше широко застосовують розчини солей NaCl , NaNO_3 і NaSO_4 , нейтральність яких забезпечується додаванням в електроліт слабкого розчину соляної кислоти.

Цим методом обробляють заготовки з високотвердих сплавів, карбідних та інших складнооброблюваних матеріалів. Оскільки при обробці відсутні тиск інструмента на заготовку, то обробляють нетверді, тонкостінні деталі, при цьому досягається висока якість оброблюваної поверхні.

Електроабразивна та електроалмазна обробка. Особливість електроабразивної обробки полягає в тому, що інструментом–електродом є шліфований круг, виконаний з абразивного матеріалу на електропровідній зв'язці (бакелітовій зв'язці з графітовим наповнювачем).

Принципова схема електроабразивної обробки показана на рис. 3.19. Між заготовкою–анодом і шліфувальним кругом–катодом є міжелектродний зазор за рахунок зерен, що виступають із зв'язки. В цей зазор подається електроліт. Продукти анодного розчинення матеріалу заготовки видаляються абразивними зернами, для чого шліфувальному кругу надається обертовий рух, а заготовці зворотно–поступальний.

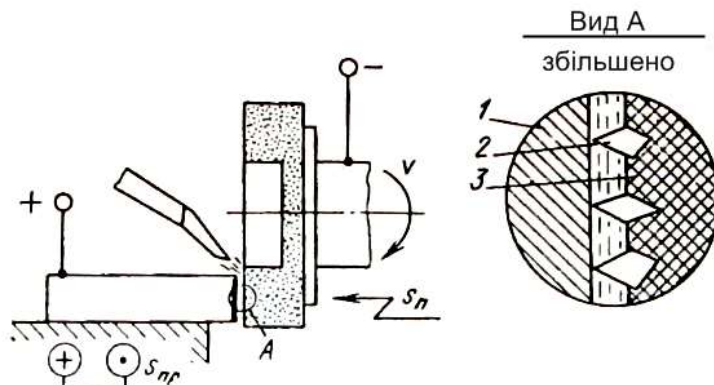


Рисунок 3.19 – Схема електроабразивного шліфування: 1 – заготовка; 2 – абразивні зерна; 3 – зв'язка шліфувального круга/

При електроабразивній обробці приблизно 85 – 90 % припуску видаляється за рахунок анодного розчинення і лише 10 – 15 % за рахунок механічної дії.

Електроалмазну обробку проводять по тій же схемі, але із застосуванням електропровідних алмазних кругів. При цьому методі обробки приблизно 75 % припуску видаляється за рахунок анодного розчинення і 25 % за рахунок механічної дії алмазних зерен. Продуктивність електроалмазної обробки вища, ніж електроабразивної.

При електроабразивній і електроалмазній обробці шорсткість поверхні менше, ніж при звичайному шліфуванні абразивними кругами. Тому ці методи

застосовують для доводочної обробки складнооброблюваних матеріалів, а також нетвердих заготовок, так як зусилля різання тут незначні.

Електрохонінгування. Принципова схема електрохонінгування показана на рис. 3.20. Кінематика процесу обробки ідентична кінематиці процесу хонінгування абразивними головками. Відмінність полягає в тому, що оброблювану заготовку встановлюють в ванні, заповненій електролітом, і підключають до анода. Хонінгувальну заготовку підключають до катода. Крім того, хонінгувальна головка споряджена не абразивними брусками, а липовими, вільховими або пластмасовими.

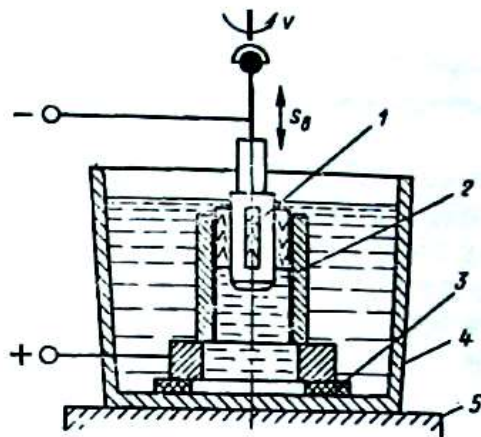


Рисунок 3.20 – Схема електрохонінгування циліндра:

1 – хонінгувальна головка; 2 – заготовка циліндра; 3 – ізолятор; 4 – ванна; 5 – стіл хонінгувального станка.

Продукти анодного розчинення видаляються з оброблюваної поверхні заготовки брусками за рахунок обертового і зворотно-поступального руху хонінгувальної головки. Для більш активного видалення продуктів анодного розщеплення в електроліт додають абразивні матеріали.

Попередньо обробляють звичайно в розчині електроліту NaNO_3 , в який додають абразивні матеріали. Завершально обробляють в тому ж електроліті, але з додаванням в якості абразива окису хрому. Після видалення припуску з оброблюваної поверхні здійснюється процес її «виходжування» при виключеному струмі, для повного видалення анодної плівки з оброблюваної поверхні.

Електрохонінгування забезпечує більш низьку шорсткість поверхні, ніж хонінгування абразивними брусками. Поверхня деталі має дзеркальний блиск. Продуктивність електрохонінгування в 4–5 разів вища, ніж продуктивність механічного хонінгування.

Променева обробка. Існують три види променевої обробки:

- обробка електронним променем;
- обробка світловим променем (лазерна обробка);
- плазмова обробка.

Електронно-променева обробка. Метод базується на перетворенні кінетичної енергії пучка електронів на теплову. Висока густина енергії сфокусованого електронного променя дозволяє обробляти заготовки за рахунок нагріву, розплавлення та випаровування матеріалу з вузької локальної ділянки.

Схему установки для електронно-променевої обробки (електронна гармата) показано на рис. 3.20.

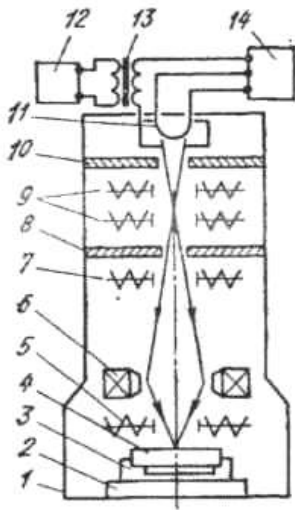


Рисунок 3.20 – Схема електронно-променевої обробки

У вакуумній камері 1 встановлено вольфрамовий катод 11, який живиться від джерела напруги 14, забезпечує емісію вільних електронів. Електрони формуються в пучок спеціальним електродом і під дією електричного поля, що створюється високою різницею потенціалів між катодом 11 та анодом 10, прискорюються у вертикальному напрямі. Потім промінь електронів проходить через систему юстування 9, діафрагму 8, коректор зображення 7 і систему магнітних лінз 6, які кінцево формують потік електронів у пучок малого діаметра і фокусують його на поверхні заготовки 4. Промінь по поверхні заготовки переміщується відхиляючою системою 5.

Роботу установки в імпульсному режимі забезпечує імпульсний генератор 12 у поєднанні з імпульсним трансформатором 13. Обробляють у вакуумі близько 10^{-6} мм рт.ст. Оброблювану заготовку 4 закріплюють у затискному пристрої 3 координатного столу 2, який забезпечує переміщення заготовки в горизонтальній площині в подовжньому і поперечному напрямках.

Для розмірної обробки заготовок установка працює в імпульсному режимі, що забезпечує їх локальний нагрів. У зоні обробки температура досягає $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на відстані 1 мкм від краю променя вона не перевищує $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість імпульсу і інтервали між ними підбирають виходячи з того, щоб за один цикл встиг нагрітися і випаруватися метал тільки під променем, а теплота не встигла би розповсюдитися на всю заготовку. Тому установки працюють в режимі, при якому тривалість імпульсу складає $10^{-4} - 10^{-6}$ с, а частота імпульсів $50 - 5000$ Гц. Діаметр сфокусованого електронного променя складає декілька мікрметрів.

Електронно-променевий метод найбільш перспективний при обробці отворів діаметром від 10 мкм до 1 мм, прорізання пазів, розрізання заготовок, виготовленні тонких плівок і сіток з фольги тощо. Цим способом обробляють важкооброблювані метали і сплави (тантал, вольфрам, цирконій, корозійностійкі сталі), а також неметалеві матеріали (рубіни, кераміку, кварц, напівпровідникові й інші матеріали).

Переваги електронно-променевої обробки: можливість створення локальної концентрації високої енергії, широке регулювання і управління тепловими процесами, обробка будь-яких матеріалів, підвищена чистота середовища, що дозволяє обробляти активні легкоокислювані матеріали, відсутність інструменту, обробка труднодоступних місць заготовок. Недоліком методу є відносна складність і громіздкість обладнання

Світлопроменева (лазерна) обробка. Метод базується на тепловій дії світлового променя високої енергії на поверхню оброблюваної заготовки. Джерелом світлового випромінювання є лазер. На даний час створені конструкції твердотілих, газових і напівпровідникових лазерів. Робота оптичних квантових генераторів заснована на принципі стимульованого генерування світлового випромінювання.

Атом речовини, маючи певний запас енергії, знаходиться в стійкому енергетичному стані і розміщений на певному енергетичному рівні. Для виведення атома із стійкого (стабільного) енергетичного стану його необхідно збудити. Збудження («накачування») активної речовини здійснюють світловою імпульсною лампою. Збуджений атом, отримавши додатковий фотон від системи накачування, випромінює відразу два фотони, внаслідок чого відбувається своєрідна ланцюгова реакція генерації лазерного випромінювання.

Для механічної обробки використовують твердотілі лазери, робочим елементом яких є рубіновий стрижень, що складається з оксиду алюмінію, активованого 0,05 % Cr. Рубіновий лазер працює в імпульсному режимі, генеруючи імпульси когерентного монохроматичного випромінювання червоного кольору.

Схема рубінового лазера показана на рис. 3.22. Рубіновий стрижень 6 встановлений в корпусі 3 лазера. Торці стрижня строго паралельні і перпендикулярні до його осі. Лівий торець покритий щільним непрозорим шаром срібла; правий – посріблений, але напівпрозорий і має коефіцієнт пропускання світла близько 8 %. Джерелом світла для збудження атомів хрому служить ксенонова імпульсна лампа 4 з температурою випромінювання близько 4000 °С. Лампа живиться від батареї конденсаторів 2, котрі заряджаються від джерела струму 1. Лампа включається пусковим пристроєм 5.

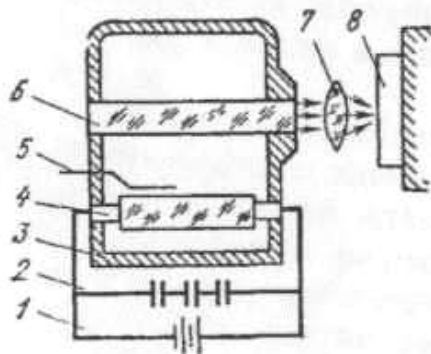


Рисунок 3.22 – Схема лазера.

При включенні пускового пристрою електрична енергія, накопичена в батареї конденсаторів, перетвориться в світлову енергію імпульсної лампи. Світло лампи за допомогою відбивача корпусу фокусується на рубіновий стрижень, в результаті чого атоми хрому приходять у збуджений стан. З цього стани вони можуть повернутися в нормальний, випромінюючи фотони з довжиною хвилі 0,69 мкм.

Від взаємодії фотонів із збудженими атомами утворюються лавиноподібні потоки фотонів у різних напрямках. Наявність торцевих дзеркальних поверхонь рубінового стрижня приводить до того, що при багатократному відбиванні посилюються вільні коливання тільки у напрямі осі стрижня за рахунок стимулювання збудженими атомами.

Через 0,5 мс більше половини атомів хрому приходять в збуджений стан, система стає нестійкою і вся енергія, запасена в стрижні рубіна, одночасно вивільняється і кристал випускає сліпуче яскраве червоне світло. Промені світла мають вузьку спрямованість. Розходження променя звичайно не перевищує 0,1°.

Системою оптичних лінз 7 промінь фокусується на поверхні оброблюваної заготовки 8.

Енергія світлового імпульсу лазера звичайно невелика і складає від 20 до 100 Дж. Але ця енергія виділяється в мільйонні долі секунди і зосереджується в промені діаметром близько 0,01 мм. У фокусі діаметр світлового променя складає всього декілька мікрометрів, що забезпечує температуру близько 6000 – 8000 °С. У результаті цього поверхневий шар матеріалу заготовки, що знаходиться у фокусі променя, миттєво нагрівається, розплавляється та випаровується.

Лазерну обробку застосовують для прошивки наскрізних і глухих отворів, розрізання заготовок на частини, вирізування заготовок з листового матеріалу, прорізання пазів тощо. Світлопроменевим методом можна обробляти будь-які матеріали. Наприклад, в алмазі обробляють отвір діаметром 0,5 мм протягом доль секунди, а алмаз масою 2 карати розрізають навпіл менш, ніж за 1 с.

Світлопроменева обробка має переваги перед електронно-променевою: для обробки заготовок не вимагається створення вакууму, при якому значно ускладнюється управління процесом, немає рентгенівського випромінювання. Конструкція лазерних установок значно простіша за конструкцію електронних гармат.

До недоліків світлопроменевого методу обробки відноситься відсутність надійних способів управління рухом променя і необхідність переміщення заготовки, недостатню потужність випромінювання при зна потужності імпульсної лампи, низький ККД рубінових лазерів, перегрівання рубінового стрижня і трудності його охолодження, порівняно невисока точність обробки.

Плазмова обробка. Суть плазмового методу формоутворення поверхонь полягає в тому, що плазму, що має температуру 10000 – 30000°С, направляють на оброблювану поверхню заготовки.

Плазму отримують в плазмових головках (рис. 3.23). Дуговий розряд 3 збуджується між вольфрамовим електродом 5 і мідним електродом 4, виконаним у вигляді труби, який охолоджується протічною водою. В трубу подають газ (азот, аргон тощо) або суміш газів. Обтискуючи дуговий розряд, газ при взаємодії з електронами іонізується і виходить з сопла головки у вигляді струменя з яскравим свіченням 2, який направляється на оброблювану заготовку.

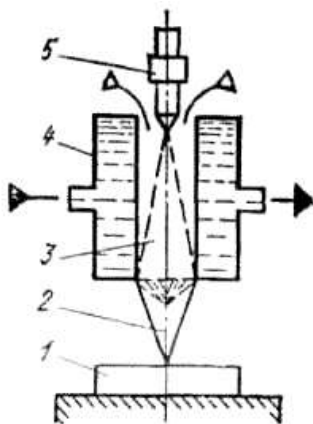


Рисунок 3.23 Схема плазмової головки.

Плазмовим методом обробляють будь-які матеріали: прошивають отвори, розрізають заготовки, вирізують їх з листового матеріалу, строгають і точать.

При прошивці отворів, розрізанні і вирізуванні деталей головку встановлюють перпендикулярно до поверхні заготовки; при строганні і точінні – під кутом 40 – 60°. Плазмові головки застосовують для зварювання, паяння, наплавлення і створення захисних покриттів на деталях.

Ультразвукова обробка матеріалів базується на використанні фізичного явища магнітострикції, тобто здатності феромагнітних металів або сплавів змінювати розміри поперечного перетину і довжину осердя в змінному магнітному полі. Ефектом магнітострикції

володіють нікель, залізокобальтові сплави (пермендюр), залізоалюмінієві сплави (альфер), ферити й інші матеріали.

При виникненні електромагнітного поля розміри поперечного перетину осердя зменшуються, а оскільки об'єм його залишається незмінним, то довжина осердя збільшується. При зникненні поля первинні розміри осердя відновлюються.

При ультразвуковій обробці використовують коливання електромагнітного поля з ультразвуковою частотою 16 – 30 кГц. Амплітуда коливань осердя складає 5 – 10 мкм. Для збільшення амплітуди коливань до осердя кріплять довгий тонкий стержень-концентратор (резонансний хвилевід змінного поперечного січення), що дозволяє отримати амплітуду коливань його торця 40 – 60 мкм. До концентратора кріплять робочий інструмент – пуансон.

Заготовки обробляють у ванні, заповненій суспензією, що складається з води і абразивного матеріалу. З абразивних матеріалів найчастіше використовують карбіди бору і кремнію, електрокорунд.

Колівальні рухи пуансона передаються абразивним зернам, що одержують значні прискорення у напрямі оброблюваної поверхні заготовки. Вдаряючись об поверхню оброблюваного матеріалу, абразивні зерна сколюють його мікрочастки. Велике число абразивних зерен, що одночасно вдаряються, а також висока частота повторення ударів (до 30 тис. разів на 1 с) зумовлюють інтенсивне знімання матеріалу.

Кавітаційні явища в рідині сприяють інтенсивному перемішуванню абразивних зерен під інструментом, заміні зношених зерен новими, а також руйнуванню оброблюваного матеріалу.

Принципова схема ультразвукової установки показана на рис.3.23. Заготовку 3 поміщають в ванну 1, заповнену абразивною суспензією 2. До заготовки підводять інструмент – пуансон 4, закріплений на концентраторі 5. Концентратор закріплений в магніострикційному осерді 7, встановленому в кожусі 6, через який пропускають воду для охолодження осердя. Коливання осердя збуджують генератор 8 ультразвукової частоти та джерело постійного струму 9. Абразивну суспензію прокачують через ванну 1 насосом 11, що відкачує суспензію з резервуару 12 і подає її по патрубку 10 знову у вану, що виключає осідання абразивного порошку на дні ванни. Між пуансоном і оброблюваною поверхнею заготовки забезпечують постійний зазор 0,05 – 0,08 мм. Іноді пуансон підтискають до оброблюваної заготовки з невеликим зусиллям (3 – 60 Н).

Ультразвуковим методом обробляють крихкі тверді матеріали: скло, кераміку, ферити, кремній, кварц, дорогоцінні мінерали, зокрема алмази, тверді сталі, титанові сплави, вольфрам і ін. Ультразвуковим методом обробляють наскрізні і глухі отвори будь-якої форми поперечного перетину, фасонні

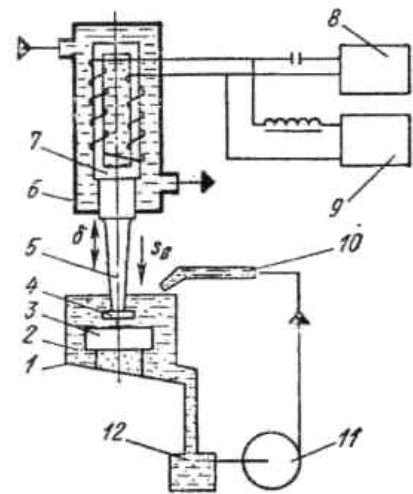


Рисунок 3.24 – Схема устаткування для ультразвукової обробки.

порожнини, розрізають заготовки на частини, профілюють зовнішні поверхні, гравірують, прошивають отвори з криволінійними осями.

Точність розмірів і шорсткість поверхонь, оброблюваних ультразвуковим способом, залежать від зернистості використовуваних абразивних матеріалів і відповідають точності і шорсткості поверхонь, оброблених шліфуванням. Використовуючи мікропорошки, можна знизити шорсткість поверхні і довести її до шорсткості, що відповідає поліруванню.

Лекція 4

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЛИТТЯ

4.1. Загальні відомості про процес лиття

Лиття – це технологічний процес отримання готових виробів або деталей шляхом заповнення ливарних форм розплавленим металом з наступним охолодженням металу в цих формах та вивільнення готових виробів з форми за допомогою різного виду виштовхувачів.

Лиття застосовується в тих випадках, коли виготовлення деталей іншими способами, наприклад, штамповкою або механічною обробкою є нерентабельним. Способом лиття виготовляють (рис. 4.1):

- 1) корпусні деталі – корпуси, основи, рами, коробки, кришки, арматура ізоляторів високої напруги;
- 2) деталі механізмів апаратів – ричаги, маховички, деталі зачеплення;
- 3) деталі пневматичних механізмів апаратів – циліндри і поршні, корпуси клапанів та вентилів, клапани та інші деталі;
- 4) деталі контактних механізмів та струмоведучі деталі – контактотримачі, контактні зажими, контакти високовольтних апаратів;
- 5) магніто проводи електромагнітів;
- 6) резистори;
- 7) корпуси світлових приладів різного призначення, а також підставки, кронштейни, декоративні елементи.

До деталей, отриманих способом лиття, висуваються певні вимоги щодо технологічності:

- 1) товщина стінки виливки повинна бути однаковою, без різких переходів тонкостінних частин у товстостінні;
- 2) конструкція заготовки повинна передбачати просте знімання форми;
- 3) поверхні виливка, розташовані перпендикулярно до площини роз'єму моделі, повинні мати конструктивні ливарні ухили;
- 4) для збільшення жорсткості слід не потовщувати стінки, а конструювати ребра жорсткості, товщина яких не повинна істотно відрізнятись від товщини стінок виливки;
- 5) наскрізні отвори повинні бути не менше 5 мм в діаметрі, глухих отворів бажано уникати, а при їх необхідності глибина глухих отворів не повинна перевищувати двох їх діаметрів;
- 6) при литті в землю слід уникати гострих кутів, оскільки вони зрізаються при доставанні деталі.

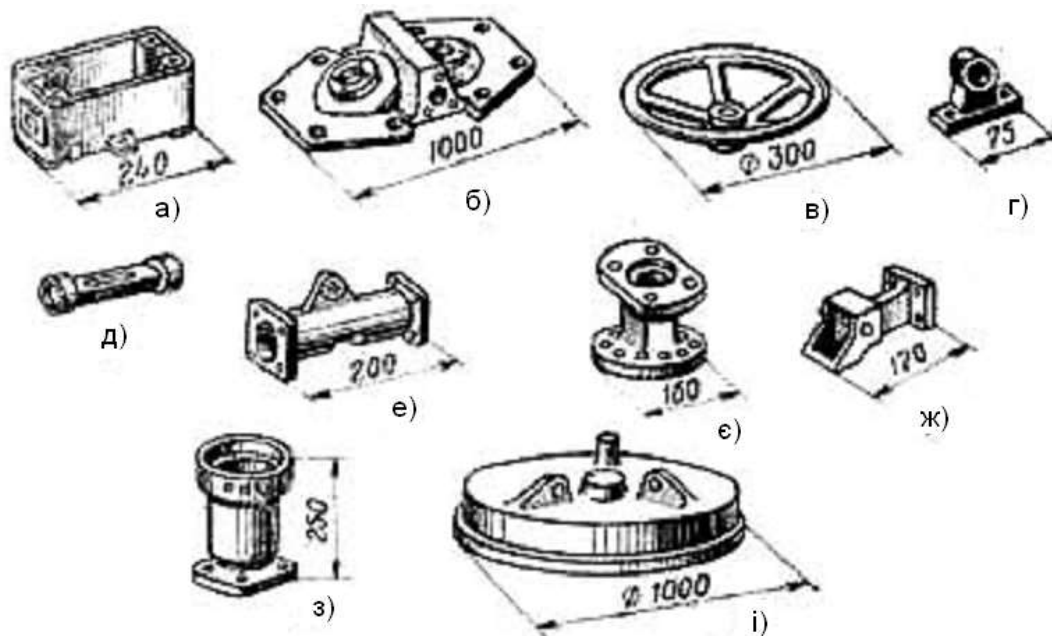


Рисунок 3.1 – Деталі електроапаратів, виготовлені способом лиття
 а) – коробка із чавуну або алюмінієвого сплаву; б) – кришка бака однієї фази масляного вимикача високої напруги; в), г) – маховичок і підшипник;
 д), е) – поршень та циліндр пневматичного механізму; е) – тримач дугогасильної камери масляного вимикача високої напруги; ж) – нерухомий контакт багато амперного автомата; з) – корпус-магнітопровід електромагніта постійного струму;
 і) – корпус-магнітопровід вантажопідйомного магніту

Технологічний процес лиття складається з наступних операцій:

- 1) Приготування рідкого металу;
- 2) Виготовлення ливарних форм (з попереднім виготовленням моделей майбутніх деталей);
- 3) Заповнення форм рідким металом (дозування розплавленого металу);
- 4) Витримка металу в формах до повного затвердіння;
- 5) Видалення готових виробів (виливки) за допомогою спеціальних виштовхувачів;
- 6) Відрізання та обрубка литників;
- 7) Ґрунтовка.

4.2. Приготування розплаву

Металургійні процеси у електротехнічному виробництві є процесами приготування розплаву необхідної консистенції та його заливки у спеціальні форми.

Технологічний процес лиття починається з приготування сплаву. Сукупність всіх наявних хімічних компонент, необхідних для набуття розплавом потрібних експлуатаційних властивостей, називається шихтою. В шихту вводять не тільки хімічно чисті компоненти, а й попередньо сплавлені – так звані лігатури. Розплав, що містить значний відсоток лігатур (~20 %), потребує меншого нагріву і через це з нього менше випаровуються легколеткі компоненти. Такі компоненти рекомендовано додавати в шихту в той момент, коли інші, тугоплавкіші матеріали, вже розплавилась. У електротехнічному виробництві найпоширенішими є алюмінієві, чавунні, мідні сплави. У світлотехнічному виробництві

найпоширенішими сплавами є алюміній-магній (АЛ-8) і алюміній-кремній (АЛ-2). При роботі з такими сплавами є певні особливості. Нагрітий алюміній окислюється ще в процесі варіння, тому розплав треба готувати під захисною плівкою – флюсом. Прикладом останнього є суміш 45%Na+55%KCl. Вона відокремлює (фізично) розплав від повітря і вилучає з розплаву існуючі окисли (хімічно). Крім сплавів АЛ-8 і АЛ-2 існують й інші широкоживані матеріали: АЛ-4В, АЛ-9В тощо. Вони відрізняються тим, що виготовлені з відходів виробництва (відходів ливарних, механічних і штампувальних цехів). При вживанні таких матеріалів звертають увагу на їх чистоту. Великі фрагменти вторинних матеріалів практично не відчищають від бруду, менші – переплавляють, висушують та брикетують перед використанням.

Крім алюмінієвих сплавів у світлотехнічному виробництві є розповсюдженими і сплави на основі міді. Їх використовують для виробництва арматури декоративних світильників (люстр) та елементів морських СП (які виготовляють з матеріалів, що володіють хорошою корозійною стійкістю).

Параметри виливочок залежать від складу в сплавах легуючих елементів, які можуть надавати виливкам як хороші, так і погані властивості. Так, мідь погано впливає на корозійну стійкість, що для світильників має велике значення. Домішки цинку зменшують механічні властивості сплавів на основі систем Al-Si та Al-Cu. Кремній погіршує властивості сплавів на основі системи Al-Si. Залізо в потрібній фазі Al-Fe-Si кристалізується в вигляді пластин і викликає крихкість відливок.

Плавлення сплавів здійснюють в плавильних печах. За джерелом нагріву печі поділяються на електричні (індукційні та печі опору) та газополум'яні. За конструктивними ознаками – тигельні та камерні. За способом випуску металу печі поділяються на стаціонарні рухомі.

У тигельних печах плавлення металу здійснюється всередині литного тигля, виготовленого з жаростійкого чавуну. Джерело теплоти в цих печах розміщено на зовнішній стороні тигля. В тигельних печах якість металу мало залежить від застосованого джерела теплоти, оскільки поверхня металу не доторкається до продуктів горіння. У відбивних печах розплав доторкається до продуктів горіння, тому якість металу в цих печах залежить від складу застосовуваного теплоносія та часу плавлення.

В цехах з невеликим об'ємом виробництва застосовують газополум'яні тигельні печі, що працюють на природному газі, мазутні печі та електричні тигельні печі опору, в цехах з середнім об'ємом виробництва – газові, мазутні та електричні індукційні печі ємністю 1 – 2,5 т.

В стаціонарних печах випуск металу здійснюють через отвір в нижній частині печі або вибирають ковшем невеликої ємності. В рухомих печах метал випускають через зливне вікно шляхом повороту або нахилу печі.

Для плавлення алюмінію часто застосовують каналні індукційні печі з залізним осердям. Особливістю таких печей є наявність каналу, заповненого металом. Цей канал є вторинним витком трансформатора. В каналі здійснюється розігрівання шихти. Індукційні печі без осердя складаються з тигля, в якому здійснюється плавлення, та індуктора, який охоплює зовнішню поверхню тигля. Індуктор живиться струмом високої частоти та наводить в тиглі та шихті вихрові струми, які викликають розігрів металу та його плавлення. При плавленні металу в

індукційних печах без осердя здійснюється інтенсивний рух металу в тиглі, що покращує тепловіддачу та сприяє отриманню однорідного складу.

Властивістю деталей зі сплавів алюмінію залежать від правильної побудови металургійного циклу.

В процесі плавлення та лиття розігрітий метал вступає у взаємодію з оточуючим середовищем, в результаті чого утворюються хімічні з'єднання, які надають певного впливу на якість деталей. Завдяки високій хімічній активності алюмінію він забруднюється воднем, киснем та неметалевими домішками. Основним джерелом забруднення є пари води, що містяться в повітрі, в непросушених шихтових матеріалах та флюсах. Забруднення сплавів неметалевими домішками здійснюється при взаємодії розплаву з матеріалами футеровки печі. Для зменшення складу небажаних домішок, що попадають у метал при плавці, застосовують ряд захисних заходів, які зводяться до усунення або зменшення контакту розплаву з матеріалами футерівки та атмосферою.

Для зменшення насичення розплаву газами на його поверхні наводять плівку безводневого оксиду алюмінію Al_2O_3 , яка стійка при температурі до $950\text{ }^\circ\text{C}$. Однак оксидна плівка є гігроскопічною і не повністю захищає сплав від насичення його воднем.

Для очищення розплавленого алюмінію безпосередньо перед розливом в форми застосовують «рафінування», яке ґрунтується на адсорбції рафінуючим газом водню та неметалевих включень з наступним видаленням їх з розплаву. Рафінування здійснюють інертними газами – азотом, гелієм, аргоном та хлором.

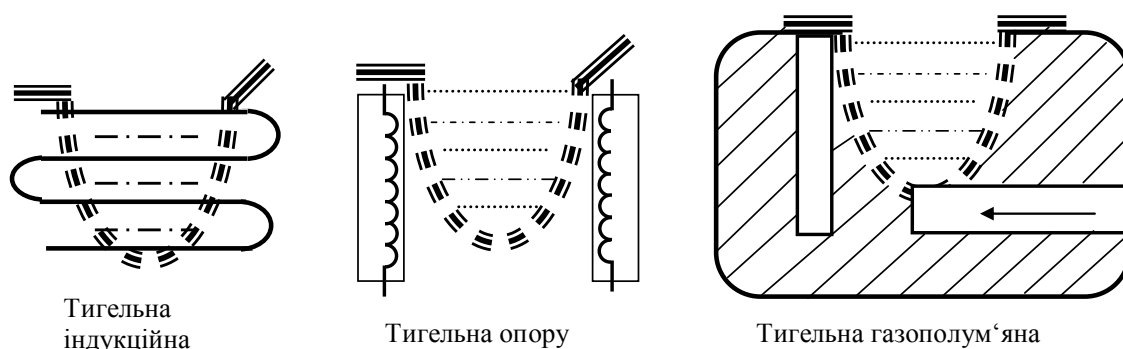


Рисунок 4.2 – Типи тигельних плавильних печей.

Сплави для виливок поряд з певними механічними, хімічними і фізичними властивостями повинні мати і хороші ливарні властивості. До них відносяться:

1) рідкотекучість – характеризує здатність сплаву заповнювати порожнину форми;

2) усадка – здатність сплавів зменшувати свій об'єм і розміри при твердненні;

3) ліквация – утворення неоднорідностей за хімічним складом у різних точках вилівка;

4) газопоглинання – здатність матеріалів у розплавленому стані розчиняти кисень, водень, азот та інші гази;

5) схильність до утворення тріщин.

Всі види лиття за технологічним принципом можуть бути поділені на два методи: лиття в разові та постійні форми.

4.3 Лиття в разові форми

Лиття в землю застосовується обмежено при виготовленні деталей спеціального технологічного обладнання в допоміжному виробництві та при виготовленні корпусних зі сталей та інших сплавів. Для здійснення процесу лиття виготовляють разову форму, яку після заповнення металом руйнують. Форми звичайно виготовляють із спеціальних сумішей. Формувальні суміш складається з піску, глини та допоміжних зв'язуючих домішок: протипригарних, зменшуючих прилипання суміші, збільшуючих газопроникність та ін.

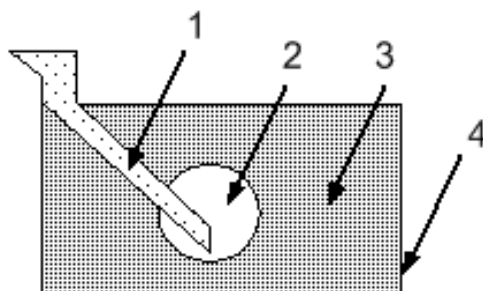


Рисунок 4.3 – Схема лиття в землю.

Розплав заливають через канал 1 у порожнину 2 у формі 3. Форма 3 – це формувальна суміш, запресована в опоці 4, в якій зроблено відбиток, форма якого задає форму порожнині і майбутній деталі.

Формувальні суміші значно впливають на якість виливок. Відомо, що близько половини браку лиття виникає через формувальні матеріали.

Ущільнення формувальної суміші, так звана формовка, здійснюється вручну. Іноді застосовують пневматичні та інші види механічних утрамбовок.

Тривалість охолодження виливок в формі визначається тепловим складом металу, товщиною стінок виливка, теплофізичними властивостями формувальних матеріалів та схильністю сплаву до утворення тріщин. Середня швидкість охолодження виливок 2 – 150 °С/хв. Найчастіше виливки виймають з форм при температурі: чавун – 700 – 800°С, бронза – 300 – 500°С, алюміній – 200 – 800°С.

Після вибивання стержнів та деталей із опоки проводиться обрубка литників та зачищення облою, для чого використовують преси, металорізальне обладнання або галтовочні барабани. Контроль якості виливок здійснюють візуально, а для відповідальних виробів – з використанням радіографічної та ультразвукової дефектоскопії, що дозволяє виявити наявність в деталі раковин, пустот та інших схованих дефектів, а також їх розміри та глибину залягання.

Лиття в оболонкові форми – процес отримання виливків з розплавленого металу у формах, виготовлених по гарячому модельному оснащенню із спеціальних піщано-смоляних сумішей.

Формувальну суміш готують з дрібного кварцевого піску з додаванням термореактивних зв'язуючих матеріалів. Технологічні операції формування при литті в оболонкові форми представлені на рис. 4.4.

Металеву модельну плиту 1 з моделлю нагрівають в печі до 200 – 250 °С. Потім плиту 1 закріплюють на перекидному бункері 2 з формувальною сумішшю 3 (рис. 4.4,а) і повертають на 180° (рис. 4.4,б). Формувальну суміш витримують на плиті 10 – 30 с. Під дією теплоти, витікаючої від модельної плити, термореактивна

смола в примежевому шарі розплавляється, склеює піщинки і твердне з утворенням піщано-смоляної оболонки 4 завтовшки 5 – 15 мм. Бункер повертається в початкове положення (рис. 4.4,в), надлишки формувальної суміші обсіпаються оболонки. Модельна плита з напівтвердою оболонкою 4 знімається з бункера і прожарюється в печі при температурі 300 – 350°C, при цьому смола переходить в твердий необоротний стан. Тверда оболонка знімається з моделі за допомогою виштовхувачів 5 (рис. 4.4,г). Аналогічним чином отримують другу півформу.

Для отримання цілої форми півформи склеюють або сполучають іншими способами (за допомогою скоб).

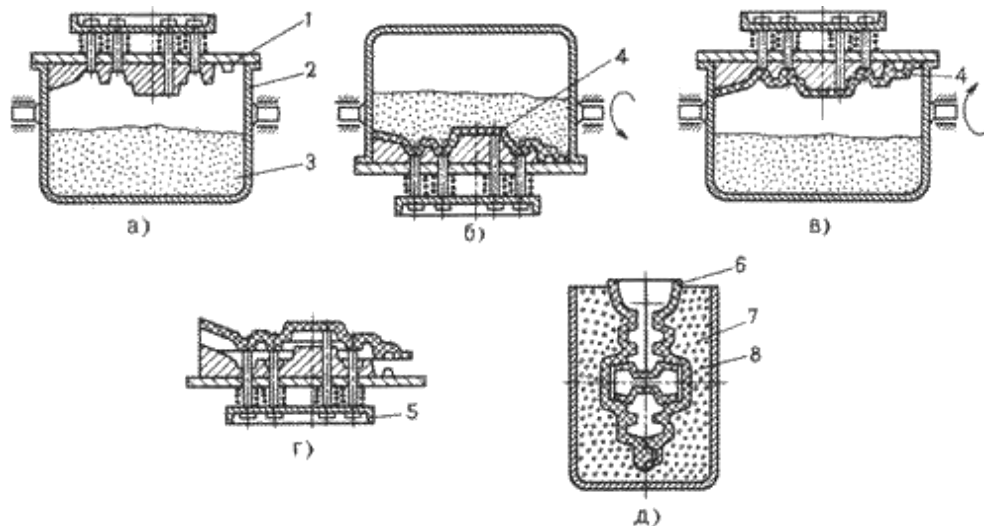


Рисунок 4.4 – Технологічні операції формування при литві в оболонковій формі.

Зібрані форми невеликих розмірів з горизонтальною площиною роз'єму укладають на шар піску. Форми з вертикальною площиною роз'єму б і крупні форми для оберігання від викривлення і передчасного руйнування встановлюють в контейнери 7 і засипають чавунним дробом 8 (рис. 4.4,д).

Лиття в оболонковій формі забезпечує високу геометричну точність виливків, малу шорсткість поверхонь, знижує витрату формувальних матеріалів (висока міцність оболонок дозволяє виготовляти форми тонкостінними) і об'єм механічної обробки, є високопродуктивним процесом.

У оболонкових формах виготовляють відливки 0,2 – 100 кг з товщиною стінки 3 – 15 мм.

Лиття по виплавлюваних моделях – процес отримання виливків з розплавленого металу у формах, робоча порожнина яких утворюється завдяки видаленню (витіканню) легкоплавкого матеріалу моделі при її попередньому нагріванні. Технологічні операції процесу литва по моделях, що виплавляються, представлені на рис. 4.5.

Моделі, що виплавляються, виготовляють в прес-формах 1 (рис. 4.5,а) з модельних складів, що включають парафін, віск, стеарин, жирні кислоти. Склад добре заповнює порожнину прес-форми, дає чіткий відбиток. Після тверднення модельного складу прес-форма розкривається і модель 2 (рис. 4.5,б) виштовхується в холодну воду. Потім моделі збираються в модельні блоки 3 (рис. 4.5,в) із загальною системою литника припаюванням, приклеюванням або механічним кріпленням. У один блок об'єднують від 2 до 100 моделей.

Форми виготовляють багатократним зануренням модельного блоку 3 в спеціальну рідку вогнетривку суміш 5, налиту в ємність 4 (рис. 4.5,г) з подальшим обсипанням кварцевим піском. Потім модельні блоки сушать на повітрі або в середовищі аміаку. Зазвичай наносять 3-5 шарів вогнетривкового покриття з подальшою сушкою кожного шару.

Моделі з форм видаляють, занурюючи в гарячу воду або за допомогою нагрітої пари. Після видалення модельного складу тонкостінні ливарні форми встановлюються в опоці, засипаються кварцевим піском, а потім прожарюють в печі протягом 6 – 8 годин при температурі 850-950°C для видалення залишків модельного складу, випаровування води (рис. 4.5,д).

Заливку форм по моделях, що виплавляються, проводять відразу ж після прожарення в нагрітому стані. Заливка може бути вільною, під дією відцентрових сил, у вакуумі тощо.

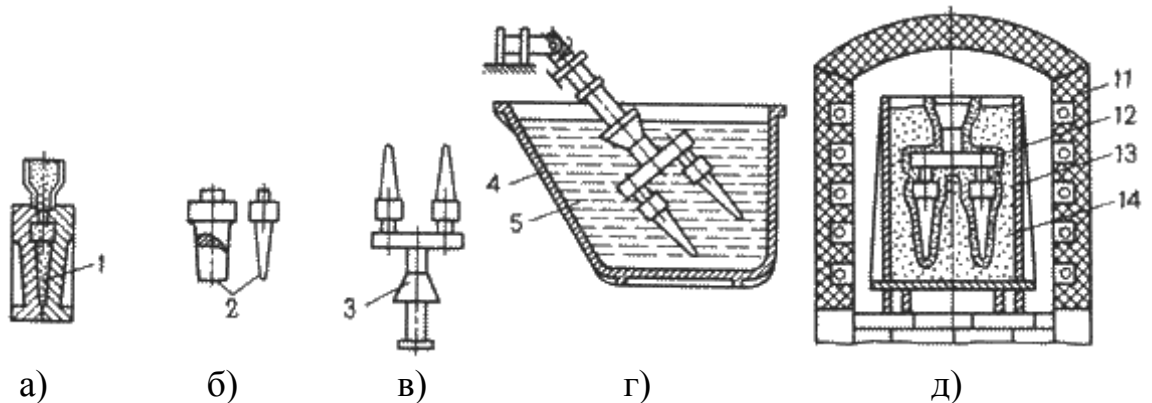


Рисунок 4.4 – Технологічні операції процесу литва по виплавлюваних моделях.

Після тверднення залитого металу і охолодження виливок форма руйнується, виливки відокремлюють від литників механічними методами, направляють на хімічне очищення, промивають і піддають термічній обробці.

Таке лиття забезпечує отримання точних і складних відливань з різних сплавів масою 0,02 – 15 кг з товщиною стінки 0,5 – 5 мм. Недоліком є складність і тривалість процесу виробництва виливок, застосування спеціального дорогого оснащення.

Лиття по виплавлюваних моделях застосовується при виготовленні складних високохудожніх арматур побутових світильників з бронзи, алюмінію та інших металів.

4.4 Лиття в постійні форми

Лиття в кокіль. Лиття в металеві форми (кокілі) набуло великого поширення. Цим способом отримують більше 40% всіх виливок з алюмінієвих і магнієвих сплавів, відливання з чавуну і сталі.

Лиття в кокіль – це виготовлення виливок з розплавленого металу в металевих формах-кокілях.

Формування виливок відбувається при інтенсивному відведенні теплоти від розплавленого металу, від виливка, що твердне і охолоджується, до масивного металевого кокілю, що забезпечує вищу щільність металу і механічні властивості, чим у виливок, отриманих в піщаних формах.

Схема отримання відливань в кокіль представлена на рис.4.6.

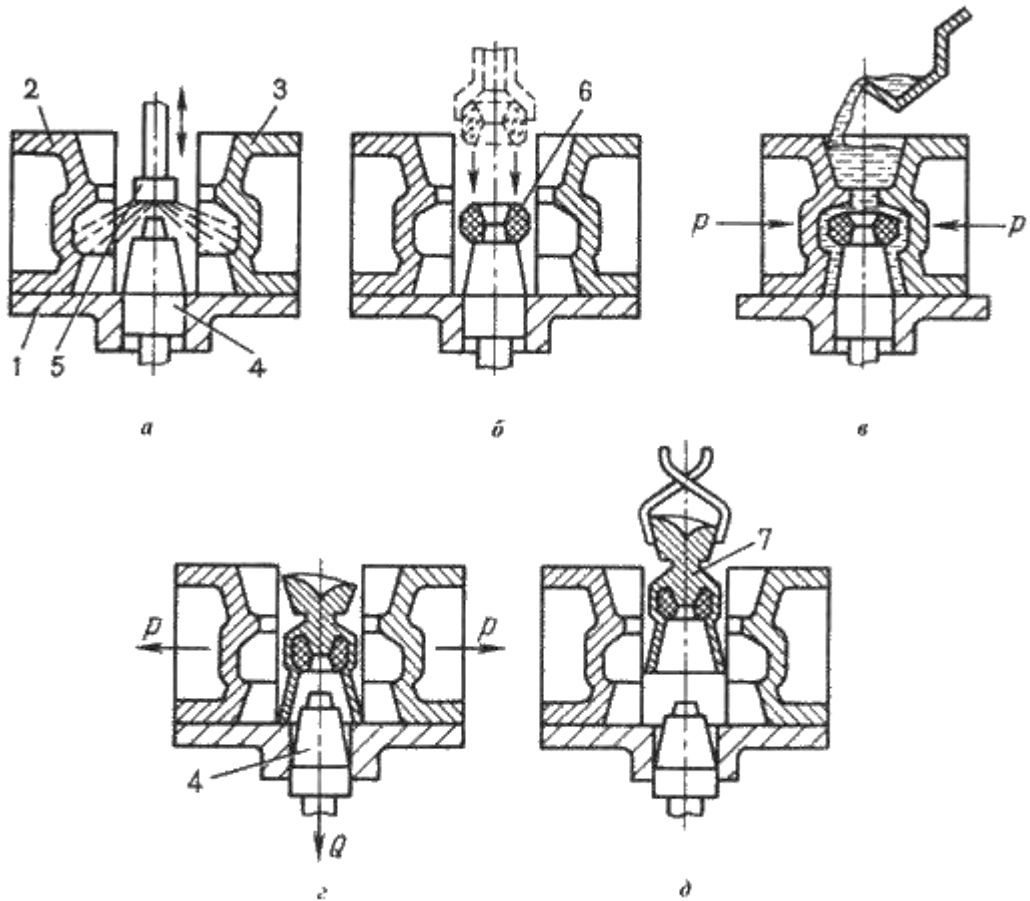


Рисунок 4.6 – Технологічних операцій виготовлення виливок в кокіль.

Робочу поверхню кокілю з вертикальною площиною роз'єму, що складається з піддону 1, двох симетричних півформ 2 і 3 і металевго стрижня 4, заздалегідь нагріту до 150 – 180°C, покривають з пульверизатора 5 шаром вогнетривкого покриття (рис. 4.6,а) товщиною 0,3 – 0,8 мм. Покриття захищає робочу поверхню кокілю від різкого нагріву і схоплювання з відливанням. Покриття готують з вогнетривких матеріалів (тальк, мів, графіт), зв'язуючого матеріалу (рідке скло) і води.

Потім за допомогою маніпулятора встановлюють піщаний стрижень 6, за допомогою якого у відливанні виконується порожнина (рис. 4.6,б).

Половинки кокілю сполучають і заливають розплав. Після тверднення виливки 7 (рис. 4.6,в) і охолодження її до температури вибивання кокіль розкривають (рис. 4.6,г) і протягують вниз металевий стрижень 4. Виливка 7 видаляється з кокілю маніпулятором-виштовхувачем (рис. 4.6,д).

Виливки простих конфігурацій виготовляють в нероз'ємних кокілях, нескладні виливки з невеликими виступами і впадинами на зовнішній поверхні – в кокілях з вертикальним роз'ємом. Крупні, прості по конфігурації виливки отримують в кокілях з горизонтальним роз'ємом. При виготовленні складних виливок застосовують кокілі з комбінованим роз'ємом.

Розплавлений метал у форму підводять зверху, знизу (сифоном), збоку. Для видалення повітря і газів по площині роз'єму прорізають вентиляційні канали.

Всі операції технологічного процесу лиття в кокіль механізовані і автоматизовані. Використовують однопозиційні і багатопозиційні автоматичні кокільні машини. Лиття в кокіль застосовують в масовому і серійному

виробництвах для виготовлення виливок з чавуну, сталі і сплавів кольорових металів з товщиною стінки 3 – 100 мм, масою від декількох грамів до декількох сотень кілограмів.

Лиття в кокіль дозволяє скоротити або уникнути витрат формувальних і стрижньових сумішей, трудомістких операцій формування і вибивання форм, підвищити точність розмірів і понизити шорсткість поверхні, поліпшити механічні властивості.

Недоліки кокільного лиття: висока трудомісткість виготовлення кокіль, їх обмежена стійкість, складність виготовлення складних по конфігурації виливок.

Литтям в кокіль отримують відливки корпусів світильників, стійки, кронштейни та інші деталі.

Лиття під тиском застосовують в електротехнічному виробництві дуже широко. Лиття під тиском називають процес, при якому метал вводять в металеву форму з великою швидкістю та під великим тиском, при цьому здійснюється майже миттєве заповнення всієї порожнини форми металом та його кристалізація.

Виливки отримують на ливарних машинах під тиском з холодною або гарячою камерою пресування. У машинах з холодною камерою пресування камери пресування розташовуються або горизонтально, або вертикально.

На машинах з горизонтальною холодною камерою пресування (рис. 4.7) розплавлений метал заливають в камеру пресування 4. Потім метал плунжером 5 під тиском 40 – 100 МПа подається в порожнину прес-форми, що складається з нерухомої 3 і рухомою 1 півформ. Внутрішню порожнину у виливку отримують стрижнем 2. Після тверднення виливка прес-форма розкривається, стрижень 2 витягується і виливка 7 виштовхувачами 6 видаляється з робочої порожнини прес-форми.

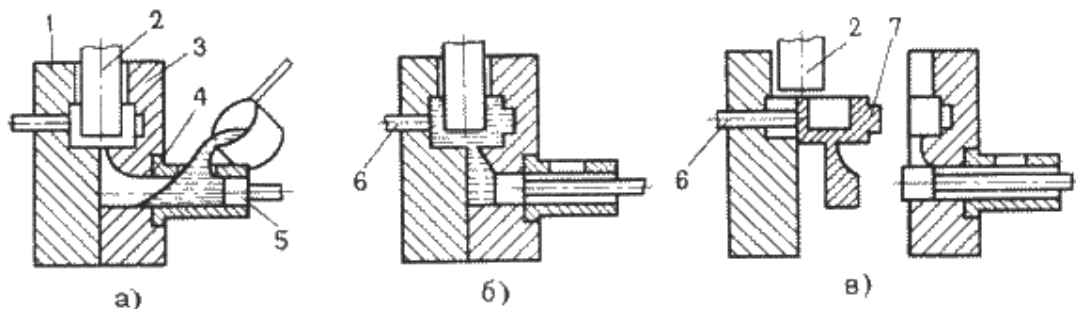


Рисунок 4.7 – Технологічні операції виготовлення виливок на машинах з горизонтальною холодною камерою пресування.

Перед заливкою прес-форму нагрівають до 120 – 320°C. Після видалення виливка робочу поверхню прес-форми обдувають повітрям і змащують спеціальними матеріалами для попередження приварювання виливка. Повітря і гази видаляються через канали, розташовані в площині роз'єму прес-форми або способом вакуумування робочої порожнини перед заливкою металу. Такі машини застосовують для виготовлення виливок з мідних, алюмінієвих, магнієвих і цинкових сплавів масою до 45 кг

На машинах з гарячою камерою пресування (рис. 4.8) камера пресування 2 розташована в тиглі 1, що обігривається, з розплавленим металом. При верхньому положенні плунжера 3 метал через отвір 4 заповнює камеру пресування. При русі плунжера вниз отвір перекривається, сплав під тиском 10 – 30 МПа заповнює

порожнину прес-форми 5. Після тверднення вилівка плунжер повертається в початкове положення, залишки розплавленого металу зливаються в камеру пресування, а вилівки видаляються з прес-форми виштовхувачами 6.

Таким способом отримують вилівки з цинкових і магнієвих сплавів масою від декількох грамів до 25 кг

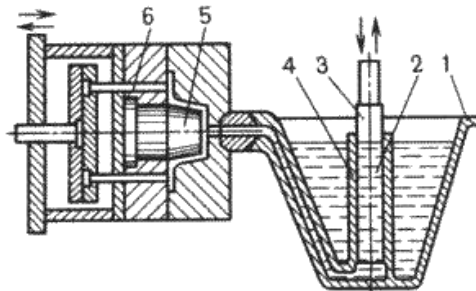


Рисунок 4.8 – Схема виготовлення виливок на машинах з гарячою камерою пресування.

При литті під тиском температура заливки сплаву вибирається на 10 – 20°C вища, ніж температура плавлення.

Лиття під тиском використовують в масовому і крупносерійному виробництвах для отримання деталей з мінімальною товщиною стінок 0,8 мм, з високою точністю розмірів і малою шорсткістю поверхні, за рахунок ретельного полірування робочої порожнини прес-форми, без механічної обробки або з мінімальними припусками, з високою продуктивністю процесу.

До недоліків відносяться: відносно висока вартість обладнання та оснащення; складність отримання деталей з внутрішніми порожнинами в зв'язку з відсутністю стержнів у формі; обмеження розмірів та маси виливок; можливість появи у відливках пористості; обмеження максимальної температури розплавлення використовуваного металу.

Відцентрове лиття. При відцентровому литті сплав заливається у форми, що обертаються. Формування виливок здійснюється під дією відцентрових сил, що забезпечує високу щільність і механічні властивості деталей.

Відцентровим литтям виготовляють вилівки в металевих, піщаних, оболонкових формах і формах для литва по виплавлених моделях на відцентрових машинах з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Металеві форми виготовляють з чавуну і сталі, їх товщина в 1,5 – 2 рази більша від товщини виливки. В процесі лиття форми зовні охолоджують водою або повітрям.

На робочу поверхню виливниці наносять теплозахисні покриття для збільшення терміну їх служби. Перед роботою виливниці нагрівають до 200°C. Схеми процесів виготовлення відливків відцентровим литтям представлені на рис.4.9.

При отриманні виливок на машинах з обертанням форми навколо вертикальної осі (рис. 4.9,а) метал з ковша 4 заливають у форму 2, що обертається, закріплену на шпінделі 1, який обертається від електродвигуна. Під дією відцентрових сил метал притискається до бічної стінки виливниці. Форма обертається до повного тверднення відливання. Після зупинки форми вилівка 3 витягується.

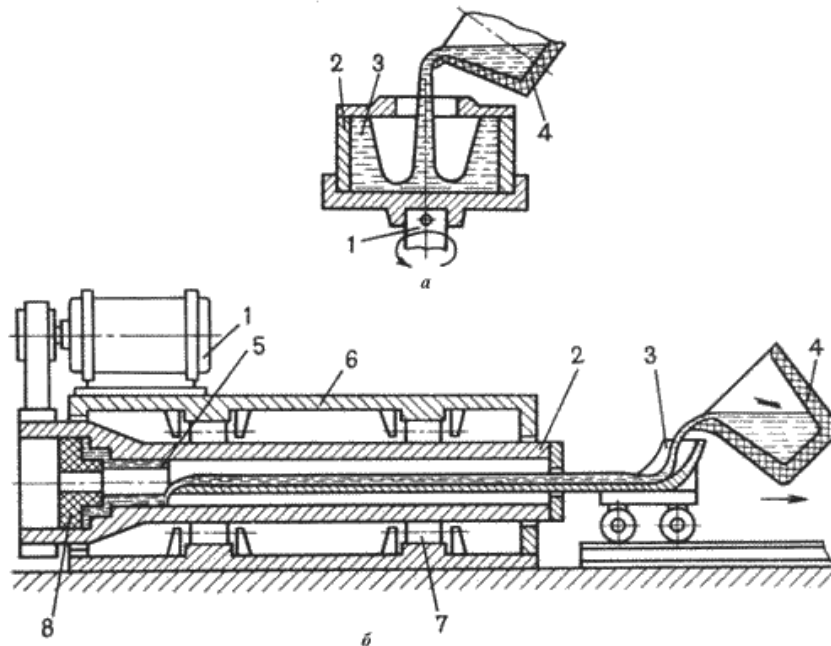


Рисунок 4.9 – Схеми процесів виготовлення виливок відцентровим литтям.

Виливки мають різностінність по висоті – товщій перетин в нижній частині. Застосовують для отримання відливок невеликої висоти – коротких втулок, кілець, фланців. При отриманні виливок типу тіл обертання великої довжини (труби, втулки) на машинах з горизонтальною віссю обертання (рис. 4.9,б) виливницю 2 встановлюють на опорні ролики 7 і закривають кожухом 6. Виливниця приводиться в рух електродвигуном 1. Розплавлений метал з ковша 4 заливають через жолоб 3, який в процесі заливки металу переміщається, що забезпечує отримання рівностінної виливки 5. Для утворення розтруба труби використовують піщаний або оболонковий стрижень 8. Після тверднення металу готову деталь витягують спеціальним пристосуванням. Швидкість обертання форми залежить від діаметру виливки.

Маса виливок може скласти від декількох кілограмів до 45 т. Товщина стінок – від кількох міліметрів до 350 мм. Відцентровим литтям можна отримати тонкостінні виливки із сплавів з низькою текучістю, що неможливо зробити при інших способах литва.

Недолік: наявність усадкової пористості, лікватів і неметалевих включень на внутрішніх поверхнях; можливість появи дефектів у вигляді поздовжніх і поперечних тріщин, газових пухирів.

Переваги – отримання внутрішніх порожнин трубних заготовок без застосування стрижнів, економія сплаву за рахунок відсутності системи литника, можливість отримання двошарових заготовок, що отримуються почерговою заливкою у форму різних сплавів (сталь–чавун, чавун–бронза).

Використовують автоматичні і багатопозиційні карусельні машини з управлінням від ЕОМ.

4.5 Специфічні способи лиття

Штампування рідкого металу Суть процесу штампування рідкого металу полягає в тому, що на залитий сплав у формують порожнину діє зусилля

пресуючого пуансона, що створює умови для об'ємно-стиснутого стану рідкого металу та його кристалізації під тиском пресування.

При цьому способі формоутворення деталі здійснюється шляхом входження пуансону 3 в розплав рідкого металу 2, що заповнює порожнину матриці 1. Частина металу при цьому виштовхується в порожнини пуансона. Після кінцевого формоутворення вилівка 5 тиск пуансона передається на внутрішню порожнину, утворену пуансоном, або на верхній торець вилівка до закінчення його тверднення. Виштовхування деталі з матриці здійснюється за допомогою виштовхувала 4 (рис. 4.10).

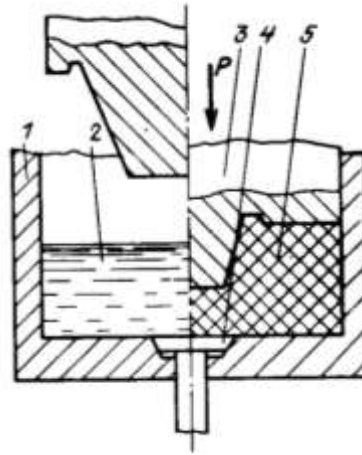


Рисунок 4.9 – Схема штампування рідкого металу.

Оскільки при формуванні вилівки по його перерізу створюється певний перепад температур, то це призводить до утворення та росту кірки металу ще до прикладання тиску. При прикладанні тиску зовні на поверхні вилівка виникає розділ фаз, чим прискорюється процес кристалізації, разом з цим виникають структурні зміни металу – зміни структури, підвищення однорідності, рівномірний розподіл неметалевих включень і т.п.

Якість отриманого вилівка залежить від якості розплавлення рідкого металу, температури штампу, швидкості пресування, силових факторів штамповки, конструкції деталі.

Швидкість пресування при штамповці істотно впливає на якість деталей – при малих швидкостях виникає неповне формування деталі через швидке тверднення розплаву; при великих виникає захват повітря, вибрикування розплаву в зазор між матрицею та пуансоном.

Продавлювання через фільтеру. Пресовані алюмінієві профілі отримують продавлюванням алюмінієвих сплавів через головку – фільтеру з щілиною, конфігурація якої відповідає поперечному перерізу виробу. При цьому в пресованому профілі можуть бути передбачені різні конструктивні елементи: бортики, пази, виступи. Швидкість пресування практично не залежить від поперечного перерізу профілю і складає 30 – 50 м/хв. Даним методом зручно виготовляти металеві корпуси для люмінесцентних світильників.

Виготовлення виливок електрошлаковим литтям. Суть процесу електрошлакового литва полягає в переплавці електроду, що витрачається, у водоохолоджуваній металевій формі (кристалізаторі). При цьому операції розплавлення металу, його заливка і витримка відливання у формі суміщені по

містю і часу. Схема виготовлення виливок електрошлаковим литвом представлена на рис. 4.11.

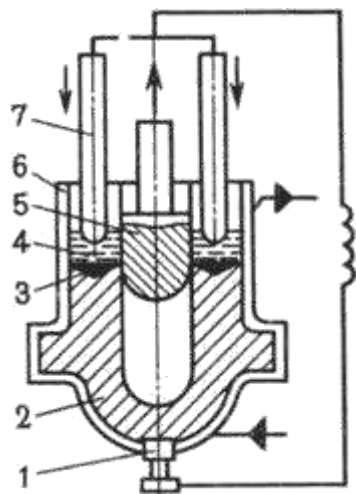


Рисунок 4.11 – Схема виготовлення виливок електрошлаковим литтям.

Як електрод, що розплавлюється, використовується прокат. У кристалізатор 6 заливають розплавлений шлак 4 (фторид кальцію або суміш на його основі), що володіє високим електроопором. При пропусканні струму через електрод 7 і затравку 1 виділяється значна кількість теплоти і шлакова ванна нагрівається до 1700 °С, відбувається оплавлення електроду. Краплі розплавленого металу проходять через розплавлений шлак і утворюють під ним металеву ванну 3. Вона у водоохолоджуваній формі твердне послідовно, утворюючи щільну без усадкових дефектів виливку 2. Внутрішня порожнина утворюється металевією вставкою 5.

Розплавлений шлак сприяє видаленню кисню, зниженню змісту сірки і неметалевих включень, тому деталі отримуються з добрими механічними і експлуатаційними властивостями.

Виготовлення виливок безперервним литтям. При безперервному литті (рис. 4.12) розплавлений метал з металопримача 1 через графітову насадку 2 поступає у водоохолоджуваний кристалізатор 3 і твердне у вигляді виливки 4, яка витягується спеціальним пристроєм 5. Довгі виливки розрізають на заготовки необхідної довжини.

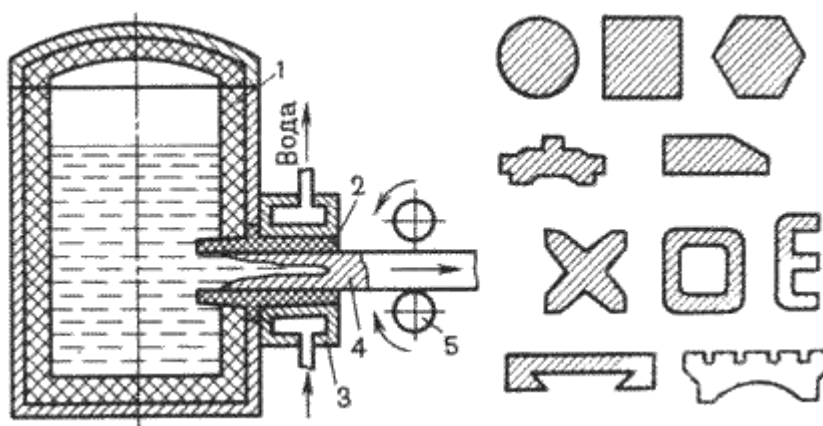


Рисунок 4.11 – Схема безперервного лиття (а) і різновид виливок, отриманих безперервним литтям (б).

Даний спосіб використовують для отримання виливок з паралельними твірними з чавуну, мідних, алюмінієвих сплавів. Виливки не мають неметалевих

включення, усадочних раковин і пористості завдяки створенню направленою тверднення виливок.

4.6 Дефекти виливок

За нормативними документами класифіковано 22 види браків виливок: заливи, короблення, нарости, недоливи, пригар, газові і шлакові раковини, спаї, тріщини, механічні пошкодження і т.д. Брак може бути викликаний недотриманням технології, помилками при конструюванні деталей, при проектуванні технологічного процесу виготовлення виливка.

До основних видів браку відносять:

- короблення – зміна розмірів і контурів виливка від впливом усадочних напружень;
- газові раковини – порожнини на поверхні чи всередині виливка;
- піщані раковини – закриті чи відкриті порожнини, повністю чи частково заповнені формувальним матеріалом;
- усадочні раковини – відкриті чи закриті порожнини в тілі виливка, які мають шорстку поверхню з крупнокристалічною поверхнею;
- рихлість чи пористість – крупнозерниста і нещільна структура сплаву з наявністю міжкристалічних порожнин різної величини;
- шлакові раковини – відкриті чи закриті порожнини, повністю чи частково заповнені шлаком;
- тріщини гарячі і холодні – наскрізні і не наскрізні розриви чи надриви у стінках виливка;
- спай – наскрізні чи поверхневі потоки металу з округлими краями, що застиг передчасно.

Незначні дефекти у виливках підлягають виправленню. Залежно від характеру дефекту, розмірів і конфігурації виливка його виправляють одним із способів: заробляють замазкою, просочують мастикою, металізують, заварюють рідким металом, вкручують заглушки, заробляють газовим чи електричним зварюванням, піддають термічній обробці.

Лекція 5

ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ

5.1 Суть операцій листового штампування

Листове штампування – це технологічний процес одержання деталей чи готових виробів з листового матеріалу шляхом їх вирубування або пробивання з вихідної заготовки, а також подальшої зміни їх форми внаслідок витяжки чи згинання. Операції обробки тиском відбуваються без знімання стружки, а зміна форми зумовлена дією на заготовку зовнішніх сил від інструменту і оснастки.

До переваг листового штампування відносяться:

- висока продуктивність, що приводить до низької вартості деталей;
- можливість використання малокваліфікованих робітників;
- порівняно невеликі втрати матеріалу при правильній побудові технологічного процесу і розкрою матеріалу;

- взаємозамінність деталей внаслідок високої точності і одноманітності;
 - можливість отримання досить міцних, жорстких, але легких конструкцій при малій матеріаломісткості;
 - передумови для механізації та автоматизації технологічного процесу.
- Методом листового штампування виготовлюється більшість деталей електричних апаратів та світлових приладів (рис. 5.1).

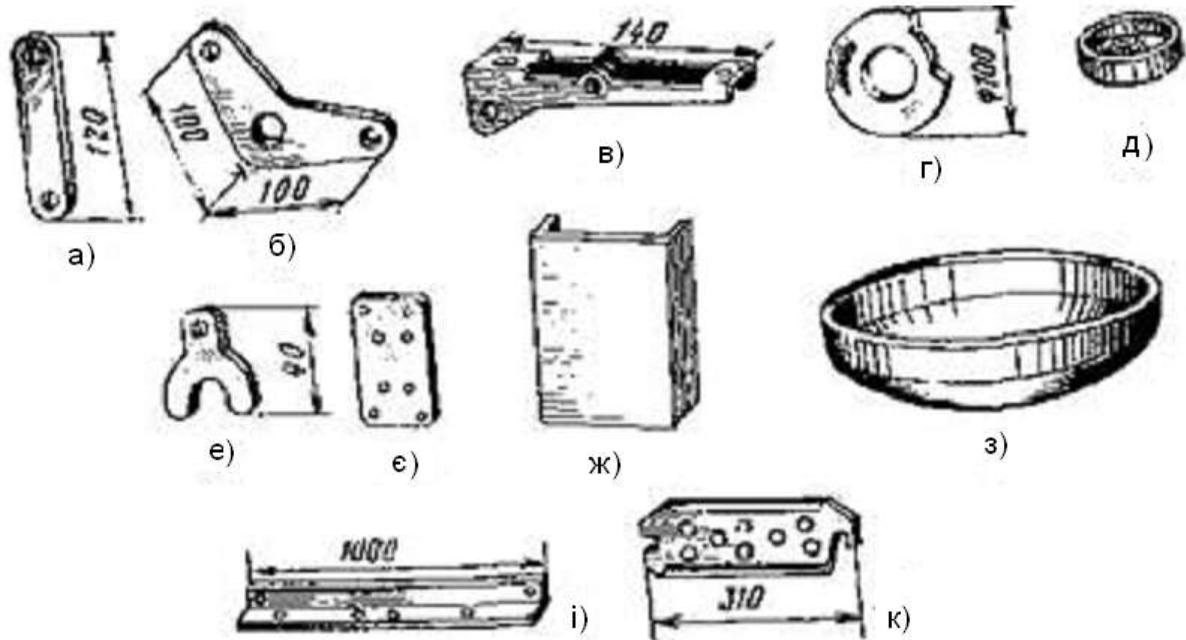


Рисунок 5.1 – Штамповані деталі електричних апаратів:

- а) – тяга; б, в) – плоский та гнутий рычаги; г) – кулачкова шайба; д) – опорна шайба пружини контактного механізму; е) – термобіметалічний елемент теплового реле або розчеплювача; е) – основа апарата; ж) – боковина ящика; з) – днище бака; і) – кутник рами; к) – основа елемента резистора.

Всі операції листового штампування поділяють на чотири групи;

1) *роз'єднувальні* – відділення однієї частини матеріалу від іншої по замкнутому чи незамкнутому контурі;

2) *формозмінючі* – зміна форми заготовки в процесі штампування, при якій плоска чи пустотіла заготовка перетворюється у просторову деталь заданої форми без зміни товщини заготовки або з її потоншенням;

3) *комбіновані* – суміщення кількох технологічних операцій штампування в одну (наприклад, пробивка+відрізання+згинання);

4) *збиральні* – операції для з'єднання кількох деталей в один вузол (наприклад, запресовка, клепання, закатування).

5.2 Роз'єднувальні операції листового штампування

До роз'єднувальних операцій відносяться:

Відрізання – повне відділення частини матеріалу по незамкнутому контурі.

Вирубвання – повне відділення матеріалу по замкнутому контурі, відокремлена частина заготовки є готовим виробом;

Пробивання – отримання отвору шляхом відокремлення частини матеріалу пі замкнутому контурі. На відміну від вирубвання при пробиванні частина

матеріалу, що проштовхується крізь матрицю, є відходом, а частина, що залишилась, – виробом;

Надрізання – часткове відділення матеріалу по незамкнутому контурі без видалення залишків;

Розрізання – розділення заготовок на кілька окремих деталей;

Обрізання (обробування) – повне відділення лишнього матеріалу по зовнішньому контурі виробів. Від вирубування відрізняється конструкцією штампа.

Зачистка – невелике обрізання передбачених припусків на плоских заготовках з метою отримання точних розмірів і форми. Якщо зачистку проводять одночасно з вирубуванням (пробиванням) одними матрицею і пуансоном, то така обробка є чистовим вирубуванням (пробиванням).

Просічка – відокремлення листових неметалевих деталей по замкнутому контурі за допомогою просічних ножових штампів.

Розрізання листового матеріалу ножицями. Методом холодної штамповки з прокату чорних металів, алюмінію чи латуні виготовляють більшість елементів світлотехнічних виробів. Операції розрізання широких заготовок на заготовки, з яких беспосередньо виготовляють деталі, називаються заготівельними. При цьому найчастіше використовують рулонний матеріал завтовшки 0,5-1,5 мм (шириною до 1,5 м), різання якого здійснюють за допомогою ножиць.

При роботі *ножиць з паралельними ножами* (рис. 5.2,а) матеріал, поміщений між ножами, піддається вертикальному тиску, що збільшується від 0 до значення, рівного опору металу зрізування, внаслідок чого відбувається відділення частини матеріалу. Кут різання $\delta=90^\circ$. Зусилля різання визначається з формули

$$P = kbs\tau_0, \text{ Н}, \quad (5.1)$$

де $k=1\div 3$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучих кромки, зміну величини зазору, якість матеріалу і т.д.;

b – ширина полоси (периметр відрізання), м;

s – товщина матеріалу, м;

τ_0 – опір різанню, Па.

Для зменшення зусилля різання застосовують *ножиці з нахиленими ножами (гільйотинні ножиці)* (рис.5.2,б). При цьому відрізання відбувається не по всій ширині листа одночасно, а поступово від одного краю до іншого. Тому зусилля різання залишається постійним і не залежить від ширини листа. Для зменшення тертя задніх поверхонь ножа об метал задній кут $\alpha=1,5 - 3^\circ$. Кут різання $\delta=75-85^\circ$ для твердих матеріалів і $\delta=67 - 70^\circ$ – для м'яких. Зусилля різання для гільйотинних ножиць:

$$P = k \frac{0,5s^2\tau_0}{\text{tg}\varphi}, \text{ Н} \quad (5.2)$$

де φ – кут нахилу ріжучої кромки ножа.

При різанні нахиленими ножами виникають додаткові деформації від розсування частин листа і відгинання його вниз. Тому кут φ звичайно менший від 9° (на практиці $\varphi = 4\dots 6^\circ$).

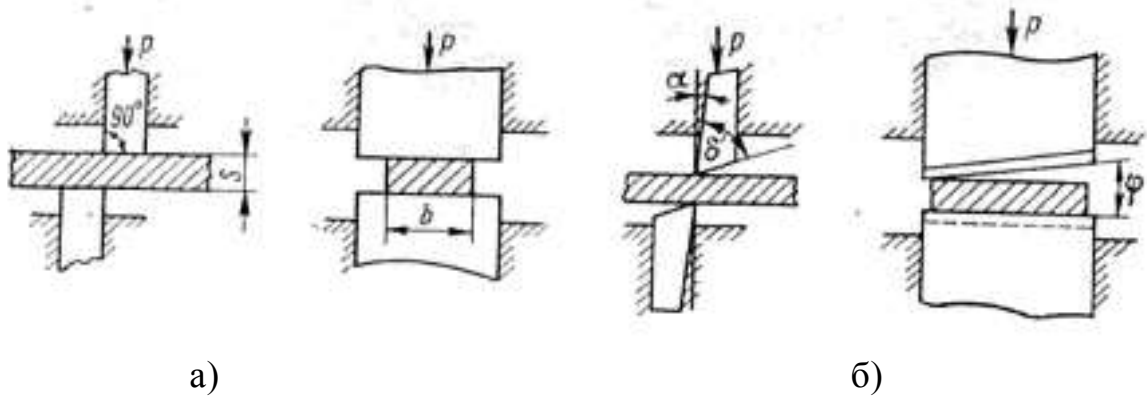


Рисунок 5.2 – Схема різання листового матеріалу ножицями:
 а) – з паралельними ножами; б) – з нахиленими ножами.

Різновидом гільйотинних ножиць є вібраційні ножиці, у яких нижній нахилений ніж закріплений у станині нерухомо, а верхній ніж здійснює зворотно-поступальний рух. Число подвійних ходів верхнього ножа складає 1200 – 2500 ходів за хвилину, $\varphi=24\dots30^\circ$. Вібраційні ножиці застосовують для різання криволінійних контурів з радіусами заокруглення не менше 12 – 15 мм, наприклад, для отримання заготовок осесиметричних відбивачів. До недоліків вібраційних ножиць відносяться можливість розрізати матеріал малої товщини (до 3 мм), швидке зношування ножів, низька чистота обробки поверхні вирізаної заготовки.

Процес різання металу *дисковими ножицями* (рис.5.3) здійснюється круглими ножами, що обертаються в різні сторони з однаковою кутовою швидкістю. Матеріал переміщується завдяки тертю металу об ножі. За кількістю ножів дискові ножиці ділять на одно дискові, парно дискові і багатодискові з прямими і нахиленими (одним чи двома в парі) ножами.

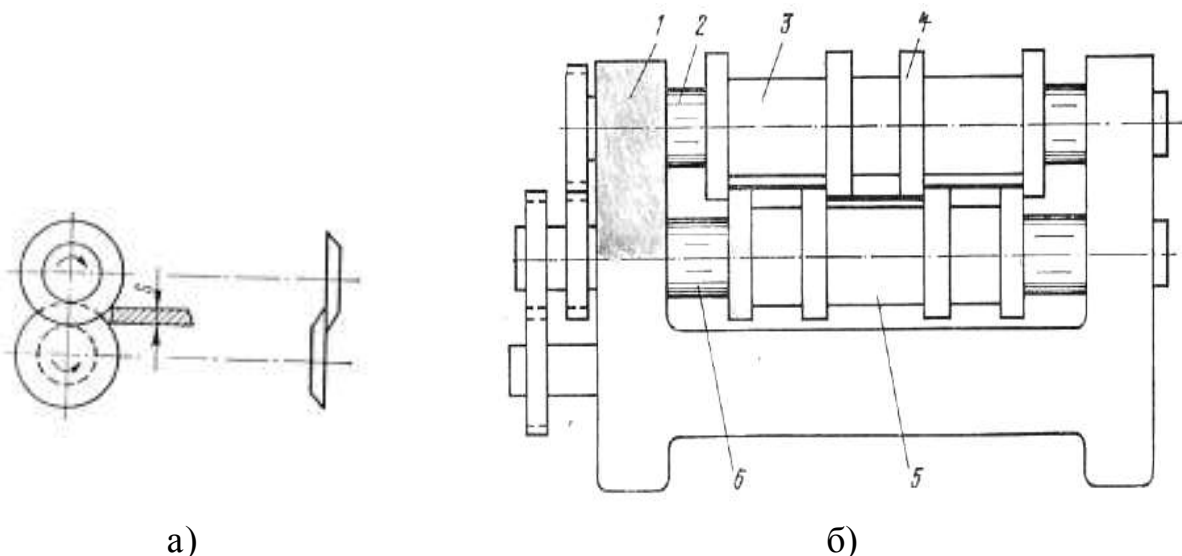


Рисунок 5.3 – Різання листового матеріалу дисковими ножицями:
 а) – схема різання; б) – вигляд установки.

У верстаті до станини 1 вмонтовано рухомі вали 2. Між дисковими ножами 4 закріплено розпірні втулки 3, довжина яких визначає розмір заготовки. Кутова швидкість дискових ножиць досягає 1,5 м/с, завдяки чому продуктивність їх роботи є високою. Верстат з ножицями нерідко оснащений спеціальним пристроєм,

що перемотує вже розрізаний матеріал на секційні катушки і запускає у подальше виробництво.

$$P = k \frac{0,5s^2\tau_0}{2tg\varphi}, \text{ Н} \quad (5.3)$$

Зусилля різання дисковими ножицями:

Кут захвату $\varphi = 10 \dots 14^\circ$.

Потужність приводу дискових ножиць:

$$N = \frac{0,064s^2\tau_0v}{\eta}, \quad (5.4)$$

де v – швидкість різання, м/с;

$\eta = 0,7-0,8$ – ККД ножиць.

Розрізання листового матеріалу штампами. Вирубання деталей та пробивання в них отворів здійснюється за допомогою вирубних штамів, що представляють собою інструмент, у якого контур різальних частин – пуансон і матриця – відповідає контуру вирубної деталі або пробивного отвору (рис. 5.4).

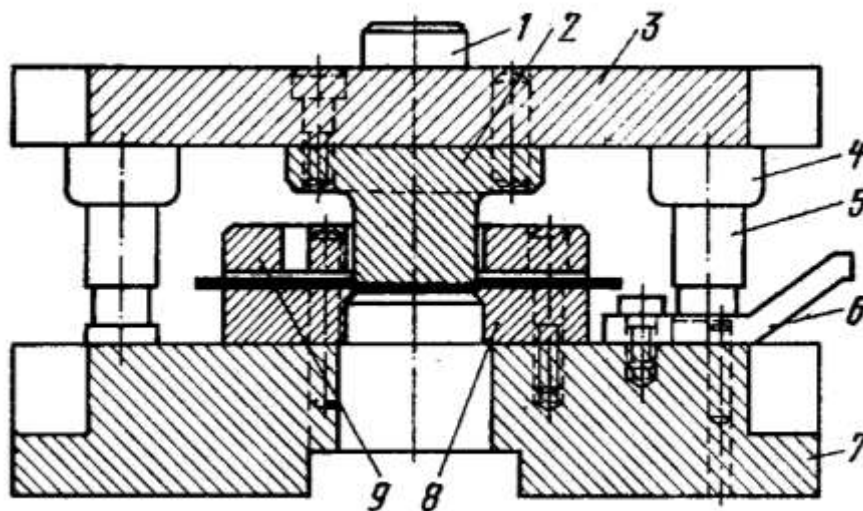


Рисунок 5.4 – Вирубний штамп.

Деформуюче зусилля штампу здійснюється пуансоном 2, який кріпиться гвинтами до рухомої плити 3, що утримується на повзуні преса фіксатором 1. На нижній плиті 7 розміщена матриця 8. Заготовка притискається до матриці притискачем 9. Для обмеження ступенів свободи ходу пуансона у верхню плиту запресовано втулки 4, що вільно переміщуються вздовж спрямовуючих колонок 5. При ході повзуна преса вниз матеріал протискається пуансоном у матрицю. Процеси вирубання та пробивання складаються з чотирьох основних моментів: пружне стискання, стискання з вигинанням і видовженням, поява сколів та відокремлення деталі від оброблюваного матеріалу.

Для нормальної роботи вирубного штампу між його робочими частинами пуансоном і матрицею необхідні зазори. При роботі штампу кромки робочих частин на пуансоні та на матриці з часом затупляються, і на них утворюються заокруглення, що викликає поступове збільшення зусиль вирубання чи

пробивання. При затупленні робочих частин збільшуються також загусениці на кромках деталей. Зазори встановлюють залежно від товщини і механічних характеристик штампованого матеріалу. Від величини зазору залежать якість поверхні зрізу вирубної деталі та стійкість штампів. Малий зазор утворює у верхній частині деталі за гусениці через розривання металу, великий – рвані краї через затягування в нього металу.

Для зменшення зусилля різання використовують нестандартні ріжучі інструменти: при вирубванні деталей скіс роблять на матриці, а торець пуансона виготовляють плоским; при пробиванні отворів торець матриці виготовляють плоским, а скіс роблять на пуансоні.

Вирубвання деталей здійснюють на вирубних штампах, які класифікуються за трьома основними ознаками: конструктивною, технологічною, експлуатаційною.

За технологічною ознакою штампи поділяють на прості (виконується лише одна операція) і комбіновані (декілька операцій). Комбіновані штампи розділяють на сумісні (або компаундні) і послідовні. Сумісними штампами називають такі, в яких на одній робочій позиції об'єднані різні технологічні операції і за один хід преса виробляється готова деталь чи напівфабрикат.

Розміри деталі визначаються розмірами робочих інструментів штампу і не залежать від точності подання стрічки. Послідовні штампи являють собою сукупність різних операційних штампів, об'єднаних у спільному блоці, в межах якого заготовка пересувається з позиції на позицію разом із стрічкою. Відокремлення виробу здійснюється на останній операції. Розміри деталі, виробленій на послідовному штампі, визначаються не тільки станом інструмента, але й точністю подання матеріалу до робочої зони. Тому при послідовній штамповці деталей рекомендується передбачати в штампах додаткову фіксацію стрічки. Послідовна штамповка дозволяє застосовувати високошвидкісні преси (250-400 ходів за хвилину), що забезпечує їй високу продуктивність. Такої переваги позбавлена компаундна штамповка (швидкість руху преса не перевищує 70 ходів за хвилину). У серійному світлотехнічному виробництві впроваджено УЗШ (універсальні збірні штампи), що при необхідності можуть модернізуватись в штамп будь-якого типу.

За конструктивною ознакою штампи бувають відкритого або закритого типу. Відкриті штампи використовують тільки в дослідному виробництві. Вони найпростіші за конструкцією, але це їх єдина перевага в порівнянні з іншими. Хід пуансона в таких штампах ніщо не спрямовує, отже точність вирубки деталей у них мала, крім того робочі елементи швидко псуються, ці штампи небезпечні для робочого персоналу. У закритих штампах рухома плита не має зайвих ступенів свободи. Вони забезпечують високу точність і мале спрацювання обладнання. Ці штампи розрізняють на блочні (рух пуансона обмежується спрямовуючими колонками) і пакетні (обмеження площиною, поперечною до матриці).

За експлуатаційною ознакою штампи є з ручним і автоматичним поданням матеріалу в робочу зону. Серед автоматизованих штампів найбільшого розповсюдження набули штампи з валковим поданням матеріалу (згорнутим у рулон). При робочому ході пуансона (вниз) валки (дві пари зверху листа заготовки і дві пари знизу) не обертаються і працюють на фіксацію заготовки. При зворотному ході спрацює система передач, і валки починають обертатися. Їх рух

просуває рулонний матеріал на певну (відрегульовану) відстань. Ця схема набула широкого застосування при штампуванні деталей з металевої стрічки. Валкова штамповка також зручна для нанесення мастила на робочі елементи преса, що зменшує їх спрацьовування. Для цього достатньо пропускати стрічку через посудину з мастилом (нижні валки мають бути занурені в мастило, а верхні – ні). При перемотуванні рулону мастило постійно наноситься на матрицю з пуансоном.

Зусилля, необхідне для вирубування чи пробивання деталі будь якої конфігурації, визначають за формулою:

$$P = kus\tau_0, \text{ Н}, \quad (5.5)$$

де $k=1\div 3$ – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучих кромek, зміну величини зазору, якість матеріалу і т.т.;

u – довжина контуру (периметр) деталі, що відрізається, м;

s – товщина матеріалу, м;

τ_0 – опір різанню, Па.

5.3 Формозмінюючі операції листового штампування

Згинання – утворення кута між частинами заготовки або надання заготовці криволінійної форми.

При згинанні пластично деформується тільки ділянка заготовки в зоні контакту з пуансоном 1 (рис. 5.5): зовнішні шари заготовки розтягуються, а внутрішні – стискаються. Деформація розтягування зовнішніх шарів і стиснення внутрішніх збільшується із зменшенням радіусу заокруглення робочого торця пуансона, при цьому зростає імовірність утворення тріщин. Тому мінімальний радіус пуансона обмежується величиною в межах 0,1-2,0 від товщини заготовки, залежно від механічних властивостей матеріалу.

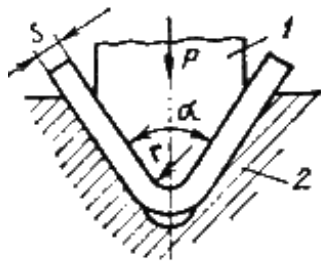


Рисунок 5.5 – Схема згинання.

При зніманні навантаження розтягнуті шари заготовки пружно стискаються, а стислі – розтягуються, що приводить до зміни кута гнучкості α , тобто до пружинення деталі. Це слід враховувати шляхом зменшення кута інструменту на величину пружинення, або застосуванням в кінці робочого ходу

додаткового зусилля.

Згинання характеризується радіусом згинання r та кутом згинання α . Мінімальний радіус згинання r_{\min} знаходять за формулою:

$$r_{\min} = ks, \quad (5.6)$$

де s – товщина матеріалу, мм;

$k=0,15\div 3,05$ – коефіцієнт згинання, що залежить від механічних та фізичних властивостей матеріалу.

За технологічними ознаками розрізняють однокутове (вільне) та двокутове (з прижимом) згинання. Останній спосіб згинання застосовують при виготовленні скоб, крючків та замків світильників. Згинання з прижимом дозволяє отримати більш точні деталі, ніж вільне згинання.

Найбільший допустимий радіус згинання трубчатих деталей залежить від товщини стінки труби та її діаметру. У випадках, коли виникає необхідність здійснювати згинання тонкостінних труб, перед згинанням у вихідну трубчасту заготовку вставляють спеціальні оправки, які виймають після виконання згинання. Іноді при згинанні тонкостінних труб їх заповнюють піском або заливають низькотемпературними сплавами, наприклад, свинцем. Після виконання згину пісок чи свинець з заготовки видаляють.

Згинання застосовують при виготовленні корпусів люмінесцентних світильників, кронштейнів, лампотримачів та інших деталей різного призначення. Гнуті деталі з трубчатих заготовок широко використовуються при виготовленні світильників для освітлення житлових приміщень – люстр, бра, торшерів, настільних ламп тощо.

У конструкціях світлових приладів широко застосовуються деталі циліндричні форми – корпусні деталі, обшивка каркасів прожекторів і т.п. Згортання листового матеріалу в циліндр проходить на вальцювальних станках двох типів: з прижимним роликосередині (рис. 5.6,а) та з бічним прижимним роликосередині. Станки першого типу застосовують для згинання листів товщиною більше 2 мм, другого – для згинання тонших листів.

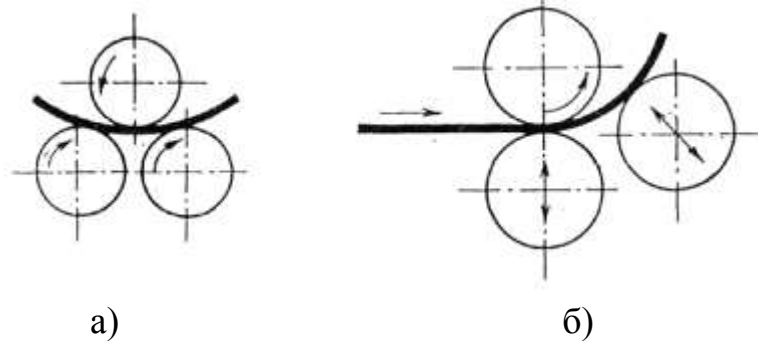


Рисунок 5.6 – Схема згинання листового матеріалу на вальцювальних станках: а) – з прижимним роликосередині; б) з прижимним роликосередині, розміщеним збоку.

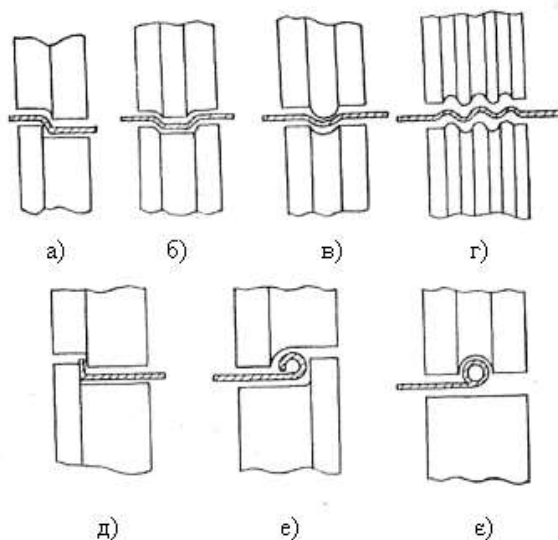


Рисунок 5.7 – Зиговочні операції: підсічка (а), утворення уступу (б), риштовка (в), складна риштовка (г), відбортовка (д), закатування борта (е,е).

На заводах застосовують середні та легкі стани, на яких можна отримати профілі із сталевих та алюмінієвих листів товщиною до 20,5 мм та шириною до 250 мм. Для збільшення жорсткості деталей з листового матеріалу застосовують місцеве профілювання у вигляді підсічки, утворення уступа, рифтовка, відбортовки, закатування тощо (рис. 5.7). Ці роботи (зигочні операції) виконуються на профільних роликах зигочних машин. Відстань між осями роликів можна змінювати за допомогою гвинтового механізму.

Витяжка. Витяжкою називається операція штамповки, при якій плоска заготовка перетворюється в порожнинну деталь замкнутого контуру. Схема процесу витяжки показана на рис. 5.8.

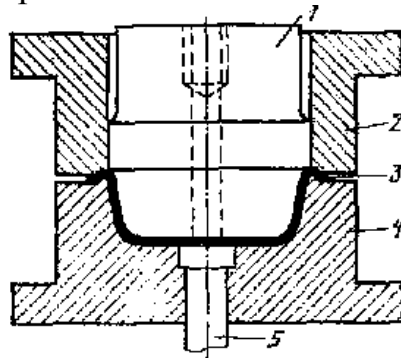


Рисунок 5.8 – Схема процесу витяжки:

1 – пуансон; 2 – притискне кільце; 3 – заготовка; 4 – матриця; 5 – виштовхувач.

Плоска заготовка 3 притискується притискним кільцем 2 до матриці 4. Надання заготовці форми матриці здійснюється пуансоном 1. Виштовхувач 5 звільняє готову деталь. Зусилля притискного кільця має регулюватись таким чином, щоб не було ковзання заготовки, що призведе до складок на деталі (надто слабкий притиск) і не було розриву матеріалу заготовки (надто жорсткий притиск).

Якщо ввести позначення: d – максимальний розмір (діаметр) заготовки, h – глибина її пластичного деформування пуансоном, то відношення d/h визначатиме ступінь витяжки. При $d/h < 0,5$ витяжна називається глибокою. Найзручнішою реалізацією витяжки є виготовлення деталей простої форми – порожнистих циліндрів (корпуси СП), пустотілих напівсферичних деталей (відбивачі СП). Якщо форма деталі складна і технологічний процес витяжки не є простим, то його розділяють на окремі елементарні складові, внаслідок чого витяжка стає поетапною. У такий спосіб виготовляють і прості деталі з великою глибиною витяжки. Якщо глибоку витяжку здійснювати за один підхід, метал заготовки, очевидно, розірветься. Деформація, що виникає при активному навантаженні матеріалу, є функцією часу. Відомо, що границя текучості для одного й того ж матеріалу може збільшуватись чи зменшуватись залежно від того, зменшується чи відповідно збільшується швидкість зовнішнього навантаження. Збільшення кількості етапів витяжки надає матеріалу можливість «скинути» значну частину внутрішнього напруження, що сприятиме збереженню його міцності. Аналогічного ефекту можна досягнути і при двох етапах витяжки, але з високотемпературним відпалом матеріалу в проміжках між навантаженнями. Для якісного відпалу необхідне нагрівання матеріалу до температури $T \approx 0,8T_{пл}$, де $T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу і сповільнене охолодження (темп зниження температури приблизно

10 – 15 °С/год.). Такий відпал бажано виконувати у вакуумній печі (для запобігання окисленню) або у звичайній печі з подальшим травленням матеріалу – до зникнення окалини.

Методом витяжки виготовляють корпуси світильників з тепловими і розрядними джерелами світла, відбивачі для цих світильників, а також різні декоративні деталі.

У звичайних штампах неможливо отримати деталь сферичної, конічної чи деяких інших форм. Для цього застосовують спеціальні конструкції штамтів, в яких металеві пуансони або матриці відсутні, а тиск на матеріал здійснюється за допомогою гуми, рідини або стислого повітря (рис. 5.9). При цьому гума або рідина легко видаляються з штапованої деталі, а матриця повинна бути роз'ємною.

При виготовленні неглибоких виробів пуансон замінює гумова подушка (рис. 5.9,а). За допомогою гуми можна здійснювати всі операції: вирубування, згинання, витяжку, формування. Матриця 3 кріпиться до столу, а гумова подушка, поміщена в сталеву обойму 1, кріпиться до ходової частини преса (товщина заготовки 2 – до 1,5 мм).

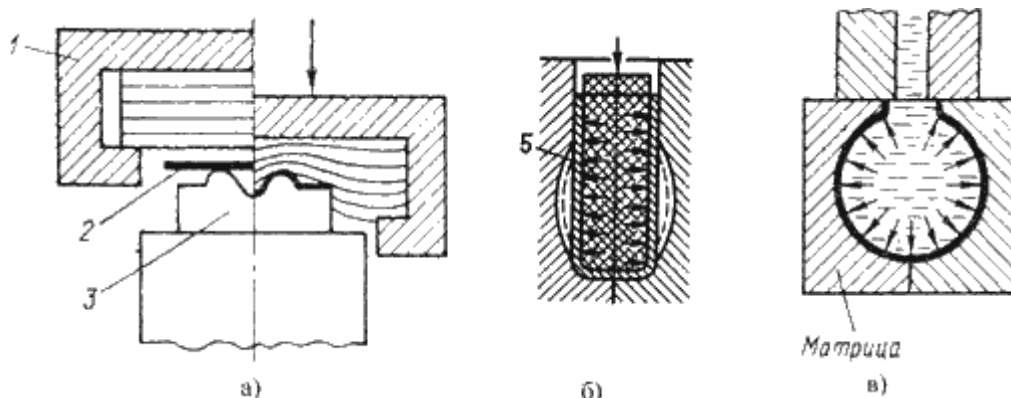


Рисунок 5.9 – Схеми листового штампування за допомогою еластичного середовища і рідини.

Гумові пуансони циліндричної форми застосовуються при витяжці виробів складної форми, при необхідності збільшення діаметральних розмірів середньої частини циліндричних напівфабрикатів (рис. 5.9,б). При гідравлічній витяжці (рис.5.9,в) порожнисті деталі циліндричної, конічної, сферичної або іншої форми отримують натисканням на заготовку рідиною або рідиною, поміщеною в еластичну оболонку.

Формовка. До формовки належать такі окремі операції:

Формовка – операція зміни форми попередньо витягнутого виробу для отримання кінцевого профілю чи форми виробу. До операцій формовки відносять:

Відбортовка – отримання бортів (горловин) видавлюванням центральної частини заготовки з попередньо пробитим отвором у матриці.

Обтискання – операція зменшення діаметру крайової частини пустотілої заготовки шляхом зштовхування її у порожнину матриці, що звужується.

Формовка – операція зміни форми заготовки в результаті розтягу її окремих ділянок.

Роздача – операція збільшення діаметру крайової частини пустотілої заготовки, що здійснюється за допомогою конічного пуансона.

Правка (рихтовка) – операція виправлення нерівної поверхні виробу між гладкими чи насіченими поверхнями штампів.

Рельєфна формовка – операція зміни форми виробу без зміни товщини матеріалу, що здійснюється на штампах, нап яких є відповідні заглиблення чи виступи.

Ротаційне видавлювання. В одиничному та серійному світлотехнічному виробництві часто виникає потреба у виготовленні деталей осесиметричної форми: півсферичних, конічних, циліндричних, тіл обертання кривих другого порядку. Особливо ефективним це спосіб при виготовленні крупногабаритних деталей світлових приладів, коли застосування глибокої витяжки є нерентабельним через високу вартість використання пресів великої потужності. Ротаційним видавлюванням можна отримувати відбивачі діаметром 1 –2,8 м і навіть до 4,5 м при глибині витяжки 1,8 м.

Ротаційне видавлювання – це технологічний процес формоутворення осесиметричної деталі шляхом обтискання її деформуючим елементом (роликом) по оправці, що обертається, чи інструментом, що обертається, по нерухомій оправці. Ротаційне видавлювання може здійснюватися без потоншення і з потоншенням матеріалу. Ротаційне видавлювання відноситься до процесів обробки матеріалів тиском з локальним прикладенням навантаження. Тобто зусилля прикладається до обмеженої площі заготовки з високою швидкістю переміщення точки його прикладання, так що робота на цій ділянці виконується швидше, ніж будь-яка суміжна частина заготовки може створити опір формозміні.

Для ротаційного видавлювання застосовують давильні стани (рис. 5.10).

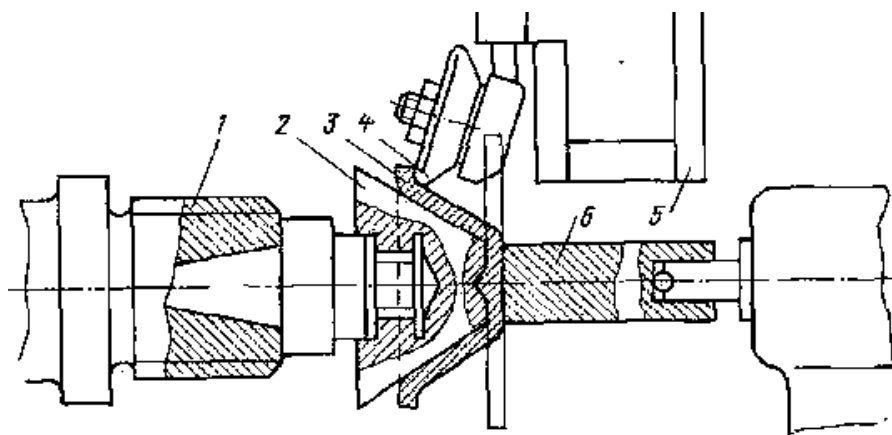


Рисунок 5.10 – Стан з давильною оправкою:

1 – шпindelь; 2 – давильна оправка; 3 – заготовка; 4 – давильний ролик; 5 – електричний привід; 6 – притискний гвинт.

Оправка виготовляється з дерева при експериментальному виробництві, або з металу (алюміній, сталь) чи сплаву (чавун) при серійному виробництві.

Якщо форма заготовки ускладнена, технологічний процес розділяється на кілька простих операцій, що називаються переходами (на одному і тому ж давильному стані використовують різні оправки). Кількість таких переходів для деталей різної форми при різній глибині давильних робіт наведена у табл. 5.1.

Між окремими переходами проводять кілька відпалів для усунення наклепу металу. Деталь, одержана на давильному стані, потребує подальшої обробки,

оскільки на її зовнішній поверхні залишаються концентричні сліди від давильного ролика.

Таблиця 5.1 – Кількість переходів для давильних робіт

h/d	Форма деталі		
	циліндрична	сферична	конічна
<1	1	1	1
1,1-1,5	1-2	1	1
1,6-2,5	2-3	1-2	1-2
2,6-3,5	3-4	2-3	2-3
3,6-4,5	4-5	3	3-4
4,6-6,0	5-6	4	4

Частота обертання шпинделя станка 200 – 1500 об/хв. Як правило, чим більша товщина і твердість металу, тим меншою є швидкість. Величина подачі інструменту впливає на чистоту поверхні. Звичайно подача складає 0,25 – 4,0 мм/об (для складних профілів – мінімальна подача, для простих – максимальна).

5.4 Високошвидкісні методи штампування

Особливістю таких методів є висока швидкість деформації відповідно до високих швидкостей перетворення енергії. Короткочасне надання великих зусиль розганяє заготовку до швидкостей 150 м/с. Подальша її деформація відбувається за рахунок накопиченої в період розгону кінетичної енергії. Основними різновидами високошвидкісного листового штампування є: штампування вибухом, електродгідравлічне і електромагнітне штампування.

Штампування вибухом здійснюється в басейнах, наповнених водою (рис. 5.11). Заготовку 3, затиснуту між матрицею 5 і притиском 4, опускають в басейн з водою 2. Порожнина матриці під заготовкою вакуумується за допомогою вакуумної лінії 6. Заряд з детонатором 1 підвішують у воді над заготовкою. Вибух

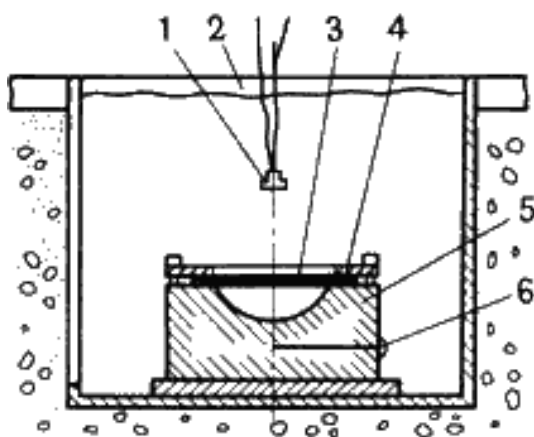


Рисунок 5.11 – Схема штампування вибухом.

утворює хвилю високого тиску, яка, досягаючи заготовки, викликає її розгін. Процес штампування триває тисячні долі секунди, а швидкості переміщення заготовки співрозмірні з швидкостями розповсюдження пластичних деформацій в металі. При штампуванні вибухом не вимагається дороге пресове устаткування, конструкція штампу дуже проста.

Вибуховими речовинами є такі речовини, які при певних умовах здатні до дуже швидкого самопоширюючого хімічного перетворення з виділенням теплоти і утворенням газів.

Найпоширенішими енергоносіями є бризантні вибухові речовини, які випускаються у вигляді порошку, пресованих брикетів (шашок), литих зарядів різних форм, еластичних листів шнурів тощо.

Найчастіше в якості вибухових речовин використовують амоніти – суміш аміачної селітри з нітросполуками (тротил, гексоген, тетрил тощо).

Електрогідравлічне штампування. Суть електрогідравлічного ефекту полягає в тому, що при високовольтних імпульсних розрядах в рідині створюється потужний гідравлічний тиск. Ультразвукові і кавітаційні явища, що виникають при цьому, можуть бути використані для різних технологічних цілей і, в першу чергу, для штампування складних деталей з високоміцних матеріалів. Принципові схеми електрогідравлічного штампування і розвальцьовування труб показані на рис. 5.12.

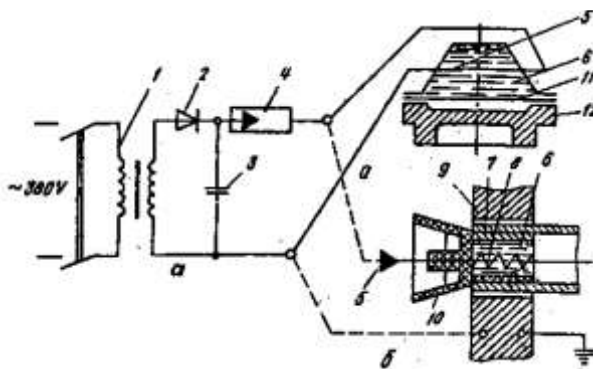


Рисунок 5.12 – Принципова схема електрогідравлічного штампування (а) і розвальцьовування труб (б).

За допомогою автотрансформатора і високовольтного трансформатора 1, що живляться від мережі змінного струму, напруга через випрямляч 2 подається на конденсаторну батарею 3. Накопичена енергія завдяки пробію формуючого проміжку 4 при заданій напрузі, виділяється в робочому проміжку між двома електродами 5. Залежно від потужності трансформатора час зарядки конденсаторів може бути від десятих долей секунди до десятків секунд. При цьому час розряду вимірюється мікросекундами. У зв'язку з цим процес набуває характер вибуху. При порівняно невеликій потужності генератора імпульсних струмів в каналі розряду виникають високі температури (десятки тисяч градусів) і гідравлічний тиск до десятків тисяч атмосфер. При цьому можливий безпосередній пробій рідини 6 або вибух провідника 3. Останній випадок найчастіше застосовується при розвальцьовуванні труб 7 в трубній дощці 9 з використанням спеціальних патронів 10.

Заготовка 11 в процесі деформації приймає форму матриці 12. Електрогідравлічне штампування характеризується рядом стадій, що послідовно відбуваються: формування провідного каналу між електродами; виділення в зоні каналу основної частини енергії, запасеної в конденсаторах; утворення хвиль стиснення і пульсація газового міхура після розряду; взаємодія ударної хвилі і гідропотоку із заготовкою.

Порівнянні з традиційними методами обробки металів тиском електрогідравлічне штампування має наступні переваги: спрощення і здешевлення обладнання, підвищення точності деталей, можливість поєднання ряду операцій, збільшення глибини витяжки.

Магнітно-імпульсна обробка металів заснована на безпосередньому перетворенні попередньо накопиченої електричної енергії у роботу пластичної деформації.

Суть процесу полягає в тому, що запасена в батареї конденсаторів електрична енергія розряджається на робочий інструмент-індуктор, що є котушкою-соленоїдом. В момент розряду по індуктору імпульсний струм в десятки і навіть сотні кілоампер протікає протягом мільйонних доль секунди. Навколо витків індуктора виникає змінне магнітне поле високої напруженості. При цьому в розміщеній в безпосередній близькості від витків індуктора металевій заготовці наводяться вихрові струми, що мають гнапряв, протилежний струму в індукторі. Взаємодія між протилежно направленими струмами приводить до електродинамічної дії – виникнення механічних сил відштовхування. Міцний індуктор залишається незмінним, а заготовка, відштовхуючись від нього, деформується відповідно до профілю поля, або по оснащенню – матриці, оправці, розташованому з протилежного боку. Залежно від форми індуктора (циліндровий соленоїд або плоска спіраль Архімеда) розрізняють схеми магнітно-імпульсної обробки циліндричних або плоских заготовок. При обробці трубчастих зразків можливі схеми деформації обтискання і роздачі. Форма індуктора може бути і складнішою як по перетину, так і по твірній, що дозволяє обробляти заготовки овальної, конусної, прямокутної й інших конфігурацій.

Перевагами способу є відносна нескладність устаткування і оснащення (в порівнянні з механічними пресами і верстатами аналогічної продуктивності) і велика технологічна гнучкість (відсутність передавального середовища, можливість сумістити формоутворення з нагрівом, можливість з'єднання різних матеріалів і т.п.).

Основними елементами установок для магнітно-імпульсної обробки металів є трансформатор, високовольтний випрямляч, конденсаторна батарея і технологічний блок, що включає робочий індуктор і матрицю або оправку. Принципова схема установки показана на рис.5.13.

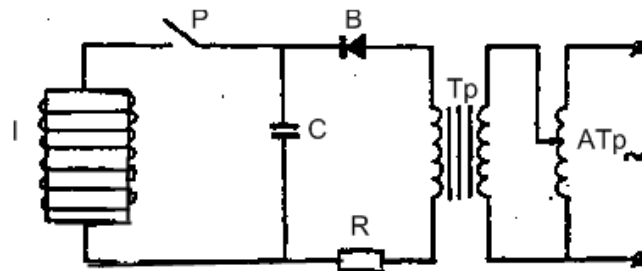


Рисунок 5.13 – Принципова схема магнітно-імпульсної установки:
 АТр – автотрансформатор; Тр – трансформатор; В – випрямляч;
 С – конденсатор; Р – розрядник; І – індуктор; R – зарядний опір

На рис. 5.14 показані основні схеми магнітно-імпульсної формозміни.

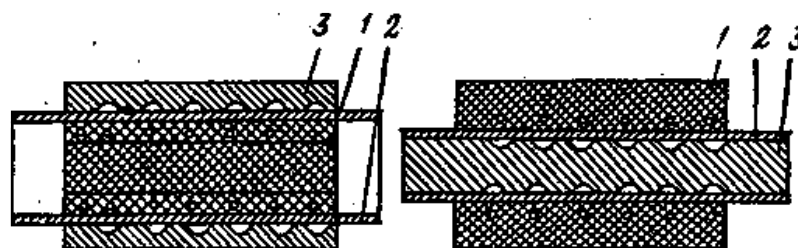


Рисунок 5.14 – Основні схеми магнітно-імпульсної формозміни:
 1 – індуктор; 2 – заготовка; 3 – матриця (оправка).

Лекція 6

ПЕРЕРОБКА ПЛАСТМАС

6.1 Основні поняття про пластмаси

Органічні матеріали (пластмаси) складаються із зв'язуючої речовини, наповнювача, затверджувача, пластифікатора і змазувальних добавок. Зв'язуючі речовини – це штучні і природні смоли, синтетичні і природні високомолекулярні сполуки чи продукти їх хімічної переробки. Наповнювачі (мінеральна чи деревна мука, азбестове, бавовнянопаперове чи інше органічне волокно, скловолокно, різні тканини) забезпечують міцність матеріалу і змінюють його властивості. За видом наповнювача пластмаси поділяють на групи з порошковим, волокнистим і листовим наповнювачами, без наповнювачів і з газоповітряним наповненням. Барвники надають пластмасі певний стійкий колір. Затверджувач (ініціатор) прискорює перехід термореактивних смол у неплавкий чи нерозчинний стан або затверджує деякі термопластичні смоли. Пластифікатори (ефіри багатоатомних спиртів і багатоосновних кислот) підвищують еластичність пластмас. Змазувальні добавки усувають прилипання до стінок прес-форм і підвищують текучість матеріалу при переробці.

Деталі з пластмас мають досить високу механічну міцність, добрі декоративні, ізоляційні властивості, недорогі.

Залежно від поведінки при нагріванні пластмаси підрозділяються на два класи – термореактивні (реактопласти) і термопластичні (термопласти). *Реактопласти* при нагріванні в процесі формування розм'якшуються і переходять у твердий незворотний стан, зберігаючи надану їм форму. Вони переробляються методами пресування і литтям під тиском один раз. Повторна переробка реактопластів неможлива. *Термопласти* мають зворотну властивість розм'якшуватися при нагріванні і зберігати надану їм форму при зниженні температури. Вони переробляються литтям під тиском, екструзією, формуванням і іншими спеціальними методами. Допускають повторну багаторазову переробку без зміни фізичних властивостей матеріалу.

З пластмас виготовляють розсіювачі, екрануючі решітки, рефрактори й інші деталі світильників різного призначення.

При виготовленні деталей із пластмас особливе значення мають правильний вибір товщини стінок і їхніх технологічних ухилів, а також способів формоутворення. Товщина стінок пресованих деталей може складати 1,5 – 4 мм, а формованих методом лиття під тиском 0,6 – 3 мм. При занадто малій товщині стінок її міцність незначна, а при великій – повільно відбувається тверднення матеріалу, що приводить до виникнення внутрішніх напружень, які є причиною браку. Товщина стінок деталей повинна бути по можливості однаковою у всіх перетинах. Якщо необхідне застосування стінок різної товщини, то сполучення цих стінок повинне бути плавним. Максимальне значення відношення товщини стінок пресованих деталей дорівнює 3, а деталей, формованих методом впорскування, 6. Товщина стінок залежить також від розмірів і конфігурації деталі, плинності і міцності пластмаси. З пластмас, що володіють низькою текучістю (реактопласти), можна одержувати вироби невеликої висоти з товстими стінками, а з пластмас, що

мають велику текучість (термопласти), – високі тонкостінні деталі. Перевищення оптимальної товщини стінок виробу не приводять до збільшення його міцності, а викликає лише додаткову витрату матеріалу. Різностінність у пластмасових деталях – явище небажане, оскільки вона приводить до виникнення внутрішніх напружень у матеріалі, утворенню здуттів, тріщин і ін. Рекомендоване значення різностінності деталей простої конфігурації 2,5:1.

Для підвищення механічної міцності в конструкціях деталей передбачають ребра жорсткості, товщина яких повинна бути не більш середньої товщини стінки. Максимальна висота ребер жорсткості не повинна перевищувати їхню потрібну товщину. Мінімальні товщини стінок залежать від розмірів деталі і виду пластмаси.

При проектуванні деталей із пластмас необхідно враховувати їхню усадку – різницю між розмірами прес-форми і деталі при температурі 20 °С через 24 год після закінчення формування. Усадка виражається у відсотках розміру прес-форми і складає 0,03 (поліефірна смола) – 2 (поліхлорвініл).

Для полегшення виймання готової деталі з прес-форми її поверхням додають певний нахил. Крім цього технологічні ухили сприяють кращому проникненню розплавленого матеріалу у форму. Відмови від технологічних ухилів приводить до збільшенню браку, зниженню якості деталей, вимагає додаткового зусилля при витягу деталі з прес-форми, тим більше при наявності значної усадки деяких матеріалів. Мінімальне значення кута нахилу стінки 1°, однак при великих висотах стінки деталі застосовуються і менші кути. Технологічний ухил внутрішніх поверхонь і отворів деталі повинний бути більшим ухилу зовнішніх поверхонь, цим враховується різний характер усадки поверхонь.

Важливим також є раціональний вибір радіусів заокруглень при сполученні поверхонь, що спрощує виготовлення прес-форм, поліпшує зовнішній вигляд виробів, зменшує брак. Значення радіусів заокруглень залежать від матеріалу і товщини стінки S і звичайно вибираються залежно від конструктивного виконання деталі в співвідношенні $r/S=1:2$ чи інших.

6.2 Процеси переробки реактопластів

Під операціями переробки пластмас розуміють схему впливу зовнішніх факторів (тиск, температура й ін.) на вихідний напівфабрикат (гранули чи лист) з полімерного матеріалу, у результаті чого відбувається зміна його форми і властивостей. Технологічні процеси переробки пластмас традиційно класифікують за принципом механізму впливу на вихідний матеріал у залежності від його властивостей. Як технологічне устаткування при переробці пластмас використовують як стандартні гідравлічні преси, так і спеціалізоване технологічне устаткування.

Реактопласти переробляються методами компресійного пресування і ливарного пресування – литтям під тиском. Параметри процесу пресування залежать від складу прес-матеріалу і конструктивних особливостей формованої деталі.

Таблетування. Важливою складовою частиною технологічного процесу переробки реактопластів є підготовка прес-матеріалу: таблетування і попередній підігрів таблеток.

Таблетування – це технологічний процес, при якому відбувається перетворення прес-матеріалу під дією стискаючого зусилля в таблетку певної форми і маси. Застосовується для масового й об'ємного дозування матеріалу; видалення повітря з прес-матеріалу; скорочення часу безпосередньо пресування деталей; поліпшення якості деталей. Процес здійснюється на спеціальних таблеткових машинах: ексцентрикових механічних, гідравлічних і ротаційних.

Зважування завантажувальної фази прес-порошку є дуже важливою підготовчою операцією, оскільки від точності завантажувальної дози залежать якість, продуктивність і вартість пресування. Оскільки дозування на вагах малопродуктивне, то у виробництві звичайно застосовують менш точне, але більш продуктивне об'ємне дозування. Питомий тиск таблетування – від $4 \cdot 10^5$ до $(15 - 20) \cdot 10^5$ Па.

Технологічна схема таблетування приведена на рис. 6.1. Пуансони 1 і 4 проходять через бункер 2, і прес-матеріал 3 попадає в порожнину між торцями нерухомого 7 і пресуючого 4 пуансонів. Бункер переміщається, і доза матеріалу подається в матрицю 5, у якій рухливий пуансон пресує таблетку. При зворотному русі бункера таблетка 6 виштовхується з матриці 5 нерухомим пуансоном 1.

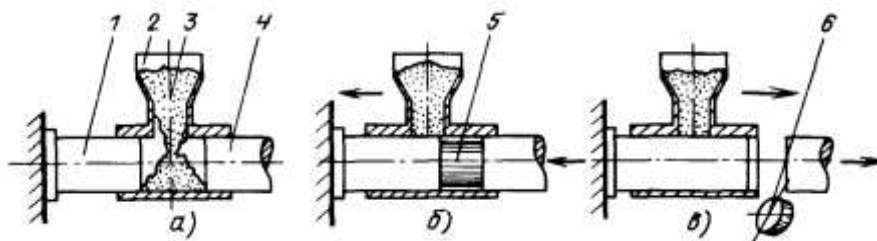


Рисунок 6.1 – Схема таблетування:

а) об'ємне дозування; б) пресування; в) виштовхування таблетки.

Для поліпшення якості таблеток і отримання фасонних таблеток застосовують гаряче таблетування. При цьому підвищується щільність таблеток (до $1,25 \text{ г/см}^3$), збільшується їхня міцність і зменшується відсоток летучих речовин. Звичайно таблетування здійснюється при $80 - 120^\circ\text{C}$. При цій температурі пресувальний матеріал знаходиться у формі кілька секунд і тому не встигає змінити своїх властивостей, а тільки злегка оплавляється по поверхні, що зміцнює таблетку.

Таблетки прес-матеріалу мають низьку теплопровідність, у результаті чого при їхньому нагріванні відбувається часткова полімеризація матеріалу на зовнішній поверхні, тоді як внутрішня частина таблеток піддається лише незначному нагріванню. Так, електропідігрівання таблеток товщиною $10 - 15 \text{ мм}$ при $160 - 180^\circ\text{C}$ протягом $6 - 9 \text{ хв}$ підвищує температуру всередині таблетки тільки до $100 - 110^\circ\text{C}$, а електропідігрівання при 190°C протягом 8 хв – до 120°C , що значно нижче температури пресування.

Для усунення цього явища попередній підігрів таблеток здійснюють у спеціальних камерах генераторів струмів високої частоти. При такому нагріванні відбувається рівномірне розігрівання матеріалу таблетки до 140°C за $1 - 2 \text{ хв}$ по всій товщині. Вибір температури розігріву залежить від матеріалу і виду таблетки і звичайно не перевищує $170 - 190^\circ\text{C}$. Попередній підігрів прес-матеріалу впливає на продуктивність процесу пресування. Цей вплив позначається насамперед на тривалості витримки матеріалу в прес-формі. Крім того, створюються кращі

технологічні умови процесу пресування: збільшується текучість матеріалу, поліпшується його формування (потрібний менший питомий тиск при пресуванні), менше зношується форма, рівномірніше затверджуються деталі і мають більш гладку і блискучу поверхню, ніж деталі, що пресуються з холодних матеріалів. Застосування попереднього підігріву прес-порошків дозволяє скоротити тривалість витримки матеріалу в прес-формі на 10 – 80 %.

Остаточне формоутворення деталей з реактопластів здійснюється шляхом пресування. Існує два методи формового пресування: компресійне і ливарне з попередньою пластифікацією. Відповідно до цього для здійснення процесу використовуються гідравлічні преси і реактопластавтомати.

Компресійне пресування (рис. 6.2). При компресійному пресуванні прес-порошок 1 насипається у відкриту прес-форму – заглиблення матриці 3. Прес-матеріал попередньо може бути таблетований і розігрітий. Потім під впливом тепла і тиску пуансона 2 прес-матеріал пластифікується і заповнює робочий простір прес-форми. Продуктивність цього способу формоутворення деталей з реактопластів невелика і визначається часом пластифікації і витримки в прес-формі. Після виймання з прес-форми деталь 4 прохолоджується й обробляється – зачищаються облой і загусениці.

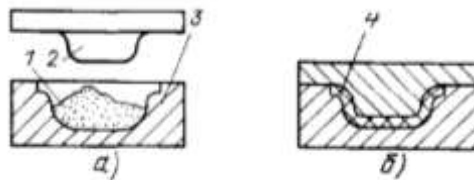


Рисунок 6.2 – Схема компресійного пресування:
а) завантаження порошку; б) формування деталі.

Для зменшення адгезії матеріалу до металу прес-форми в прес-матеріал вводять змазки – мінеральні і рослинні олії, віск і ін.

Для підвищення продуктивності устаткування і підвищення якості виробів здійснюють підігрів прес-форм. Найбільш ефективним є використання індукційного нагрівання прес-форм струмами промислової частоти. Для обігріву матриці і пуансона використовуються плити обігріву. Коефіцієнт корисної дії процесу складає 0,9 – 0,97.

Ливарне пресування (рис. 6.3). При ливарному пресуванні прес-матеріал 5 завантажується в завантажувальну камеру 4. Після нагрівання в ній прес-матеріал пуансоном 6 нагнітається в прес-форму 2, у якій і відбувається формування виробу. Формуючими частинами прес-форми є порожнини у верхній і нижній частинах матриці. Ємність завантажувальної камери повинна бути достатньою для розміщення в ній прес-матеріалу, призначеного для виробництва виробу і заповнення литникової системи 3. Ємність визначається з урахуванням коефіцієнта ущільнення рівного відношенню об'єму виробу до об'єму прес-матеріалу (з волокнистим наповнювачем 0,12; з порошковим 0,3). У зв'язку з усадкою виробу під час його остигання прес-форма має пристосування для витягу готового виробу – виштовхувач для виштовхування виробу з матриці і скидач для зняття припливу з пуансона. Витягати вироби з прес-форми можна також за допомогою стиснутого повітря.

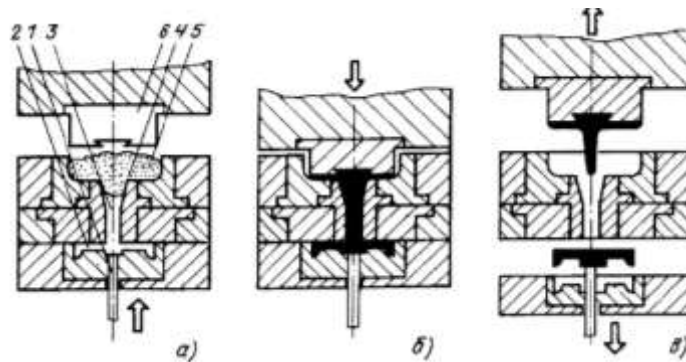


Рисунок 6.3 – Схема ливарного пресування:

а) завантаження порошку; б) формування; в) виштовхування деталі.

Прес-форми, призначені для роботи на реактопластавтоматах, спеціальних обігрівачів не мають. Попередній розігрів матеріалу здійснюється в завантажувальній камері, звідки здійснюється подача пластифікованого матеріалу при його інтенсивному перемішуванні в прес-форму.

Метод лиття під тиском реактопластів принципово не відрізняється від методу ливарного пресування. В обох випадках прес-матеріал під високим тиском впорскується в порожнину розігрітої форми, твердне в ній, після чого витягається готовий виріб. Вимоги до прес-матеріалів, оснащення і конструкції виробів ідентичні. Ливарні методи формоутворення деталей з реактопластів продуктивніші, ніж компресійне пресування. Крім того, лиття реактопластів під тиском не вимагає попереднього таблетування і підігріву прес-маси. Дозування реактопласту здійснюється автоматично, так само як виштовхування і скидання деталей. Не потрібно вентиляції й обдування прес-форми. Відлиті вироби відрізняються більш високою якістю внаслідок більш однорідної структури матеріалу, одержуваної завдяки його пластифікації за допомогою шнека. При литті реактопластів під тиском зменшується кількість відходів у порівнянні з компресійним пресуванням, тому що відлиті вироби виходять без облою і практично без загусениць.

6.3 Переробка органічних термопластичних матеріалів

6.3.1 Шляхи отримання полімерів

Одними із найважливіших матеріалів сучасної електротехнічної промисловості є термопластичні матеріали на основі полімерів. Полімери отримують із мономерів за допомогою полімеризації та поліконденсації.

Полімеризація – це спосіб хімічного сполучення вихідних молекул мономера в молекули полімерної речовини, при якому не відбувається виділення яких-небудь побічних продуктів, а хімічний склад мономера і полімеру однаковий.

Основними методами полімеризації є емульсійний, суспензійний, блочний та інші. Готова продукція називається за способом виготовлення, наприклад оргскло блокове, полівінілхлорид суспензійний.

Блоковим способом одержують матеріал у вигляді листів, стержнів, труб. Спочатку готують рідкий мономер його частковою (до 5 – 10 %) полімеризацією з відповідними добавками в спеціальному реакторі. Отриману рідину охолоджують, фільтрують і дозованими порціями заливають у рознімні форми.

Емульсійним і суспензійним способами виробляють полімер у вигляді гранул чи бісеру. Отриманий у такий спосіб матеріал має кращу текучість у порівнянні з блоковим і може легко перероблятися у вироби литтям під тиском, екструзією,

пресуванням.

Ряд полімерних матеріалів одержують поліконденсацією.

Поліконденсація – це такий спосіб хімічного сполучення різнорідних мономерів, при якому відбувається хімічна зміна реагуючих речовин з виділенням побічних продуктів: води, кислот, газів і т.д.

Деякі полімерні матеріали одержують хімічною обробкою природних матеріалів. До таких хімічно модифікованих природних полімерів можна віднести ефіри целюлози.

Спосіб синтезу впливає на властивості кінцевого продукту і визначає спосіб його подальшої переробки.

Часто для поліпшення властивостей полімерів у них може вводитися ряд добавок: змазка, що запобігає прилипанню маси полімеру до інструмента; пластифікатори, що додають полімеру пластичність; барвники і пігменти для зафарбування матеріалів, додання йому світлорозсіюючих властивостей; речовини, що знижують горючість матеріалу (антипірени) і зменшуючі накопичення зарядів статичної електрики (антистатики) та ін.

Введення таких добавок і їхній рівномірний розподіл у матеріалі часто неможливо сполучити ні із синтезом, ні з остаточною переробкою матеріалу у виріб, а тому доводиться виділяти в самостійний етап – **первинну переробку**.

Основним етапом первинної переробки є пластикація, що проводиться для одержання однорідної маси полімеру з рівномірно розподіленими добавками. Ця операція звичайно здійснюється при нагріванні підготовленої суміші полімеру з добавками, що сприяє переходу полімерної складової у в'язкотекучий стан. Для виробництва багатьох світлотехнічних полімерних матеріалів пластикацію проводять на змішувальних вальцях. Вальці – це два порожніх циліндричних горизонтально розташованих валки з гладкою чи рифленою поверхнею, які підігріваються. Валки від електроприводу обертаються назустріч один одному з різними швидкостями. Маса, що переробляється, захоплюється ними і затягується в зазор між валками. Обволікаючи валок, що швидко обертається, маса багаторазово попадає в цей зазор і ретельно переминається. Потім перемішана маса знімається з вальців і переробляється в гранули, порошок, рулонні матеріали. Схема процесу вальцювання подана на рис. 6.4.

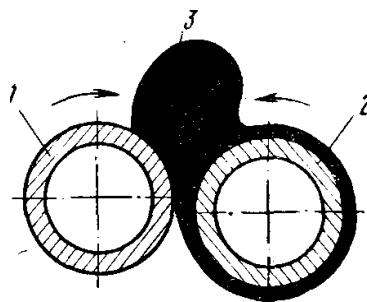


Рисунок 6.4 – Схема процесу вальцювання:
1, 2 – валки; 3 – маса полімеру.

6.3.2 Характеристика та області застосування органічних термопластичних матеріалів

В електротехнічному виробництві полімери застосовують для виробництва електроустановочної та світлотехнічної арматури, електророзподільної та

вимірювальної апаратури, побутової електротехніки, електричних машин, низьковольтних ізоляторів та арматури для самоутримних ізольованих проводів, елементів живлення, волоконно-оптичних кабелів та виробів для їх монтажу, електронних компонентів та виробів (рис. 6.5). У світлотехнічному виробництві полімерні матеріали застосовують при виготовленні розсіювачів і відбивачів світильників з газорозрядними, люмінесцентними, світлодіодними і лампами розжарення, при виготовленні захисного скла, світлофільтрів, світлопрозорих будівельних конструкцій і т.д.



Рисунок 6.5 – Вироби із полімерів

В таблиці 6.1 приведено основні характеристики полімерних матеріалів та їх застосування

Варто звернути увагу на властивості органічного скла. Для одержання світлорозсіюючого чи забарвленого органічного скла в підготовлену для полімеризації суміш вводять відповідні барвники чи замутнювачі (порошок полістиролу, сірчаноокислий барій). Надалі процес полімеризації проводять як звичайно.

Відповідно до держстандарту з світлотехнічних характеристик виділяють шість груп органічного скла. Органічне скло I групи – прозоре. В інших склах ступінь розсіювання світла зростає від II групи до V групи, наближаючи в останньої до дифузійного, з одночасним зниженням коефіцієнта пропускання. Скло VI групи цілком непрозоре, для нього нормується тільки коефіцієнт відбивання. Воно застосовується для виготовлення відбивачів світильників.

Світлотехнічні характеристики рівномірно замутненого по всьому об'ємі оргскла залежать від товщини листа: чим товстіший лист, тим сильніше розсіювання світла.

Для світлотехнічних потреб випускаються марки поліметилметакрилату зі зниженою молекулярною вагою, що володіють добрими ливарними властивостями: ЛП-1, ЛП-2, ЛП-4, ЛПТ-1, ЛПТ-2, ЛСО-М, "Дакрил-2М". Усі ці марки одержують суспензійним чи емульсійним способами у вигляді гранул чи порошку. Вийняток є "Дакрил-2М", який одержується блоковим способом з наступним подрібненням.

Важливим світлотехнічним матеріалом є блокове оргскло типу «Хлоракрил», яке одержують спільною полімеризацією метилметакрилату з полівінілхлоридом. Введення в матеріал полівінілхлориду додає йому світлорозсіюючих властивостей і

робить його менш крихким, ніж звичайне оргскло. Добавка в «Хлоракрил» трихлоретилфосфату робить його негорючим. Матеріал випускається у вигляді листів і плівок і може застосовуватися у світильниках з люмінесцентними лампами, а також як елементи світних стель.

Таблиця 6.1 – Електричні характеристики полімерних матеріалів та область їх застосування

Назва полімеру	Питомий опір, Ом·м	Відносна діелектрична проникність	Тангенс кута діелектричних втраг	Електрична міцність, кВ/мм	Застосування
Полістирол	$10^{11} \dots 10^{12}$	2,4...2,7	$(2 \dots 4) \cdot 10^{-4}$	25...30	Плівки, ізолятори, розсіювачі
Поліетилен низької густини	$10^{13} \dots 10^{15}$	2,3	$(2 \dots 3) \cdot 10^{-4}$	40...42	Гнучка ізоляція проводів та кабелів, розсіювачі світильників для теплиць
Поліетилен високої густини	$10^{13} \dots 10^{16}$	2,4	$5 \cdot 10^{-4}$	40...42	Каркаси, котушки, плівки для плафонів та розсіювачів світильників
Поліпропілен	$10^{13} \dots 10^{15}$	2,1	$(2 \dots 3) \cdot 10^{-4}$	30...35	Каркаси, катушки, плівки, плати, волокна
Поліформальдегід	$10^{12} \dots 10^{13}$	3,7	$(3 \dots 5) \cdot 10^{-4}$	24	Каркаси, катушки, плівки, плати,
Поліуретан	$10^{12} \dots 10^{13}$	4,6	$1,2 \cdot 10^{-2}$	20...25	Гнучка ізоляція проводів та кабелів
Полікапролактан (капрон)	$10^{11} \dots 10^{12}$	4,0	$(1,5 \dots 4) \cdot 10^{-2}$	16...20	Ізоляція на низькі напруги
Полі метилметакрилат (органічне скло)	$10^{10} \dots 10^{12}$	3,6	$6 \cdot 10^{-2}$	15...18	Конструкційні елементи, ізолятори, розсіювачі світильників, кришки сигнальних ліхтарів автомашин, світлофільтри
Полівінілхлорид	$10^{10} \dots 10^{12}$	4,7	$(3 \dots 8) \cdot 10^{-2}$	15...20	Гнучка ізоляція проводів, шланги, стрічки, м'які і тверді світлотехнічні плівки
Вініпласт	$10^{10} \dots 10^{12}$	3,5...4,0	$(1 \dots 5) \cdot 10^{-2}$	20	Ударо- і хімічно стійкі ізолятори
Поліетилентереталат (лавсан)	$10^{12} \dots 10^{13}$	3,5	$(2 \dots 4) \cdot 10^{-3}$	30	Плівки і литі конструкційні елементи
Фторопласт-3	$10^{14} \dots 10^{15}$	2,5...3,0	$(1 \dots 1,5) \cdot 10^{-2}$	15...20	Плівки і пресовані вироби
Фторопласт-4	$10^{16} \dots 10^{18}$	2,0	$(1 \dots 3) \cdot 10^{-4}$	27...40	
Ескапон	$10^{13} \dots 10^{14}$	2,8...3,0	$(5 \dots 8) \cdot 10^{-4}$	30...35	Ізоляція в електроприладах
Етилен	$10^{12} \dots 10^{14}$	3,0...3,5	$(0,5 \dots 1) \cdot 10^{-2}$	15...20	Ізоляція в електроприладах
Полікарбонат	-	-	-	-	Світлофільтри, захисні ковпаки, розсіювачі
Ефіри целюлози	-	-	-	-	Розсіювачі побутових світильників із світлотехнічних трубок
Склопластики	-	-	-	-	Розсіювачі для світильників побутового і зовнішнього освітлення, панелі світних стель, ковпаки Zenitних ліхтарів

Випускається також скло органічне світлотехнічне (опалове), що є пластифікованим поліметилметакрилатом з полістиролом у якості замутнювача, і скло органічне світлотехнічне теплостійке, що є поліметилметакрилатом, пластифікованим диметилетиленгліколем і замутнений полістиролом.

Широке застосування органічного скла в якості світлотехнічного матеріалу зумовлено його механічною міцністю і досить високою стійкістю до дії тепла, світла, несприятливих атмосферних умов. З нього виготовляють розсіювачі світильників, кришки сигнальних ліхтарів автомашин, світлофільтри і т.д.

6.3.3 Стабілізація властивостей та підвищення вогнестійкості полімерних матеріалів

Основним недоліком полімерів є їх схильність до пожовтіння, в результаті чого знижується коефіцієнт пропускання світла та погіршується зовнішній вигляд виробу. Також великим недоліком полімерів є їхня здатність накопичувати на поверхні електричні заряди (електризуватися). Це сприяє прискореному осадженню пилу на поверхню матеріалу і, як наслідок, приводить до різкого зниження коефіцієнта пропускання світла, а також до хімічного руйнування матеріалу.

Тому матеріали, призначені для використання в якості світлотехнічних, відбілюються. Найефективнішим шляхом запобігання пожовтіння полімеру є використання чистих, безбарвних вихідних матеріалів, точна витримка оптимальних режимів полімеризації і переробки, виключення можливості забруднення матеріалу на всіх етапах технологічного процесу.

Спеціальні методи відбілювання передбачають використання хімічних, фізичних і оптичних відбілювачів.

Хімічні відбілювачі – спеціальні речовини, що вводяться до складу маси при синтезі чи переробці полімеру. Їхня дія оснований на руйнуванні центрів фарбування в матеріалі за рахунок хімічних реакцій з барвниками. Такий спосіб відбілювання простий і не приводить до зниження загального коефіцієнта пропускання.

Фізичні відбілювачі – це речовини, що мають поглинання в довгохвильовій частині спектра (сині барвники). При додаванні в полімер такого барвника відбувається знебарвлення матеріалу за рахунок того, що синій колір є додатковим до жовто-червоного. Основним недоліком фізичних відбілювачів є зниження загального коефіцієнта пропускання матеріалу.

Ефективнішим є застосування **оптичних відбілювачів**. Це речовини, здатні перетворювати ультрафіолетове випромінювання у видиме. Підбирають такі речовини, що випромінюють у синій області спектру. За рахунок цього відбувається вирівнювання спектральної характеристики пропускання полімерного матеріалу з помітним підвищенням загального коефіцієнта пропускання. Прикладом такого оптичного відбілювача є ефір марки 10-59 для відбілювання полівінілхлоридної плівки.

Фарбування. У ряді випадків полімерні матеріали необхідно зафарбовувати введенням барвників у масу мономера перед полімеризацією, при переробці полімеру на вальцях, фарбуванням матеріалу по поверхні.

Для фарбування можна використовувати водорозчинні барвники, барвники,

розчинні в органічних розчинниках, різні органічні і неорганічні пігменти. Загальні вимоги до барвників: стійкість до температури переробки полімеру, до дії світла і навколишнього середовища, сумісність з матеріалом полімеру, потрібний колір і ін.

Глушіння. Глушіння полімерних матеріалів для додавання їм світлорозсіюючих властивостей проводиться в основному введенням в масу полімеру глушителів. Глушителями можуть бути речовини з коефіцієнтом заломлення, що помітно відрізняється від коефіцієнта заломлення основної речовини. Глушители у вигляді дрібних твердих, рідких чи газоподібних часток повинні бути рівномірно розподілені в масі основної речовини. Вибір речовини, що глушить, визначається типом полімеру, способом його одержання і переробки, призначенням, потрібним ступенем заглушеності.

Для стабілізації початкових властивостей полімеру і зменшення електризації штучно підвищують його електричну провідність шляхом обробки спеціальними речовинами – антистатиками. Достатнім є зниження питомого електричного опору полімеру до 10^{10} Ом·м. Як антистатика використовуються електропровідні наповнювачі і розчини поверхнево-активних речовин.

При введенні антистатиків у масу полімеру ефект зниження електричного опору виявляється не дуже сильно, проте антистатичні властивості зберігаються тривалий час (протягом декількох років). Введення розчинів (0,05 – 10,00%) антистатиків у масу полімеру відбувається при вальцюванні, екструзії чи іншому перемішуванні полімеру.

Обробка поверхні полімерного матеріалу розчинами (0,5 – 10,0%) антистатиків, проведена зануренням, протиранням чи пульверизацією з наступним сушінням, дає зниження питомого електричного опору в 10^5 – 10^7 разів, але ефект зберігається нетривалий час – близько 1 місяця. Для запобігання нагромадження статичної електрики на поверхню полімеру можна наносити прозорі електропровідні плівки.

Іншим недоліком полімерів є їхня схильність старінню. *Старіння* – це необоротне погіршення оптичних, механічних і інших властивостей матеріалу під час його переробки в виробі чи експлуатації готового виробу під дією світла, тепла, вологи, механічних навантажень. У результаті старіння звичайно відбувається загальне погіршення властивостей – матеріал стає менш прозорим, крихким.

Для уповільнення процесів старіння полімерів у їхній склад вводять стабілізатори. Універсальних речовин для цих цілей не знайдено, тому в залежності від виду полімеру і призначення використовують різні стабілізатори.

Термостабілізатори призначені для зменшення активності процесів окислення в полімері під впливом підвищених температур. У якості термостабілізаторів (антиоксидантів) використовуються введені в масу полімеру при його синтезі чи переробці сполуки свинцю, оксиду олова і цинку, фосфіти і т.д.

Світлостабілізатори призначені для уповільнення старіння полімеру під дією світла. Встановлено, що для більшості полімерів світлостаріння пов'язане з окисними реакціями в матеріалі, що прискорюються при нагріванні полімеру, присутності кисню й озону, дії на матеріал ультрафіолетового випромінювання. Відповідно до цього захист полімерів від світлового старіння можна здійснити

такими способами: підвищенням загального коефіцієнта пропускання світла матеріалом, введенням у полімер спеціальних поглиначів чи розсіювачів ультрафіолетового випромінювання, використанням хімічно модифікованих полімерів, нанесенням плівкових захисних покриттів.

За першим способом зі складу полімеру виключаються ті барвники, що сприяють підвищеному поглинанню світла матеріалом. Принцип захисту за першим способом простий: чим менше в матеріалі вивільняється енергії, тим повільніше будуть протікати фотоокисні реакції, що викликають світлове старіння полімеру. Однак у ряді випадків подібні барвники не можна виключити зі складу матеріалу без погіршення деяких важливих властивостей полімеру. Тому доводиться вводити до складу полімеру спеціальні поглиначі ультрафіолетового випромінювання. Принцип захисту за другим методом полягає в тому, що введені поглиначі зв'язують поглинуту енергію, запобігаючи її витрату на протікання фотоокисних реакцій. Як поглиначі ультрафіолетового випромінювання застосовують ефіри саліцилової кислоти, заміщені бензоазиди і похідні оксибензофенолів. Концентрація світлостабілізаторів звичайно знаходиться в межах 0,1 – 0,5% і залежить від товщини й забавленості матеріалу. Чим тонший матеріал, тим вища оптимальна концентрація.

Третій і четвертий способи захисту часто комбінують, наприклад на поверхню звичайного полімеру наносять тонкий шар високостабілізованого полімеру. Можна використовувати плівки без введених стабілізаторів, але світлостабільного матеріалу: поліуретану, полівінілфториду і т.п.

Більшість полімерних світлотехнічних матеріалів у тому чи іншому ступені *вогнебезпечні*. З огляду на те, що робота світильників пов'язана з виділенням тепла і небезпекою виникнення вогнища загоряння у випадку несправності електричної схеми, необхідно підвищувати вогнестійкість матеріалів, а також передбачати пожежобезпечність самих конструкцій.

6.3.4 Технологічні операції переробки полімерних матеріалів

Найважливішими способами **вторинної (остаточної) переробки** полімерних матеріалів є: екструзія, лиття під тиском, каландрування, формування виробів з листа, зварювання, склеювання, навивання на шаблон і каркас. Вибір того чи іншого способу визначається властивостями полімерного матеріалу, розмірами і конфігурацією виробу, його серійністю, економічними факторами.

Екструзія (шприцювання) полягає наданні полімерному матеріалу задану форму його продавлюванням через спеціальне пристосування – головку з щілиною. Машини для переробки матеріалу цим способом, називаються екструдерами чи черв'ячними пресами. Найбільш поширені одночерв'ячні преси. Схема одного з них подана на рис. 6.6.

Матеріал у гранулах чи порошку завантажується в бункер машини і звідти надходить у канал черв'яка, що обертається від електроприводу всередині корпусу, що обігривається, і переміщає матеріал уздовж каналу. Під дією механічних зусиль черв'яка і за рахунок додаткового обігріву корпусу полімер розплавляється, перетворюючись у в'язку масу. Обігривають корпус за допомогою нагрітого масла, води чи електрично. На корпусі розміщують кілька окремих нагрівачів, що створюють зони з незалежним регулюванням температури. Для збільшення опору

течії матеріалу на виході з каналу встановлюють решітки, сітки. Це також сприяє кращому розплавленню матеріалу, вирівнюванню температури по масі полімеру. Черв'ячний прес має також систему охолодження, що спрощує обслуговування устаткування. Після продавлювання через канал черв'яка маса полімеру попадає в голівку з щілиною, що визначає форму і розміри готового виробу.

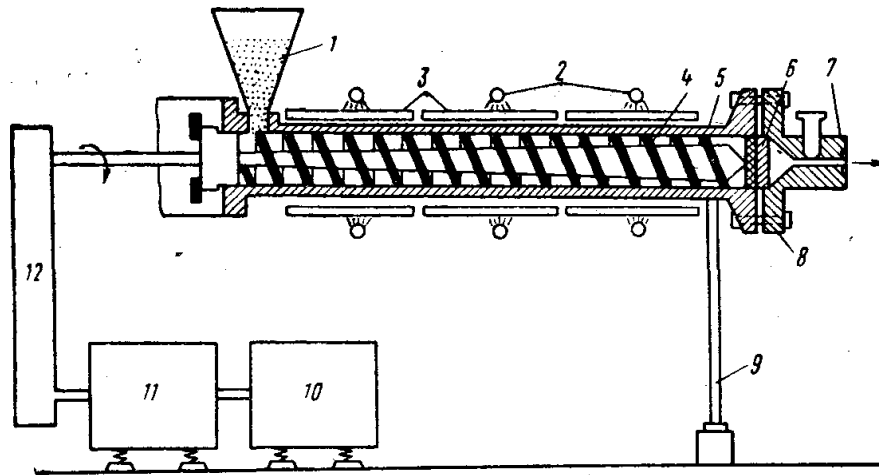


Рисунок 6.6 – Схема черв'ячного преса (екструдера):

1 – бункер; 2 – система охолодження; 3 – система обігріву; 4 – черв'як; 5 – корпус; 6 – решітка; 7 – голівка з щілиною; 8 – вузол кріплення голівки; 9 – передня стійка; 10 – електродвигун; 11 – варіатор; 12 – упорний підшипник.

При оснащенні черв'ячних пресів голівкою з кільцевою щілиною одержують полімерні трубки для виготовлення розсіювачів побутових світильників з лампами розжарення.

До переваг способу екструзії можна віднести: безперервність процесу, стабільність і точність розмірів виробів, досить високу продуктивність.

Устаткування для екструзії постійно вдосконалюється: від поршневиx шприц-машин до черв'ячних і до екструдерів планетарного типу. В останніх крім основного примусово обертового черв'яка є 6 – 12 штук додаткових черв'яків, що вільно обертаються, розташованих паралельно основному в каналі екструдера. Маса полімеру, продавлюючись через подібну систему, ретельніше перемішується і швидше розплавляється. Промисловість випускає черв'ячні преси серії НП, на основі яких створені автоматизовані лінії.

Недоліками способу екструзії є: необхідність нагрівання полімеру до розплавлення, що неприпустимо для деяких матеріалів і неможливість одержання виробів сферичної форми.

Лиття під тиском – це найбільш продуктивний і прогресивний спосіб переробки полімерних матеріалів у вироби. Суть способу лиття під тиском полягає в тому, що розплавлений полімер впорскується в розбірну ливарну форму, остигаючи в якій твердне і утворює виріб заданої конфігурації і розмірів.

Лиття під тиском з черв'ячною пластифікацією. Схема дії ливарної машини з черв'ячною пластикацією подана на рис. 6.7. У завантажувальний бункер завантажують полімер у гранулах чи порошку. Черв'як, що обертається від електроприводу, забирає полімер від завантажувального бункера і розподіляє його у вільному просторі каналу циліндра, який обігрівається. Звичайно циліндр обігрівається електронагрівниками і має кілька регульованих зон нагрівання. За час

перебування в циліндрі полімер нагрівається до розплавлення. Розплав полімеру при поступальному русі черв'яка від бункера до ливарної форми переміщається в цьому ж напрямку і заповнює порожнину зімкнутої ливарної форми через спеціальні ливарні канали (ливарну систему). Потім черв'як відводиться назад для підготовки наступної порції полімеру.

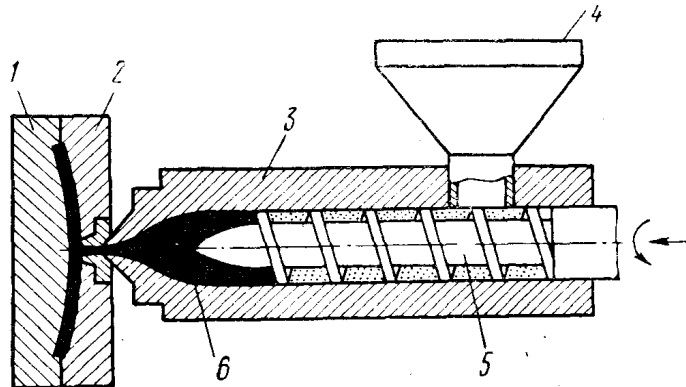


Рисунок 6.7 – Схема дії ливарної машини з черв'ячною пластикацією:
1 – рухома половина форми; 2 – нерухома половина форми; 3 – циліндр, що обігрівається; 4 – завантажувальний бункер; 5 – черв'як; 6 – маса полімеру.

Як правило, підігрівається не тільки циліндр, але і ливарна форма. Причому температура робочих частин ливарної машини повинна витримуватися на оптимальному рівні з великою точністю. Так, завищена температура циліндра приведе до частковому підгорянню і розкладання полімеру. При заниженій температурі циліндра для повного розплавлення полімеру його доводиться довго витримувати в циліндрі, знижуючи тим самим продуктивність машини.

Температуру ливарної форми вибирають з таким розрахунком, щоб розплав до свого затвердіння встиг цілком заповнити форму. У той же час ця температура повинна бути досить низькою, щоб відбувалося швидке отвердіння полімеру. Температура форми істотно впливає на структуру полімеру, якість виробів. Так, при підвищенні температури форми (приблизно до температури циліндра) механічна міцність і ударна в'язкість більшості полімерів, за винятком поліетилену, помітно зростають. Низька температура форми при виготовленні товстостінних деталей чи деталей з нерівномірною товщиною приводить до значних внутрішніх напружень у матеріалі.

Величина тиску на розплав при заповненні ливарної форми залежить від типу полімеру, температури, конструкції виробу. Для ряду найбільш розповсюджених полімерних матеріалів температура циліндра коливається від 423 до 583 К, форми – від 303 до 393 К, а тиск на розплав може складати від 9,10 до 170 МПа.

Лиття під тиском на термопластматі (рис. 6.8) полягає в наступному: вихідний матеріал 6 у виді зерен, чи гранул порошку завантажується в бункер 7, з якого після об'ємного дозування він надходить у інжекційний циліндр 8 ливарної машини. У циліндрі 8 вихідний матеріал за допомогою нагрівачів 5 доводиться до пластичного стану, звичайно до температури, що лежить в інтервалі між температурою розм'якшення і температурою текучості. Для прискорення прогріву і перемішування матеріалу в конструкції машин застосовуються спеціальні обтічники 4 чи черв'яки-шнеки. Пластифікований матеріал під тиском плунжера 9 упорскується через мундштук 3 у форму 1, охолоджувану водою, що

циркулює по каналах 2. Питомий тиск інжекції звичайно складає 60-210 МН/м² і залежить від матеріалу і ступеня його попередньої пластифікації. У формі відбувається остигання матеріалу й утворення готової деталі.

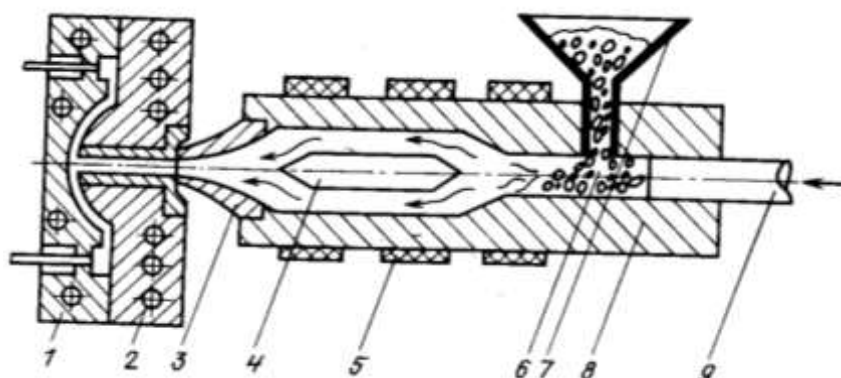


Рисунок 6.8 – Схема термопластавтомата.

Оскільки термопластичні матеріали володіють досить високою (до 2%) усадкою, то під час остигання деталі її витримують під тиском, що зберігає плунжер 9. Після закінчення процесу остигання плунжер відходить у крайнє праве положення, форма розмикається і з неї за допомогою штовхальників витягається готова деталь.

Найбільше важливо при литті під тиском забезпечити оптимальні температури циліндра і прес-форми. Температура форми впливає на продуктивність процесу і якість виробів. Оптимальним є режим, коли температура форми перед упорскуванням на 100-180°C нижча від температури матеріалу. Нижча температура форми може бути причиною утворення спаїв чи недоливу, коли матеріал у формі настільки швидко остигає, що не встигає заповнити всі порожнини форми. Підвищення температури форми, навпаки, сприяє утворенню загусениць, що спричиняє збільшення виробничого циклу виготовлення деталі через необхідність наступної її обробки. Для контролю температури складних і великогабаритних форм в останні вмонтовують термодатчики, що дозволяють з високою точністю контролювати температурний режим.

Час упорскування в основному залежить від розмірів і конструкції виробу і марки матеріалу, що переробляється. Він збільшується зі збільшенням габаритних розмірів деталі і зменшенням литникових каналів. Звичайний час упорскування складає 3-8 с на 1 мм товщини деталі. Витримка під тиском коливається від 20 с до 6 хв залежно від товщини стінок виробу і його габаритних розмірів. Конструкції форм для лиття під тиском дуже різноманітні і залежать від площі деталі, її маси, типу матеріалу, що переробляється, програми випуску деталей.

При виробництві виробів способом лиття під тиском велике значення має попередня підготовка сировини і наступна обробка відлитих виробів.

До підготовки сировини відносяться фарбування, підсушування, магнітна сепарація. Фарбування полімеру проводиться найчастіше способом опудрювання. Барвник попередньо подрібнюється в кульових млинах, а потім у спеціальних змішувачах ретельно перемішується з основною сировиною. Для поліпшення прилипання барвника до часток полімеру в масу іноді додають змазувальні речовини. Фарбування полімерних матеріалів при змішуванні основної сировини з підготовленими концентратами барвників проводиться в імпульсних повітряних

змішувачах.

Підсушується сировина звичайна в сушарках на повітрі. Полімер насипається на полки тонким шаром. Режими сушіння для різних полімерів трохи відрізняються. Наприклад, поліаміди, полістирол і його сополімери сушать при температурі 320-360 К протягом 5-6 год, а полікарбонати сушать при температурі 390 – 410 К приблизно такий же час. Добре використовувати вакуумні сушарки, що дозволяють значно прискорити процес сушіння. Операція підсушування полімерів перед їхнім завантаженням у ливарні машини знижує чи усуває шкідливе газовиділення з розплаву полімеру, підвищує продуктивність устаткування, поліпшує якість виробів.

Магнітна сепарація вихідної сировини полягає в тому, що з неї за допомогою сильного магнітного поля видаляються металеві частки, здатні намагнічуватися. Якщо їх не видалити, то вони можуть засмітити вузькі ливарні канали при литті.

Відлиті вироби часто мають потребу в додатковій механічній обробці: зачищенню від загусениць на виробі по місцю рознімання форми, видаленні невеликих подряпин, рисок, сколів, припасуванню під розмір і т.п. Така обробка звичайно проводиться за допомогою ріжучого інструмента, (фрези, шабера) на токарських чи свердлильних верстатах, а також поліруванням із застосуванням спеціальних паст (наприклад, крокусу).

Для знімання внутрішніх напружень чи для одержання потрібної структури матеріалу проводиться термічна обробка виробу (загартовування, відпал, нормалізація). Наприклад, термічну обробку полістиролу для знімання внутрішніх напружень проводять нагріванням виробу в термостаті до температури близько 340 К з витримкою протягом 15-20 год і наступним повільним охолодженням.

Каландрування – це спосіб переробки розм'якшеної маси полімеру за допомогою горизонтально розташованих обертових валків. Попередньо розігрітий матеріал після пластикації на вальцях чи в черв'ячному пресі у вигляді в'язкотекучої маси подається в завантажувальний зазор валків каландра, які також повинні бути нагріті до певної температури. Нагрівають валки за допомогою гарячого масла, води чи електронагрівників. Проходячи через зазори між валками, маса полімеру розкачується в полотно, ширина якого визначається довжиною робочої частини валків, а його товщина – величиною зазору між останньою парою валків.

Якість плівкового полотна, що знімається з каландра, і продуктивність процесу залежать від температури валків. Тому часто до складу маси полімеру вводять термостабілізатори, що дозволяють проводити процес каландрування при підвищеній температурі і, отже, з більшою швидкістю без погіршення якості плівки.

При каландруванні дуже важливо не допустити потрапляння між валками твердих, особливо металевих, часток. Це може привести до поломки каландра. Приймають також спеціальні міри для запобігання вібрації і прогину довгих (до 2600 мм) валків каландра, тому що інакше отримується плівка з нерівномірною товщиною.

Число валків і їхнє розташування в каландрі можуть бути різними. Найбільш поширені три- і чотиривалкові каландри з розташуванням валків, поданих на рис. 6.9. Два сусідніх валки обертаються з різними швидкостями, що забезпечує

заданий напрямок переміщення полотна плівки, що розкатується.

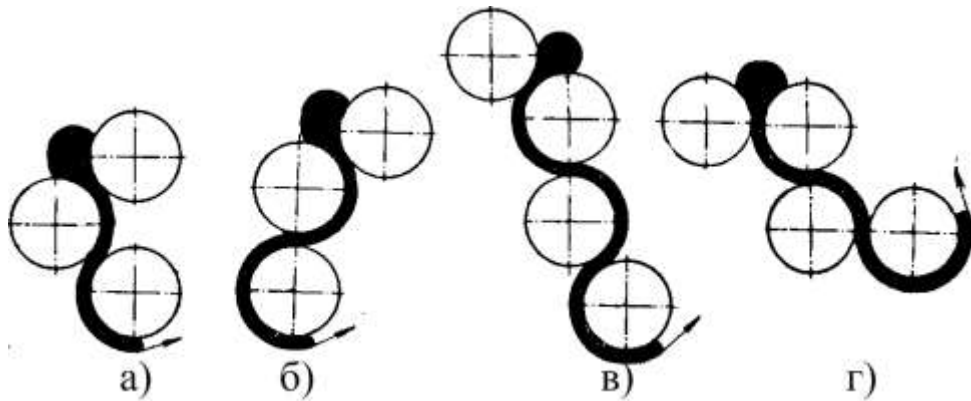


Рисунок 6.9 – Розташування валків у каландрі:

а) тривалкова трикутна схема; б) тривалкова Г-подібна схема; в) чотиривалкова S-подібна схема; г) чотиривалкова Z-подібна схема.

Спосіб каландрування є основним у виробництві листів і плівок товщиною від 0,1 до 2,0 мм. Тонші плівки важко знімати з валка, а при виготовленні плівок більшої товщини в матеріалі можуть виникнути повітряні піхури, що погіршують якість виробів. Найбільш придатними матеріалами для переробки каландруванням є термопласти: полівінілхлорид, сополімери вінілхлориду і вінілацетату, поліетилен та ін. Маса полімеру, наприклад, на основі полівінілхлориду з введеними добавками порцією 12 – 14 кг подається на валки і вальцюється при температурі близько 440 К протягом 5 – 8 хв. Потім розм'якшена маса переробляється в плівку на каландрі при нагріванні валків до 430 – 440 К. Регулюючи зазор між валками, можна одержати плівку різної товщини. Швидкість каландрування можна змінювати. В середньому за 1 год одержують 1700 – 2000 м² плівки. Для одержання плівки типу «Волніт» гладка плівка після каландра пропускається через гофрувальну машину.

Каландруванням виготовляють також дешеву поліетиленову плівку. Режим виготовлення цієї плівки такий: температура вальцювання 390 – 400 К, а температура валків каландра 390 – 410 К. Таким способом виготовляють гладку безбарвну поліетиленову плівку.

Для виробництва плівок способом каландрування користаються напівавтоматизованими й автоматизованими лініями з включенням у них каландрів і додаткового устаткування: змішувача, валків чи черв'ячного преса, відбірного, охолоджувального, прийомного і контролюючого пристроїв. Принцип роботи однієї з таких ліній подана на рис.6.10. Каландрові лінії забезпечують безупинну прокатку плівки зі швидкістю 180 – 200 м/хв і продуктивність близько 2500 кг.

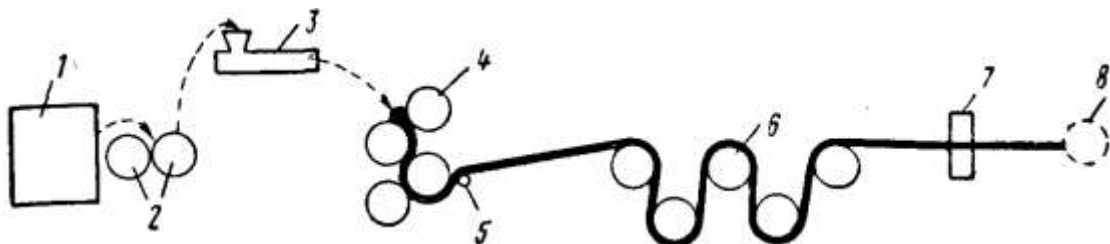


Рисунок 6.10 – Схема каландрової лінії:

1 – змішувач; 2 – вальці; 3 – черв'ячний прес; 4 – каландр; 5 – відбірний ролик; 6 – охолоджувальні барабани; 7 – товщиномір плівки; 8 – прийомний пристрій.

Перевагами способу каландрування є висока продуктивність, висока якість продукції, можливість випуску тисненої плівки, плівки, з'єднаної з тканиною, можливість швидкої перебудови устаткування на випуск продукції з іншого полімерного матеріалу чи іншого типорозміру.

Формування виробів з листа. Багато світлотехнічних виробів, наприклад великогабаритні розсіювачі для люмінесцентних світильників з невеликою товщиною стінок, ковпаки зенітних ліхтарів, які встановлюються на дахах промислових будівель для пропущення природного світла всередину приміщень, і деякі інші світлопрозорі конструкції, одержують формуванням з нагрітого листа полімерного матеріалу. Під дією зовнішніх зусиль плоский нагрітий лист деформується і набуває певну форму. Зусилля, необхідне для формування, може бути механічним, гідравлічним, пневматичним, за допомогою вакууму чи комбінованим впливом. Найбільш поширені штампування, пневмоформування, вакуумформування і способи, що представляють їхню комбінацію.

Штампування – це спосіб формування виробу з нагрітого листа за допомогою матриці і пуансона на пресі. Схема штампування подана на схемі рис. 6.11. Штампуванням виготовляють виробу з удароміцного полістиролу чи інших полімерів, нагрівання яких до сильного розм'якшення є складним чи небажаним. Спосіб застосовують для виготовлення виробів невеликої глибини. Крім того, великі витрати на виготовлення високоточних форм обмежують його поширення.

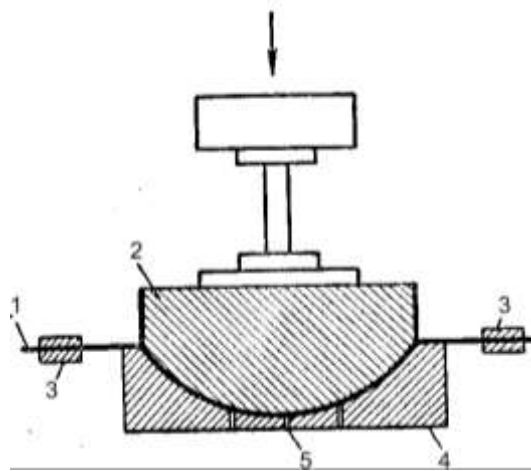


Рисунок 6.11 – Схема формування з листа способом штампування:
1 – лист матеріалу; 2 – пуансон; 3 – пристрій притиску листа; 4 – матриця; 5 – отвір для виходу повітря.

Пневмоформування – це спосіб, при якому нагрітий лист полімеру формується у виріб за допомогою стиснутого повітря. На рис. 6.12 показано пневмоформування з листа із застосуванням пуансона.

Лист полімерного матеріалу поміщається на матрицю і розігрівається до слабкого провисання. Потім на нього опускається верхня плита з пуансоном. При русі вниз пуансон робить попередню витяжку матеріалу. Після повного змикання верхньої плити з матрицею й ущільнення з листом полімеру по його контурі в простір між верхньою плитою і листом матеріалу подається підігріте стиснене повітря до тиску близько 1,0 МПа. Лист витягується і щільно прилягає до поверхні матриці, повторюючи її рельєф. Для виходу повітря з простору між листом і матрицею в останній просвердлюються дуже вузькі отвори. Особливе значення ці отвори мають при формуванні матеріалів на основі целюлози, тому що при їхній

обробці може відбутися конденсація пари, що виділяється з матеріалу.

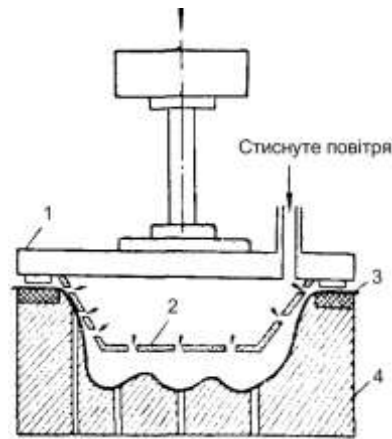


Рисунок 6.12 – Схема пневмоформування з листа:

1 – верхня плита; 2 – пуансон; 3 – лист матеріалу; 4 – матриця.

Різновидом пневмоформування є вільне видування, яке часто застосовується для формування з поліметилметакрилату виробів сферичної чи напівсферичної форми. Лист затискають по контуру отвору, через який подається стиснене повітря. Закріплений лист після розігрівання за допомогою стиснутого повітря роздувається в піхур потрібних розмірів без контакту його з поверхнею матриці. Виготовлені цим способом вироби відрізняються добрими оптичними властивостями.

Вакуумформування – це спосіб формування виробу з листового матеріалу за допомогою вакууму. Розігрітий лист згинається за рахунок різниці тисків, що виникає по різні сторони листа при відкачуванні повітря з порожнини між нагрітим листом і матрицею (формою). При цьому зовні на лист звичайно діє атмосферний тиск. Кріплення листа по контуру повинно бути герметичним, а нагрівання – достатнім для розм'якшення полімеру.

На рис. 6.13,а-д показана схема вакуумформування з обтисненням і охолодженням на пуансоні.

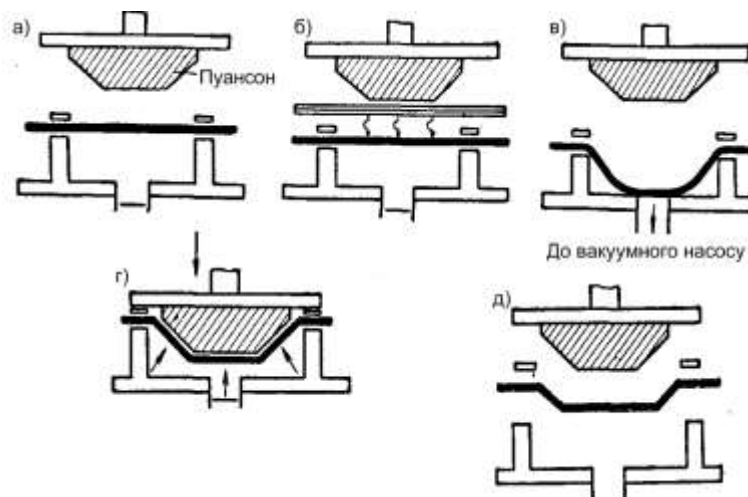


Рисунок 6.13 – Схема вакуумформування з обтисненням і охолодженням на пуансоні:

а) закріплення листа; б) нагрівання; в) попередня витяжка за допомогою вакууму;
г) обтиснення й охолодження на пуансоні; д) виштовхування/

У сучасних формувальних машинах для нагрівання заготовок застосовують інфрачервоні випромінювачі, що звичайно розміщують у керамічних тримачах.

Нагрівачі включаються індивідуально і мають окреме регулювання. Відносно товсті листи з малотеплопровідного матеріалу нагрівають з обох сторін. У деяких випадках використовуються нагрівачі, що насуваються на лист, а в інших – лист розігрівається в нерухомих нагрівачах і потім переміщається на формувальну машину. Відстань між нагрівачами і поверхнею листа також може змінюватися. Вона істотно впливає на час і рівномірність розігріву матеріалу. Занадто близьке розташування нагрівачів до листа може викликати його місцеве перегрівання. Велика віддаль до нагрівачів забезпечує кращу рівномірність нагрівання матеріалу по площі і товщині, але знижує продуктивність формувальних машин. Встановлено, що при нагріванні заготовок з органічного скла товщиною 3-6 мм оптимальна відстань складає 150 – 200 мм. Температура самих нагрівачів звичайно не перевищує 870 К, тому що саме при цій температурі спостерігається максимальний вихід теплового інфрачервоного випромінювання.

Охолоджують відформовані вироби обдуванням їх повітрям. При цьому не можна допускати нерівномірного чи занадто швидкого охолодження, інакше у виробі виникають великі внутрішні напруження і, можливо, короблення.

Ротаційне формування використовується для виготовлення пустотілих виробів складної конфігурації. Цей спосіб порівняно з литтям під тиском та екструзією характеризується меншими вартістю і складністю оснастки, проте продуктивність такого способу невелика. Форми виготовляються з литого алюмінію, сталі тощо. Процес складається з таких операцій: підготовка матеріалу, подача матеріалу в форму, розплавлення, формоутворення деталі, охолодження, вивантаження з форми. Схема установки ротаційного формування приведена на рис. 6.14.

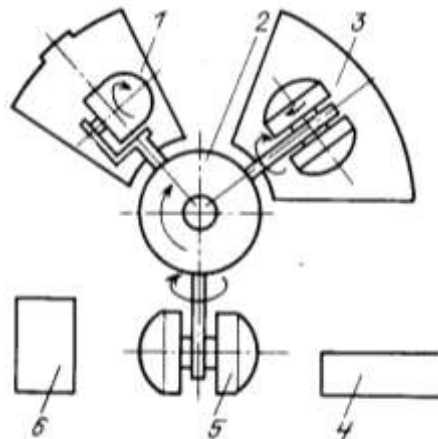


Рисунок 6.14 – Схема установки ротаційного формування.

Після підготовки (розмелювання і сушіння гранул) сировини порція гранульованої або порошкоподібної сировини завантажується в холодну форму 5, яка переміщується в камеру нагрівання 1, де нагрівається до температури плавлення полімеру при одночасному її обертанню навколо двох взаємно перпендикулярних осей. Після повного розплавлення полімеру здійснюється формоутворення деталі і форма переміщується в камеру охолодження 3, де виріб охолоджується. При формуванні виробів, призначених для роботи при понижених температурах, рекомендується повільне охолодження, а при формуванні виробів з підвищеними ударною міцністю та еластичністю – пришвидшене. Форма переміщується тришпindelною каруселлю 2, що управляється від пульта 4.

Регулювання температури в камері 1 здійснюється від шафи автоматики 6. Для збільшення продуктивності іноді з форми виймаються ще теплі вироби, кінцеве охолодження яких відбувається поза формою. При цьому вироби фіксуються в спеціальних пристосуваннях або заповнюються повітрям під тиском 0,11 – 0,12 МН/м².

Зварювання. Це один з розповсюджених способів з'єднання деталей з полімерних матеріалів, який застосовується для одержання виробів із заздалегідь підготовлених деталей.

Зварювання – це такий спосіб з'єднання деталей, у результаті якого повністю або майже повністю зникає границя розділу між контактними поверхнями. Основні властивості матеріалу в місці з'єднання виявляються приблизно такими ж, як і властивості іншого матеріалу. З'єднання при зварюванні відбувається внаслідок дифузії молекул нагрітого полімеру в місці контакту (дифузійне зварювання) чи в результаті хімічної взаємодії матеріалів, що зварюються, з речовиною, що вводиться в зварений шов і відіграє роль добавки, що з'єднує, (хімічне зварювання). Розрізняють зварювання дифузійне – для з'єднання термопластів і хімічне – для з'єднання реактопластів. Зварювати можна усі відомі полімерні матеріали.

Перевагою зварювання є можливість механізувати й автоматизувати процес з'єднання, одержувати надійне гладке з'єднання, чистий шов, підвищувати культуру виробництва. Розроблене хімічне зварювання отверджених пластмас (текстоліту, склопластиків тощо), зварювання нейтронним випромінюванням, що дозволяє зварювати полімери практично з будь-яким іншим матеріалом.

Склеювання. У виробництві деталей з полімерних матеріалів застосовується також склеювання, яке від зварювання відрізняється тим, що при цьому способі границя поділу між контактуючими поверхнями зберігається. Між ними знаходиться клейова плівка товщиною 0,05 – 0,25 мм, властивості якої і її прилипання до поверхонь матеріалів, що з'єднуються, визначають у цілому якість з'єднання.

Для склеювання полімерних матеріалів застосовують в основному синтетичні клеї, до складу яких звичайно входять один, два чи більш клеючих полімерів, розчинник, пластифікатор, затверджувач та інші компоненти. Перед склеюванням необхідно добре знежирити і зачистити поверхні, які склеюються.

Перевагами склеювання є: простота способу, можливість з'єднання різномірних матеріалів, герметичність шва, міцність з'єднання. До недоліків можна віднести: необхідність точного припасування деталей, схильність клейового шва до старіння, низьку термостійкість шва, невисоку продуктивність процесу, токсичність багатьох застосовуваних клеїв.

Навивання на шаблон і каркас. Малогабаритні розсіювачі можуть виготовлятися способом навивання на шаблон. Суть його полягає в наступному. Отримана екструзією поліетиленова (рідше з іншого полімерного матеріалу) трубка в розігрітому стані навивається на шаблон потрібної форми. Потім для скріплення окремих витків заготовку на деякий час занурюють у розчинник чи обприскують ним. Після скріплення витків шаблон відділяється.

При навиванні на каркас використовують тонкі полімерні нитки, що утворюються при розпиленні розчину полімеру за допомогою стиснутого повітря.

Навивання проводиться на обертний підготовлений дровий каркас. Намотуючись на нього, нитки утворюють суцільний шар матеріалу. Часто навивання проводять у два шари, один із яких може мати декоративне призначення. Після остаточного затвердіння нанесеного шару полімеру каркас також відділяється.

Лекція 7

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ СКЛА

7.1 Основні відомості про світлотехнічне скло

При виготовленні розсіювачів світлових приладів, призначених для освітлення промислових приміщень, вулиць, а також прожекторів і різних спеціальних світильників, найчастіше застосовується світлотехнічне скло: силікатне на основі оксидів кремнію SiO_2 , борне на основі оксидів бору B_2O_3 чи фосфатне на основі оксидів фосфору P_2O_5 . При виготовленні розсіювачів і заломлювачів побутових світильників і люстр для громадських споруд використовують різні марки силікатного скла і кришталю. При виробництві спеціальних світлових приладів застосовуються різні спеціальні марки скла, наприклад увіолеве, яке пропускає ультрафіолетові промені з довжиною хвилі 270 – 280 мкм, чи кварцове, яке пропускає промені з довжиною хвилі 165 – 170 мкм та ін. Широко застосовується скло у виробництві автомобільних фар, призматичних рефракторів та інших оптичних елементів світлових приладів.

Найбільше поширення у світлотехнічному виробництві одержало силікатне скло, що є переохолодженим розплавом різних оксидів. Залежно від вмісту оксидів силікатні марки скла поділяють на силікатне, алюмосилікатне, алюмофосфорсилікатне, фторалюмоборосилікатне та ін. У світлотехніці також використовують вапнякове, свинцеве й інші види скла. Звичайне вапнякове скло має зеленуватий чи блакитнуватий відтінок через забруднення головним чином оксидами заліза; свинцеве скло має добру оптичну прозорість, найбільший показник заломлення, добру атмосферостійкість; боросилікатне скло має високу температуру плавлення, низький коефіцієнт розширення, низький показник заломлення і т.д.

Залежно від складу силікатні види скла мають різну густину і показник заломлення і відносяться до двох основних типів: легкі види скла – крони з густиною 2,48 – 2,60 г/см³ і показником заломлення 1,48 – 1,55 і важкі види скла – флінти з густиною вище 2,60 г/см³ і показником заломлення вище 1,55. Деякі параметри прозорого силікатного скла наведені в табл. 7.1.

Однією з основних переваг скла є його незначна вартість, а головним недоліком – підвищена крихкість, що приводить до значних втрат виробів зі скла при їхньому виробництві, транспортуванні й експлуатації.

З метою зміцнення силікатного скла застосовується загартовування, а для поліпшення світлотехнічних характеристик – різні способи його просвітлення, матування і глушіння.

Просвітлення скла застосовується для зменшення коефіцієнта відбивання його поверхні. Для просвітлення використовують плівки з фтористого магнію,

кальцію й інших металів, розташовані між двома напівпрозорими шарами срібла, чи двоокис кремнію. Оскільки показники заломлення цих речовин менші від показника заломлення скла, то при нанесенні на поверхню скла тонких плівок таких речовин коефіцієнт відбивання скла зменшується.

Таблиця 7.1 – Параметри світлотехнічного силікатного скла

Найменування скла	Коефіцієнт пропускання τ	Коефіцієнт відбивання ρ	Показник заломлення	Густина, г/см ³	Гранична робоча температура, °С	
					Відпаленого	Загартованого
Вапнякове	0,88-0,92	0,08	1,512-1,514	2,47-2,49	460	250
Свинцеве	0,88-0,91	0,09	1,534-1,560	2,85-3,05	400	240
Боросилікатне	0,88-0,92	0,08	1,475-1,488	2,13-2,43	490	290

Для збільшення коефіцієнта відбивання силікатного скла використовують поєднання плівок із двоокисів кремнію і титану чи з одного двоокису титану. Також застосовують різні непрозорі металеві плівки, наприклад срібні чи алюмінієві, які наносять на поверхню скла.

Матуванням і глушінням одержують три види світлорозсіюючих видів скла: матове, молочне й опалове.

Матування здійснюють спеціальною піскоструминною обробкою скла чи обробкою дробом. Часто застосовується матування хімічним травленням. Матовані види скла володіють невеликою розсіюючою здатністю, проте не пропускають спрямованої складової світла. Сильно матоване скло має коефіцієнт пропускання біля 0,7. При цьому в склі з однобічним матуванням коефіцієнти пропускання з матованої і гладкої сторін різні – більший коефіцієнт пропускання є тоді, коли матована поверхня звернена до джерела світла.

Світлорозсіюче скло одержують також методом іонного обміну – обробкою натрійвмісного скла в розплавах солей літію та натрію. При цьому частина іонів натрію скла заміщується іонами літію з розплаву. Оскільки радіус іона літію менший, ніж радіус іона натрію, то в шарі скла, де пройшла реакція, виникають напруження розтягу, що приводять до перетворення мікроскопічних дефектів у макроскопічні видимі тріщини. Кількість цих тріщин можна регулювати зміною температури і тривалості обробки скла в розплаві солі літію, тобто можна одержувати світлорозсіюючий матеріал із заздалегідь заданими світлотехнічними характеристиками. Іонообмінна обробка проводиться в суміші 30% LiNO₃ і 70% NaNO₃ при температурі (265±3)°С протягом 0,5-2 год. Із збільшенням часу обробки скла в розплаві солі літію світлотехнічні характеристики прямують до граничних значень. Очевидно, це зумовлено «насиченням» поверхні скла мікротріщинами, а обмеження зростання коефіцієнта дифузного відбивання – поглинанням світла.

Іонообмінна обробка стабілізує механічні властивості скла, що в основному зводиться до незначного зниження верхньої межі міцності скла і підвищення його термостійкості. За принципом іонного обміну можна також одержувати кольорові світлорозсіюючі види скла. Іонообмінна обробка здійснюється при температурі 300°С протягом 20-60 хв і забезпечує матування в червоній області спектру. Зі збільшенням часу іонообмінної обробки інтегральний коефіцієнт пропускання знижується через розсіювання світла від багаторазових відбивань від поверхневих

мікротріщин.

Глушіння здійснюють введенням в шихту спеціальних речовин, що не розчиняються при її плавленні, чи дрібних кристалів, що виділяються при остиганні. До таких речовин відносяться фтористий кальцій, кремнійфтористий натрій та ін. Під час розмелювання сировини у неї вводять речовини з вищим показником заломлення, наприклад, двоокису олова, церію тощо, або органічних чи неорганічних речовин, що виділяють при відпалюванні виробів газоподібні дрібні пухирці, які залишаються в склі після його охолодження.

Частки глушителей повинні мати певні розміри (в межах 0,2 – 20 мкм) і певну концентрацію. Ступінь глушіння скла залежить не тільки від речовини глушителя, але і від режимів варіння скла і його охолодження.

Глушене скло є суцільним і накладним, з одnobічним і двобічним світлорозсіюючими шарами. Воно має спрямоване пропускання світла, що є характерною відмінністю від матованого скла. Найчастіше має місце спрямоване пропускання випромінювання червоної області спектру, що є недоліком розсіювачів.

Розсіювачі одержують також із прозорого силікатного скла нанесенням на нього білих емалей, тонкий шар яких виконує роль світлорозсіюючого матеріалу. Іноді застосовують спеціальні світловідокремлюючі покриття, що забезпечують певне співвідношення між відбитими і пропущеними світловими потоками, які одержують нанесенням напівпрозорих металевих плівок зі срібла, алюмінію, хрому, нікелю чи неметалевих плівок із сірчистого цинку, трисірчистої сурми.

Світлорозсіююче скло знижує видиму яскравість джерел світла й обмежує осліплюючу дію світлових приладів. Матове скло використовується для виготовлення захисних ковпаків промислових світильників; молочне – для розсіювачів світильників із лампами розжарення, призначеними для освітлення адміністративних і виробничих приміщень; опалове – для виготовлення розсіювачів вуличних світильників.

Параметри деяких видів скла, що застосовуються при виробництві світлових приладів, приведені в табл 7.2.

Таблиця 7.2 – Параметри світлотехнічного скла

Вид скла	Коефіцієнти		
	Пропускання τ	Відбивання ρ	Поглинання α
Прозоре безбарвне	0,89-0,92	0,07-0,08	0,01-0,03
Візерункове безбарвне	0,67-0,50	0,08-0,29	0,02-0,04
Матоване піском	0,72-0,85	0,12-0,15	0,03-0,13
Матоване кислотою	0,75-0,89	0,09-0,13	0,02-0,12
Молочне	0,50-0,60	0,30-0,35	0,10-0,15
Опалове	0,45-0,60	0,20-0,25	0,20-0,30
Глушене	0,10-0,35	0,35-0,50	0,30-0,40

Призматичне прозоре скло з високим коефіцієнтом пропускання у видимій частині спектру має високий коефіцієнт заломлення і використовується у виробництві рефракторів, декоративних розсіювачів побутових світильників.

Кристалеве скло застосовує при виготовленні люстр, бра й інших світлових приладів. Найбільш декоративним є свинцеве кристалеве скло – при вмісті 18 % PbO показник заломлення $n = 1,530$; при 24 % PbO $n = 1,545$. Безсвинцеве

кришталеве скло, що містить велику кількість оксиду калію, має чистий і блискучий вигляд, однак коефіцієнт його заломлення нижчий, ніж у свинцевого кришталю.

Для одержання *забарвленого натурального скла* використовують сполуки різних металів, додаючи їх у скляну шихту. Різноманітність барвників забезпечує одержання скла будь-якого кольору.

Фарбування залежить не тільки від обраного барвника, але й від його концентрації, складу основного скла, умов варіння й охолодження, способу виготовлення скловиробів.

Розрізняють два види барвників: молекулярні і колоїдні. *Барвники молекулярної дії* вимагають при варінні скла окисних умов, інших же складнощів, пов'язаних із застосуванням цих барвників у процесі одержання кольорового скла, немає чи вони незначні.

Виробництво скла з *колоїдними барвниками* має ряд специфічних особливостей. У процесі варіння і виготовлення при досить швидкому охолодженні таке скло залишається безбарвним, тому що барвники знаходяться в атомарному чи молекулярному стані і не дають забарвлення. Для одержання забарвлення на заключних етапах варіння чи після виготовлення скловироби піддають спеціальній термічній обробці – «наведенню». При витримці скла деякий час при певній температурі у ньому створюються умови для об'єднання розрізаних атомів і молекул барвника в більші утворення – колоїдні частки розміром 10-50 нм. Збільшення розмірів часток барвника приводить до зміни забарвлення, появи заглуженості в склі до повної втрати прозорості. Тому необхідно точно витримувати режим «наведення», вводити в шихту речовини, що обмежують ріст колоїдних часток (наприклад, двоокис олова), правильно вибирати склад основного скла.

Натуральне кольорове скло варять у печах горшкового чи ванного типу зі зменшеною глибиною басейну. Вироби з кольорового скла виготовляють звичайними способами: витягуванням, видуванням, пресуванням, прокатом.

Для здешевлення іноді замість суцільного натурального кольорового скла застосовують так зване накладне скло, що складається з двох шарів – основного (безбарвного) і кольорового, з'єднаних при виготовленні в одне ціле. Виготовляють накладне скло зі скла, близького за температурним коефіцієнтом лінійного розширення. Поширеними є дві технологічні схеми виготовлення кольорового накладного скла. За однією з них безбарвне і кольорове скло варять в окремих печах, а потім подають до «човника» спеціальної конструкції, за допомогою якого проводиться витягування двошарового скла. За іншою схемою безбарвне скло варять у великій ванній печі неперервної дії. Потім частина готової скломаси з цієї печі окремою протокою подається до витяжної машини, а інша - у спеціальний перетворювач, де проводиться забарвлення. Забарвлена скломаса після цього також підводиться до витяжного пристрою.

7.2 Дефекти скла

У склі трапляються дефекти трьох основних видів: газові, склоподібні і кристалічні вclusions.

Газові вclusions в склі мають вигляд окремих пухирців, «мошок» чи

капілярів. Основною причиною появи в склі газових включень є погані провар шихти і недостатнє освітлення скломаси. При цьому в скломасу попадають заключені між зернами шихти повітря, пари води, газоподібні продукти реакцій при варінні скла, а також гази, що виділяються вогнетривкими матеріалами. При несприятливих умовах частина цих газів залишається в склі у вигляді досить великих пухирців.

«Мошка» – це скупчення в склі дрібних газових піхурців. Вона найчастіше виникає при вторинному нагріванні скла в зоні виготовлення чи порушенні газового режиму в зоні освітлення, у результаті чого скло спінюється.

Капілярні включення утворюються при витяжці виробів зі скломаси, що має газові піхурці, які у цьому випадку витягаються в нитку.

Склоподібні включення (свіль і шлір) відрізняються від основної маси скла хімічним складом і фізичними властивостями. У готових виробах вони виділяються на загальному тлі різницею в заломленні світла і перекручуванням форми предметів, якщо на них дивитися через скло.

Свіль має шихтне походження. Вона утворюється при неточному відважуванні матеріалів шихти, застосуванні склобою іншої марки, при розшаруванні чи поганому перемішуванні шихти, недостатньому проварі скломаси і т.п.

Шлір – це осклянілий прозорий камінь, що потрапив у скломасу з шихтою чи з вогнетривкої кладки печі в результаті її руйнування. Коливання рівня скломаси у ванних печах неперервної дії і підвищення температури вище допустимої приводять до появи склоподібних включень за рахунок їх виплавлення з вогнетривких матеріалів. Вони попадають у скломасу у вигляді осклянілих крапель, що падають зі зводу печі, чи осклянілої плівки, що сповзає у скломасу зі стін басейну.

Кристалічні включення («каміння») поділяються на три основних види: шихтне (матеріальне) каміння, вогнетривке каміння і продукти розісклення.

Шихтне каміння найчастіше є непровареними зернами кварцового піску, бариту, глинозему чи інших тугоплавких компонентів шихти. Причиною появи шихтного каміння може бути недостатнє просівання і погане перемішування шихти, її розшарування і утворення згустків, занижена температура варіння і високе знімання скломаси.

Вогнетривке каміння потрапляє у скломасу в результаті руйнування вогнетривкої кладки печі.

Продукти розісклення утворюються в результаті кристалізації самої скломаси. Цей процес може відбуватися при тривалій витримці скломаси у певному інтервалі температур, неправильному хімічному складі скла, наявності в склі так званих ініціаторів – речовин, що прискорюють кристалізацію скла.

З усіх перерахованих вище дефектів скломаси найнебезпечнішими є кристалічні включення. При обробці скловиробів з такими дефектами імовірність браку особливо велика в електроламповому виробництві.

7.3 Загальні відомості про вироблення заготовок і виробів зі скла

Для виготовлення заготовок і деталей зі скла застосовуються різноманітні технологічні процеси: видування, витягування, пресування, відцентрове лиття. Для

додання виробам необхідних розмірів і потрібної конфігурації їх часто ріжуть, зварюють, калібрують і т.п.

Майже всі методи обробки скла базуються на зміні в'язкості скла при зміні температури. При нагріванні до досить високої температури скло стає пластичним, здатним до виготовлення з нього виробів різної форми, а при охолодженні скло твердне і надана виробам форма зберігається. При термічній і термопластичній обробці скла для його нагрівання використовують теплове випромінювання (повітряно- чи киснево-газових полум'яних чи безполум'яних пальників, спеціальних нагрівачів), пряме пропущення електричного струму, дуговий розряд. Перспективними методами нагрівання скла є плазмовий і лазерний методи.

Виникнення напружень. У склі під впливом механічних чи теплових впливів виникають внутрішні напруження. Внутрішні напруження поділяються на тимчасові (перехідні) і постійні (залишкові). Основною причиною виникнення тих чи інших напружень є низька теплопровідність скла.

Тимчасові напруження в склі виникають у такий спосіб. При нагріванні виробу в першу чергу підвищується температура зовнішніх шарів скла, внутрішні шари скла якийсь час залишаються холодними. Зовнішні шари скла змушені займати об'єм, менший, ніж той, котрий відповідає даній температурі, і виявляються стиснутими. Внутрішні шари скла, витримуючи на собі вплив зовнішніх шарів, що розширюються, мають напруження розтягу. При остиганні виробу, коли температура у всіх точках зрівнюється, напруження зникають. Напруження, що зникають після вирівнювання температур між окремими частинами виробу, є тимчасовими. Вони можуть привести до руйнування виробу, якщо їхнє значення виявляється більше, ніж межа міцності скла.

Постійні напруження виникають при швидкому охолодженні скла. Якщо виріб нагріти до точки розм'якшення скла і вище, то при швидкому охолодженні між окремими частинами виробу зберігаються залишкові чи постійні напруження. У склі з високим температурним коефіцієнтом лінійного розширення виникають великі постійні напруження, оскільки стиск при охолодженні в такому склі сильніший, ніж у склі, що має менший коефіцієнт розширення.

Іншими причинами виникнення напружень у склі є: велике розходження в температурних коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів, що спаюються, невдала конструкція скловиробів та ін.

Знімання напружень. Процес теплової обробки, при якому досягається ослаблення залишкових напружень до норми, що забезпечує тривалу і надійну експлуатацію скляних виробів, називають *відпалом*. Суть відпалу полягає в нагріванні скла до температури, при якій частки його набувають рухливості, достатньої для знімання постійних напружень.

Діапазон температур, у якому проводять відпал скла, називається зоною відпалу. Зона відпалу обмежується найвищою і найнижчою температурами відпалу.

Під найвищою температурою відпалу приймають температуру, що відповідає в'язкості скла 10^{12} Па·с. При цій температурі за час 5 хв зникає не менше 95% усіх наявних у склі напружень. Під найнижчою температурою відпалу приймають температуру, що відповідає в'язкості скла 10^{14} Па·с. Звичайно вона на $100 - 150^{\circ}\text{C}$ нижча, ніж найвища температура відпалу.

Відпал скловиробів проводиться в режимі, зображеному на рис.7.1 у вигляді температурної кривої, що складається з чотирьох зон: нагрівання 1, витримка 2, повільне охолодження до найнижчої температури відпалу 3 і швидке охолодження до кімнатної температури 4.

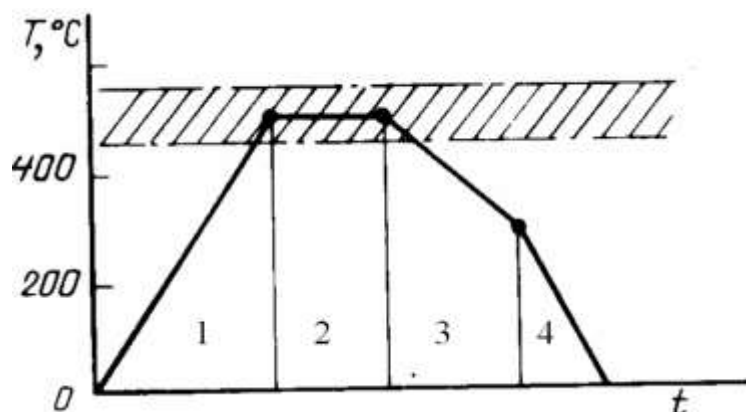


Рисунок 7.1 – Крива відпалу скла

Кожна ділянка цієї кривої може бути розрахована за формулами. Розрахункові формули відпалу скловиробів:

$$\text{швидкість нагрівання, } ^\circ\text{C/хв (зона 1)} \quad C_1 = \frac{0,3}{a^2} \Delta T;$$

$$\text{витримка, хв (зона 2)} \quad t = 10 + 10a^2;$$

$$\text{швидкість охолодження, } ^\circ\text{C/хв (зона 3)} \quad C_3 = \frac{0,075}{a^2} \Delta T;$$

$$\text{швидкість охолодження, } ^\circ\text{C/хв (зона 4)} \quad C_4 = \frac{0,5}{a^2} \Delta T,$$

де a – товщина скляної стінки, що обігривається з одного боку, см;

ΔT – термостійкість скла, $^\circ\text{C}$.

Для відпалу застосовують барабанні, конвеєрні, камерні й інші печі з газовим чи електричним нагріванням, з ручним чи програмним керуванням. Печі відпалу називають лерами. Особливе значення має відпал для м'яких видів скла з температурним коефіцієнтом лінійного розширення $(80 - 100) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Кварцове скло не відпалюють. Вироби з тонкими стінками також практично не відпалюють, а обмежуються їхньою обробкою в м'якому полум'ї пальника.

Напруження в спаях скла з металом, викликані неоднаковим тепловим розширенням, відпалом зняти неможливо. Відпал спаїв є тепловою обробкою для усунення напружень гартування і керування у певних межах термічними напруженнями. Для спаїв скло-метал застосовується так званий *диференціальний відпал чи диференціальне охолодження*. Суть цього відпалу полягає в тому, що в матеріалах спаю з різними ТКЛР при охолодженні різниця температур підтримується таким чином, щоб теплове стискання металу і скла залишалось приблизно постійним протягом всього процесу охолодження. Диференціальний відпал створює в спаї бажаний розподіл напружень. Для більшості марок електролампового скла гранично допустимими приймаються напруження 4 МПа.

7.4 Способи формування виробів зі скла

Комплекс фізико-хімічних властивостей скла й особливо можливість зміни

в'язкості його в широких межах дозволяє використовувати різноманітні способи формування виробів.

Найрозповсюдженішими способами формування скловиробів є такі:

1. *Пресування.* Цим способом виготовляються суцільні чи пустотілі вироби, різноманітні за формою, розмірами і призначенням: будівельні блоки, лінзи, призми, плитки, екрани, конуси для електронно-променевих трубок й інші вироби побутового, тарного, світлотехнічного скла і т.п.

2. *Видування.* Цим способом виготовляють великий асортимент пустотілих виробів із сортового, тарного, електротехнічного, хіміко-лабораторного, медичного й іншого видів скла.

3. *Пресовидування.* Цим способом виготовляють широкогорлові товстостінні пустотілі вироби: харчова, медична, парфумерна, хімічна й інша скляна тара.

4. *Відцентрове формування.* Цим способом формують товстостінні пустотілі вироби світлотехнічного, електровакуумного, технічного і художнього скла.

5. *Витягування.* Цим способом формують плоске і рифлене листове скло, скляні труби, трубки і стрижні, скляне волокно.

6. *Прокатування.* Цим способом формують плоске, візерункове, армоване, профільоване і хвилясте скло, скляну плитку.

7. *Формування на підкладці з розплавленого металу.* Цей спосіб застосовують для одержання листового скла з вогнево-полірованою поверхнею. Може також застосовуватися в сполученні зі способами прокатки і витягування.

8. *Роздування струменя скломаси.* Цим способом виготовляють штапельне скляне волокно, неткане полотно зі скловолкна.

9. *Молірування.* Цим способом виготовляють заготовки оптичного скла, скульптурні і декоративні вироби, панорамне і загартоване листове скло для транспорту, сферичні відбивачі, чашки Петрі.

10. *Вспінювання.* Цим способом виготовляють піноскло у виді блоків, плит, крихти й інших виробів теплоізоляційного, звукоізоляційного й іншого технічного призначення.

11. *Відливання.* Цим способом виготовляють суцільні заготовки чи великогабаритні спеціальні виливки.

12. *Екструдкування.* Цим способом можна виготовляти скляні труби, штабики, профілі різного перетину.

Найбільше поширення при виготовленні скляних розсіювачів й елементи світлових приладів одержали молірування, видування, пресування і пресовидування. У світлотехнічному виробництві щорічно виробляється моліруванх і видувних виробів 15 – 16 млн.шт., а пресованих і пресовидувних розсіювачів 20 – 22 млн. шт. і, крім того, кришталевих елементів для люстр і бра 25 – 30 млн.шт. В загальному технологічний процес виробництва скляних розсіювачів однаковий і містить наступні операції: підготовку сировинних матеріалів і готування шихти; варіння скла; вироблення скломаси і формування виробів; відпал виробів; остаточну обробку виробів: механічне шліфування, хімічне полірування, декорування.

Розглянемо технологічні особливості виготовлення скляних розсіювачів і елементів у світлотехнічному виробництві.

Молірування – технологічний процес формоутворення скляних відбивачів з

листового скла. Розрізняють природне і примусове молірування. Схема процесу подана на рис.7.2. Заготовку 3, попередньо вирізану з листового скла спеціальним склорізом, поміщають у піч 1, укладаючи її на чавунну чашу 4, внутрішня форма якої відповідає профілю відбивача. Після включення електронагрівників 2 температура в печі піднімається до температури розм'якшення скла (550 – 600°C), і воно під дією власної ваги прогинається і приймає форму чаші. Після цього шляхом поступового зниження температури печі відбувається відпал скла за графіком, встановленим для даного сорту і розмірів скла. При примусовому моліруванні прогин скла здійснюється під дією вакууму чи зовнішнього тиску. Температура молірування має дуже важливе значення: при низькій температурі прогин скла відбувається повільно, але зате відсутнє прилипання скла до форми; при високій температурі процес протікає швидше, але при цьому можливе прилипання скла до металу форми, у результаті чого на поверхні скла утворюються дефекти у вигляді тріщин, вищербин і т.п. Для усунення прилипання скла до поверхні форми, останню покривають спеціальними сумішами з дисперсних матеріалів (крейда, графіт, сажа тощо). Після зниження температури до кімнатної розкривають печі, виріб виймають, перевіряють і направляють на механічну обробку.

Моліруванням можна виготовляти відбивачі будь-якої форми – сферичні, еліпсоїдні, параболоциліндричні, що знайшли переважне застосування в прожекторах дальньої дії. Обмеженням є відносна глибина відбивача. Кращі результати отримують при моліруванні відбивачів, у яких відношення радіуса до глибини не менше одиниці.

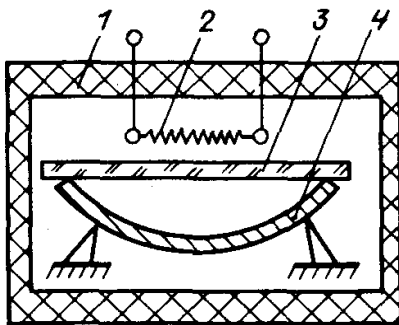


Рисунок 7.2 – Схема молірування відбивачів.

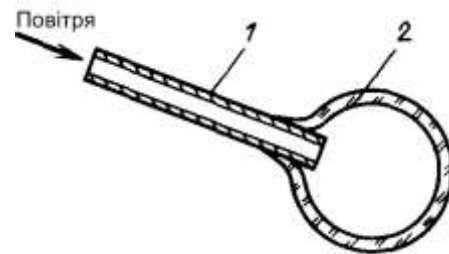


Рисунок 7.3 – Схема ручного видування.

Видування – досить розповсюджений спосіб формоутворення оптичних елементів світлових приладів невеликої форми. Існують два різновиди способу видування – ручний і машинний. Суть процесу ручного видування полягає в наступному (рис.7.3). На кінець металевої порожньої трубки 1 набирають порцію скломаси і через протилежний її кінець видують розсіювач 2, при цьому скломаса утримується завдяки силам поверхневого натягу. Набрана на трубку скломаса для надання їй правильної форми розкачується на чавунній плиті. Залежно від розмірів виробу на нього в процесі видування може набиратися додаткова кількість скломаси. Остаточне формування виробу виконують у рознімній формі.

Форми для видування виготовляють з жаростійкої нержавіючої сталі чи чавуну. Внутрішню поверхню форми полірують до гладкості. Після закінчення

видування робітник розкриває форму, відколює виріб від трубки і переносить його в піч для відпалу.

При серійному виробництві видування здійснюють через спеціальні трубки, повітря нагнітається за допомогою гумового балона з клапаном чи від заводської магістралі стиснутого повітря.

При машинному видуванні (рис.7.4) дозована крапля розплавленого скла 2 на живильній трубці 1 подається в розліну форму 3. Повітря під тиском подається по живильній трубці 1 і роздуває краплю скломаси, притискаючи її до стінок внутрішньої порожнини форми. Після остигання маси форму розкривають і витягають готовий виріб.

Видуванням виготовляють найчастіше розсіювачі форм тіл обертання з безбарвного скла з наступним їхнім декоруванням, а також з кольорового, молочно-накладного чи опалового скла.

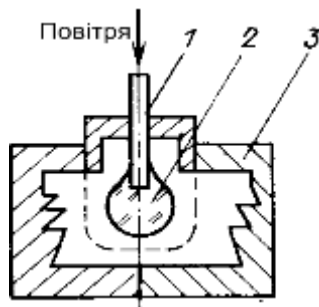


Рисунок 7.4 – Схема машинного видування.

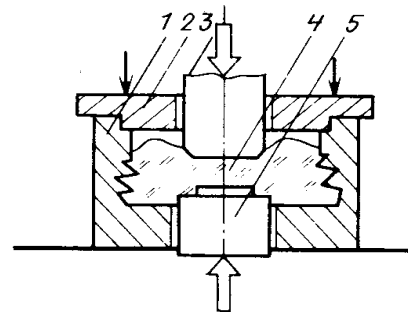


Рисунок 7.5 – Схема пресування.

Пресування широко застосовується при виготовленні скляних призматичних рефракторів для світильників зовнішнього освітлення, кришталевих розсіювачів і елементів для люстр, скляних ковпаків вибухозахищених світильників та інших виробів. Як правило, це відносно товстостінні оптичні елементи.

Суть процесу пресування полягає в наступному (рис. 7.5). Дозована порція скломаси 4 від краплинного живильника подається в металеву матрицю 1 форми, що утворить зовнішню поверхню виробу. При пресуванні виробів простої конфігурації матриці роблять нероз'ємними, при пресуванні виробів складної форми з глибокими виступами чи западинами матриці роблять роз'ємними на дві, три і більше частин, для того щоб при їхньому розкритті не відбувалося деформації заданого профілю пресованого виробу. У матрицю 7, встановлену на столі преса, вдавлюється пуансон 3 і витісняє скломасу 4 у порожнину форми. При виготовленні рефракторів із внутрішніми призмами рельєф наносять на поверхню пуансона 3. Для унеможливлення видавлювання скломаси з форми, остання закривається зверху формовим кільцем 2. Після невеликої витримки, необхідної для остигання скломаси і підвищення її в'язкості, пуансон 3 піднімають у вихідне положення, знімають формове кільце 2 і розкривають форму 7. Для полегшення знімання відформованого виробу з нероз'ємної матриці його виштовхують за допомогою спеціального штовхальника 5, що проходить через дно матриці.

Форми для пресування виготовляють з жаростійких сталей і легованого чавуну спеціальних марок, робочі поверхні форм ретельно шліфують і полірують. Для запобігання прилипання скломаси до форми, її внутрішню поверхню під час роботи змазують мінеральним маслом.

До технологічних особливостей способу відносяться велика (не менше 3 мм)

товщина стінок виробу, що приводить до їхньої зайвої маси, а отже, і значної витрати матеріалу, і низька в'язкість скломаси, яка при пресуванні повинна бути якомога меншою, що досягається підвищенням її температури. Для підвищення якості виробів необхідно, щоб різниця температур пресформи і скломаси була мінімальною. З цією метою пресформи звичайно підігрівають до температури 550-600 С. Подальше підвищення температури форми приводить до прилипання скломаси до металу і деформації виробу. Оскільки внаслідок низької теплопровідності скла остигання відформованого виробу відбувається нерівномірно, то виникаючі в поверхневих шарах напруження стиску роблять поверхню виробу шорсткою, а в окремих випадках на поверхні можуть утворюватися численні тріщини. У зв'язку з цим скломаса повинна мати підвищену швидкість остигання.

Пресовидування є комбінованим способом виготовлення різних типів розсіювачів світлових приладів, наприклад замкнутих призматичних ковпаків, що мають на зовнішній поверхні заломлюючі елементи. Суть цього способу полягає в наступному (рис. 7.6). Дозовану порцію скломаси 3 вносять у чорнову форму 4, у верхній частині якої в зімкнутому положенні знаходяться горлові щипці 7. Пресування здійснюється пуансоном 2, що потім відходить нагору, після чого горлові щипці 7 переносять напівфабрикат 5 у чистову видувну форму 6. Після переносу до горлових щипців щільно притискається видувна головка 7, через яку надходить стиснене повітря, яке роздуває напівфабрикат у готовий виріб. Після остигання виробу видувна головка і горлові щипці відходять, форма 6 розмикається і виріб виймається з неї. З метою одержання високоякісних виробів напівфабрикат перед видуванням підігрівають. У процесі роботи форми періодично змазують рослинним маслом, розтертим вугіллям з оліфою й іншими сумішами.

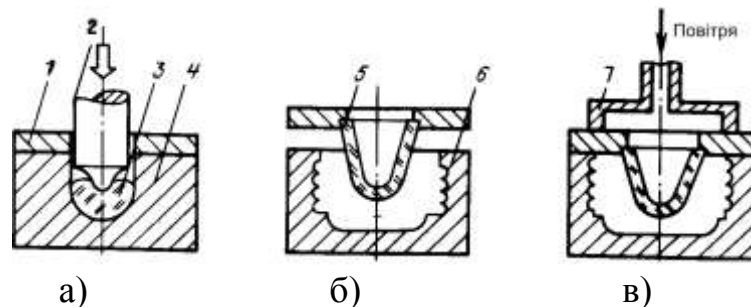


Рисунок 7.6 – Схема пресовидування:

а – пресування; б – перенесення напівфабрикату; в – видування.

Пресовидуванням одержують великий асортимент різних розсіювачів побутових світильників із прозорого скла чи кристалю, що мають у верхній частині потовщення чи різьбу, необхідну для кріплення до освітлювальної арматури.

Відцентровий спосіб формування. При формуванні виробів відцентровим способом використовується відцентрова сила форми, яка швидко обертається. Залежно від розмірів виробу формі надається обертання зі швидкістю 13 – 35 с⁻¹. На рис. 7.7 приведена схема формування виробів відцентровим способом. У роз'ємну чи нероз'ємну форму за допомогою ручного чи вакуумного способу подається порція скла, що під впливом відцентрової сили рівномірно

розподіляється по внутрішніх стінках форми і точно відтворює її конфігурацію.

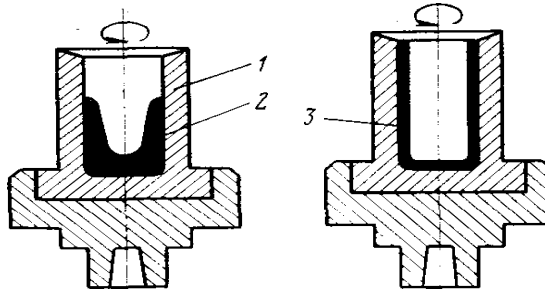


Рисунок 7.7 – Схема формування виробів відцентровим методом:
1 – форма, 2 – порція скломаси, 3 – виріб.

Цей спосіб формування дозволяє одержувати вироби складної конфігурації з гладкою блискучою внутрішньою поверхнею, тому що при формуванні вона не стикається з пуансоном. Крім того, відцентровий спосіб може замінити спосіб видування при формуванні великогабаритних виробів. У результаті цього скорочується витрата скломаси, механізується процес виготовлення, знижується собівартість виробів.

Крім розглянутих існують ще й інші способи виготовлення оптичних елементів світлових приладів зі скла, наприклад відцентрове лиття чи технологія виготовлення лінзових розсіювачів, які у світлотехнічному виробництві застосовуються обмежено.

Лекція 8

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КЕРАМІКИ

8.1 Основні види керамічних матеріалів

Кераміка (грецьк. *keramike* – гончарне мистецтво, від *keramos* – глина), неметалічні матеріали й вироби, що одержують спіканням глин або порошоків неорганічних речовин. За структурою кераміка підрозділяється на грубу, яка має грубозернисту неоднорідну в зламі структуру (пористість 5 – 30 %), і тонку – з однорідною дрібнозернистою структурою (пористість <5 %). До грубої кераміки відносять багато будівельних керамічних матеріалів, наприклад, лицьова цегла, до тонкої – порцеляна, пезо- і сегнетокераміку, ферити, кермети, деякі вогнетриви й ін., а також фаянс, напівпорцеляну, майоліку.

В особливу групу виділяють так звану високопорувату кераміку (пористість 30 – 90 %), до якої звичайно відносять теплоізоляційні керамічні матеріали.

Типи кераміки. Залежно від хімічного складу розрізняють оксидну, карбідну, нітридну, силіцидну й інші типи керамік. Оксидна кераміка характеризується високим питомим електричним опором (10^{10} Ом см), межею міцності на стиск до 5 ГПа, стійкістю в окисних середовищах у широкому інтервалі температур; деякі види – високотемпературною надпровідністю, а також високою вогнетривкістю. Серед оксидної кераміки найбільше поширення одержали наступні види.

1. Алюмосилікатна кераміка на основі SiO_2 Al_2O_3 або з кожного з цих оксидів окремо. Кремнеземиста кераміка містить більше 80 % SiO_2 і підрозділяється на кварцову й динасову кераміку. Першу виготовляють із кварцового скла або жильного кварцу, другу – спіканням кварциту в присутності

Fe_2O_3 і $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Кварцова кераміка має високу термічну й радіаційну стійкість, радіопрозорість, високу кислотостійкість й вогнетривкість. По мірі збільшення вмісту Al_2O_3 у керамічних матеріалах збільшується вміст мулліту $3\text{Al}_2\text{O}_3$ і 2SiO_2 , що сприяє підвищенню міцності й термостійкості кераміки, зниженню її кислотності. До кераміки, що містить близько 28 % Al_2O_3 , відносять напівкислі матеріали (вогнетриви, порцеляна, фаянс, гончарні вироби), а також каолінову вату, теплоізоляційні матеріали на її основі, шамотні вогнетриви й ін. Корундова кераміка, що містить понад 90 % Al_2O_3 , характеризується високим електричним опором при температурах до 1500°C , високими межами міцності при стиску (3 – 4 ГПа) і вигині (~ 1 ГПа).

З алюмосилікатної кераміки виготовляють посуд, деталі й футеровку коксових і мартенівських печей, ракет, космічних апаратів і ядерних реакторів, носії для каталізаторів, корпуси галогенних ламп, кісткові імпланти, деталі радіоапаратури.

2. Кераміка на основі SiO_2 та інших оксидів. До цього типу матеріалів відносять кераміку складу SiO_2 , Al_2O_3 , MgO (кордиеритова), ZrSiO_4 (цирконова), SiO_2 , Al_2O_3 , Li_2O (сподуменова), SiO_2 , Al_2O_3 , BaO (цельзіанова кераміка).

Для виготовлення такої кераміки звичайно використовують глину, каолін, тальк, карбонати Ba , Li і Ca , MgO , мінерали: евкриптит, сподумен, петаліт, ашарит, трепел, вапняк. Застосовують у виробництві радіотехнічних деталей, теплообмінників, вогнетривів, ізоляторів авто- і авіасвічок та ін.

3. Кераміка на основі TiO_2 , титанатів і цирконатів Ba , Sr , Pb , а також кераміка на основі ніобатів і танталатів Pb , Ba , K і Na .

Така кераміка характеризується високим електричним опором, високою діелектричною проникністю й застосовується в електроніці й радіотехніці.

4. Кераміка на основі MgO . Одержують із магнезиту, доломіту, вапняку, хромомагнезиту, синтетичного MgO ; як добавки використовують CaO , Cr_2O_3 , Al_2O_3 . Магнезіальну кераміку, що містить 80 % MgO , застосовують для виготовлення вогнетривів. Кераміка із чистого MgO використовується для виробництва ізоляторів МГД генераторів, ілюмінаторів літальних апаратів, в якості носіїв для каталізаторів. Магнезіальновапнякову (містить більше 50 % MgO , 10 % CaO), магнезитохромову (60 % MgO , 5–18 % Cr_2O_3), хромомагнезитову (40–60 % MgO , 15–30 % Cr_2O_3) і хромітову (40 % MgO , 25 % Cr_2O_3) кераміку застосовують для виготовлення вогнетривів. Кераміка із хромітів La і Y використовують у якості високотемпературних електронагрівників (що витримують нагрів до 1750°C) та працюють в окисному середовищі.

5. Шпінельна кераміка на основі феритів головним чином Ni , Co , Mn , Ca , Mg , Zn . Має, як правило, феромагнітні властивості й здатна утворювати тверді розчини заміщення. Застосовують таку кераміку для виготовлення магнітопроводів, сердечників котушок та інших деталей у пристроях пам'яті тощо.

6. Кераміка на основі оксидів BeO , ZrO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 , UO_2 . Хімічно стійка й термостійка. Так, кераміка з BeO (бромелітова кераміка), отримана спіканням BeO з додаванням інших оксидів (близько 0,5 %), наприклад Al_2O_3 , ZrO_2 , має найбільшу теплопровідність серед керамічних матеріалів і здатна розсіювати нейтрони. Використовують її при виготовленні електровакуумних приладів, тиглів для плавки тугоплавких металів, наприклад Pt , Be , Ti . У кераміку з ZrO_2 звичайно

вводять стабілізатори (Y_2O_3 , CaO, MgO), що утворюють з ним тверді розчини; застосовують для виготовлення високотемпературних нагрівачів, захисних обмазок, для ізоляції індукторів високочастотних печей та у якості конструкційної кераміки.

До карбідної кераміки відносять карборундову кераміку, а також матеріали на основі карбідів Ti, Nb, W. Всі види такої кераміки мають високі електро-і теплопровідність, вогнетривкість, стійкість в безкисневому середовищі (кераміка на основі SiC, що стійка до $1500^\circ C$ у окисних середовищах). Карборундову кераміку виготовляють із порошку SiC або випалом C у Si. Вона має високу межу міцності при стиску. Карбідну кераміку використовують як конструкційні матеріали, вогнетривів, для виготовлення високотемпературних нагрівачів електричних печей і інструментів у металообробній промисловості (кераміка на основі карбідів Ti, Nb, W).

До нітридної кераміки відносять матеріали на основі BN, AlN, Si₃N₄, (U, Pu) N, а також кераміку, одержану спіканням сполук, що містять Si, Al, O, N (по початкових буквах елементів, що входять у кераміку, її називають «сіалон»), або сполуки, що містять Y, Zr, O і N. Виготовляють таку кераміку спіканням порошків в атмосфері азоту при тиску до 100 МПа, гарячим пресуванням при $1700\text{--}1900^\circ C$. Кераміку з Si₃N₄ одержують реакційним спіканням порошку Si у середовищі N₂; у цьому випадку звичайно утворюється пориста кераміка. Нітридна кераміка характеризується стабільністю діелектричних властивостей, високою механічною міцністю, термостійкістю, хімічною стійкістю в різних середовищах. Межа міцності на згин для кераміки з BN становить 75 – 80 МПа, для кераміки з AlN 200 – 250 МПа, для кераміки з Si₃N₄ – до 1000 МПа. Керамічні нітридні матеріали застосовують для виготовлення інструментів у металообробній промисловості, тиглів для плавки деяких напівпровідникових матеріалів, СВЧ ізоляторів та ін.

Кераміка з Si₃N₄ — конструкційний матеріал, що замінює жароміцні сплави з Co, Ni, Cr, Fe. Серед силіцидної кераміки найпоширенішою є кераміка з дисиліцида Mo. Вона характеризується малим електричним опором (170–200 мкОм см), стійкістю в окисних середовищах (до $1650^\circ C$), розплавах металів і солей. Виготовляється спіканням порошку MoSi₂ з добавками Y₂O₃ та ін. оксидів. Застосовують для виготовлення електронагрівників, що працюють в окисних середовищах.

Із чистих фторидів, сульфідів, фосфідів, арсенідів деяких металів виготовляють оптичну кераміку, що застосовується у інфрачервоній техніці. При виготовленні кераміки з глини й непластичного матеріалу останній подрібнюють у кульових млинах, а глини з додаванням води розмелюють у стругачах або розпускають у змішувачах; отримані суспензії дозують і зливають у змішувальні басейни. Залежно від способу формування суспензію обезводнюють у фільтр-пресах або розпилювальних пристроях. З порошків з вологістю до 12 % виробу формують одним з видів пресування; при формуванні мас з вологістю 15–25 % послідовно використовують розкочування, видавлювання, допресовку, формування на гончарному колі й обточування. Із суспензій з вологістю 25–45 % (ливарних шлікерів) виробу формують литтям у гіпсові, пористі пластмасові й металеві форми. При виготовленні технічної кераміки ливарний шлікер готують із непластичних порошків, додаючи в тонкомолоту суміш вихідної сировини

термопластичні речовини (наприклад, парафін, віск), олеїнову кислоту і деякі поверхнево активні речовини; вироби формують всіма згаданими способами, у т. ч. вібропресуванням. Відформовані вироби піддають сушінню (у випадку застосування водорозчинної зв'язки) або випалюють органічну зв'язку.

Кермети. Це композиційні матеріали, що містять метали (чи сплави) і один або кілька видів кераміки. У порівнянні з вихідними компонентами мають поліпшені властивості. Композиції, у яких присутність кераміки поліпшує властивості металу, називають дисперснозміцненими керметами або інфракерметами, композиції, у яких метал поліпшує властивості кераміки, – ультракерметами.

У якості керамічної складової в керметах звичайно використовують оксиди Al, Be, Mg, Zr, Th, U, карбіди W, Ti, Ta, Nb, Cr, бориди Zr, Ti, а в якості металеві – тугоплавкі метали (W, Mo й ін.), метали групи Fe і легкоплавкі метали (Cu, Al, Mg). До керметів відносять також тверді сплави на основі Ni, Co й карбідів W, Ti, Ta, Mo, що характеризуються високою твердістю, міцністю, жаростійкістю й жароміцністю.

При виборі вихідних компонентів керметів керуються принципами їх хімічного, фізичного й технологічного узгодження. Хімічне узгодження припускає відсутність хімічної взаємодії між керамічними й металевими складовими, фізичне – відсутність взаємного розчинення при нагріванні й необхідне поєднання властивостей компонентів (коефіцієнт теплового розширення, модуль пружності тощо), технологічне узгодження – близькість температур спікання керамічних і металевих складових керметів, беруть до уваги розходження значень густини компонентів, змочування легкоплавким компонентом більше тугоплавкого.

Для керметів на основі оксидів найчастіше використовують метали, які утворюють оксиди, ізоморфні основному оксидному компоненту керметів, і такі, що утворюють взаємні тверді розчини. У керметах на основі карбідів використовують метали, які не утворюють карбіди або обмежено розчинюють вуглець; у керметах на основі нітридів – метали, що не утворюють стійких нітридів або обмежено розчинюють азот.

Вироби з керметів одержують головним чином спіканням, а також просоченням керамічної пористої заготовки розплавленим металом, осадженням металів з розчинів на поверхні керамічних часток. Вихідні порошки одержують подрібненням (іноді спільно) у кульових, вібраційних та ін. млинах, використовуючи як середовище органічні рідини. Для попередження розшарування порошоків або суспензій внаслідок розходження густини металу й кераміки в суміш вводять в'язкі рідини й різноманітні добавки. Після висушування порошки формують пресуванням, шлікерним литтям, видавлюванням, прокаткою тощо.

Спікання керметів у печах здійснюють в атмосфері інертного газу чи у вакуумі. На цій стадії намагаються уникати окислювання, азотування або карбідизації металу й відновлення оксидів, а також дисоціації нітридів і карбідів.

За властивостями і застосуванням розрізняють:

1) високотемпературні кермети, що використовуються для виготовлення деталей газових турбін, арматури електропечей, у ракетній і реактивній техніці й т. д. До цієї групи керметів відносять, наприклад, матеріали з Al_2O_3 -Cr,

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ThO}_2\text{-Cr-Mo}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-W-Cr}$, а також більшу групу керметів на основі карбіду Ті з Ni, Co, Cr, Mo, W, Al та їх сплавами;

2) тверді зносостійкі кермети, використовують для одержання деталей, які працюють на зношування, а також як ріжучі інструменти. До цієї групи керметів відносять матеріали на основі карбідів і нітридів Ti, Te, Hf та ін.;

3) кермети, що використовують в спеціальних областях техніки, – в атомних реакторах (тепловиділяючі елементи й ін. деталі з композицій $\text{UO}_2\text{-Al}$, MgO-Ni , $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$), в електротехніці й електронній техніці (C-Cu для електрощіток, $\text{ThO}_2\text{-Mo}$ або $\text{ThO}_2\text{-W}$ для посилення емісійної здатності катодів тощо), у гальмових пристроях (деякі фрикційні матеріали, що містять металеві й неметалічні компоненти — Cu, Fe, Ni, Co, Al_2O_3 , SiO_2 та ін.).

8.2 Виготовлення деталей із кераміки

Основними етапами виготовлення деталей з кераміки є:

- хімічний аналіз і підготовка вихідного керамічної сировини;
- тонкий помел і змішування компонентів;
- формування заготовки виробу;
- механічна обробка необпалених заготовок;
- сушка заготовок;
- випал (попередній і остаточний);
- глазурування.

Після випалювання в ряді випадків доводиться застосовувати механічну обробку. При виготовленні ряду керамічних деталей деякий з цих етапів можуть бути відсутніми або перебувати в іншій послідовності.

Хімічний аналіз і підготовка керамічної сировини. Від якості вихідних компонентів істотно залежать властивості кераміки та їх відтворюваність. Тому необхідно ретельно контролювати і регулювати фізико-хімічні властивості використовуваних матеріалів. Однорідні за складом сировинні матеріали отримати важко. Тому в процесі контролю встановлюється зміст різних домішок, які не повинні перевищувати встановленої межі. Після цього потрібним є очищення сировини від різних забруднень, залістистих включень і інших домішок.

Органічні домішки видаляються за допомогою попереднього випалу. В якості основних сировинних матеріалів для виготовлення дешевих керамічних виробів електронної техніки, до електрофізичних параметрах яких пред'являються не високі вимоги, використовуються традиційні матеріали (глина, каолін та ін.) До них застосовують спрощені способи очищення для видалення забруднень, що потрапляють в масу при технологічній переробці (промивка розчином соляної кислоти, електромагнітна сепарація, водна промивка, гідравлічна сепарація важкими рідинами, флотаційне збагачення).

Основні вихідні компоненти, призначені для виготовлення відповідальних виробів, представляють собою хімічні реактиви високої чистоти (окис цирконію, кварцу, окис титану, різні карбіди металів IV та VI груп і т.д.). Основна вимога до них – стабільність хімічного складу та стабільність фізико-хімічного стану. У більшості випадків матеріали не відповідають вимогам керамічного виробництва. Тому в технології керамічного виробництва в цих випадках включають процеси

попередньої термообробки вихідних матеріалів (прожарювання до певних температур, іноді плавлення) і ефективні методи точного подрібнення.

Потім сировину піддають грубому дробленню (рис. 8.1) спочатку на гінекових або валкових дробарках, а потім на бігунах з рухомим піддоном. При цьому проводиться обробка кожного окремого компонента (каолін, кварц, тальк, окис цирконію, глина, мрамур і т.д.). Далі відбувається просіювання матеріалу через сито і очищення фракцій від металевих частинок (рис. 8.2).

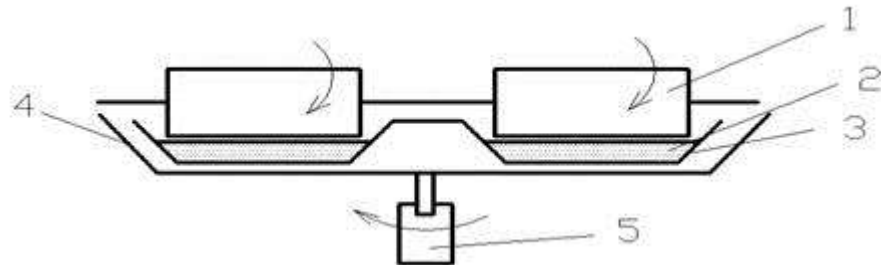


Рисунок 8.1 – Бігуни для грубого дроблення керамічної сировини

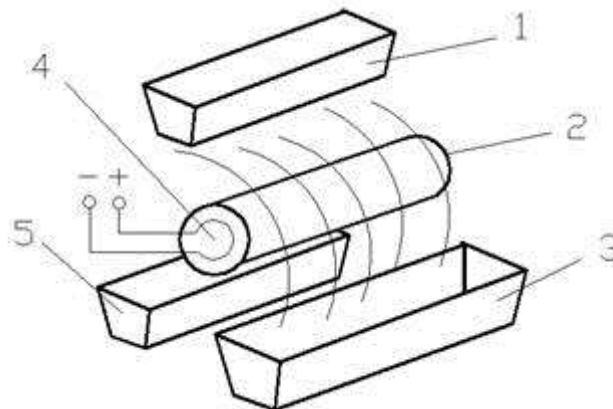


Рисунок 8.2 – Установа для магнітної сепарації сухого керамічного порошку:

1 – бункер; 2 – циліндр, що обертається з заліза; 3 – бункер для очищеного порошку, 4 – наконечник для електромагніта; 5 – бункер для феромагнітних домішок

Тонкий помел і змішування компонентів. Подрібнення і одночасне змішування матеріалів, в заданих пропорціях виробляється на вібраційних млинах. Тривалість циклу складає 30 – 90 хв. Помел проводиться з додавкою води. У бак завантажуються матеріали та порцелянові кулі діаметром від 20 до 70 мм. При вібрації кулі переміщуються, перетираючи масу, яка при цьому перемішується. Величина часток матеріалу після такого помелу не перевищує 1 мкм. Після помелу утворилася рідка маса – шлікер, яка пропускається через магнітний сепаратор для видалення залістистих включень і через сито (900 – 1600 отв/см²) для видалення інших механічних домішок.

Очищений шлікер піддається ущільненню з метою видалення надлишків води і бульбашок повітря. Вологість маси шлікера доводиться до 22-25%.

Формування заготовок. Здійснюється одним з таких способів: сухим пресуванням, пластичним пресуванням (штамбуванням), видавлюванням через мундштук, гарячим литтям під тиском.

Сухе пресування застосовується для виготовлення виробів великої товщини з незначними виступами і западинами (заготовки керамічних конденсаторів).

Заготовки з вологого шлікера висушують в сушильних шафах або струмами високої частоти до вологості 4 – 5%. Потім проводиться їх подрібнення і просіювання через сито (64-81 отв/см²). В отриманий порошок вводиться пластифікатор – парафін або водний розчин полівінілового спирту. Масу формують у металевих прес-формах на гідравлічних або пневматичних пресах.

Пластичне пресування (штампування) застосовується, головним чином для виготовлення встановлювальних деталей малих розмірів, складної конфігурації і невеликої товщини. Підготовка маси здійснюється таким чином, як і при сухому пресуванні. В якості зв'язки застосовується деревна смола або гас. Вологість порошку доводиться до такого ступеня, при якій тиск при штампуванні може викликати певну його текучість. При цьому використовуються високопродуктивні ексцентрикові преси. Однак деталі після випалу отримують велику усадку і пористість.

Витискування через мундштук застосовується для отримання керамічних деталей питомої форми – трубок, стержнів, колодок. Керамічна маса в цьому випадку повинна містити від 20 до 25 % вологи. Для підвищення пластичності в неї додають декстрин і тунгове масло. Все це багаторазово пропускається через мішалку для отримання однорідної маси. Потім маса завантажується в мундштучний прес (рис. 8.3).

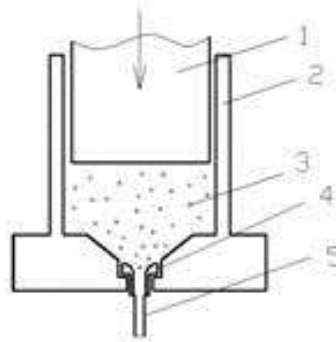


Рисунок 8.3 – Схема витискування через мундштук:

1 – поршень; 2 – стінка циліндра; 3 – керамічна маса; 4 – мундштук, 5 – стрижень.

У пустотілий циліндр завантажується керамічна маса. Під дією прикладеної сили поршень вичавлює масу через мундштук. При цьому виходить суцільний стрижень. Якщо ж буде встановлена рамка з сердечником, то на виході отримується трубка.

Гаряче лиття під тиском дозволяє виготовляти деталі підвищеної точності і складної форми (наприклад, каркаси котушок). За цим способом суспензія керамічного матеріалу зі зв'язкою (віск + парафін + олеїнова кислота) розігріваються до 60 – 100 °С і під тиском подається в металеву форму, з якої після охолодження витягується готова заготовка.

Механічна обробка необпалених заготовок. Керамічні вироби після формування можуть не відповідати кресленням деталі за формою і розмірами. Для надання відповідної форми заготовок використовується механічна обробка. Вона виконується на токарних, фрезерних, свердлильних та інших верстатах. При цьому застосовується ріжучий інструмент з наконечниками з надтвердих сплавів, оскільки невипалена керамічна маса володіє абразивними властивостями.

Сушіння. Сушіння заготовок з керамічної маси здійснюється для видалення вологи і зниження вмісту пластифікатора і зв'язки.

Застосовують наступні методи сушіння: природне повітряне сушіння, гаряче сушіння в сушильних шафах, сушіння струмами високої та промислової частоти.

При повітряному сушінні заготовки витримуються в сушильних шафах при $t = 18 \dots 22$ °С протягом 10 – 25 діб.

При гарячому сушінні в сушильній шафі або камері заготовки поступово нагріваються до 70 °С і витримується там необхідний час (10 – 15 годин).

Сушіння струмами промислової частоти полягає в пропусканні електричного струму по заготівці. У результаті виділення тепла здійснюється нагрівання і зневоднення матеріалу.

Сушіння струмами високої частоти застосовується для заготовок будь-якої форми. Суть процесу полягає в наступному: заготовки розміщуються між обкладками контурного конденсатора генератора високої частоти (5 – 10 МГц) і нагріваються електричним полем в залежності від вологості ділянок заготовки.

Після сушіння заготовки просочують гарячим парафіном і піддають додатковій механічній обробці.

Випал. Один з найбільш відповідальних етапів виготовлення керамічних виробів, який визначає в основному якість деталей. Випал проводиться в два етапи: попередній і остаточний. Попередній випал проводиться при температурі 800 – 1000 °С в електричних печах безперервної дії. У процесі попереднього випалу з керамічної маси видаляється зв'язка і вироби набувають необхідної механічної міцності. Потім здійснюється остаточний випал при температурі 1250 – 1450 °С. Остаточний випал забезпечує спікання керамічної маси – частина компонентів розплавляється, просочуючи всю масу виробу, при цьому в її середовищі відбуваються реакції розчинення і утворення нових сполук.

У процесі охолодження обпалених деталей маса твердне. Режим охолодження повинен бути рівномірним для усунення можливого розтріскування виробів. Для кожної керамічної маси температурні режими і витримка підбираються експериментально. Правильно обпалені вироби мають рівний біло-жовтий відтінок. Недопалені вироби мають білий колір. Якщо до виробу пред'являються підвищені вимоги щодо точності, то він піддається після випалу остаточній механічній обробці – шліфуванню, свердлінню, різанню. Точність обробки складає $\pm 0,01$ мм.

Поливання. Поливання або покриття керамічних деталей глазурованою масою дозволяє захистити їх поверхню від забруднення, підвищити електричний поверхневий опір і надати деталі гарний зовнішній вигляд. Глазурна маса виготовляється з матеріалів, близьких за складом до керамічної маси, з добавкою склоутворювальних речовин. Глазурні маси бувають тугоплавкі і легкоплавкі. Тугоплавкі глазурні маси мають температуру плавлення в інтервалі 1200 – 1450 °С. Вони наносяться на керамічні вироби безпосередньо після формування виробу і сушіння, якщо в керамічній масі відсутня зв'язка або після попереднього або остаточного випалу, коли вилучені всі види органічних зв'язок.

Легкоплавкі глазурні маси мають температуру плавлення в інтервалі від 600 до 1000 °С і наносяться тільки після випалу виробу.

Глазурні маси наносяться на вироби зануренням або пульверизацією з використанням механічної суміші тонкодисперсного порошку і води.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення глазурної маси підбирається близьким за величиною до коефіцієнта лінійного розширення кераміки, завдяки чому попереджається поява тріщин на глазурованій поверхні.

Лекція 9

ПОКРИТТЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ

9.1. Види та властивості покриттів

У електротехнічному виробництві широко застосовуються різноманітні покриття окремих деталей та виробів в цілому.

За призначенням покриття поділяють на:

- спеціальні (наприклад світлотехнічні – для створення певних світлотехнічних характеристик);
- захисні – для захисту металів від корозії;
- декоративні – для надання арматурі заданих декоративних параметрів.

За хімічним складом покриття поділяють на:

- металеві;
- неметалеві. Неметалеві покриття поділяють на органічні (лаки, фарби, мінеральні масла, смоли, гума) та неорганічні (фосфати, оксиди, силікатні емалі).

Усі металеві захисні покриття за характером їхньої взаємодії з основним металом можна віднести до двох груп:

1. Покриття, захисні властивості яких базуються на електрохімічній взаємодії між основним металом і металом покриття. У результаті цієї взаємодії метал покриття поступово розчиняється в корозійному середовищі, захищаючи тим самим основний метал від корозії.

2. Покриття, що захищають основний метал від корозії механічно. Дія цих покриттів зводиться до ізолювання металу, що захищається, від впливу корозійного середовища плівкою іншого, малоактивного металу.

Суть електрохімічного захисту полягає в тому, що при перебуванні в корозійному середовищі двох металів різної активності метал, що володіє меншим нормальним потенціалом, розчиняється, метал же з великим потенціалом залишається без зміни. Залежно від співвідношення потенціалів металів основи і покриття, покриття поділяють на анодні та катодні. В табл. 9.1 приведено значення нормальних потенціалів деяких металів, що використовуються у виробництві.

Таблиця 9.1 – Ряд стандартних електродних потенціалів

Елемент	Al	Zn	Cr	Cd	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Rh	Ag	Pt	Au
Потенціал	-1,66	-0,76	-0,56	-0,42	-0,34	-0,25	-0,14	-0,13	0,00	0,34	0,67	0,80	0,86	1,50

Анодні покриття – це покриття з металів, потенціал яких нижчий, ніж потенціал металу, що покривається. Нехай залізна деталь покрита шаром цинку

(нормальний потенціал цинку становить $-0,76$, а заліза $-0,34$). При наявності в покритті пор чи відкритих ділянок покриття й основний метал у присутності електроліту утворюють накоротко замкнуту гальванічну пару, у якій цинк, володіючи великим негативним потенціалом, буде розчинятися, захищаючи тим самим основний метал від корозії. Електролітом у природних умовах експлуатації є волога, що конденсується на поверхні металів, що містить різні гази і солі (кисень, вуглекислий газ, солі морської води і т.п.).

Катодні покриття – це покриття з металів, потенціал яких вищий, ніж потенціал металу, що покривається. Нехай залізна деталь покрита шаром олова (нормальний потенціал олова $-0,14$). Саме по собі олово дуже стійке до корозії, але воно може захищати залізо лише механічно ізолюючи основний метал від зовнішнього середовища. При порушенні цілісності шару олова і дотиканні оголеного місця з вологою утвориться гальванічна пара, у якій залізо, що володіє більшим негативним потенціалом, буде розчинятися, олово ж залишиться без зміни. Посилаючи всі нові і нові іони в розчин, залізо в ушкодженному місці буде піддаватися корозії набагато швидше, ніж нелужене. Ефективність таких покриттів у значно залежить від суцільності нанесеного шару металу. Прикладами катодних покриттів на сталевих виробах можуть служити олов'яне, мідне, нікелеве, хромове, срібне, золоте. Покриття оловом одержало широке поширення для деталей з міді і мідних сплавів. Оловом покривають електропроводи, наконечники й інші струмоведучі деталі.

Активність металів зростає в міру росту негативного значення потенціалу, тому варто було б очікувати, що чим вище негативний потенціал, тим легше цей метал буде піддаватися корозії. У дійсності це не завжди має місце. Наприклад, алюміній, що займає в ряді напружень перше місце за значенням негативного потенціалу, досить стійкий до атмосферної корозії. Причиною цього є утворення на поверхні алюмінію тонкої, але дуже щільної й еластичної плівки оксиду алюмінію, що оберігає метал від проникнення корозії в його масу. Подібні плівки (пасивуючі) утворюються на таких металах, як нікель, олово, свинець, хром і інші природнім шляхом.

Шар оксидів, що утвориться на поверхні металу чи інших з'єднань може чинити захисну дію тільки за умови, що він буде досить щільним, міцним і нерозчинним у воді. У протилежному випадку він не чинить захисної дії, прикладом чого може служити іржа, що виникає на чорних металах. Оскільки її шар є крихким і слабо пристає до металу, іржа не тільки не захищає основний метал від корозії, але внаслідок своєї рихлості прискорює її розвиток.

Захист від контактної корозії. При розробці конструкції приладів зустрічаються випадки, що коли деталі, які стикаються між собою, виготовляються з різних металів. При невдалому виборі контактуючих металів між ними може відбуватися електрохімічна взаємодія, що підсилює корозію одного з металів. Наприклад, частини корпусу приладу виготовлені з алюмінієвого сплаву і з'єднані між собою латунними гвинтами. Через велику різницю в значеннях нормальних потенціалів цих металів при несприятливих умовах утвориться гальванічна пара, в якій алюміній як метал із сильно вираженим негативним потенціалом буде швидко руйнуватися. Практично це приводить до роз'єднання різьбових гнізд в алюмінії і порушенню міцності кріплення.

При скріпленні деталей з алюмінієвого сплаву сталевими гвинтами, покритими тонким шаром цинку – металом, що стоїть в ряді напружень досить близько до алюмінію, контактна корозія значно послабляється, а при додатковому лакофарбовому захисті практично відсутня. У конструкціях необхідно прагнути до тому, щоб контактуючі метали були близько розташовані в ряді напружень.

Застосовувані у виробництві сполучення металів і сплавів можна розділити на недопустимі для практики пари, що приводять до посиленої корозії одного з металів, і допустимі, при яких посиленої корозії не спостерігається. До неприпустимих гальванічних пар можна віднести наступні:

а) алюміній і його сплави, що містять менше 2,5% міді, силумін, алюмінієво-цинковий сплав тощо – вуглецева сталь, нержавіюча сталь, нікель, мідь, свинець;

б) дюралюміній і алюмінієві сплави, що містять більш 2,5% міді, термічно оброблена – нержавіюча сталь, нікель, мідь, олово, свинець; в) сталь (крім високо хромистої), кадмій, цинк – нержавіюча сталь, нікель, хром, мідь, латунь, бронза.

При необхідності застосування недопустимих пар слід на контактуючі поверхні наносити анодне захисне покриття (цинкове чи кадмієве) або прокладати між дотичними деталями ізоляційні чи металеві прокладки, які усувають електрохімічну взаємодію пари. В якості таких прокладок застосовують: а) шар лаку, фарби, змащення; б) оксидний чи фосфатний шар; в) прокладка з пластмаси, ізоляційне полотно; г) цинкова чи кадмієва фольга.

Світлотехнічні покриття призначені для збільшення коефіцієнта відбивання у видимому спектральному діапазоні чи в окремих ділянках спектру оптичного випромінювання. На рис.9.1 показані залежності коефіцієнта відбивання від довжини хвилі для основних світлотехнічних металів.

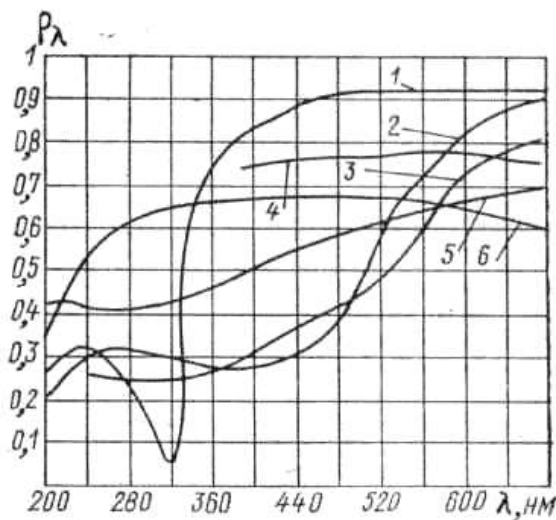


Рисунок 9.1 – Залежність коефіцієнта відбивання від довжини хвилі для різних металів: 1 – срібло; 2 – золото; 3 – мідь; 4 – родій; 5 – нікель; 6 – хром.

9.2. Покриття, отримані електрохімічним осадженням металів і сплавів (гальванопокриття)

Для отримання гальванопокрить використовують процеси гальваностегії – електролітичне осадження тонкого шару металу на металевій поверхні для захисту її від корозії, підвищення зносостійкості, з декоративною метою тощо.

Технологічний процес отримання гальванопокриття складається з таких операцій:

- 1) механічна підготовка поверхні;
- 2) травлення поверхні металу;
- 3) знежирення поверхні;
- 4) активація чи декапірування поверхні;
- 5) нанесення спеціального провідного шару (при покритті легких металів чи пластмас);
- б) електроосадження покриття;
- 7) спеціальна обробка покриття для покращення корозійних і функціональних властивостей;
- 8) полірування покриття.

1) Підготовка поверхні металевих виробів перед нанесенням гальванопокриття. Розрізняють механічні, хімічні і електрохімічні методи підготовки. Перед нанесенням антикорозійних (недекоративних) покриттів гальванічним шляхом підготовка поверхні зводиться до знежирення і травлення. Якщо ж наносяться захисно-декоративні покриття, то недостатньо видалити жири й оксиди. Потрібно провести ретельну механічну обробку із застосуванням тонких абразивів для одержання максимально гладкої поверхні. Така підготовка необхідна тому, що в процесі нанесення гальванопокриттів дефекти поверхні не тільки не зникають, але часто стають більш рельєфними, тому що густина струму і товщина покриття більші на мікровиступах, ніж у мікропоглибленнях. З усіх видів підготовки поверхні механічна підготовка сама трудомістка, і вартість її нерідко більша вартості нанесення самого покриття.

Механічне шліфування і полірування. При шліфуванні з поверхні виробів механічно знімаються нерівності металу. Неопрацьовану поверхню шліфують у кілька прийомів з поступовим переходом від крупнозернистого абразиву до дрібнозернистого, змінюючи напрямок шліфування, тобто наступне шліфування роблять під кутом до рисок, що залишилися від попереднього шліфування. При поліруванні згладжування поверхні відбувається в результаті деформації кристалів металу і стирання виступаючих часток. Крім того, при поліруванні поряд з механічним впливом велику роль відіграють хімічні процеси, що відбуваються при взаємодії оброблюваної поверхні з речовинами, що містяться в полірувальних пастах.

Як шліфування, так і полірування здійснюються за допомогою кіл. При шліфуванні застосовують кола з повсті, фетру, фібри, а також з бавовняної тканини – мусліну, парусини. На робочій поверхні кіл за допомогою казеїнового чи столярного клею зміцнюють абразивні матеріали, що мають високу твердість і ріжучу здатність. Полірування здійснюють за допомогою кіл із фланелі, фетру, вовняної чи тканини бязі, на які наносять тонкий шар полірувальної пасти, що складається з тонкого абразиву (окис хрому, вапно тощо), масляної зв'язки і спеціальних добавок. Для остаточної обробки виробів до одержання блискучої поверхні використовують безмасляні пасти і дуже тонкі абразивні матеріали. Для остаточної обробки виробів з алюмінію і нержавіючої сталі найчастіше використовують карборунд. Частота обертання кіл 1500 – 1800 об/хв.

Карцювка – процес обробки поверхні виробу обертовими щітками з тонкого дроту. Для видалення іржі, окалини та інших забруднень використовують сталевий дріт діаметром 0,25 мм.

Чистова обробка поверхні для додання їй матовості здійснюється за допомогою щіток з тонкої латунного чи нейзильберового дроту. Такі щітки застосовуються, зокрема, для обробки виробів з тонким гальванопокриттям, тому що вони зводять до мінімуму небезпеку ушкодження поверхні виробів. Карцовка звичайно виконується мокрим способом для покращення якості обробки поверхні. Під час роботи рідина (збовтана у воді пемза чи віденське вапно, слабкий розчин соди чи поташу) подається на щітку безупинно падаючими краплями з бачків, що підвішуються над верстатом. У деяких випадках змочують не щітку, а виріб, поміщаючи їх перед карцовкою у бачок з розчином. Якщо карцовка застосовується для остаточної обробки вже нанесеного на поверхню виробу гальванопокриття, то краще вживати чисту воду чи ж робити цю операцію сухим способом. На характер одержуваної поверхні металу впливає частота обертання щітки: чим вона більша, тим більше блискучою виходить поверхня металу.

Галтовка. Галтовкою називається операція, при якій у процесі руху великого числа деталей і тертя між ними відбувається згладжування поверхні – метал тече. Для видалення нерівностей деталі завантажують в обертовий барабан, де, перемішуючись, вони труться і дряпають одна одну краями. При цьому поверхня деталей не тільки вирівнюється, але й очищається від іржі й окалини. Кращі результати досягаються, коли поряд з виробами в барабані знаходяться також відповідні абразиви: шматки заліза, скло, обпилювання, наждак, пісок і ін. Для прискорення галтовки в барабан поряд із зазначеними матеріалами іноді вводять слабкі розчини кислот чи лугів, мильну воду і подібні компоненти залежно від виду металу оброблюваних виробів і роду абразиву. Ці розчини трохи зм'якшують різальну здатність абразивів і полегшують видалення окислів з поверхні виробів. Галтовка продовжується від 2-4 год. до кількох днів залежно від стану поверхні, маси оброблюваних предметів, матеріалу, з якого вони виготовлені, частоти обертання барабана тощо. Так, штамповані вироби обробляються 2-8 год., вилівка з латуні 10-15 год. Для обробки гвинтів і болтів, поверхня яких повинна бути блискучою, без загусенець, широко застосовується суха галтовка. Як абразивний матеріал у цьому випадку використовують обрізки шкіри, деревні обпилювання, вапняну крихту, глинозем і крокус.

2. Травлення. Застосовують для очищення поверхні деталей від окислів, іржі, окалини з метою виявлення структури основного металу. Травлення може здійснюватися хімічним і електрохімічним способами. *Хімічне травлення* чорних металів роблять переважно у водних розчинах сірчаної і соляної кислот.

Електрохімічне травлення продуктивніший процес у порівнянні з хімічним травленням. Воно здійснюється як на аноді, так і на катоді. У першому випадку травлення відбувається внаслідок розчинення металу, що є анодом, у другому випадку – за рахунок механічної дії на метал водню, що сильно виділяється на катоді. Після травлення необхідне енергійне промивання деталей спочатку холодною водою під душем, а потім гарячою водою.

Декапірування – це легке травлення полірованої поверхні, необхідне для видалення малопомітних оксидів з поверхні металу. Ця операція звичайно виконується безпосередньо перед нанесенням гальванопокриттів. Декапірування може здійснюватися хімічним і електрохімічним способами.

Для *хімічного декапірування* сталевих виробів застосовують 3 – 5% розчин

сірчаної чи соляної кислот. Мідні вироби декапірують у 5 – 10 % розчині сірчаної кислоти чи в розведених розчинах сірчаної й азотної кислот. Вироби з міді і її сплавів перед покриттям іноді обробляють у 3 – 4 % розчині ціаністого калію чи натрію. Для забезпечення доброго зчеплення нікелю з полірованою поверхнею міді чи сталі рекомендується проводити хімічне декапірування в розчині сірчаної і соляної кислот. Блискучий нікель краще декапірувати тільки в соляній кислоті. Алюміній і цинк декапірують у 3% розчині соляної кислоти.

Електрохімічне декапірування здійснюється постійним струмом на аноді в розчинах кислот при кімнатній температурі. Мідна поверхня декапірується на аноді в 3 – 4 % розчином ціаністого калію з добавкою 2 – 3 % вуглекислого калію чи натрію при кімнатній температурі з густиною струму 3 – 5 А/дм². При нанесенні хрому на сталеві вироби останні декапірують у тому ж електроліті, що застосовується для хромування. Для матування алюмінію застосовують 10 % розчин їдкового натру, насичений хлористим натрієм.

Всі операції хімічної й електрохімічної обробки металу закінчуються ретельним промиванням. Промивання здійснюється спочатку в холодній, а потім у гарячій (70 – 80 °С) воді.

3. Знежирення. Звичайне знежирення розділяють на хімічне, електрохімічне і знежирення в ультразвуковому полі.

Хімічне знежирення здебільшого є попередньою очисткою для наступного електрохімічного знежирення. Воно може здійснюватися вручну чи в спеціальних установках. При ручному знежиренні деталі протирають ватою, клоччям чи дрантям, змоченими в органічних розчинниках, або промивають деталі в цих розчинниках. У спеціальних закритих камерах знежирення здійснюється в парах над киплячим розчинником. Температура кипіння розчинників 50 – 87 °С. Їх підігрів здійснюється паровими змійовиками. У спеціальних установках здійснюється також струминне знежирення шляхом обробки поверхні виробу струменями одного чи двох розчинників, що видаляють різні види забруднень. Іноді в розчинники вводять дрібні пластмасові кульки, що чинять механічний вплив на нашарування, які складно усунути.

Електрохімічне знежирення проходить в лужних електролітах під струмом. Виріб навішують на катод чи анод. У деяких випадках виконують подвійне знежирення шляхом зміни полярності: спочатку обробляють виріб на катоді, а потім на аноді. У процесі електрохімічного знежирення пухирці газу, що виділяються на електродах (водню на катоді і кисню на аноді) емульгують на поверхні металу жири й масла. При зануренні покритого маслом металевого предмета в лужний електроліт відбувається розрив плівки масла і воно збирається в крапельки під дією сили поверхневого натягу. Дрібні пухирці газу, відриваючись від електрода, затримуються на поверхні розділу між краплею олії і розчину. З ростом пухирця за рахунок виділення нових порцій газу його піднімальна сила збільшується, крапля олії витягається і нарешті разом з пухирцем відривається від металу і піднімається на поверхню розчину. У такий спосіб відбувається очищення поверхні металу від жирових і масляних нашарувань. Підвищення температури електроліту і його перемішування прискорюють процес знежирення. Звичайно температуру електроліту підтримують у межах 60 – 80°С. Як другий електрод застосовують сталеві чи нікелеві пластини; останні менше забруднюють

електроліт. Відстань між електродами 5 – 15 см. Густина струму 5 – 10 А/дм². Ванни для лужних електролітів виготовляють з листової сталі.

Знежирення в лужних розчинах застосовується тільки для металів, що важко розчиняються чи зовсім не розчиняються в лугах, а саме для сталі, міді і її сплавів, нікелю тощо. Алюміній і його сплави легко розчиняються в лужних розчинах, тому їхнє знежирення в таких розчинах неприпустиме. У таких випадках обмежуються хімічним знежиренням в органічних розчинниках чи застосовують слабкі лужні розчини з лужних солей (вуглекислий натрій, вуглекислий калій, фосфорнокислий натрій і т.п.).

Недоліками електрохімічного знежирення є:

а) слабка розсіююча здатність лужних електролітів, внаслідок чого глибокі відбивачі чи інші вироби, що мають складну форму, не очищаються по всій поверхні; у западинах можуть залишатися жирові забруднення;

б) наводнення виробу на катоді. Водень, що виділяється на катоді, дифундує в метал, у результаті чого останній стає крихким. Наводнення особливо шкідливе для сталевих тонких виробів з вуглецевої сталі. Щоб уникнути цього явища, змінюють полярність, переключаючи вироби з катода на анод, або весь процес знежирення проводять на аноді, хоча швидкість знежирення при цьому трохи знижується.

Знежирення в ультразвуковому полі відбувається за рахунок збудження в рідині сильних коливань, що викликають явище кавітації. Явище кавітації полягає в тому, що в рідкому середовищі під впливом ультразвукових коливань спостерігаються періодичні стиснення і розрідження, що слідують одне за одним з ультразвуковою частотою. У період розрідження відбуваються розриви рідини з утворенням порожнин (пухирців), що заповнюються парами рідини і розчиненими в ній газами. При стисненні пухирці захлопуються, що супроводжується ударами. При цьому виникають місцеві тиски значної сили. Під впливом ультразвукового поля пухирці рухаються в різних напрямках, затримуючи забруднення на поверхні виробів. Частки забруднень переходять у зважений стан чи розчиняються в рідині. Ультразвукова обробка забезпечує високий ступінь очищення складних профільованих деталей, прискорює і здешевлює процес очищення.

Активація поверхні – процес усунення тонких плівок оксидів чи солей на поверхні деталей перед їх завантаження у гальванічну ванну чи при тимчасовому зберіганні та транспортуванні. Активація є хімічна та електрохімічна.

Хімічну активацію чорних металів проводять в 5-10% розчинах сірчаної чи соляної кислот або в їх суміші (3-5% кожної кислоти).

Електрохімічна активація може бути анодна або катодна в розчинах кислот чи кислот і солей.

Після активації деталі швидко і ретельно промивають у проточній воді.

9.3 Спеціальні способи електрохімічної обробки

Електролітичне полірування металів. Для одержання особливо гладкої дзеркальної поверхні з високим коефіцієнтом відбивання застосовують електролітичне полірування металів, що виконується після механічного полірування. Для підвищення коефіцієнта відбивання виробу після нанесення гальванопокрить також можуть бути піддані електрополіруванню. Поверхня

металу, що підлягає електрополіруванню, повинна мати шорсткість $R_a \gg 0,8$ мкм.

Суть електрополірування полягає в розчиненні на аноді виступів – дрібних шорсткостей, що залишаються після механічного полірування (так званих шорсткостей другого порядку).

При певній густині струму і концентрації електроліту поверхня анода покривається в'язким шаром, товщина якого перевищує висоту виступів. Якщо електричний опір цього шару буде вищий від опору основної маси електроліту, на виступах густина струму буде більшою, ніж у западинах, внаслідок чого виступи будуть розчинятися більш інтенсивно. Таким чином, у процесі електрополірування відбувається вирівнювання поверхні, а отже, підвищення коефіцієнта дзеркального відбивання (рис. 9.2).

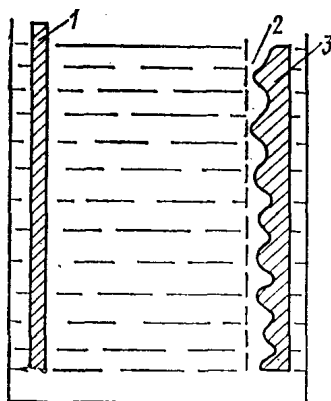


Рисунок 9.2 – Схема утворення в'язкого шару в аноді при електрополіруванні:

1 – катод; 2 – в'язкий шар; 3 – анод.

Для електрополірування застосовують такі електроліти, що можуть утворювати зазначений вище в'язкий анодний шар, що робить метал пасивним у западинах і активним на виступах. Крім того, до електроліту ставляться такі вимоги: під час відсутності струму він не повинний роз'їдати метал деталі, він повинний забезпечувати позитивні результати в широкому діапазоні густини струму, бажано, щоб густина струму і напруга не були надмірно великими.

Захист полірованої поверхні алюмінію (оксидування). Для захисту об'ярченої поверхні алюмінію від корозії і для підвищення твердості її піддають оксидуванню в 15 % розчині сірчаної кислоти на аноді при наступному режимі: густина струму $0,8 - 1$ А/дм², напруга 16 – 25 В; температура електроліту 24 – 27 °С. Катодом служать свинцеві пластини. У результаті такої обробки на поверхні алюмінію утвориться оксидна прозора плівка, товщина якої залежить від тривалості процесу оксидування. Оксидна плівка володіє великою абсорбційною здатністю, добре просочується різними барвниками, олією, лаками і т.п. Цю властивість оксидного шару іноді використовують для заповнення пор і усунення тим самим гігроскопічності плівки. Однак найефективнішим способом ущільнення пор оксидної плівки є витримка виробу протягом 30 хв у киплячій воді, що має значення водневого показника рН=5,5 – 6,0.

Одержання дифузновідбиваючої поверхні. Для одержання гладкої однорідної дифузновідбиваючої поверхні алюміній тільки шліфують. Після знежирення відбивач травлять у 5 % розчині борофтористо-водневої кислоти при температурі 50 – 60°С. Коли вся поверхня придбає необхідний ступінь матування, відбивач переносять на 30 – 40 с у 50 % розчин азотної кислоти при кімнатній

температурі. Після ретельного промивання в холодній воді відбивач піддається об'ярченню і всій наступній обробці, яка застосовується для одержання дзеркальної поверхні алюмінію.

9.4 Електроосадження металевих покриттів

При розчиненні у воді солей кислот чи розчинів складних комплексних сполук (ціанідів) молекули цих речовин дисоціюють на іони. Кількість катіонів і аніонів у розчині однакова, тобто він є електрично нейтральний. Розчини, які можуть проводити електричний струм, називаються електролітами. При пропусканні струму через електроліт катіони переміщуються до катоду, де, отримавши додатковий заряд, перетворюються в нейтральні атоми, що утворюють кристалічну решітку покриття. Разом з металом біля катоду виділяється водень, який дифундує у поверхню катоду, що викликає його окрихчення. Аніони переміщуються до аноду. Якщо анод виготовлений з досить активного металу, то розряд відбувається тільки біля катоду, а анод віддає іони в розчин і під час електролізу розчинається.

На рис. 9.3 подано схему електрохімічного осадження металу на деталь. Деталь у цьому процесі є катодом, на який осаджується метал з електроліту. Аноди бувають розчинні і нерозчинні. Розчинні аноди виготовляються з металу покриття. Нерозчинні електроди використовуються при хромуванні, золоченні, паладіюванні. Метали покриття у цьому випадку знаходяться тільки у складі електроліту. Аноди виготовляються у вигляді пластин, овалів, куль.



Рисунок 9.3 – Схема електролітичного осадження металу на деталь.

Електролітичне осадження металів проводиться у ваннах різної конструкції, виготовлених у залежності від складу електроліту з різних матеріалів. Ванни під кислі електроліти зварюють звичайно зі сталі товщиною 3 – 6 мм й обкладають зсередини листовим вініпластом (3 – 8 мм) чи свинцем. Для ціаністих електролітів застосовують сталеві ванни. Ванни мають електричний або паровий обігрів.

Покриття виробів дорогоцінними металами, як правило, роблять у скляних чи керамічних ваннах, що забезпечують необхідну чистоту електролітів. При необхідності підігріву електроліту ванни виготовляють з подвійними стінками, між якими заливається вода і є трубчасті підігрівники.

На бортах ванн розміщують латунні штанги, що приєднуються до позитивного і негативного полюсів постійного струму. На штанзі завішують підвіски з виробами, що покриваються, і аноди. Для поліпшення структури осадів ванни постачають фільтруючими пристроями.

Покриття дрібних деталей (болтів, гвинтів, гайок, штифтів тощо)

здійснюється в спеціальних обертових барабанах, що занурюються у ванни з електролітом. Барабан у найпростішому вигляді являє собою циліндричний чи багатогранний короб з перфорованими стінками з ізоляційних пластиків. Усередині нього розташовані металеві контакти, до яких доторкаються насипані в барабан деталі, що підлягають покриттю. Ці контакти через осі з'єднані з катодом. Аноди у вигляді пластин чи стержнів знаходяться зовні барабана у ванні з електролітом. За допомогою ручного чи механічного пристрою барабан опускають в електроліт і виймають з нього. Обертання барабана навколо горизонтальної осі здійснюється через редуктор від електродвигуна.

Ванни живляться від низьковольтних генераторів постійного струму, що приводяться в обертання асинхронними електродвигунами. Такого роду електромашинні перетворювачі виготовляються на напругу 220 – 380 В змінного струму і 6 – 12 В постійного струму. Для деяких електрохімічних процесів, наприклад для електролітичного полірування й оксидування, потрібна вища напруга, ніж для звичайних гальванічних процесів. У цих випадках застосовуються спеціальні генератори, що працюють у широкому інтервалі напруг.

9.5 Вплив складу електроліту і режиму роботи гальванічних ванн на структуру осаду

Структура осаду залежить від *природи електроліту*. У промисловості використовують в основному електроліти двох типів: кислі електроліти та основи переважно сірчаноокислих солей і ціаністі електроліти на основі комплексних ціаністих солей. Кожний з цих електролітів має як переваги, так і недоліки. З кислих електролітів осади отримуються із крупнокристалічною структурою, з ціаністих електролітів – з дрібнокристалічною. Кислі електроліти допускають вищу густину струму в порівнянні з ціаністими. За розсіюючою здатністю перевагу мають ціаністі електроліти, що дозволяють одержувати рівномірний по товщині шар осаду на поверхні дуже глибоких виробів. Серйозним недоліком ціаністих електролітів є їхня отруйність. При роботі з цими електролітами необхідні запобіжні заходи: добра вентиляція, спеціальний одяг, запобігання від розбризкування і т.п.

На структуру осаду істотний вплив має *густина струму*. При дуже низьких її значеннях спостерігається крупнокристалічна структура. З підвищенням густини струму кристали стають усе дрібнішими. Але по досягненні деякого оптимального значення густини струму (для кожного електроліту при певній температурі) починається зростання кристалів. При дуже великій густині струму, особливо в холодних електролітах при відсутності перемішування, осади стають рихлими. Крім того, відбувається зниження виходу по струму. Оптимальні значення густини струму вибираються в залежності від складу електроліту, його концентрації, температури, наявності перемішування й інших умов.

Одним з важливих факторів, що впливають на процес нанесення гальванопокриття, є *температура електроліту*. Її підвищення при інших незмінних умовах веде до росту кристалів, але разом з тим дає можливість збільшувати робочу густину струму, що сприяє зменшенню розмірів кристалів. Таким чином, підвищення температури і густини струму дозволяє одержувати осади дрібнокристалічної структури і прискорювати процес осадження металу.

Електроліти, що працюють при підвищених температурах (40 – 60°C), звичайно мають велику концентрацію основної солі.

Позитивний вплив на структуру осаду має *перемішування електроліту* з одночасною його *фільтрацією*. Перемішування вирівнює густину електроліту у верхній і нижній частинах ванни. При фільтрації з електроліту видаляються забруднення, що сильно погіршують якість осаду, роблячи його шорсткуватим, пористим, а при тривалому осадженні – шишкуватим з губчатими наростами. Перемішування електроліту здійснюється механічними мішалками чи стиснутим повітрям. Останній спосіб застосовується для кислих електролітів, хімічний склад яких не змінюється під дією кисню і вуглекислоти повітря. Перемішування стисненим повітрям ціаністих електролітів неприпустиме.

У виробництві металевих відбивачів особливий інтерес представляють процеси утворення блискучих осадів, що володіють високим коефіцієнтом відбивання. Одержання дзеркальної поверхні відбивача безпосередньо в гальванічній ванні усуває необхідність його механічного полірування. Блискучі осадки виходять в електролітах, що містять деякі органічні добавки – так звані *блискоутворювачі*. Результати численних металографічних досліджень показують, що блиск осаду отримується за рахунок зменшення розмірів кристалів, згладжування їхньої поверхні, збільшення однорідності і щільності розташування кристалів. Найуспішніше вдається одержувати блискучі осадки нікелю. Позитивний вплив на якість осадів має *зміна полярності на електродах*. Зміна напрямку струму кілька разів у хвилину при витримці виробу, що покривається, на аноді протягом часток секунди дає можливість одержати осад світліший і щільніший з гладкішою поверхнею.

9.6 Технологія нанесення покриттів осадженням у вакуумі

Метод вакуумної металізації оснований на осадженні на поверхню деталі молекулярного потоку, що утворюється при швидкому нагріванні у вакуумі осаджуваного металу до температури його випаровування. У даний час завдяки розробці потужних випарних систем стало можливим одержання у вакуумі плівок покриттів товщиною до 1 мм із нікелю, молібдену, міді, срібла, хрому й інших металів.

Оскільки плівка металу, що наноситься у вакуумі, точно копіює всі мікронерівності поверхні, то при осадженні її безпосередньо на металеву підкладку не можна одержати відбивачі з коефіцієнтом відбивання вище 0,4 – 0,45. Крім того, необхідно враховувати, що адгезійна здатність алюмінію до сталі дуже низька, і таке покриття виходить неміцним. Для усунення цих недоліків на метал наносять як підкладку в один чи кілька шарів емаль і лак, що майже цілком усувають мікронерівності на поверхні відбивача (рис. 9.3).

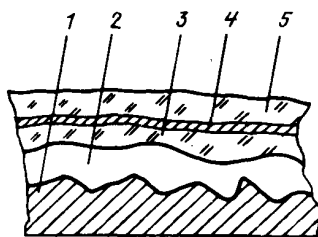


Рисунок 9.3 – Розріз відбивача.

На метал відбивача 1 наноситься шар емалі 2. Потім наноситься шар лаку 3 для створення гладкої глянсової поверхні з високим коефіцієнтом дзеркального відбивання і для підвищення адгезійних властивостей алюмінієвої плівки. Відбиваючий шар являє собою плівку 4 алюмінію, нанесену у вакуумі, товщиною 0,1 – 0,3 мкм, що звичайно захищається шаром лаку 5.

Технологічна схема нанесення покриттів осадженням у вакуумі полягає у наступному:

1. Підготовка перед нанесенням:

- а) знежирення в розчині уайт-спіріту протягом 2 хв;
- б) промивання в гарячій, потім у холодній проточній воді;
- в) промивання в розчині натрієвого хромпіка (концентрація 1-1,5 г/л);
- г) сушіння при температурі 80-100°С;
- д) фарбування емаллю марки В-418 способом занурення при температурі 18-20°С;
- е) сушіння протягом 50 хв при температурі 200° С;
- ж) лакування способом занурення (лак марки УВЛ-3). Температура деталей перед зануренням 60-80°С. Час спікання лаку 15 хв;
- з) сушіння при температурі 90-130° С протягом 30-мін.

2. Підготовка випарників до роботи:

- а) приготування вольфрамового дроту;
- б) підготовка алюмінієвої фольги;
- в) обмотка джгутів вольфрамового дроту фольгою.

3. Обробка відбивачів електричним розрядом в інертному газі протягом 3 – 4 хв при напрузі 2,5 – 3 кВ і струмі 50 – 100 мА.

4. Електроосадження матеріалу покриття у вакуумі.

5. Закріплення і захист покрівельного шару.

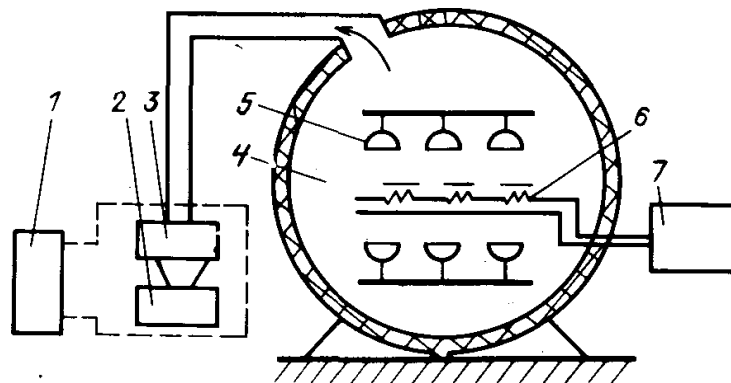


Рисунок 9.4 – Схема камери вакуумної металізації.

Принципова схема установки (камери) для вакуумної металізації приведена на рис. 9. 4. Попередньо знежирені відбивачі 5 з нанесеною емалево-лаковою підкладкою завантажуються в камеру 4 на спеціальних кронштейнах. Вакуумування камери здійснюється відкачувальною системою, що складається з механічного насоса 2 і дифузійного паромасляного насоса 3. Для скорочення часу вакуумування камери в систему входить холодильна установка 1, що складається з конденсатора глибокого охолодження, встановлюваного між масловловлювачем і високовакуумним вентиляем, що створює тиск $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, що дозволяє відкачувати частки зовсім сухого, вільного від водяної пари повітря. Відкачування

повітря проводять через патрубок, розташований у верхній частині камери. Після досягнення необхідного розрідження на нагрівальні спіралі 6, на яких укріплена хімічна алюмінієва (чи інший матеріал) фольга, подається напруга від блоку живлення 7. Під впливом високої температури фольга розплавляється і метал випаровується, осідаючи і конденсуючись на робочій поверхні відбивача.

Система вакуумування. Застосовуються вакуумні камери з робочим об'ємом 0,25 – 3 м³, для відкачування повітря, в який переважно використовуються механічні насоси типу ВН-1, ВН-6М, а також дифузійні насоси типу Н-2Т, Н-5Т й ін.

Система іонного очищення. Цією системою обладнують вакуумні установки для очищення відбивачів перед нанесенням покриттів. Система являє собою один чи кілька спеціальних електродів (катодів), розміщених всередині камери. Анодами є відбивачі. Після вакуумування камери на електроди подають постійну (1 – 2 кВ) чи змінну (2 – 3 кВ) напругу, що викликає появу в камері іонного розряду. Електрони в тліючому розряді набувають значно більших швидкостей, ніж позитивні іони, внаслідок чого поверхня відбивача здобуває негативний заряд, і позитивні іони під дією сил притягання бомбардують її, випалюючи сторонні домішки. Час очищення 20 – 30 с. Під дією іонного бомбардування відбувається деяке підвищення тиску в камері, тому після очищення продовжують відкачування до одержання залишкового тиску не більше 10 мПа.

Система випаровування служить для нагрівання розпилюваного металу до температури його випаровування. Випарники можуть бути віднесені до двох груп: 1) випарники з тугоплавких металів (нитковидні провідні і стрічкові з листового матеріалу); 2) тигельні випарники з оксидів металів і вугілля. Для виготовлення випарників нитковидних і стрічкових застосовують метали, що володіють високою температурою плавлення і низькою леткістю.

9.7 Лакофарбові покриття

У виробництві електричних приладів рідинне фарбування є одним з основних видів покриттів, причому переважне поширення одержало фарбування емалями і лаками, що утворюються після тверднення і висихання безбарвної чи забарвленої плівки, що служить як для захисту виробу від атмосферних впливів, так і для створення спеціальних (світлотехнічних) і декоративних покриттів. До складу лакофарбових матеріалів входять різні плівкоутворюючі речовини (природні чи синтетичні смоли), пластифікатори, розчинники, пігменти, наповнювачі та сикативи (речовини, що пришвидшують висихання фарби: солі Mn, Ba, Ca і т.п.).

Для фарбування електричних приладів переважне поширення одержали гліфталеві, меламінні, сополімерно-акрилові, перхлорвінілові емалі.

Нанесення лакофарбових покриттів на поверхні деталей електротехнічних виробів здійснюється для захисту від руйнівних факторів, якими є:

- 1) проникнення вологи;
- 2) проникнення хімічних реагентів (кислот, лугів, масел, бензину) при використанні виробів в деяких виробництвах;
- 3) механічна дія;
- 4) накопичення пилу та створення бруду на поверхні деталі.

У виробництві світлотехнічних приладів лакофарбові покриття застосовуються також для створення певних оптичних характеристик. У сучасному виробництві найчастіше застосовуються білі світлотехнічні емалі на основі білого пігменту алюмінату цинку. Широко застосовуються емалі МЛ-242 ($\rho=0,7-0,8$), МЛ-290 ($\rho=0,85$), емалі для експлуатації світильника в умовах тропічного клімату на основі акрилових смол АК-1102 ($\rho=0,85$), АК-2111, ($\rho=0,85-0,87$), АС-1166 ($\rho=0,870,88$).

Для захисту світлотехнічних покриттів від впливу атмосфери й агресивних середовищ, для одержання підкладок під дзеркальні покриття і з метою посилення декоративного ефекту у виробництві світлових приладів широко застосовуються різні лаки гарячого й атмосферного сушіння. Для покриття відбивачів застосовуються органічні лаки (розчини синтетичних смол) без будь-якого наповнювача, оскільки наповнювачами є тверді нерозчинні в них речовини у вигляді дрібних часток, що приводить до появи нерівностей у відбиваючому шарі, розміри яких більші від довжини хвилі видимого світла. Це викликає розсіяне відбивання, що є недопустимим для дзеркальних відбивачів.

Якість лакофарбового покриття в значній мірі залежить від якості підготовки поверхні деталі під фарбування, оскільки на ній завжди є забруднення – залишки консервантів і мастильних речовин, сліди корозії і т.п. Крім того, лаки та емалі не мають доброї адгезії з металевими поверхнями. Для підвищення міцності і стійкості покриттів застосовують ґрунтовки як проміжний шар між металевою деталлю та лакофарбовим покриттям. Завдяки особливим плівко утворюючим речовинам і пігментам, що входять до складу ґрунтовки, вони володіють доброю адгезією як до металевої поверхні, так і до емалі.

9.7.1 Підготовка поверхні до нанесення лакофарбових покриттів

Поверхню деталей перед фарбуванням різними способами очищають і ґрунтують.

Очистка поверхні проводиться механічними і хімічними способами.

До *механічних способів* відносяться карцевання, дробоструминне і піскоструминне очищення.

До *хімічних способів* очистки поверхні відносять травлення, знежирення і фосфатування (оксидування). Вибір способу хімічного очищення визначається видом забруднення, необхідним ступенем очищення і його вартістю. Для металевих деталей розрізняють два ступені забруднення поверхні. До першого ступеня відносяться поверхні, що мають тонкий шар мінеральних олій, сліди емульсії, змашень, до другого – поверхні з товстими шарами консервуючих речовин, забрудненнями, що складно видалити та ін. Тривалість очищення залежить від ступеня і виду забруднення, способу очищення, робочої температури і складає звичайно 10–20 хв.

Травлення – обробка поверхні металу розчинами кислот і кислих солей. Суть травлення визначають хімічні реакції між кислотами й оксидами металів, при яких виділяється водень, що частково поглинається металом. Для травлення деталей з чорних металів застосовують сірчану і фосфорну кислоти, а для деталей з кольорових металів – суміш азотної і соляної кислот.

Одним з недоліків травлення є необхідність нейтралізації і спеціальної

обробки стічних вод, тому травлення по можливості прагнуть замінити знежиренням.

Знежирення – видалення з поверхні виробів масляних речовин, емульсійних рідин, солей, інших забруднень. Для цього використовуються органічні розчинники, лужні розчини і синтетичні розчинники. Органічні розчинники здебільшого є вибухо- і пожежонебезпечними, тому їхнє застосування обмежене мірами безпеки. Лужні розчини, що містять поверхнево-активні речовини, знайшли ширше застосування. При лужному знежиренні відбувається омилення і емульгування масляних забруднень, що легко видаляються водою.

Якщо з поверхні деталі одночасно з забрудненнями необхідно видалити оксидні плівки, то застосовують кислі розчини на основі фосфорної кислоти. Робоча температура 20-25°C, час обробки 10-25 хв. Збільшення часу обробки більше 20 хв. недоцільне, у таких випадках необхідно змінити склад розчину.

Синтетичні розчинники ефективні, однак вони відносно дорогі і токсичні. У світлотехнічному виробництві застосовуються: трихлоретилен, перхлоретилен, хлористий метилен і ін.

При підготовці поверхні деталей СП до фарбування застосовується також *емульсійне знежирення* – комбінований спосіб, що поєднує переваги органічних розчинників і водних лужних розчинів. Емульсійні суміші – це водні емульсії розчинників, стабілізовані поверхнево-активними речовинами.

Оксидування і фосфатування – це одержання на поверхні деталі захисних плівок, що сприяють гарній адгезії лакофарбових матеріалів. *Оксидуванню* піддаються переважно деталі світлових приладів, виконані з кольорових металів – алюмінію, міді і сплавів на їхній основі. Обробці піддаються деталі після знежирення, спочатку їх травлять у розчинах лугів, потім у слабкому розчині азотної кислоти. Оксидування чорних металів здійснюється в розчинах слабких чи кислот лугів при 100-180°C. Часто для цих цілей застосовуються розчини їдкового натрію або хромову, щавлеву і сірчану кислоти.

Фосфатуванню піддаються деталі з чорних металів. Суть процесу зводиться до одержання на поверхні деталі плівки, що складається з нерозчинних солей марганцю, цинку, заліза і поліпшує адгезію лакофарбового покриття. Крім того, при місцевому ушкодженні лакофарбової плівки і фосфатного шару поширення іржі локалізується, у той час як на нефосфатованому металі іржа швидко поширюється по поверхні під плівкою фарби.

Після фосфатування деталі промивають у холодній воді, потім пасивують поверхню в розчині 0,2 г/л хромового ангідриду при 45-50°C протягом 0,5-1 хв. Іноді проводять обробку в розчині біхромату калію чи біхромату натрію, після чого деталі промивають і сушать при температурі 110-115°C в сушильних камерах протягом 3-5 хв.

Грунтування – операція нанесення першого міцнозчепленого шару покриття на підготовлену поверхню перед фарбуванням.

Грунт повинний мати найкращу адгезію до поверхні металу, а також до наступних шарів основного покриття. У світлотехнічному виробництві найбільше поширення знайшли грунтовки марок МЧ-042, ФЛ-ОЗК, ГФ-020 й інші. Доцільним є застосування спеціальних протикорозійних грунтовок марок СПК-1, ГСК-1, які застосовуються самостійно чи разом із грунтовками ГФ-020 і ХС-068.

Оптимальною ґрунтіркою з добрими захисними властивостями при фарбуванні матеріалів зі слідами іржі є ґрунтовка марки ВА-0112.

9.7.2 Способи нанесення лакофарбових покриттів

Всі способи фарбування, що застосовуються у світлотехнічному виробництві, можна розділити на дві групи – фарбування розпиленням і фарбування зануренням (обливанням)

Фарбування розпиленням.

Пневматичне розпилення є одним з найбільш розповсюджених способів фарбування деталей світлових приладів. Цим способом можна наносити матеріали на основі майже усіх видів плівкоутворювачів на виробі всіх груп складності. Продуктивність фарбування пневморозпиленням досить висока, якість покриття задовільна. Недоліками цього способу є значні втрати лакофарбових матеріалів на туманоутворення (до 50%); висока токсичність і внаслідок цього необхідність застосування фарбувальних камер із пристроями витяжки й очищення забрудненого повітря; пожежонебезпека; значна витрата розчинників для розведення лакофарбових матеріалів до робочої в'язкості. Якість покриття при цьому способі в значній мірі визначається ступенем очищення стиснутого повітря, оскільки наявність вологи і масел викликає брак. Тому повітря, що надходить від пневмосуміші, піддається очищенню в спеціальних масловідділювачах.

Фарбування пневморозпиленням здійснюється у фарбувальних камерах, які обладнуються різними пристроями вентиляції, водяними завісами і т.п. Найбільше поширення при фарбуванні світлових приладів одержали тупикові камери періодичної дії і прохідні камери безупинної дії.

Безповітряне розпилення полягає у розпиленні лакофарбового матеріалу без стиснутого повітря під впливом високого гідростатичного тиску, створюваного у внутрішній порожнині розпилюючого пристрою, що витісняє матеріал через отвір сопла. Установка безповітряного розпилення (рис. 9.5) працює в такий спосіб. З бачка 1 фарба насосом 4 через нагрівник 5 подається до розпилювача 6. Невикористана частина фарби скидається під тиском через систему шлангів 2 і зворотний клапан 3 у бачок. У такий спосіб створюється безупинна циркуляція фарби, необхідна для підтримки постійної температури і тиску на розпилювачі. Даний спосіб має істотні переваги перед пневматичним розпиленням: зменшення витрати лакофарбових матеріалів на 20 – 25% завдяки зменшенню втрат на туманоутворення; зниження витрат на експлуатацію розпилюючих камер через легше очищення; поліпшення умов праці й ін.

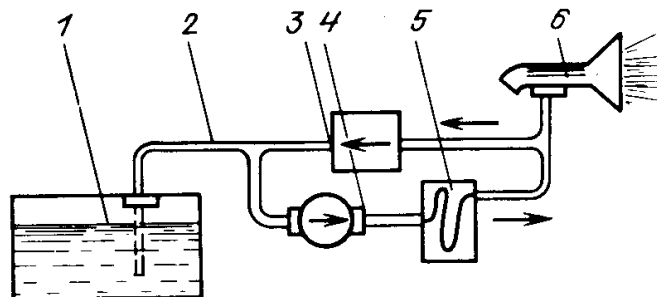


Рисунок 9.4 – Схема установки безповітряного розпилення.

Фарбу підігрівають у замкнутій системі до 70 – 100°C і під тиском 4 – 6 МПа подають до розпилювача. Оскільки при виході фарби із сопла в атмосферу

відбувається перепад тисків від 4 – 6 до 0,1 МПа, то при цьому різко збільшується об'єм і подрібнення часток фарби. Оскільки факел розпилюваної фарби захищений від навколишнього середовища оболонкою парів розчинника, то туман не утвориться.

Фарбування в електростатичному полі є основним способом нанесення лакофарбових покриттів на деталі електроприладів. Спосіб базується на перенесенні заряджених часток емалі в електростатичному полі високої напруги, створюваному між системою коронуючих електродів-розпилювачів і виробами, що фарбуються. Частки фарби, здобуваючи заряд, рухаються вздовж силових ліній електричного поля і осаджуються на поверхні деталі. Звичайно коронуючий електрод підключають до негативного полюса (фарба матеріал при цьому одержує негативний заряд), а виріб – до позитивного полюса джерела високої напруги. Конвеєр, як правило, заземлюють. Схема електростатичних розпилювачів приведена на рис. 9.6. На рухомий заземлений конвеєр 3 навішуються деталі 2, що, проходячи між чашками-фарборозпилювачами 1, піддаються фарбуванню. Фарба до чашок-фарборозпилювачів подається з бачка 4. Для збільшення хмари фарби і, відповідно, площі фарбування чашки-фарборозпилювачі обертаються навколо своєї осі, розкидаючи частки фарби під дією відцентрової сили. Звичайно у фарбувальній камері знаходиться по дві чашки-фарборозпилювачі з кожної сторони виробу, що фарбується. Міжелектродна відстань 200 – 300 мм. Напруга, створювана на чашках-фарборозпилювачах, – до 80 кВ.

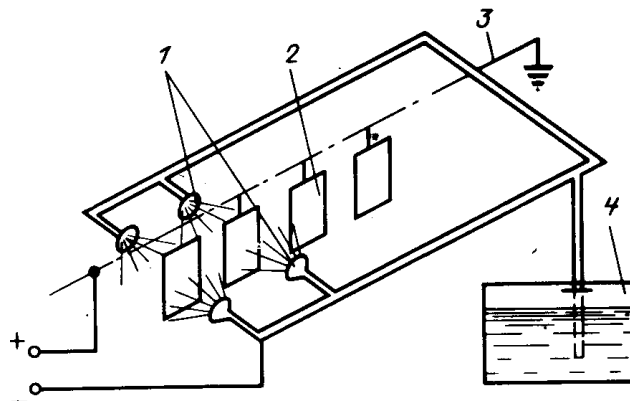


Рисунок 9.5 – Схема електростатичного фарбування.

Фарбування зануренням

Занурення у ванну є досить продуктивним і простим процесом. Занурення широко застосовується при лакуванні виробів. Цей спосіб може бути приміненний тільки до виробів обтічної форми, на яких при вивантаженні з ванни не затримується фарба. При фарбуванні зануренням вироби занурюють у ванну на визначений час, потім виймають, дають можливість фарбі стекти і направляють на сушіння. Для одержання покриття потрібної якості необхідно правильно вибирати в'язкість лакофарбового матеріалу. Перевагами цього способу є його простота і відсутність необхідності застосування дорогого устаткування. Недоліками є значне випаровування матеріалу, натікання фарби при зливі і нерівномірність покриття. Змінюючи склад і в'язкість фарби можна одержувати покриття товщиною 30-40 мкм і більше. В'язкість фарби впливає не тільки на товщину покриття, але і на швидкість її стікання з пофарбованої поверхні, змінюючи товщину покриття. Із збільшенням швидкості піднімання виробу з ванни товщина плівки збільшується.

Процес фарбування способом занурення легко піддається механізації й автоматизації, тому в зоні підвищеної концентрації парів розчинника людина не присутня. Для поліпшення якості покриття застосовуються спеціальні прийоми, наприклад, встановлення над лотком стікання фарби металевої сітки, зарядженої позитивно. Конвеєр одержує негативний заряд, і між виробами і сіткою утвориться електричне поле, що стягає негативно заряджені краплі фарби з виробу. Застосовується також технологія фарбування зануренням з витримкою в парах розчинника. Під час витримки відбувається вирівнювання товщини покриття завдяки більш інтенсивному видаленню надлишків фарби в нижній зоні виробу.

Фарбування електроосадженням (електрофорез) – перспективний спосіб одержання покриттів водорозчинними емалями. Суть цього способу полягає в осадженні плівкоутворюючого матеріалу з водного розчину на виріб за допомогою постійного електричного струму.

Схема фарбування електроосадженням приведена на рис.9.7.

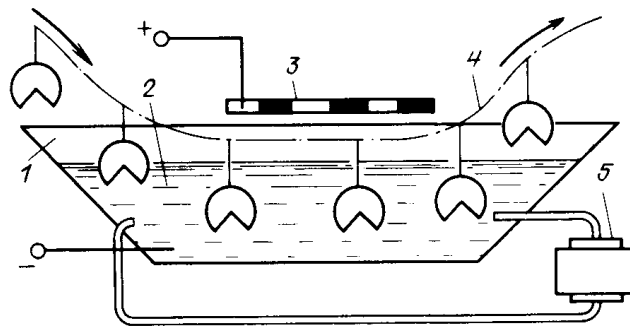


Рисунок 9.7 – Схема фарбування електроосадженням.

Вироби підвішуються на конвеєр 4 і подаються у ванну 1, виготовлену з нержавіючої сталі, яка є негативно зарядженим електродом – катодом. Іноді для поліпшення якості покриття у ванну вводять додаткові катоди (вугільні чи сталеві стержні) і аноди – у вигляді сітки 3, а також створюють примусове перемішування фарби за допомогою насоса 5. Конвеєр і підвішені на ньому вироби мають позитивний заряд, що створюється генератором постійного струму. У ванні створюється електричне поле, під дією якого частки фарби 2 спрямовуються до виробу й осаджуються на ньому. На початку процесу електроосадження зафарбовуються ділянки поверхні, на яких градієнт напруженості силового електричного поля максимальний – краї, виступи і т.д. У міру того як ці ділянки покриваються шаром фарби, зростає ізолююче дія нанесеного шару і починають профарбовуватися інші частини поверхні виробу. У результаті на виробі утвориться щільна беспориста плівка покриття однакової товщини. Встановлено, що при електрофорезі протікають процеси осмосу, при цьому вода витісняється з осаду, у результаті чого частки фарби ущільнюються і міцно прилипають до поверхні деталі.

Показники режиму електрофорезу уточнюються дослідним шляхом. Звичайно густина струму складає $0,2 - 0,6 \text{ А/дм}^2$, робоча температура ванни $20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$, час електроосадження $1 - 3 \text{ хв}$. Товщина одержуваного при цьому покриття $15 - 30 \text{ мкм}$. Кращі результати дає фарбування сталевих виробів, трохи гірше – алюмінієвих. Погано фарбується цинк. Рекомендоване значення постійної напруги при фарбуванні сталевих деталей складає $15 - 30 \text{ В}$, алюмінієвих – від 100 до 120 В . Після осадження покриття вироби промивають водою і піддають сушінню

при 120 – 200°C з попередньою витримкою пофарбованих виробів на повітрі протягом 20-25 хв.

Струминне обливання. Цим способом фарбуються вироби, до яких пред'являються невисокі вимоги до якості обробки. Принципово фарбування обливанням мало відрізняється від фарбування зануренням. Суть цього способу (рис. 9.8) полягає в тому, що вироби на конвеєрі 2 надходять у фарбувальну камеру 3, де їх обливають фарбою зі спеціальних форсунок 4. Надлишок фарби стікає по лотку в резервуар, звідки насосом 1 через фільтри знову подається до форсунок. Система вентиляції, що включає в себе патрубки 6 і вентилятор 5, забезпечує безупинну циркуляцію парів розчинника в тунелі 7. Пари відсмоктуються з фарбувальної камери 3, а також з початку зони стікання в тунелі і повертаються у верхню частину кінця тунелю. Надлишки парів викидаються в атмосферу. Концентрація парів регулюється спеціальним автоматичним дроселем-клапаном.

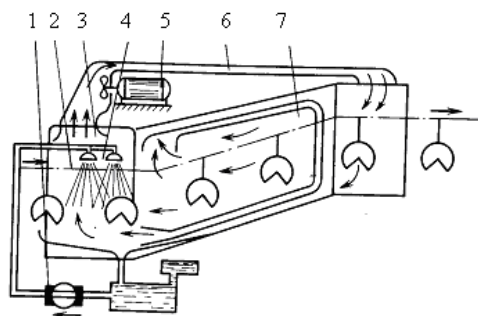


Рисунок 9.7 – Схема фарбування способом струминного обливання.

Вхідний і вихідний тамбури мають повітряні завіси для того, щоб запобігти попаданню парів розчинника в приміщення цеху. Паровий тунель має нахил 10 – 15° для полегшення стікання фарби.

Спосіб струминного обливання з витримкою в парах розчинника, званий Flow-quarting дозволяє одержувати покриття порівняно високої якості, але не декоративні. Тривалість обливання складає 1 – 2 хв, час витримки в парах розчинника для ґрунтів 8 – 10 хв і для емалей 12 – 14 хв. Товщина покриття може досягати 60 мкм. Чим довше перебуває виріб у парах розчинника і чим більша їхня концентрація, тим тоншою утворюється плівка покриття. Концентрація парів розчинника встановлюється на 50 % менша, ніж нижня межі вибуховості. Робоча температура при фарбуванні 20 – 25 °С. Після витримки в парах розчинника вироби транспортуються в терморадіаційну сушильну піч, де при 150 – 160 °С відбувається остаточне сушіння виробу.

До переваг струминного обливання відносяться: можливість одночасного фарбування виробів різної конфігурації, відносно висока якість покриття, відсутність громіздкого устаткування і незначна потреба у виробничих площах, висока продуктивність і повна автоматизація процесу. До недоліків відносяться значні втрати розчинника через багаторазову циркуляцію лакофарбового матеріалу, складність заміни кольору лакофарбового матеріалу, необхідність частого очищення конвеєра через обростання фарбою.

9.7.3 Сушіння лакофарбових покриттів

Після нанесення на поверхню деталі шару лакофарбового покриття сушать для того, щоб видалити з поверхні зайвий розчинник і одержати плівку покриття з

заданими світлотехнічними і фізико-механічними параметрами. Розрізняють природне сушіння при температурі навколишнього середовища 15 – 25 °С і штучне при 100 – 200°С. Для матеріалів, у яких плівка утвориться в результаті випаровування і видалення летучих речовин, більш прийнятне природне сушіння. Процес природного сушіння протікає порівняно повільно – від кількох годин до кількох днів, у середньому 18 –24 год. При проведенні природного сушіння температура в приміщенні повинна бути не нижче +12°С; відносна вологість повітря не вище 65 %. Для матеріалів, у яких процес висихання протікає складніше у дві фази (випаровування і видалення, а потім складні процеси окислювання, конденсації і полімеризації), застосовується штучне сушіння в спеціальних нагрівальних печах.

Штучне сушіння протікає значно швидше – від кількох хвилин до 1 – 2 год. Інтенсивність і рівномірність сушіння визначається конструкцією пофарбованого виробу: шар покриття, нанесений на товстостінні металеві вироби, висихає значно повільніше, ніж на тонкостінних виробках. Через значне поглинання тепла товстостінним виробом наростання температури на його поверхні протікає уповільнено.

За конструктивними ознаками сушильні печі поділяють на печі періодичної і безупинної дії. За способом нагрівання печі поділяють на конвекційні, терморадіаційні та індукційні.

У *печах періодичної дії* деталі поміщають у робочий простір печі і витримують там при 100 – 150°С протягом 20 – 60 хв залежно від виду лакофарбового покриття. Регулювання температури в печах здійснюється автоматично за допомогою терморегуляторів. Печі безупинної дії, як правило, вбудовуються у фарбувальні лінії і мають на торцях отвори-шлюзи, через які проходить транспортний конвеєр з деталями.

При сушінні у *конвекційних сушильних печах* вироби нагріваються в результаті їхнього контакту з гарячим повітрям, що циркулює в робочому просторі печі. Для нагрівання повітря застосовуються калорифери, що нагріваються паром чи електроенергією. Недоліком конвекційних сушильних печей є їх низький тепловий ККД, тому що тільки незначна частина тепла витрачається безпосередньо для сушіння. Велика частина тепла витрачається на нагрівання камери і виділяється назовні з парами розчинника. Конвекційні тупикові сушильні печі періодичної дії застосовуються в дрібносерійному виробництві. Під час завантаження і вивантаження ці камери практично простоюють, що знижує коефіцієнт їхнього використання. Конвекційні тунельні (прохідні) сушильні печі безупинної дії застосовуються в крупносерійному і масовому виробництвах і вбудовуються в лінії фарбування. Вироби на конвеєрі рухаються назустріч потоку розігрітого повітря, і при цьому відбувається інтенсивне їхнє сушіння. Максимальна температура досягається в центрі сушильної камери. На практиці робоча температура в конвекційних прохідних печах звичайно складає 100 – 120°С.

При сушінні в *терморадіаційних печах* нагрівання пофарбованої поверхні виробу здійснюється під дією енергії інфрачервоних променів великої інтенсивності. Інфрачервоне нагрівання дає більше тепла, ніж конвекційне сушіння. Процес тверднення покриття також розвивається краще, починаючись з внутрішніх шарів і поширюючись до поверхні. Крім того, нагрівання відбувається

за рахунок передачі тепла леткими продуктами випаровування. Процес висихання в терморадіаційних печах протікає значно швидше, ніж у конвекційних, і складає від кількох хвилин до півгодини. Як джерело інфрачервоних променів застосовують спеціальні інфрачервоні лампи розжарення чи трубчасті електричні нагрівачі (ТЕН). Джерелом інфрачервоних променів можуть бути також тверді тіла, нагріті до 400-500°C.

Різновидом терморадіаційних сушильних печей є печі з *радіаційно-конвекційним нагріванням*, які використовують для сушіння виробів складної форми. Такі печі іноді називають комбінованими. У печах такого типу сушіння здійснюється одночасно випромінювачами і циркулюючим повітрям, що приводиться в рух вентиляторами.

Індукційні сушильні печі. При індукційному сушінні пофарбовані поверхні нагріваються теплом, що виникає в масі деталі під дією вихрових струмів, що утворюються при впливі змінного магнітного поля на метал виробу. Процес сушіння протікає досить інтенсивно і не уступає по швидкості і якості сушіння терморадіаційному нагріванню. Основним елементом такої печі є джерело змінного електромагнітного поля – індуктор, що складається з магнітопроводу й обмотки. Індукційне сушіння найбільш ефективно при сушінні виробів з листової сталі. Тривалість сушіння в залежності від конфігурації деталей 15 – 30 хв.

9.8 Покриття, одержані методом оплавлення

9.8.1 Властивості та матеріали покриття

Емалеві покриття. Покриття, одержані оплавленням застосовуються для створення певних світлотехнічних характеристик (наприклад, силікатне емалювання забезпечує змішано-розсіяне відбивання), і для одержання захисно-декоративних покриттів, що володіють підвищеною стійкістю до агресивних середовищ (наприклад, полімерних порошкових покриттів на основі епоксидних смол). Ці покриття забезпечують максимальну стабільність первинних світлотехнічних характеристик (коефіцієнт і індикатриса відбивання, форма кривої сили світла, ступінь захищеності від впливу навколишнього середовища). Коефіцієнт відбивання емалевих покриттів залежить від багатьох факторів: вмісту компонентів, і насамперед пігменту, розмірів часток глушителя, товщини покриття й ін. Коефіцієнт відбивання білих силікатних емалей досягає $\rho=0,85$. Склоемалі, чи силікатні емалі, одержують шляхом додавання в прозоре силікатне скло білих пігментів чи інших речовин-глушителів, що додають склу світлорозсіюючі властивості.

Отримані покриття із силікатної емалі добре протистоять впливу вологи і слабких розчинів кислот і лугів. Вони дуже теплостійкі і здатні захищати поверхні виробів від корозії при температурі до 500 °С, а спеціальні жаростійкі емалі – до 800 – 900 °С. Істотним недоліком емалей є їх велика механічна крихкість – при ударі емаль може тріскатися і відколюватися від відбивача.

Існує багато різних емалей, деякі з них застосовуються як ґрунти, що служать дна поліпшення адгезії покриття до металу. Ґрунтовий шар повинний володіти доброю змочуваністю з поверхнею виробу і гарною адгезією як з поверхнею металу, так і з покривною емаллю.

Порошкові полімерні покриття. Сучасний рівень технології виробництва,

вимоги економії матеріалів, охорони навколишнього середовища зробили необхідним створення і застосування нових високоефективних покриттів, що володіють добрими антикорозійними властивостями, технологічністю їхнього одержання, економічністю. До таких покриттів відносяться покриття на основі полімерних і олігомерних порошкових композицій, до складу яких поряд з полімером входить затверджувач, що володіє реакційною здатністю тільки при підвищеній температурі, а також модифікатори, наповнювачі, пігменти. Порошкові матеріали мають ряд переваг порівняно з рідинними фарбами: вони не вимагають розчинників, менш пожежонебезпечні, не токсичні. До недоліків варто віднести високу температуру та тривалість тверднення, необхідність витримування фракцій певного розміру, а також підвищене енергоспоживання печей оплавлення (підвищення температури до 250 °С) порівняно з традиційними печами сушіння.

9.8.2 Технологічний процес гарячого емалювання

Приготування (варіння) емалі перед її нанесенням на виріб – складний технологічний процес, що вимагає спеціального устаткування. Готова гранульована емаль називається *фрїттою*. Перед нанесенням на деталь фрїтта розмелюється до певного ступеня подрібнення. Розрізняють два способи розмелювання: сухий, при якому одержують дрібнодисперсний порошок, і мокрий, при якому одержують суспензію часток емалевої фрїтти, глини й інших речовин у воді – *шлікер*.

Емалювання сталевих виробів. Технологічний процес емалювання сталевих виробів складається з таких операцій:

- 1) підготовка поверхні – виправлення дефектів, очищення від іржі, знежирення;
- 2) покриття виробів ґрунтовим шлікером з наступним відпалом при 850-900°С;
- 3) покриття відбиваючої поверхні першим шаром шлікера білої емалі;
- 4) покриття відбивача першим шаром шлікера зовнішньої емалі;
- 5) відпал відбивача;
- 6) покриття відбивача другим шаром шлікера білої емалі;
- 7) покриття відбивача другим шаром шлікера зовнішньої емалі;
- 8) вторинний відпал відбивачів.

Після кожного покриття відбивачі сушать.

Підготовка поверхні. До сталевих виробів, що піддаються емалюванню, ставляться певні вимоги: сталь повинна бути теплопровідною і мати високу пластичність; температурний коефіцієнт лінійного розширення сталі повинні бути максимально близький до аналогічного коефіцієнта ґрунту-емалі; сталь повинна бути теплостійкою і не деформуватися при нагріванні. Дуже важливо забезпечити добру адгезію ґрунту-емалі з поверхнею відбивача, для чого відбивачі травлять в розчинах кислот з наступним промиванням і знежирюють.

Покриття ґрунтовим шлікером. Основне призначення ґрунту – створення міцного зчеплення між металом і емалевим покриттям. Існує кілька способів нанесення шлікера на деталі: занурення, обливання, пневматичне розпилення, розпилення в електростатичному полі. Найбільш розповсюдженим при виробництві є занурення у ванну, наповнену шлікером (рис. 9.8). На внутрішню

поверхню відбивача 4 шлікер наноситься через патрубок з бака 7, а на зовнішню – зануренням у ванну 2. Конструкція установки забезпечує при русі несучої стрічки 5, що приводиться в рух від барабана 3, струшування і погойдування деталей. Цим досягається рівномірність розподілу шлікера по поверхні відбивача. Для одержання рівномірного шару покриття необхідно забезпечити рівномірне силове поле, а також однакові в'язкопластичні параметри по всій його поверхні. Для збереження в'язкопластичних параметрів протягом усього часу стікання виробу досить створити вібрацію чи періодичне струшування. На відбивачах складної форми неможливо простим струшуванням створити рівномірне силове поле по всій поверхні, тому їм необхідно додавати різні рухи, що викликають виникнення сил інерції і відцентрових сил. Товщина ґрунтового покриття звичайно складає 0,10-0,15 мм, але іноді може досягати 0,3 – 0,5 мм. Зменшення товщини шару ґрунту менше 0,08 мм є небажаним, оскільки це приводить до зменшення міцності його зчеплення з металом внаслідок недостатньої кількості зчіплюючих оксидів. Потовщення ґрунтового шару більше 0,15 мм ускладнює виділення газів при випалі і приводить до грубопухирчатої структури ґрунтового покриття, відколів і тріщин.

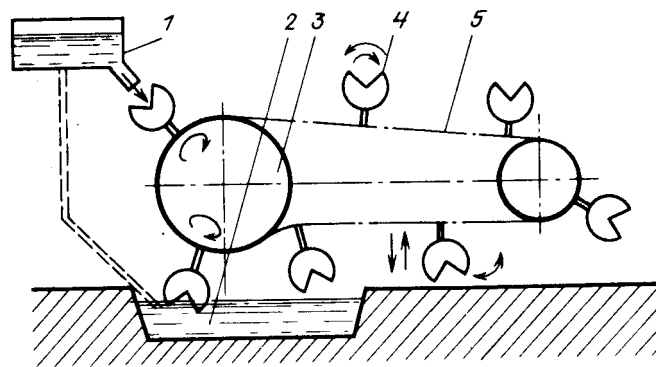


Рисунок 9.8 – Схема установки для нанесення шлікера способом занурення.

Сушіння шлікера. На якість покриття значний вплив має режим сушіння – занадто швидке сушіння веде до утворення пухирців і вибухів у шарі емалі; занадто повільна – до прогарів ґрунту. У процесі сушіння з покриття видалається майже уся вільна волога. Сушіння здійснюється при 70 – 90 °С протягом 15 – 60 хв у спеціальних камерних сушарках, переважно інфрачервоного нагрівання. При використанні прохідних конвеєрних сушарок можливе швидкісне сушіння при температурі від 120 до 180 °С протягом 5 – 10 хв. Висушені деталі направляються в печі відпалу.

Відпал шлікера ґрунтової емалі проходить в печах періодичної чи безупинної дії. Конструкції печей дуже різноманітні. Так, при дрібносерійному виробництві застосовують муфельні печі, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі; при серійному – камерні газові й електричні печі періодичної дії. При масовому – конвеєрні тунельні печі, що працюють на газоподібному паливі. У процесі відпалу розплавлені частки ґрунтової чи емалевої фритти взаємодіють з частками глини й інших добавок, у результаті чого утвориться монолітний шар ґрунтового емалевого покриття, міцно зчеплений з металом. Перед випалом покриті шлікером і висушені деталі розбраковують – наявні дефекти покриття (оголення металу, патьоки, подряпини й ін.) до оплавлення випалом не допускаються. Іноді сушіння

сполучають з відпалом, при цьому сушіння здійснюється безпосередньо в зоні підігріву печі. Температура відпалу в основному визначається складом емалей. Так, для ґрунтів вона звичайно складає 850 – 940 °С. Існують легкоплавкі ґрунти з температурою відпалу 780 – 820 °С. Тривалість випалу залежить від температури печі і складає 3-5 хв.

Покриття покривним шлікером. Покривні емалі, на відміну від ґрунтових, повинні задовольняти специфічні вимоги: вони повинні мати високу температурну міцність, хімічну стійкість, високий коефіцієнт відбивання. Температурний коефіцієнт розширення покривної емалі повинний бути дещо нижчим, ніж у сталі. Емалі, призначені для покриття зовнішньої опуклої сторони відбивачів, повинні мати більший температурний коефіцієнт розширення, ніж білі емалі внутрішнього покриття. Температура розм'якшення покривної емалі повинна бути на 30 – 50°С нижча, ніж у ґрунтової, для того щоб під час відпалу покривної емалі ґрунт розм'якшувався, але не проплавлявся через покривну емаль.

Устаткування, що застосовується для нанесення й оплавлення покривної емалі, використовується те ж, що і для одержання ґрунтового покриття.

Відпал шлікера покривної емалі. Відпал емалі, нанесеної на ґрунт чи на попередній шар емалі, проводиться при температурах, що забезпечують повністю процес оплавлення шлікера і надійне його зчеплення з шаром покриття під ним. Одночасно з розплавленням емалі ґрунт розм'якшується, завдяки чому шар покривної емалі міцно з ним сплавляється. Температура відпалу покривних емалей звичайно складає 800 – 900 °С, для легкоплавких емалей 750 – 800 °С. Тривалість відпалу не перевищує 15 – 20 хв.

Емалювання виробів з алюмінію. Перед емалюванням алюмінієві відбивачі піддаються піскоструминній обробці, очищаються і занурюються на 10 хв у розчин луґу з температурою близько 80 °С. Потім двічі промиваються водою і висушуються при 190 °С. Можна також знежирювати відбивачі в органічних парах розчинника. Температура і тривалість процесу знежирення залежать від ступеня забруднення поверхні металу. Звичайне знежирення здійснюється при 60 – 70°С протягом 5 – 10 хв у розчині тринатрію фосфату (50 г/л) і соди кальцинованої (50 г/л). Зазвичай шлікер наносять на деталі двома шарами. Спочатку наносять перший ґрунтовий шар товщиною 0,035 – 0,05 мм, а після відпалу – покривний шар товщиною 0,05 – 0,07 мм. Сумарна товщина емалевого покриття на алюмінієвій поверхні не перевищує 0,12 мм (звичайно складає 0,07 – 0,1 мм). Проміжне сушіння відбивачів здійснюють при 30 – 40 °С (щоб уникнути реакції алюмінію з вологою шлікера) і його поєднують з оплавленням – волога видаляється під час проходження виробів через зону підігріву печі. Залежно від виду емалі відпал здійснюється при 530 – 580 °С протягом 5 – 15 хв, при цьому безпосередньо час оплавлення складає 2 – 3 хв. Печі при оплавленні емалі на алюмінії використовуються переважно конвекційного нагрівання, оскільки при низькотемпературному відпалі необхідна примусова циркуляція нагрітого повітря. Найбільш розповсюдженими дефектами при емалюванні алюмінію є пухирі, сколювання, тріщини, що особливо виявляється при занадто швидкому сушінні.

9.8.3 Одержання полімерних порошкових покриттів

Покриття з порошкових полімерних матеріалів у електротехнічному

виробництві застосовуються як декоративні при виготовленні побутових світильників, а також як захисні для покриття корпусних деталей світлових приладів, що працюють у хімічно активному середовищі, і вуличних світильників. Порошкові полімерні матеріали наносяться на поверхню деталей різними методами:

- вихровим і вібровихровим у псевдозрідженому шарі,
- пневматичним в електростатичному полі високої напруги,
- пневмоелектростатичним з трибоелектричним зарядженням часток.

Перед покриттям деталі попередньо очищають від забруднень, знежирюють і сушать. Для збільшення адгезії необхідно, щоб поверхня, що покривається, була шорсткуватою, але без тріщин і загусениць, що викликають розтріскування покриття. При одержанні порошкових покриттів нанесення часток полімерних матеріалів і їхнє утримання на поверхні деталі базується на дії електростатичних сил. Спосіб набуття часткою полімеру певного електричного заряду не має великого значення. Має значення тільки величина заряду, сконцентрованого на поверхні полімерної частки. Частки полімеру повинні мати розмір не більше 0,05 – 0,15 мм. Виникнення чи зникнення заряду на поверхні полімерної частки залежить від поверхневого опору матеріалу, що електризується. На електризацію полімерів значно впливає вологість повітря. В умовах високої вологості струми витoku заряду збільшуються й електризація полімерів зменшується. Густина заряду залежить від потенціалу часток, діелектричної проникності середовища й інших факторів. При електризації тертям істотну роль відіграє швидкість часток, що рухаються, – з підвищенням швидкості (а отже, і роботи сил тертя) заряд збільшується. Заряджені частки полімеру під дією електростатичних сил прилипають до поверхні виробу й утримуються на ній до їхнього оплавлення в печі.

Вихровий спосіб нанесення в псевдозрідженому шарі. При цьому способі деталь, нагріта до температури, що перевищує температуру плавлення полімеру, занурюють у полімерний порошок, що знаходиться в зваженому стані, так званий «псевдозріджений» (чи «псевдокиплячий») шар. Полімерний матеріал оплавляється на поверхні деталі і після остигання утворює покриття.

Цим способом можна одержувати тонкошарові полімерні покриття. Псевдозріджений шар створюється механічними вібраціями ємності з порошком або пропущенням через порошок стиснутого повітря (рис. 9.9). Стиснене повітря з магістралі чи компресора 6 надходить у камеру 1, наповнену полімерним порошком 2, під тиском 20 – 40 кПа через повстяну прокладку 5 і перфорований диск 4. Іноді в камеру разом з повітрям підкачується азот. Проходячи через шар порошку, стиснене повітря утворює зважений стан полімеру (псевдозріджений шар). У цей шар опускають розігріту деталь 3, що обволікається плівкою розплавленого полімеру. Після витримки протягом 3 – 5 хв деталь виймають і охолоджують. Іноді рекомендують час витримки деталі в псевдозрідженому шарі збільшувати до 20 – 30 хв.

При електростатичному способі деталі занурюють в псевдозріджений шар у холодному стані (рис. 9.10). Для забезпечення зарядження часток порошку використовуються ванни іонізованого киплячого шару, у яких коронуючий негативно заряджений електрод 6 з дроту діаметром 0,2 мм викладений

концентричними колами у вигляді спіралі в пази корпусу 1 і залитий клеєм. Псевдозріджений шар створюється завдяки проходженню стиснутого повітря через пористу прокладку 3 з поропласту, затиснуту між перфорованими дисками 2 і 4. Холодна деталь 7, під'єднана до позитивного полюса генератора високої напруги, опускається в псевдозріджений шар, а коронуючий електрод 6 створює об'ємний електростатичний заряд на частках порошку 5. Під дією електростатичних сил частки порошку прилипають до деталі. Після осадження часток полімеру деталь переносять у піч, де налиплий полімер оплавляється й утворює покриття.

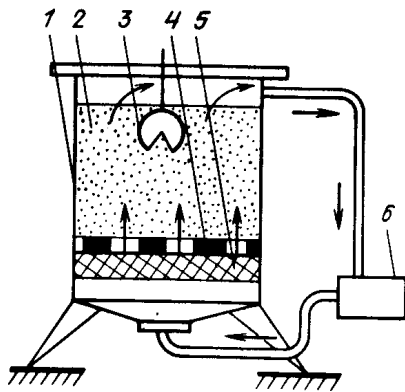


Рисунок 9.9 – Схема установки отримання порошкового покриття вихровим способом в псевдозрідженому шарі.

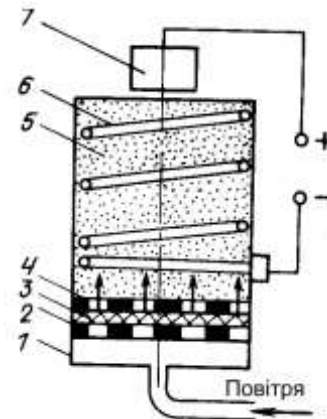


Рисунок 9.10 – Схема установки отримання порошкового покриття вихровим способом в іонізованому псевдозрідженому шарі.

Нанесення полімеру в електростатичному полі високої напруги. Цей високопродуктивний метод заснований на осіданні заряджених часток полімеру на поверхні деталі, що має протилежний заряд. Особливістю методу є те, що частки полімерного порошку початкову швидкість здобувають при виході з розпилювального пристрою під тиском повітря. Електростатичний заряд часток виникає при впливі на них струму високої напруги в коронуючому розряді. При цьому на поверхні часток утворюються іони, що мають однаковий заряд з коронуючим електродом і відштовхуються від нього. Під дією електричного поля, що утвориться між електродами — деталлю і розпилювачем, заряджені частки полімеру рухаються до електрода з протилежним зарядом (деталі) і осідають на його поверхні. Після осідання заряджених часток на поверхні холодної деталі вони протягом значного часу можуть утримуватися на ній, що пояснюється властивістю діелектриків зберігати поляризацію навіть після вимкнення електричного поля. Для надійної поляризації полімерних часток використовується напруга 20 – 150 кВ, створювана генераторами високої напруги. Коронуючий електрод звичайно приєднують до негативного полюса, а деталь – до позитивного. На практиці одержали поширення дві схеми розпилення полімеру – пневматична й електростатична (рис.9.11, 9.12).

У *пневматичному розпилювачі* (рис.9.11) порошок полімеру подається в електричне поле під впливом стиснутого повітря. Полімерний порошок засипається у ванну 5, закриту герметично кришкою 4. При подачі стиснутого повітря через штуцер на рукоятці пістолета 10 через пористу перегородку 8 і перфоровані диски 7 повітря псевдозріджує порошок у ванні 5. Частина повітря подається в ежектор 3 пістолетом, на кінці якого закріплений коронуючий електрод 1, і захоплює за

собою з ванни порошок, що засипається через забірник. Надлишковий тиск у системі складає $(8 - 10) \cdot 10^4$ Па. Регулювання витрати повітря через ежектор здійснюється запірним краном 9, а витрата порошку – регулятором 6.

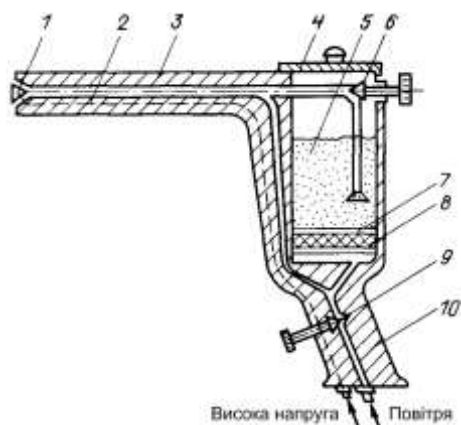


Рисунок 9.11 – Схема пневматичного розпилювача порошкового матеріалу.

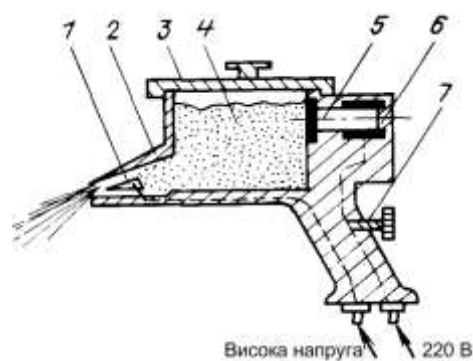


Рисунок 9.12 – Схема вібраційного електростатичного розпилювача порошкового матеріалу.

Після заповнення ванни полімерним порошком на коронуючий електрод 1 за допомогою приводу 2 подається висока напруга 20-30 кВ. При натисканні кнопки запірного крана 9 порошок полімер псевдозріджується і засмоктується ежектором. Проходячи зону іонізації коронуючого електрода, частки порошку заряджаються негативно і по силових лініях електростатичного поля спрямовуються до деталі, що має позитивний заряд. Після напилювання порошку деталі надходять в індукційну чи терморадіаційну печі оплавлення. Максимальна товщина покриття, одержуваного при пневматичному розпиленні полімеру, залежно від властивостей порошку складає 0,12 – 0,25 мм.

При нанесенні порошкових покриттів за допомогою **електростатичного розпилювача** (рис.9.12) бункер 4 розпилювача 6 заповнюється порошковим полімером і закривається кришкою 3. Оскільки подача стиснутого повітря в електростатичні розпилювачі відсутня, то для створення зваженого стану порошку використовується електромагнітний вібратор 5. При включенні вібратора і подачі на коронуючий електрод 1 високої напруги 25 – 30 кВ порошок «стікає» по лотку 2 і, одержавши заряд, під дією силових ліній електричного поля спрямовується до деталі, осідаючи на ній. Включення вібратора здійснюється кнопкою 7. Коронуючий електрод виготовляють з мідного дроту діаметром 0,2 мм.

Перевагами електростатичних розпилювачів є: простота конструкції; відсутність втрат порошкового матеріалу, тому що кінетичну енергію здобувають тільки ті частки, що одержали електростатичний заряд; швидкозмінність порошкового матеріалу, що дає можливість навіть на одній деталі одержувати різнобарвні покриття.

Пневмоелектростатичний спосіб із трибоелектричним зарядженням часток. Цей спосіб базується на електризації часток полімеру при їхньому терті по металу чи по полімеру іншої хімічної будови. Процес зарядження частки при терті зумовлений нагріванням мікроскопічних нерівностей на поверхні тіл, при цьому різко зростає рухливість іонів, що переходять на менше нагріту частину поверхні, заряджаючи частку негативно. Перевагою пневмостатичного способу нанесення

порошкових полімерів із трибоелектричним зарядженням часток є його простота, відсутність дорогого електроустаткування. Використання трибо ефекту забезпечує велику рівномірність зарядження потоку часток і велике значення заряду, що дозволяє одержувати беспористі покриття високої якості вже при товщині 40-50 мкм.

Можливість роботи без джерела високої напруги спрощує умови експлуатації устаткування, підвищує рівень пожежо- і вибухобезпеки. Схема трибоелектричного розпилювача наведена на рис. 9.13.

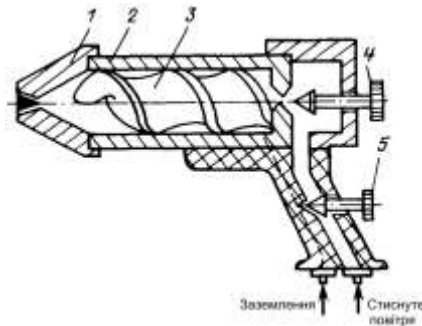


Рисунок 9.13 – Схема трибоелектричного розпилювача.

Повітряно-порошкова суміш подається з окремої ємкості через запірний кран 5 і регулятор витрат 4 у корпус 2 розпилювача. При проходженні суспензії через шнек 3 частки полімеру через тертя здобувають трибозаряд. Напруга електричного поля, створюваного трибозарядом, досягає 50 кВ, що достатньо для доброго прилипания часток порошку до деталі й утримання його на час, необхідний для перенесення деталі в піч оплавлення. Заряджені частки під дією стиснутого повітря вилітають з корпусу через розпилювальний конус 1 і по силових лініях електричного поля спрямовуються до деталі. З метою забезпечення безпеки роботи металевий корпус розпилювача 2 заземлюють. Триборозпилення забезпечує легке проникнення заряджених часток порошку в різні заглиблення деталей. Розмір факела розпилення регулюється спеціальною заслінкою на виході конуса 1, а значення заряду регулюється зміною швидкості потоку повітряно-порошкової суспензії вздовж шнека регулятором витрати 4. Після нанесення порошку деталь переноситься до печі оплавлення, де утворюється рівномірне покриття.

9.9 Нанесення інтерференційних плівок

Змінити коефіцієнт відбивання світла від поверхні скла чи іншого діелектрика можна, якщо на його поверхню нанести одну чи кілька прозорих тонких плівок з показниками заломлення, які відрізняються від показників заломлення основи. Підбираючи відповідні показники заломлення і товщину плівок можна зменшити або збільшити коефіцієнт відбивання світла. На основі використання властивостей інтерференційних плівок проводять просвітлення оптики для оптичних приладів, виготовляють світлофільтри, спеціальні відбивачі, що відбивають більшу частину видимого випромінювання і пропускають довгохвильове випромінювання.

9.9.1 Нанесення плівок для зменшення коефіцієнта відбивання скла (просвітлюючі плівки)

Якщо на поверхню скла нанести тонку прозору плівку з певним коефіцієнтом

заломлення і товщиною, щоб інтенсивності променів 1' і 2' (рис. 9.14) були однаковими, а різниця ходу цих променів дорівнювала половині довжини хвилі падаючого випромінювання, то внаслідок інтерференції ці промені погасяться, а сумарна інтенсивність відбитого світла буде дорівнювати нулю. Таким способом можна досягнути повного чи часткового зменшення коефіцієнта френелівського відбивання від поверхні скла.

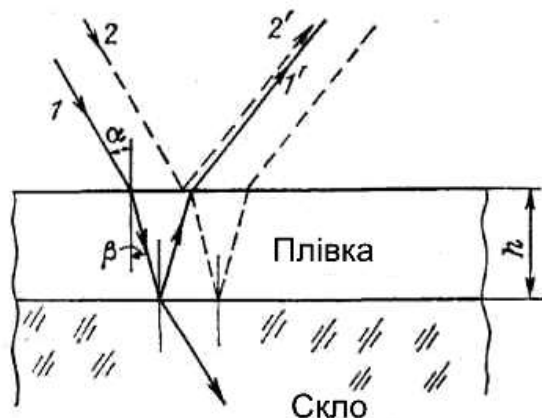


Рисунок 9.14 – Схема ходу променів при відбиванні світла від просвітленої скляної поверхні.

При нормальному падінні світла інтенсивності променів 1' і 2' будуть рівні при виконанні умови

$$\left(\frac{n_c - n_n}{n_c + n_n} \right)^2 = \left(\frac{n_n - n_0}{n_n + n_0} \right)^2, \quad (9.1)$$

де n_c, n_n, n_0 – абсолютні показники заломлення скла, плівки і повітря.

З цього рівняння показник заломлення плівки

$$n_n = \sqrt{n_c n_0}. \quad (9.2)$$

Приймаючи $n_0 = 1$, то $n_n = \sqrt{n_c}$.

Для гасіння променів 1' і 2' різниця ходу $\delta = \frac{\lambda}{2}$. Ця різниця створюється за рахунок того, що промінь 1' проходить додатковий оптичний шлях, що при нормальному падінні рівний $2d$:

$$\delta = 2d = 2hn_n = \frac{\lambda}{2}, \quad (9.3)$$

де d – оптична товщина плівки, h – геометрична товщина плівки.

Звідси

$$d = hn_n = \frac{\lambda}{4}. \quad (9.4)$$

У загальному випадку

$$d = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (9.5)$$

Наприклад, для гасіння відбитих променів середньої частини спектру видимого випромінювання ($\lambda=550$ нм) оптична товщина повинна дорівнювати 137,5 нм.

При заданій оптичній товщині плівки нульовий коефіцієнт відбивання буде тільки для однієї довжини хвилі. Для інших довжин хвиль $\delta \neq \frac{\lambda}{4}$, гасіння променів не буде повним і деяка частина світла буде відбиватися.

В загальному випадку оптична товщина плівки може мати такі значення: при $k=1$ $d = \frac{3}{4}\lambda$, при $k=2$ $d = \frac{5}{4}\lambda$, проте доцільним є застосування тільки тонких плівок, для яких $k=0$.

На рис.9.18 показано залежність коефіцієнта відбивання скла від довжини падаючого світла. Показник заломлення плівки у всіх випадках $n_n=1,233$. Інтегральний коефіцієнт відбивання поверхонь для вказаних трьох випадків має значення: $\rho=4,25\%$ для непросвітленого скла, $\rho=0,06\%$ для скла, просвітленого плівкою з $d = \frac{1}{4}\lambda=137,5$ нм, $\rho=0,49\%$ для скла, просвітленого плівкою з $d = \frac{3}{4}\lambda=412,5$ нм. Тобто, застосування плівок з оптичною товщиною $d = \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda$ і т.д. дозволяє значно знизити коефіцієнт відбивання лише для променів однієї певної довжини хвилі, у той час як інтегральний коефіцієнт відбивання для всього видимого спектра є порівно високим.

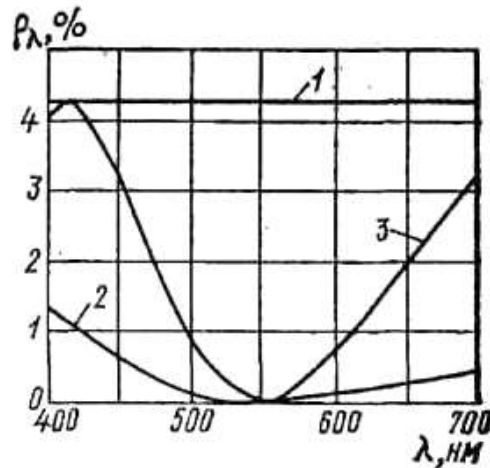


Рисунок 9.18 – Залежність коефіцієнта відбивання скла від довжини падаючого світла:

1 – непросвітлене скло з $n_c=1,52$, 2 – скло, просвітлене плівкою з $d = \frac{1}{4}\lambda=137,5$ нм, 3 – скло, просвітлене плівкою з $d = \frac{3}{4}\lambda=412,5$ нм.

Розглянуті співвідношення справедливі для нормального падіння світла. При падінні світла під деяким кутом α до нормалі співвідношення для різниці ходу відбитих променів і відповідно оптичної товщини плівки суттєво відрізняються. У цьому випадку

$$\delta = 2hn_n \cos \beta \text{ або } \delta = 2h\sqrt{n_n^2 - \sin^2 \alpha}, \quad (9.6)$$

де β – кут заломлення променя у плівці.

Скло різних марок, що застосовується для виготовлення оптичних елементів, має показник заломлення в діапазоні 1,50 – 1,7. Тому для значного зменшення коефіцієнта відбивання показник заломлення плівки повинен мати значення в межах 1,2 – 1,3. Твердих речовин, які підходять для просвітлення скла, з таким низьким показником заломлення немає, тому використовують плівки з більшим показником заломлення. Для оптичного скла типу крони однією плівкою можна зменшити коефіцієнт відбивання приблизно на 50%. Ефективнішим є просвітлення важкого скла типу (флінт), які мають показник заломлення 1,6 – 1,7. Суттєво зменшити показник відбивання можна нанесенням кількох плівок. Наприклад, за допомогою двох плівок: перша з TiO_2 з $n_n=2,2$, друга з SiO_2 з $n_n=1,44$ – коефіцієнт відбивання для всієї видимої області можна знизити до 0,8 – 1,1%. При просвітленні скла кількома плівками сумарна товщина шару повинна забезпечити різницю ходу відбитих променів $\delta = \frac{\lambda}{2}$, що досягається підбором товщини і показників заломлення плівок. Для того, щоб коефіцієнт відбивання світла з довжиною хвилі λ від двошарової системи товщиною $\frac{\lambda}{4}$ дорівнював 0, показники заломлення верхньої плівки n_{n1} , нижньої плівки n_{n2} і скла n_c повинні бути зв'язані співвідношенням:

$$\frac{n_{n2}}{n_{n1}} = \sqrt{n_c}, \quad (9.7)$$

а для тришарового покриття товщиною $\frac{\lambda}{4}$ повинна виконуватися умова

$$\frac{n_{n1}n_{n3}}{n_{n2}} = \sqrt{n_c}, \quad (9.8)$$

9.9.2 Нанесення плівок для збільшення коефіцієнта відбивання скла

Коефіцієнт відбивання скла можна збільшувати шляхом нанесення плівки з показником заломлення більшим, ніж показник заломлення скла. Для сумування інтерферованих променів 1' і 2' різниця ходу променів повинна дорівнювати довжині хвилі λ . У цьому випадку при нормальному падінні променів

$$\delta = 2d = 2hn_n = \lambda, \quad (9.9)$$

Звідки $d = \frac{\lambda}{2}$, або в загальному випадку $d = k \frac{\lambda}{2}$, де $k=1, 2, 3, \dots$

Значного збільшення коефіцієнта відбивання світла можна досягнути нанесенням кількох плівок, підбираючи їх товщину і показники заломлення. Оптичні характеристики скла з покриттям залежать не від індивідуальних властивостей кожного шару покриття, а від їх сукупних характеристик. Тому при нанесенні кожного наступного шару всі нижні шари і скляну основу розглядають як одне ціле, що володіє певними коефіцієнтами відбивання і пропускання.

9.9.3 Способи нанесення інтерференційних плівок

Нанесення інтерференційних плівок здійснюють хімічними і фізичними способами.

Хімічне нанесення покриття:

Травлення поверхні скла у водних розчинах оцтової і азотної кислот. У результаті на поверхні скла утворюється колоїдна плівка кремнезему SiO_2 з $n_n=1,44$.

Гідроліз кремній етилового ефіру безпосередньо на поверхні скла, в результаті чого утворюється плівка SiO_2 . Плівка зміцнюється висушуванням при температурі 100°C протягом 2-3 год.

Недоліком вказаних способів є малий ефект просвітлення для скла з $n_c \approx 1,5$, тоді як для скла з $n_c=1,71 \dots 1,75$ коефіцієнт відбивання можна знизити до 0,8-1,2 %.

Нанесення двох плівок TiO_2 і SiO_2 : TiO_2 наноситься гідролізом 2,5 – 3% розчину етилового ефіру ортотитанової кислоти в зневодненому етиловому спирті, SiO_2 – 10-14 % розчин етилового ефіру ортокремнієвої кислоти в зневодненому спирті. Зміцнення плівок здійснюється сушінням при температурі 100 – 120 °C не менше 1 год.

Фізичне нанесення покриттів – випаровування і конденсація різних речовин у вакуумі. Цим способом можна наносити одношарові і багатшарові покриття з різних речовин, наприклад, ZnS , SiO_2 , MgF_2 .

Для нанесення кількох плівок у вакуумній камері встановлюють поворотний пристрій з кількома лодочками-випарниками (карусель). Випарники по чергово підводять до місця випаровування і підключають до мережі живлення.

Лекція 10

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНІЗМІВ ТА СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ

10.1 Види деталей та технологічні процеси їх виготовлення

Основною конструктивно-технологічною особливістю корпусних деталей та деталей механізмів є їх відповідальне призначення як конструкційних. В зв'язку із цим деякі їх площини та циліндричні отвори необхідно обробляти із високим ступенем точності та якістю поверхні.

Вказані особливості визначають наступні основні конструктивно-технологічні вимоги до корпусних деталей та механізмів:

1) високу якість застосовуваних матеріалів, міцність і жорсткість конструкцій деталей для забезпечення належної механічної міцності і зносостійкості апарату, а також для точного виготовлення, усунення або зменшення деформацій деталей в процесі обробки;

2) точність обробки площин і отворів з відповідною шорсткістю (особливо базових і тертьових поверхонь), а саме:

а) необхідні форма і точність взаємного положення площин, особливо базових, їх прямолінійність, взаємна паралельність, перпендикулярність або нахил під певним кутом;

б) точність взаємного положення осей отворів між собою і відносно базових площин, їх паралельність, перпендикулярність або нахил під певним кутом;

в) точність виконання розмірів і геометричної форми отворів;

г) співосність отворів, розташованих у двох або декількох елементах конструкцій деталі;

д) перпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів.

В таблиці 10.1 приведено перелік основних видів корпусних деталей, оболонок, резервуарів, деталей механізмів, а також вказані основні найбільш розповсюдженні методи їх виготовлення.

Таблиця 10.1 – Технологічні процеси виготовлення корпусних деталей, резервуарів та деталей механізмів (в дужках – обмежено застосовувані процеси)

Основний вид деталей та складальних одиниць	Основні технологічні процеси отримання заготовок та подальшої обробки						
	Різка прокагу	Лиття	Холодне штампування	Зварювання	Електроізоляційне виробництво	Механічна обробка на верстатах	Випробування
Корпуса, основи, ящики, кришки, ковпачки, кожухи, пневматичні циліндри:							
литі	-	+	-	-	-	+	-
холодно штамповані	+	-	+	-	-	(+)	-
пресовані пластмасові	-	-	-	-	+	+	-
Рами, каркаси, оболонки, ящики, кришки, шкафи:							
зварні	+	-	+	+	-	+	+
збірні	+	+	+	-	-	+	+
Резервуари, баки, оболонки зварні	+	+	+	+	-	+	+
Деталі механізмів складних форм (ричаги, підшипники, контактні деталі, корпуса пневмовентилів та клапанів, шестерні, кулачкові шайби):							
литі	-	+	-	-	-	+	-
холодноштамповані	+	-	+	-	-	+	-
гарячощтамповані	+	-	-	-	-	+	-
зварні	+	+	+	+	-	+	+
пресовані	-	-	-	-	+	+	-
металокерамічні	-	-	-	-	-	(+)	-
Деталі механізмів із пруткових матеріалів (валики, вали, втулки, різьбові кріплення, шпонки):							
виготовленні на верстатах різанням	+	-	-	-	-	+	-
Пружини:							
холодно штамповані	+	-	+	-	-	-	(+)
виті із дроту	(+)	-	-	-	-	+	+

10.2 Технологія виготовлення пружин

За незначним винятком, кожен електричний апарат має одну або декілька пружин. Значне число пружин електричних апаратів виконує відповідальну роль і іноді визначає основні характеристики апаратів, тому технологія виробництва їх має велике значення.

З різноманітних видів пружин найбільшого поширення в електроапаратобудування мають циліндричні кручені і пластинчасті холодноштамповані пружини (рис. 10.1).

Технологія пластинчастих пружин в основному представляє собою холодне листове штампування, тому в даній лекції викладається технологія виробництва кручених циліндричних пружин (які іноді називають також гвинтовими).

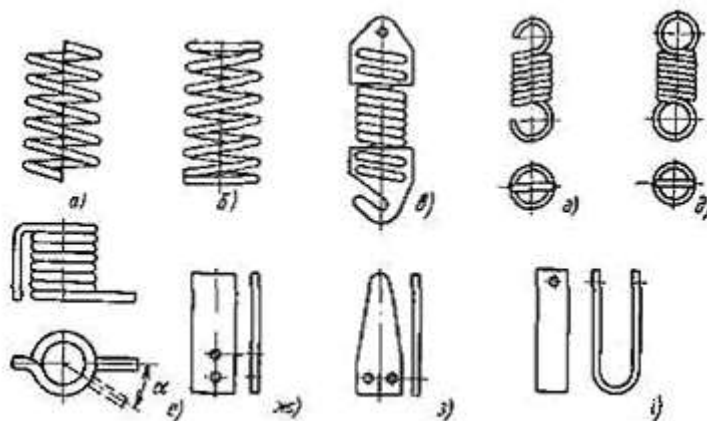


Рисунок 10.1 – Основні види пружин, які використовуються в електроапаратобудуванні:

а, б – виті пружини, які працюють на стискання з нетиснутими та стиснутими (пасивними) витками; в – д – виті пружини, які працюють на розтяг; е – пружина, яка працює на скручування; ж – і – штамповані пружини

Найбільшого поширення в електроапаратобудування мають два види кручених пружин:

- 1) працюють на стискання, їх до 85 – 95% загальної кількості;
- 2) працюють на розтяг.

Якість крученої циліндричної пружини, яка працює на стиск або розтяг, визначається її характеристикою, що представляє залежність деформації стиснення або розтягування пружини від осьової сили P :

$$P = \frac{f \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D_{cp}^3}, \quad (10.1)$$

де f – деформація пружини;

G – модуль пружності матеріалу дроту при крученні;

d – діаметр дроту;

D_{cp} – середній діаметр пружини;

n – число робочих витків.

В електроапаратобудуванні для виготовлення кручених пружин застосовуються в основному наступні матеріали:

1) сталевий вуглецевий пружинний холоднотянутий патентований дріт (ГОСТ 105-74) діаметром до 8 мм – для пружин, які навиваються в холодному стані;

2) сталь якісна ресорно-пружинна, гарячекатана (ГОСТ 7419-74) для великих пружин, які навиваються в гарячому стані;

3) алюмінієва бронза (ГОСТ 1048-70), кременисто-марганцева (ГОСТ 5222-72), берилієва (ГОСТ 18175-78) та ін. Бронза застосовується у випадках, де не можна або недоцільно використовувати сталь, наприклад в магнітних полях, в середовищі з високими корозійними впливами (пневматичні механізми, рідинні реостати та ін.) і для струмоведучих деталей.

10.2.1 Виготовлення витих циліндричних пружини

Виті пружини залежно від їх розмірів і матеріалу виготовляються або способом холодної навивки (невеликі та середні пружини з дроту діаметром до 8 мм), або способом гарячої навивки (великі пружини).

Типовий порядок основних операцій технологічного процесу виготовлення пружин, які навиваються в холодному стані, наступний:

- 1) навивка заготовок пружин;
- 2) розрізування довгих заготовок-спіралей на окремі заготовки пружин (тільки при навивці на оправлення в холодному стані);
- 3) заправка кінців пружин (обробка, утворення півкілець або причепів);
- 4) термообробка пружини (не завжди);
- 5) штучне механічне старіння (обтиснення) (не завжди);
- 6) захист від корозії;
- 7) контроль та випробування пружин.

Типовий порядок операцій виготовлення великих пружин стиснення, які навиваються в гарячому стані, наступний:

- 1) відрізка заготовок необхідної довжини;
- 2) нагрів заготовок (переважно струмами високої частоти);
- 3) відтяжка або вальцювання кінців заготовок;
- 4) нагрівання заготовок;
- 5) навивка пружин;
- 6) заправка кінців (обрубка або інша обробка);
- 7) розводка і правка пружин;
- 8) остаточна заправка торців;
- 9) термообробка пружин (гартування і відпуск);
- 10) захист від корозії;
- 11) контроль та випробування пружин.

Навивка на оправу. Виті циліндричні пружини навиваються на оправках в холодному стані при невеликому обсязі виробництва, а в гарячому стані – завжди на оправках.

Навивка виробляється на спеціальних верстатах токарного типу з обертовою оправкою.

На рис. 10.2, а зображено схему навивки заготовок втої пружини, яка працює на розтяг, на оправці 1, встановленої на верстаті або в пристосуванні. Початок дроту 2 закріплюється в хомути 3 або іншим способом. При обертанні оправки

разом з хомутом в напрямку стрілки 4 дріт навивається на оправлення, заповнюючи його в напрямку стрілки 5.

При навивці пружини, яка працює на стиск (рис. 10.2, б), для утворення кроку витків необхідно помістити між хомутом 3 і дротом крокоутворювальну пластину 6 відповідної товщини, яка, переміщуючись вздовж осі оправки 1, забезпечує укладання витків на необхідній відстані.

При виготовленні коротких пружин на оправлення навивається довга спіраль – заготовка для декількох пружин. З метою зменшення відходів дроту можна навивати дуже довгі заготовки аналогічно навивці спіралей для елементів резисторів.

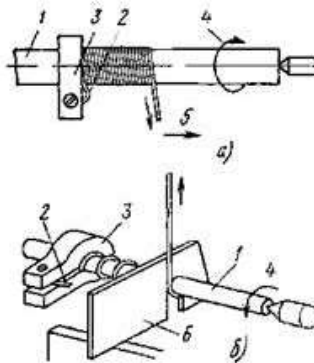


Рисунок 10.2 – Схема навивки пружини на оправку:

а – пружина лівої навивки, яка працює на розтяг; б – пружина правої навивки, яка працює на стиск

При навивці пружин в холодному стані діаметр оправки слід вибрати рівним приблизно 0,8 – 0,95 внутрішнього діаметра пружини залежно від властивостей дроту. Зменшувати діаметр оправки слід тому, що після зняття зусилля натягу дроту, необхідного при навивці, діаметр пружини збільшується внаслідок інших властивостей матеріалу.

Безоправна навивка на автоматах є значно продуктивнішою. При цьому можна забезпечити набагато більшу точність виготовлення пружини внаслідок наявності у автоматів пристроїв для регулювання діаметра та кроку пружини.

На рис. 10.3 представлена схема безоправної навивки крученої пружини на автоматі. Схема цього процесу така: дріт 1 двома фрикціонами 3 простягається через ролики 2, які виправляють дріт. Виправлений дріт потрапляє в направляючу втулку 4, а з неї надходить на два ролика 5, осі яких лежать на одному колі, внаслідок чого дріт завивається в пружину.

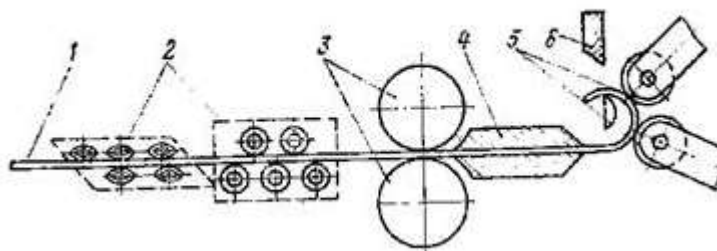


Рисунок 10.3 – Схема безоправної навивки пружини

Діаметр навивки пружини регулюють зміною діаметра кіл осей роликів. Крок пружин забезпечується спеціальним кроковим механізмом, який узгоджує подачу дроту в поперечному напрямку з її поступальним рухом. Обрізка пружин виробляється ножом 6, що знаходиться на оправці.

З метою подальшого збільшення продуктивності праці доцільно автомат для навивки забезпечити механізмом шліфування торців пружини, що працюють на стиск.

Навиті на оправці довгі спіралі розрізаються на окремі заготовки. В дрібносерійному виробництві це іноді ще робиться вручну молотком і зубилом. Більш продуктивним і доцільним способом є розрубання заготовок штампом на пресі.

Заправлення кінців пружин, які працюють на стиск. Кінцеві неробочі витки пружин, що працюють на стиск, шліфуються з торців для утворення поверхонь, перпендикулярних осі пружини.

При невеликому обсязі виробництва пружин кожна пружина шліфується на абразивно-заточному верстаті в дві установки, при цьому шліфовані торці пружини притискаються до циліндричної поверхні абразивного круга. Пружини вставляються по одній і шліфуються в пристосуванні, що тримається в руці.

У крупносерійному і масовому виробництвах торці пружин доцільно шліфувати на спеціальних верстатах. В електроапаратобудуванні застосовують два види таких верстатів. В них пружини, які піддаються шліфуванню, поміщаються торцевими площинами між двома шліфувальними абразивними кругами. Одним з видів верстатів є верстат з горизонтальним та вертикальним розміщенням площини шліфування (рис. 9.4). У такого верстата, виконаного на базі горизонтально-фрезерного, пружини 1 поступово по одній закладаються у втулки 2 дискової обойми 3. Частина обойми з пружинами деякий час знаходиться між шліфувальними кругами 4 і 5. Обойма 3 може переміщатися уздовж осі обертання. Вона створює необхідне натискання на оброблювані пружини і визначає довжину L пружини. Відшліфовані пружини під дією сили тяжіння по мірі обертання обойми 3 падають у відповідний жолобок. Дискові обойми змінні. Вони мають різну товщину, яка відповідає довжині пружини, і різний діаметр втулок, відповідний діаметру пружини:

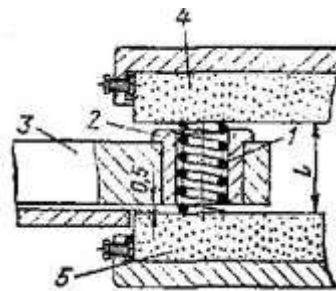


Рисунок 9.4 – Схема розміщення шліфувальних кругів та пружин при шліфуванні їх торців

Продуктивність праці на такому верстаті приблизно в 10 разів більша, ніж при шліфуванні торців на звичайному абразивно-заточувальному верстаті.

Утворення півкілець, кілець або гачків (причепів) у пружин, що працюють на розтяг. Кінці пружин, що працюють на розтяг, зазвичай виконуються у вигляді

півкілець, кілець або гачків, які утворюються з крайніх витків заготовки шляхом їх відгинання.

Частину операцій відгинання можна виконувати на пресі, а частину – в пристосуваннях, звичайно вручну. Чим складнішою є форма кінцевих гачків, тим більше потрібно різних пристосувань, тому доцільно застосовувати кільцеву або півкільцеву форми гачків. Для відгинання кінцевого витка використовуються штампи, схема яких приведена нарис. 10.5.

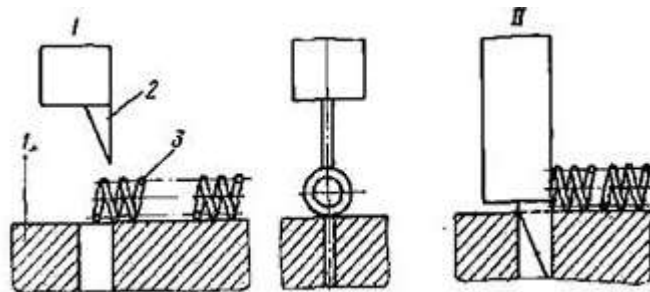


Рисунок 10.5 – Схема штампа для відгинання витків пружин (I – вихідне положення штампа; II – відгин крайнього витка):
1 – матриця; 2 – пуансон; 3 - пружина

При великих кількостях однотипних пружин відгин кінців пружин слід здійснювати на автоматах.

Термічна обробка і захист пружини від корозії

Пружини, навиті в холодному стані з вуглецевого дроту по ГОСТ 13766-68, піддаються тільки відпуску при 200 – 350 ° С протягом 2 – 8 хв з метою зняття внутрішніх напружень, отриманих при навивці. При цьому підвищується межа пружності матеріалу пружин і забезпечується сталість їх характеристик. Слід зазначити, що при відпуску діаметр пружини трохи зменшується, а довжина її збільшується.

Термообробка зазвичай проводиться в електропечах з охолодженням пружин в маслі.

Термічна обробка пружин, навитих в гарячому стані, полягає в загартуванні та відпуску.

Перед нанесенням антикорозійного покриття або перед хіміко-термічною обробкою поверхня пружин повинна бути ретельно очищена й підготовлена за допомогою механічних, хімічних або електрохімічних методів. Прогресивним покриттям є вихрове напилення полімерів. Найбільш поширеними в електроапаратобудуванні способами захисту малих і середніх пружин від корозії є цинкування та воронкування (для апаратів загальнопромислового призначення), а також кадміювання (для морських умов експлуатації). Великі пружини зазвичай лакують. Середні і великі сталеві пружини, крім того, доцільно фосфатувати в цинкофосфатній ванні (пружини, що працюють на розтяг, слід розтягувати в підвісках для забезпечення рівномірності фосфатного покриття) з подальшим покриттям мастилами, лаками, фарбами.

При травленні пружин в кислотах і гальванічних покриттях (цинкування) відбувається наводнення верхнього шару дроту, що викликає підвищену крихкість пружин. Тому для усунення крихкості пружин їх необхідно обезводнювати. Це проводиться термообробкою при невисоких температурах, наприклад, починаючи з 110 ° С протягом 30 хв з наступною витримкою при 150 °

С протягом 1,5 – 2 год. Така ступінчатість нагріву необхідна для поступового видалення водню, в іншому випадку може статися відшаровування покриття. При обезводенні пружини необхідно знежирити, промити і просушити.

Лекція 11

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СТРУМОВЕДУЧИХ ЧАСТИН ТА МАГНІТОПРОВІДІВ

11.1 Види деталей та області застосування

До струмоведушчих частин електротехнічних апаратів відносяться:

- 1) багатоамперні котушки, які застосовуються в контакторах, силових контролерах, первинних реле струму, повітряних автоматичних вимикачах;
- 2) багатовиткові котушки;
- 3) резистори, які виконують різні функції та бувають таких видів: регулювальні, додаткові, нагрівні, заземлюючі;
- 4) магніто проводи, які використовуються як елементи втягуючих, підйомних, гальмівних магнітів, соленоїдальних клапанів для рідин, повітря, газів, трансформаторів струму та напруги, дроселів, магнітних підсилювачів;
- 5) друковані плати.
- 6) жорсткі з'єднувальні вивідні проводи та шини (перемички та вивід), ізолювані та голі, застосовуються в апаратах зі складною схемою комутації;
- 7) гнучкі з'єднання з кабелів та тонкої стрічки, які застосовуються в контакторах, контролерах, повітряних автоматичних та деяких масляних вимикачах.

Всі ці елементи апаратів є струмопровідними деталями. Вони виготовляються головним чином із кольорових металів. На їх кінцях повинні бути контактні поверхні.

11.2 Виробництво багатоамперних котушок

За конструктивно-технологічними ознаками і матеріалам багатоамперні котушки і жорсткі і гнучкі з'єднання можна класифікувати на такі види:

Шинні котушки (рис. 11.1). Матеріалом для шинних котушок є шинна прямокутна м'яка (відпалена) мідь марки М1, а також шинний алюміній марки А1-1.

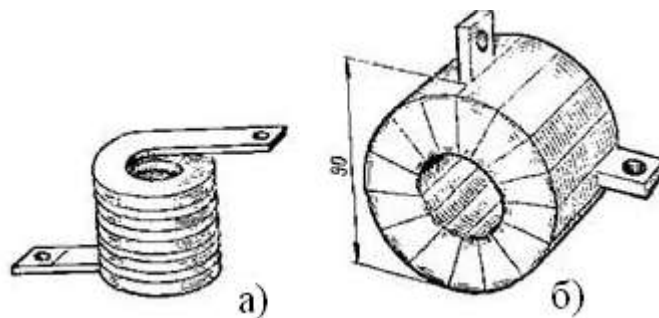


Рисунок 11.1 – Багатоамперні котушки:

а) – навита на ребро із плоскої міді; б) – навита на широку сторону

Котушки, навиті «на ребро», тобто на вузьку сторону шини, коли співвідношення розмірів зовнішнього до внутрішнього діаметра витка є великим і наближається до 2:1 або стає ще більшим, виготовляються зі спеціального смугового матеріалу трапецевидного перерізу, завдяки чому приблизно виходять однакові відстані між витками котушки по зовнішньому та внутрішньому діаметрам.

Котушки, одержані механічною обробкою різанням (рис. 11.2, а). Довгі котушки з великим перерізом витків при невеликому обсязі виробництва виготовляють шляхом механічної обробки різанням з круглих холодновитягнутих, гарячекатаних і пресованих мідних прутків марки МІ, а також з ковоч, виконаних з мідних злитків марки МІ.

Литі котушки (рис. 11.2, б). Дугогасильні котушки, що мають мале число витків (один-два) великого перерізу, можна виконувати литими по виплавлюваних моделях з мідних злитків марки МІ.

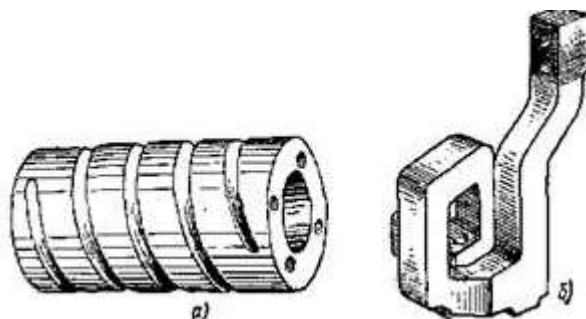


Рисунок 11.2 – Багато амперні котушки виконанні методом точіння (а) та лиття (б)

З'єднувальні шини, перемички і виводи (рис. 11.3). При номінальних струмах, починаючи з декількох десятків ампер, коли необхідно мати провідники великого перерізу, внутрішні з'єднання в електричних апаратах виконуються часто у вигляді шин. Для їх виготовлення застосовуються смугові шинні матеріали: мідь, алюміній, низьковуглецева сталь у вигляді стрічок або смуг.

Мідні шини з метою економії міді по можливості замінюють алюмінієвими і сталевими.

З'єднувальні дроти, кабелі (рис. 11.4), **круглі шини**. При номінальних струмах в межах від декількох десятків до декількох десятків, а іноді й сотень ампер внутрішні електричні з'єднання апаратів виконуються з круглих мідних і алюмінієвих провідів, а також з кабелів.

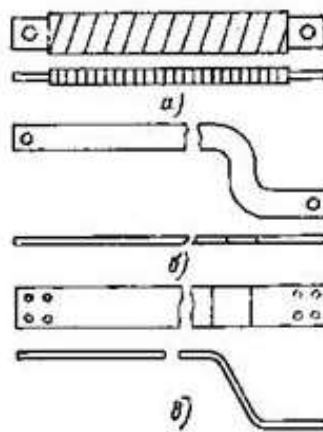


Рисунок 11.3 – З'єднувальні шини а) – пряма ізольована; б) – зігнута на ребро; в) – зігнута на широку сторону

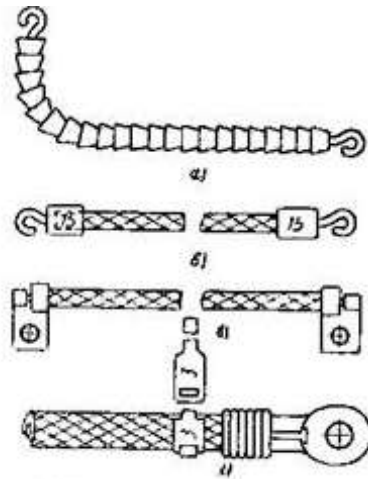


Рисунок 11.4 – З'єднувальні проводи та кабелі

а) голий провід, ізолюваний бусами; б) – ізолюваний провід з кінцевиками із пластмаси; в) – ізолюваний провід з контактними наконечниками, які закріплюють кінці ізоляції; г) – ізолюваний провід з контактними наконечниками, з бандажем, який закріплює кінець ізоляції та металевою міткою

Голий мідний і алюмінієвий провід. Часто для запобігання електричних замикань провід ізолюється полівінілхлоридними або лакованими бавовняними трубками.

В апаратах з резисторами, які мають високу робочу температуру, з'єднувальні дроти ізолюються бусами зі скла, порцеляни або іншої кераміки.

Установчі проводи. У нескладних схемах застосовуються установчі мідні і алюмінієві дроти з гумовою ізоляцією. У складних схемах доцільно застосовувати різнокольорові монтажні дроти. В апаратах з резисторами, які мають високу температуру, в деяких випадках доцільно застосовувати стійкий до нагріву провід з азбестовою ізоляцією замість голого проводу, що ізолюється бусами, які при сильних трясці і ударах розбиваються.

Гнучкі з'єднання (рис. 11.5, 11.6) встановлюються між двома струмоведучими деталями, з яких одна (зазвичай контакт, який розмикає і замикає електричне коло) переміщується в просторі відносно іншої.

Контактні (кабельні) наконечники з'єднувальних провідників і кабелів (якщо вони застосовуються) виготовляються з листової латуні або міді, з мідних і алюмінієвих труб, а також литі з латуні й алюмінію (при алюмінієвих проводах).

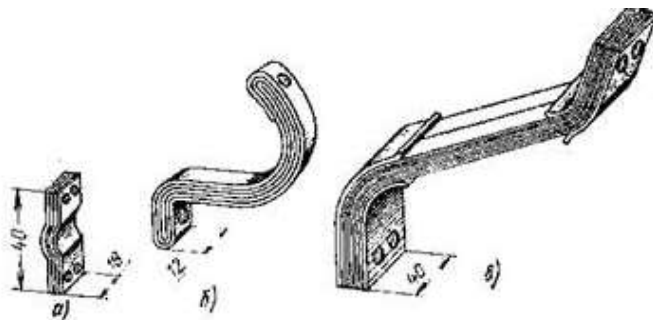


Рисунок 11.5 – Гнучкі з'єднання із мідної стрічки:

а) – з'єднання розеткового контакту масляного вимикача високої напруги; б) – з'єднання контактора без наконечників; в) – з'єднання автомата з наконечниками

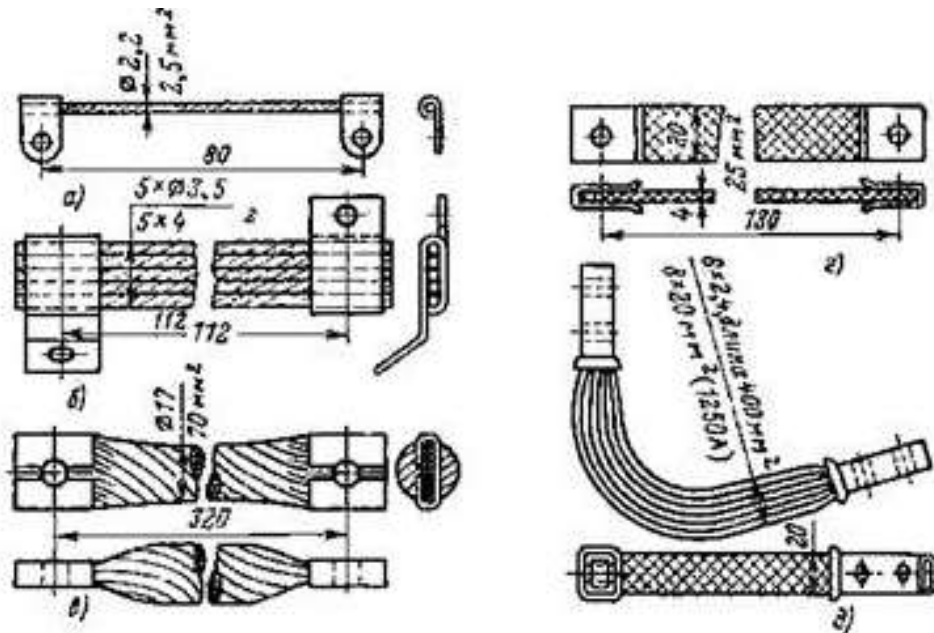


Рисунок 11.6 – Гнучкі з'єднання із мідного особливо гнучкого кабелю:
а) – в) – із крученого; г), д) – із плоского плетеного

11.2.1 Процеси виготовлення багатоамперних котушок

Процеси виготовлення багатоамперних котушок, жорстких і гнучких електричних з'єднань є нескладними: вони мають невелике число операцій і переходів. Типовими операціями для більшості розглянутих виробів з шинних матеріалів, кабелів і проводів є наступні:

1) правка, відмірювання і відрізання. При невеликих перерізах матеріалу і масовому або крупносерійному виробництві правку і розрізання матеріалу, що надійшов у вигляді бухт, а також довгих смуг і круглих прутків, доцільно здійснювати на відрізних верстатах-напівавтоматах та автоматах (рис. 11.7).

При дрібносерійному виробництві розрізання шинних матеріалів проводиться на звичайних ручних важільних або приводних ножицях і на ножних важільних або приводних ексцентрикових пресах. Шинні матеріали значних перерізів для уникнення зминання в місцях розрізів доцільно розрізати на стрічкових або дискових пилах, а іноді й на горизонтально-фрезерних станках.

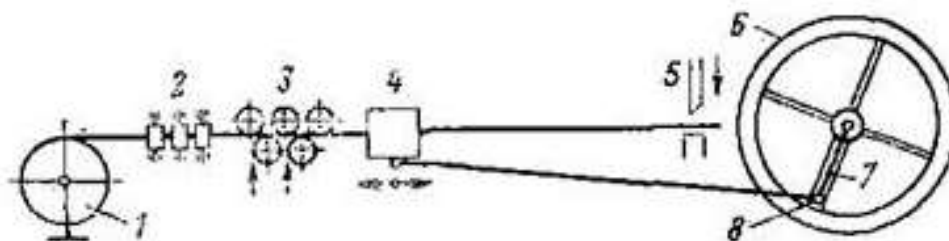


Рисунок 11.7 – Схема верстата-автомата для шихтовки та нарізання шинної міді:

1 – бухта міді; 2,3 – ролики для шихтовки міді на ребро та площину; 4 – каретка для захоплення та протягування міді через ролики; 5 – відрізний ніж; 6 – ведуче колесо; 7, 8 – направляючі в повзунок для регулювання ходу каретки

Розрізання на ножицях, пресах, верстатах-напівавтоматах та автоматах круглих проводів та кабелів необхідно проводити за допомогою спеціальних ножів.

На рис. 11.8 показано схему одного з автоматів для розрізання дроту або кабелю на шматки. Різання здійснюється приводом від пневматичного циліндра 1 за допомогою ножів 2. Провід або кабель подається диском 3, який обертається електродвигуном 8. Довжина шматка встановлюється фрикційним варіатором 5, що змінює число оборотів диска 6, який, замикаючи контакт, впливає на електромагнітний клапан 7, що відкриває вхід повітря в циліндр 1. В момент відрізки пневмоциліндр 4 здійснює гальмування механізму подачі дроту або кабелю. Автомат забезпечений лічильником.

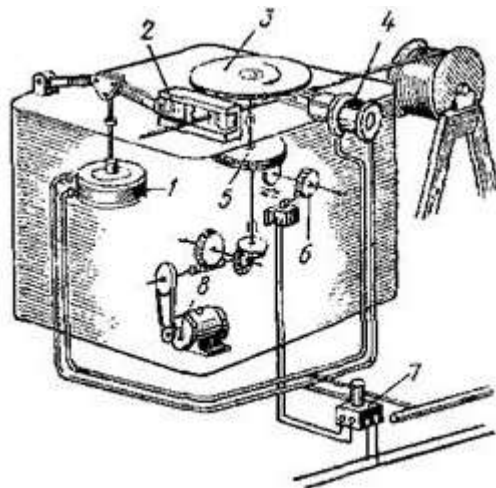


Рисунок 11.8 – Автомат для нарізання проводів та кабелів

Операція очищення кінців складається з двох переходів – надрізання ізоляції і стягання її з кінця. Існує багато конструкцій ручних інструментів, пристосувань, верстатів для виконання цієї процедури. Застосовуються пристрої, які встановлюються на ексцентрикові преси, різні верстати, які за допомогою ножів, сталевих щіток та інших пристроїв здійснюють цю операцію.

На рис. 11.9 зображена схема одного з таких напівавтоматів. Очищений кінець дроту або кабелю вставляється в затискне гніздо 1. При натисканні на педаль 2 провід або кабель затискається в гнізді, а потім вводиться в різцеву головку 3, що має ножі, які надрізають ізоляцію. При опусканні педалі затискне гніздо 1 відходить в початкове положення, стягуючи надрізану ізоляцію. Довжина очищеного кінця регулюється упором 4. Якщо в голівці різці замінити на металеві щітки, то на стінці можна очищати емалеву ізоляцію.

У тих випадках, коли ізоляція дуже міцно склеєна з жилою провoda, зняття ізоляції з кінців проводиться шляхом випалу на розпеченій електричним струмом ніхромовій стрічці, пластині або проводі. Цей спосіб доцільно застосовувати для видалення волокнистої ізоляції.

2) формоутворення – навивка, гнуття, накладення ізоляції і ін. Утворення витків котушки з шинного матеріалу може здійснюватися двома способами: 1) навивка шинних котушок з вигином шини на широку сторону проводиться на звичайних намотувальних верстатах; 2) навивка шинних котушок на ребро проводиться на намотувальних верстатах в спеціальних пристосуваннях.

Заготовки, що надходять на операції згинання, мають бути м'якими, щоб не виникали тріщини та злами матеріалу місцях згинання.

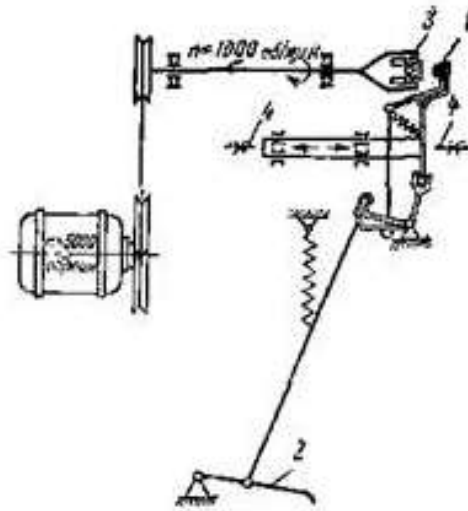


Рисунок 11.9 – Кінематична схема напівавтомата для знімання ізоляції з кінців проводів та кабелів

В процесі навивки та згинання шинних матеріалів в місцях вигину утворюються місцеві залишкові внутрішні напруження (наклеп), внаслідок чого матеріал стає жорстким. Для того щоб при подальших операціях можна було легко розтягнути витки і успішно гнути шинні матеріали для надання їм необхідної форми, заготовки піддаються відпалу.

Згинання шинних матеріалів, як і виготовлення шинних котушок, може здійснюватися двома способами:

1) згинання заготовок з шинних матеріалів на широку сторону при масовому і великосерійному виробництві виконується звичайними згинальними штампами на пресах. При довгих шинах і складних формах вигинів згинання зручно виконувати на спеціально спроектованих горизонтальних пресах.

2) згинання шинних матеріалів «на ребро» вимагає більш складного оснащення. Крім формуювальних елементів пристосування повинно мати додаткові деталі, що запобігають утворенню зморшок і тим самим забезпечують розташування в одній площині елементів зігнутої деталі.

3) окінцевання – утворення на кінцях деталі контактних поверхонь в результаті відповідних операцій (пробивка або свердління отворів, механічна і хімічна очистка, нанесення металевих покриттів і ін.), а у ізольованих деталей, крім того, закріплення ізоляції у кінців.

Створення контактних поверхонь на кінцях з'єднання виконується декількома способами в залежності від призначення з'єднання, умов його експлуатації, а також від виробничих можливостей. Ці способи наступні:

1. Підготовка контактних кінців електричних з'єднань для кріплення гвинтами, болтами і гайками без будь-яких додаткових деталей. У багатожильних проводів та кабелів після зачистки кінці спаюються або сплавляються (шляхом зварювання) в монолітні стрижні.

2. Припаювання контактних наконечників. Пайка проводиться м'якими і твердими припоями. З метою економії дорогих припоїв, особливо олов'янистого-свинцевих і срібних, а також для підвищення продуктивності праці пайку слід замінювати зварюванням і пресуванням.

3. Приварювання контактних наконечників. Електрозварювання набуло поширення в основному для приварювання кабельних наконечників до алюмінієвим проводів і кабелів, рідше – до мідних.

4. Облицювання контактних кінців алюмінієвих деталей мідними накладками. Роз'ємна контактна пара алюміній – мідь при роботі апаратів в сирих приміщеннях, поза приміщеннями і в інших умовах піддається електролітичній корозії. Тому контактні поверхні алюмінієвих деталей, що приєднуються до деталей з міді та її сплавів, в ряді випадків необхідно облицювати або, як інакше називають, армувати мідними накладками. Облицювання проводиться шляхом холодного багатоточкового зварювання, наприклад на пневматичній машині типу МХСА. Для облицювання необхідні спеціальні багатопуансонні штампи. Замість таких накладок доцільно застосовувати біметал алюміній – мідь, що має часткове покриття.

5. Пресування контактних (кабельних) наконечників (холодне пресове зварювання). Перевагами цього методу є простота, висока продуктивність, економія енергії і припою, а також висока механічна міцність і виключення пошкодження ізоляції проводів від перегріву при пайці і зварюванні.

6. Пресування (брикетування) кінців гнучких з'єднань. Цей метод застосовується для отримання хорошого, надійного, монолітного контактного кінця гнучкого з'єднання замість приварювання і припаювання скоб, накладок та інших наконечників.

Монолітний кінець добре приварюється до іншої струмоведучої деталі. Його немає потреби армувати, тобто облицювати кінці скобами або гільзами. Пресування проводиться в прес-формі на гідравлічному пресі при тиску 280 МПа. Брикетовані кінці добре відводять тепло від місця контакту.

Закріплення кінців ізоляції. Для запобігання руйнування решт ізоляції з'єднувальних проводів застосовується кілька способів, з яких найбільш поширеними є зображені на рис. 11.10.

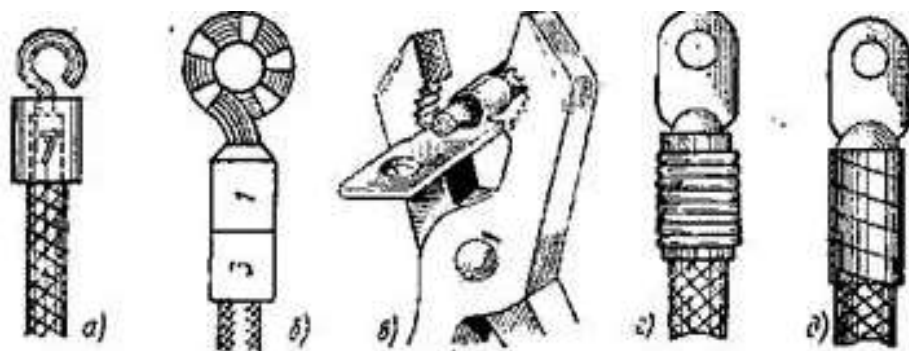


Рисунок 11.10 – Способи закріплення ізоляції кінців проводів:

а), б) – надіванням пластмасових наконечників; в) – обійма контактного (кабельного) наконечника; г) – обплітанням нитками; д) – обмотуванням полівінілхлоридною стрічкою

11.3 Виробництво багатовиткових котушок

Залежно від функціонального призначення багатовиткові котушки за своїми конструктивно-технологічними ознаками розділяються на каркасні і безкаркасні, циліндричні і прямокутні, з жорсткими і гнучкими виводами, багатосекційні та

односекційні, неагломеровані і просочені ізоляційним лаком або компаундом, різних класів нагрівостійкості від А (105 °С) до С (180 °С і вище). Функціональне призначення багатовиткових котушок визначається їх призначенням в апараті.

Матеріали, які використовуються для виробництва багатовиткових котушок можна розділити на кілька груп:

1. Обмотувальні дроти, як відомо, служать для виготовлення струмопровідної частини обмоток апаратів.

2. Рулонні, листові та стрічкові електроізоляційні матеріали застосовують для ізолювання обмотувальних струмоведучих проводів зовні котушок та окремих елементів обмотки всередині них. Основними з цих матеріалів є тканини, лакоткани, ізоляційні стрічки, склострічкита ін.

3. Лаки, компаунди та емалі застосовуються для просочення, покриття зовнішньої поверхні, склеювання внутрішньої ізоляції котушок.

4. Конструкційні матеріали каркасів та інші допоміжні матеріали: пластичні маси, низько вуглецева сталь, латунь, мідь, електроізоляційний картон, фібр, гетинакс, текстоліт, припої, каніфоль, нитки, шпагат та ін.

11.3.1 Типова технологія виготовлення

У зв'язку з тим що котушки, які використовуються в електричних апаратах, мають велику різноманітність по номінальній напрузі і класах нагрівостійкості, вони виготовляються з різного обмотувального дроту, ізоляційних матеріалів, просочуються різними лаками і компаундами. Технологія виготовлення котушок розкладається на багато операцій, які для різних конструкцій котушок.

Все ж послідовність основних операцій цілком визначена і виконується в наступній послідовності:

I. Виготовлення каркаса.

II. Ізолювальні та намотувальні роботи:

1) виготовлення ізоляційних деталей і заготівля матеріалу;

2) ізолювання каркаса (при виготовленні його з струмопровідних матеріалів);

3) намотка обмотувального проводу;

4) технічний контроль намотаних котушок;

5) приєднання та закріплення виводів;

6) ізолювання зовнішньої поверхні котушок;

7) технічний контроль ізолюваних котушок.

III. Сушильно-просочувальні роботи:

1) підготовчі операції (підготовка обладнання, що просочує складу та ін.);

2) нагрівання чи сушка перед просоченням;

3) просочення (кілька різних способів) і набрякання що просочує складу;

4) промивання очищення від складу металевих, пластмасових та інших частин котушок;

5) нагрів і сушка після просочування чи термообробка при термореактивних просочуючих складах.

IV. Забарвлення котушок лаком, емаллю або заливка компаундом:

1) заливка компаундом;

2) забарвлення лаком або емаллю;

3) сушка лаку або емалі.

V. Технічний контроль котушок.

Виготовлення каркасів. Всі каркаси по конструкції діляться на групи: трубчасті без фланців (рис. 11.11, а) і з фланцями (рис. 11.11, б), каркаси-шпулі (рис. 11.11, в), плоскі (рис. 11.11, г), ребристі (рис. 11.11, д), кільцеві (рис. 11.11, е) і деякі інші.

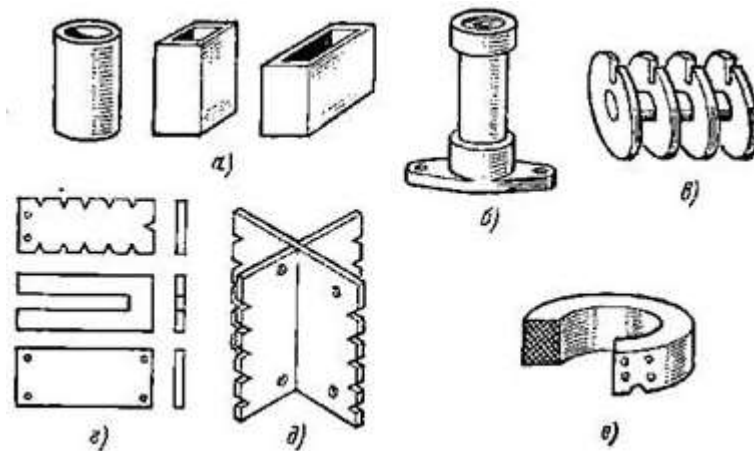


Рисунок 11.11 – Види каркасів, які застосовуються у багатовиткових котушках

Конструкція каркаса повинна бути жорсткою і міцною, дозволяти надійне закріплення проводу на каркасі і зручне кріплення самого каркаса при монтажі в апараті. Технологія виготовлення каркасів залежить від конструктивних особливостей котушок. В основному переважають операції пресування і штампування.

Ізолювальні та намотувальні роботи. Технологічне обладнання, призначене для виготовлення будь-якого типу обмоток, повинно забезпечувати обертання каркаса або оправлення (при безкаркасному намотуванні), рівномірне переміщення проводу і його натяг, безперервний облік викладених витків.

Намотувальні верстати поділяються на верстати для рядової обмотки, універсальні намотувальні верстати та верстати для тороїдальної обмотки.

Верстати для рядової обмотки призначені для виготовлення обмоток з проводу діаметром від 0,05 до 0,5 мм.

В універсальних намотувальних верстатах на відміну від верстатів для рядових обмоток застосовують змінні кулачки, виготовлені на певну ширину намотування, або додатковий кулачковий пристрій, що дозволяє в деяких межах регулювати ширину намотування.

Для тороїдального намотування на каркаси замкнутого типу існують спеціальні намотувальні верстати. Принцип дії їх полягає в тому, що провід попередньо намотується на шпулі, введені в каркас котушки. Замкнутий каркас котушки встановлюють на столі верстата і приводять в обертальний рух за допомогою двох ведучих і одного рухомого роликів. При повільному повороті каркаса обертається і шпуля, з якою дріт змотується на каркас. Верстат повинен бути налаштований так, щоб після укладання одного витка каркас повертався на крок намотування.

Для зміцнення каркаса котушки на верстаті служать оправки. На рис. 11.12 показані різні конструкції намотувальних оправок. Для одиничного і дрібносерійного виробництва застосовуються оправки рис. 11.12, а, для масового виробництва найбільш часто застосовуються оправлення, зображені на рис. 11.12,

б. Для багатокатушкової намотки використовують оправку, показану на рис. 11.12, в. Вона має поворотний шарнір 10 для полегшення установки і знімання каркасів, а також пружинні прокладки, що фіксують положення каркасів-шпулею. Універсальна оправка (рис. 11.12, з) являє собою затискний патрон з двома розсувними губками 18, за допомогою яких кріплять каркас.

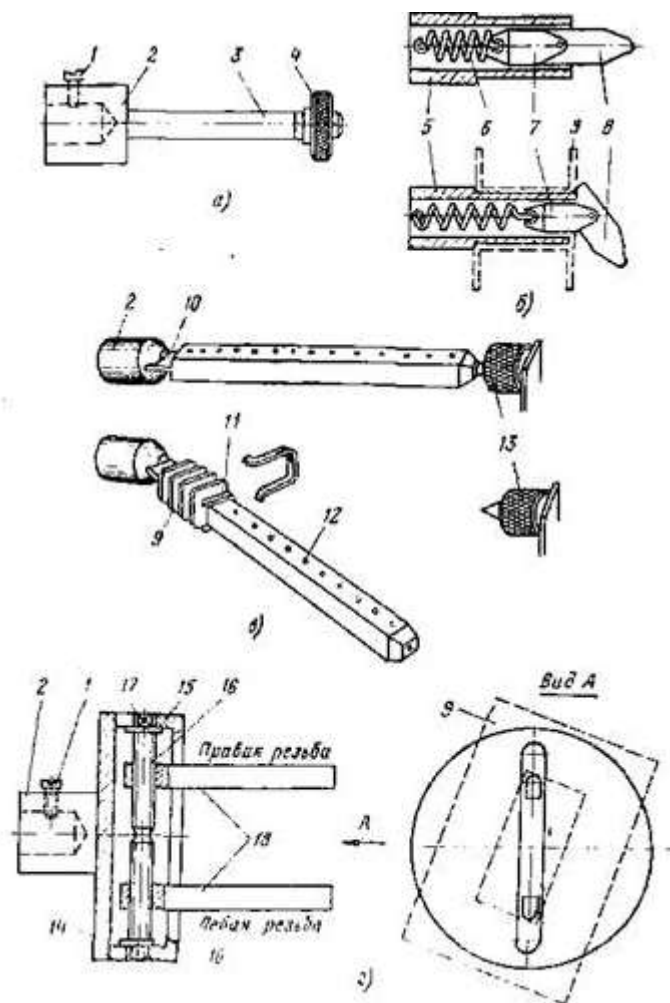


Рисунок 11.12 – Оправки для намотування:

1 – штопорний гвинт; 2 – хвостовик; 3 – стержень; 4 – кругла гайка з накаткою; 5 – втулка; 6 – пружина; 7 – вилка; 8 – заціпка; 9 – каркас котушки; 10 – поворотний шарнір; 11 – пружинна прокладка між каркасами; 12 – фіксувальні лунки; 13 – центр задньої бабки верстата; 14 – основа; 15 – корпус; 16 – гвинт з квадратами на торцях; 17 – розрізна запірна шайба; 18 – розсувні затискувачі губки

Залежно від конструкції котушки і річної програми випуску намотування може проводитися різними способами. В одиничному виробництві при нескладній конструкції намотування може здійснюватися вручну, далі механізованим способом на спеціально пристосованих верстатах. При масовому виробництві намотування проводиться на напівавтоматичному і автоматичному обладнанні. Вся технологія намотування, як правило, закладена в кінематиці верстата.

Залежно від напруги, марки обмотувального проводу, а також класу нагрівостійкості в конструкції котушки може застосовуватися різна міжвиткова ізоляція (телефонний папір, кабельна ізоляція, електроізоляційний картон та інші матеріали), яка охоплює обмотку з невеликим перекриттям.

При виконанні операції намотування дуже часто доводиться робити зварювання і пайку обмоточного дроти. В даному випадку вона не відрізняється від звичайних способів і тому спеціально не розглядається. Ізоляція спаянних і зварених місць повинна проводитися ретельно без потовщень дроту в місці спаю.

Ізолювання (бандажування) зовнішньої поверхні проводиться після приєднання та закріплення виводів. Циліндричні і прямокутні котушки з каркасом, котрі піддаються просоченню, доцільно ізолювати стрічкою з пористої тканини на намотувальних верстатах. Зовнішнє ізолювання безкаркасних котушок вручну є трудомісткою операцією. Тому її слід механізують, тобто виконують на спеціальних верстатах. Також широкого поширення набула лита зовнішня ізоляція котушок, яка володіє високими електричними і механічними характеристиками, дає можливість механізувати процес, дозволяє спростити конструкцію котушок і тим самим зменшити розміри і масу їх, а також магнітної системи і всього апарату.

Сушильно-просочувальні роботи. Роботоздатність котушок електричних апаратів у великій мірі залежить від виконання вологозахисту.

Вплив вологи на обмотувальні дроти викликає струмопровідні містки, і при тривалій дії вологи в обмотках знижується опір ізоляції із зменшенням електричної міцності деяких кіл апаратури.

Намотані і ізолювані котушки піддаються просоченню і лакуванню з попередньою і наступними сушками котушки.

Просочування забезпечує підвищення і поліпшення наступних властивостей електричної ізоляції: підвищення теплопровідності; підвищення електричної міцності; підвищення нагрівостійкості; підвищення хімічної стійкості; підвищення механічної міцності і стійкості до зношування; підвищення вологостійкості; зменшення гігроскопічності.

Лакування зовнішніх поверхонь котушки проводиться для того, щоб твердий, еластичний, гладкий і блискучий шар лаку або емалі охороняв зовнішню ізоляцію котушки, а тим самим і обмотку від зовнішніх руйнуючих дій, якими є: проникнення вологи; проникнення хімічних реагентів (кислот, лугів, масел, бензину, гасу та ін.); механічні дії; скупчення пилу та утворення бруду на поверхні котушки.

Операції технологічного процесу сушіння, просочування та лакування котушок з обмотувальних проводів наступні:

1. Сушіння перед просоченням. Під час сушіння з повітряних прошарків, пустот і пор видаляється волога, а при вакуумній сушці – і повітря.

2. Просочування лаками або компаундами. В процесі просочення місця, раніше зайняті повітрям і вологою, заповнюються електроізолюючими матеріалами.

3. Сушіння або нагрівання просочених котушок. В процесі сушіння котушок, просочених лаками, випаровуються розчинники і твердне основа лаку. Просочування, а отже, і сушіння, можуть бути двох-триразовими і більше.

В процесі нагрівання котушок, просочених термореактивним лаком або компаундом, відбувається його полімеризація.

4. Покриття котушок лаками або емалями або заливка компаундами (лита ізоляція).

5. Сушіння покривних лаків або нагрівання литий ізоляції. В процесі сушки випаровуються розчинники і відбувається полімеризація основи лаку або емалі. При нагріванні термореактивного компаунда він полімеризується (термопластичні компаунди не нагріваються, вони, навпаки, повинні, охолоджуючись, твердіти).

Час сушіння котушок перед та після кожного просочування залежить від матеріалу ізоляції, обмотки котушок, способу сушіння, а також від температури сушіння. Зі збільшенням температури сушіння збільшується швидкість виділення розчинника та вологи із обмотки. Проте збільшення температури приводить до збільшення швидкості старіння ізоляції. Тому допустима найбільша температура сушіння визначається класом нагрівостійкості.

Сушіння перед просочуванням застосовується для видалення із пор ізоляції вологи, яка перешкоджає проникненню лаку в капіляри та пори обмоток. Процес сушіння після просочування поділяється на дві стадії: видалення парів (відбувається в процесі розігрівання до температури сушіння) та полімеризацію лакової плівки.

Сушіння відбувається в спеціальних печах, які за принципами роботи поділяються на конвекційні, індукційні, вакуумні та радіаційні.

Технічний контроль котушок. При виготовленні котушок технічний контроль відбувається за наступним порядком:

- 1) після операцій з виготовлення каркаса;
- 2) після намотувальних операцій; особливу увагу слід приділяти натягненню дроту;
- 3) після операцій пайки;
- 4) після ізолювання зовнішньої ізоляцією;
- 5) після операцій просочення.

Види контролю:

1. Контроль геометричних розмірів проводиться на відповідність котушки кресленням і обмотувальним даними.

2. Контроль активного опору і числа витків. В процесі цього контролю непрямым чином перевіряється число витків, а також відсутність або наявність обривів дроту.

3. Контроль відсутності короткозамкнених витків. Котушки для апаратів змінного і постійного струму необхідно контролювати на відсутність короткозамкнених витків.

4. Контроль опору ізоляції. Опір ізоляції вимірюється між металевими частинами каркасу і одним з виводів. Безкаркасні котушки встановлюються на макетмагнітопроводу, для якого призначена котушка при зборці апарату. У багатообмотувальних котушок опір ізоляції вимірюється між виводами різних обмоток. Опір вимірюється за допомогою мегометра, відповідного номінальній напрузі котушки, а також приладом, робота якого базується на контролі ємності котушки; прилад доцільно використовувати в процесі сушки і просочення котушки.

5. Контроль електричної міцності ізоляції. При контролі електричної міцності ізоляції котушки випробувальна напруга прикладається між тими ж елементами котушок, що і при контролі опору ізоляції.

6. Вибірковий контроль та типові випробування. Періодично необхідно контролювати правильність укладання витків обмотки, міжшарових прокладок, внутрішніх з'єднань дроту (пайку і ізоляцію). З цією метою одна з котушок партії розмотується.

Крім того, необхідно періодично контролювати якість просочення котушок, в тому числі глибину проникнення в обмотку просочує складу. Для цього одна з котушок партії розрізається. Доцільним іноді є застосування рентгенівського просвічування.

Істотне значення для забезпечення якості котушок мають періодичні, типові (електричні, механічні та кліматичні) випробування електроапаратів, на яких встановлені ці котушки.

11.4 Виробництво магнітопроводів

Виробництво магнітопроводів, що є основною частиною електромагнітних систем, займає значне місце в електроапаратобудуванні. Багато електричних апаратів є по суті електромагнітною системою з деякими додатковими елементами. До таких апаратів відносяться втягуючі, підйомні і гальмівні магніти, соленоїдні клапани для рідин, повітря і газів, трансформатори струму і напруги, дроселі, магнітні підсилувачі та ін. При виробництві магнітопроводів необхідні магнітні й теплові характеристики в значній мірі залежать від правильного вибору феромагнітного матеріалу з урахуванням призначення магнітопроводу. Великий вплив на якість магнітопроводів надає технологія їх виробництва, починаючи від заготівельних операцій і закінчуючи їх складанням.

До магнітопроводів відносять:

- 1) масивні (нешихтовані) деталі;
- 2) шихтовані магнітопроводи;
- 3) стрічкові магнітопроводи;
- 4) формовані магнітопроводи.

11.4.1 Особливості технології виготовлення нешихтованих магнітопроводів

Основні деталі і складальні одиниці магнітопроводів (ярма, сердечники і якори) мають масивні нерозчленовані (нешихтовані) січення і виготовляються за методами технології машинобудування, при цьому використовуються процеси холодного штампування і механічної обробки на металорізальних верстатах.

Особливостями технології виготовлення є те, що при обробці заготовок (газовому різанні, холодному штампуванні, гнутті, зварюванні та ін.) в металі утворюються місцеві напруження, тому магнітні властивості деталей погіршуються внаслідок підвищеного опору металу до проходження магнітного потоку. Тому для отримання однорідної структури з метою поліпшення магнітних і механічних властивостей металу деталі з вуглецевих сталей піддаються відпалу. Деталі магнітопроводів (ярмо, якір) в місцях їх сполучення обробляються з необхідною шорсткістю, яка забезпечує їх стикування з мінімальним зазором.

Для ярм, сердечників і якорів магнітопроводів, що мають масивні нерозчленовані січення і застосовуються в апаратах головним чином постійного струму, необхідно застосовувати феромагнітні метали, які мають малу

коерцитивну силу. Завдяки цьому при знятті напружень з котушки магнітопроводу зберігається незначний залишковий магнітний потік, що не притягає якір до сердечника.

Найчастіше застосовуються такі матеріали:

1) сталь якісна, конструкційна, відпалена, що має невеликий вміст вуглецю (до 0,2 - 0,25%) і малу коерцитивну силу (0,7 – 0,35 А / м), марок 0; 1; 2; 0,5; 0,8; ПКП'; 10; 15; 20;

2) сталь низьковуглецева (до 0,45 %) електротехнічна, відпалена, низькокоерцитивна (0,3 – 1,2 А / м) у вигляді листів, смуг і прутків;

3) виливки фасонні з низьковуглецевої сталі і сірого чавуну.

11.4.2 Технологія виготовлення шихтованих магнітопроводів

В електричних апаратах змінного і постійного струму для зменшення втрат від вихрових струмів магнітопроводи часто виконуються у вигляді пакетів, зібраних з штапованих пластин (рис. 11.13). При цьому застосовуються тонколистові електротехнічні крем'янисті гарячекатані та холоднокатані сталі в листах і рулонах

При виготовленні шихтованих магнітопроводів одним з основних процесів є холодне листове штампування. Більшість конструкцій магнітопроводів апаратів змінного струму мають складну конфігурацію і виконуються у вигляді Ш-, К, П, Т і Г-подібних та інших форм. Висока вартість електротехнічної сталі призводить також до необхідності приділяти велику увагу питанню найвигіднішого розташування вирубаних деталей на смузі при холодному штампуванні.

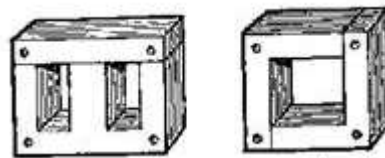


Рисунок 11.13 – Шихтовані магнітопроводи

При штампуванні пластин необхідно передбачати розташування довгих елементів пластин уздовж напрямку прокату з метою кращого використання магнітних властивостей електротехнічних сталей. При тонкому матеріалі, яким є електротехнічна сталь, і значному обсязі виробництва слід застосовувати наступне високопродуктивне обладнання: багатодискові (роликові) ножиці і пневматичні прес-ножиці. Процес штампування пластин магнітопроводів проводиться на ексцентрикових кривошипних пресах. Доцільно також застосовувати преси-автомати, що дають високу продуктивність, особливо при використанні рулонної сталі. Устаткування для штампування необхідно оснащувати пристроями для автоматичної подачі матеріалу і пристроями для автоматичного видалення та збирання відштапованих пластин в пакети або касети.

В окремих випадках в електроапаратобудування при частоті 50 Гц і невисокій індукції можна не застосовувати додаткової ізоляції пластин. Природна плівка окису електротехнічної сталі є достатньою для ізоляції за умови застосування оптимального тиску пресування в процесі складання магнітопроводу. У тих випадках, коли не вдається обмежитися природною плівкою окису, застосовуються технологічні процеси утворення або нанесення ізоляційного шару

на поверхню штампованих пластин. Існує кілька способів нанесення або утворення ізоляційного шару на пластинах, які застосовуються залежно від конструктивних вимог і виробничих можливостей.

Отримані пластини скріплюють за допомогою роз'ємних (різьбові з'єднання) та нероз'ємних (заклепування, пресування, склеювання).

11.4.3 Особливості технології виготовлення стрічкових магнітопроводів

Форма стрічкового магнітопроводу в залежності від його призначення може бути тороїдальна, квадратна, прямокутна, С-подібна та Е-подібна (рис. 11.14). Стрічкові магнітопроводи діляться на дві групи - виті і гнуті. У свою чергу кручені стрічкові магнітопроводи бувають нерозрізні і розрізні. Нерозрізні стрічкові магнітопроводи мають кращі магнітні характеристики, ніж розрізні, приблизно на 5 - 10%, так як в останніх має місце повітряний зазор і часткове замикання торців. До недоліків нерозрізних магнітопроводів відносяться складність і велика трудомісткість намотувальних робіт і порівняно малий коефіцієнт заповнення. Стрічкові магнітопроводи застосовуються для магнітних підсилювачів (великих потужностей) і для ряду електромагнітних апаратів безконтактних елементів автоматики.

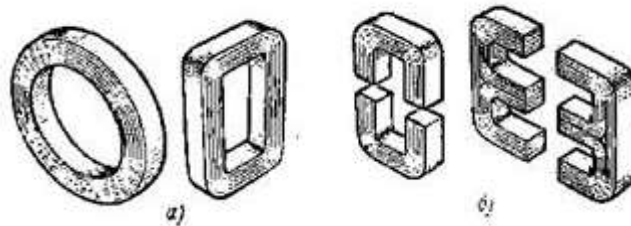


Рисунок 11.14 – Стрічкові магнітопроводи:
а) виті; б) гнуті

Основні переваги намотаних зі стрічки магнітопроводів наступні:

- 1) завдяки меншим зазорам між магнітопровідними частинами магнітопроводу потрібною є менша потужність намагнічування, ніж при пластинчастих магнітопроводах;
- 2) кручені стрічкові магнітопроводи мають менші втрати;
- 3) при виготовленні стрічкових магнітопроводів розширюється можливість механізації і автоматизації технологічних процесів.

Виті стрічкові магнітопроводи виготовляються навиванням стрічкового феромагнітного матеріалу на спеціальних верстатах. Певна форма магнітопроводу надається за допомогою спеціальних пристосувань (оправок), що закріплюються на шпинделі намоточного верстата. Торці розрізних магнітопроводів піддаються ретельному шліфуванню. У місці стику двох половин домагаються мінімального повітряного проміжку. Типова технологія виготовлення стрічкових витих магнітопроводів включає наступні операції:

- 1) контроль матеріалу на відповідність технічним умовам;
- 2) розрізування матеріалу на стрічки необхідної ширини (багатодискові ножиці);
- 3) зачистка стрічок від задирок (абразивні круги або елетрополірування);
- 4) знежирення стрічки (ванни з електролітом);

- 5) нанесення ізоляції (електроосадження);
- 6) навивка магнітопроводів;
- 7) термообробка магнітопроводів (відпал для зняття внутрішніх напружень);
- 8) розрізування магнітопроводів (дискова фреза або абразивний дисковий круг);
- 9) шліфування торців магнітопроводів (абразивна та анодно-механічна обробка);
- 10) контроль електричних і магнітних властивостей магнітопроводів (перевіряють втрати енергії на гістерезис та вихрові струми, індукцію, магнітну проникність та струм холостого ходу).

На рис. 11.15 представлено схему установки для навивання магнітопроводів з одночасним нанесенням ізоляції.

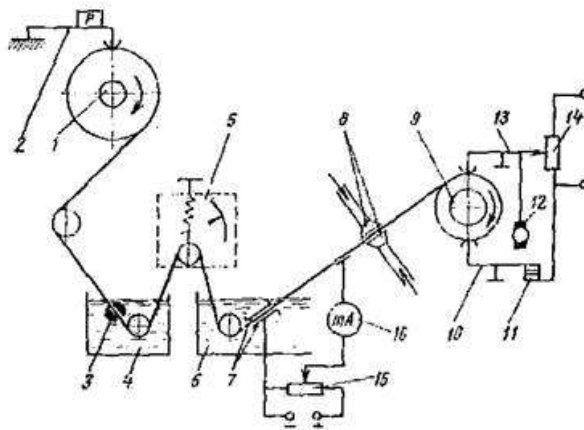


Рисунок 11.15 – Схема установки для навивання магнітопроводів з одночасним нанесенням ізоляції

Рулон знежиреної і зачищеної стрічки надягають на вісь 1 розмотувальної бабіни і притискають важелем гальмівного пристрою 2. Стрічку пропускають через фетровий протир 3, ванну з ацетоном 4 і демпферний пристрій з динамометром 5 для контролю зусилля натягу стрічки. Далі стрічка направляється в електроосаджувальну ванну 6, де її пропускають між пластинами катода 7. Для просушки стрічка проходить між сушильними соплами 8, до яких через масловідділювач підводиться гаряче повітря від калорифера. Після цього стрічка намотується на оправку 9, розміри та форма якої визначають розміри та форму внутрішнього отвору магнітопроводу. Коли магнітопровід досягає необхідного розміру, то він доторкається до ричала 10, який зв'язаний з мікровимикачем 11, який виключає коло електродвигуна 12. При зростанні діаметру магнітопроводу змінюється положення ричага 13 і, як наслідок, повзунка реостата 14, що призводить до зміни частоти обертання двигуна.

Струм ванни регулюють і контролюють реостатом 15 і міліамперметром 16. Готовий магнітопровід знімають з оправки і перевіряють його омичний опір.

11.4.4 Технологія формованих магнітопроводів

Технологія отримання деталей шляхом тиску (формувань з подальшим пресуванням) є високопродуктивною та прогресивною. При заміні шихтованих магнітопроводів пресованими магнітно-м'якими металокерамічними значно

скорочується потреба в пресах і штампах (останні замінюються прес-формами, яких потрібно менше).

Виробництво формованих магнітопроводів залежить від матеріалів, з яких виконуються магнітопроводи. Технологія виготовлення магнітопроводів з феритів складається з наступних основних процесів і операцій:

1. Приготування порошку. Цей процес полягає в наданні вихідним матеріалам високої дисперсності і ретельному їх змішуванні.

2. Формування. Надання форми може проводитися пресуванням, штампуванням, видавлюванням через мундштук і гарячим литтям під тиском.

3. Термообробка. Спінання (випал) заготовок магнітопроводів проводиться в печах при температурі до 1400 °С залежно від складу матеріалів.

4. Механічна обробка. Після термообробки ферити набувають високої твердості (як кераміка).

Контроль даних магнітопроводів здійснюють шляхом вимірювання петлі гістерезису.

11.5 Виробництво резисторів

Резистори виконують різноманітні функції і є регульовальними, пусковими, гальмовими, навантажувальними, додатковими, нагрівальними, заземляючими та ін.

За своїм призначенням резистори розраховуються на струми від долей до тисяч ампер, і в зв'язку з цим мають великі відмінності в габаритних розмірах. До конструкції і технології резисторів і їх резистивних елементів пред'являються такі основні вимоги:

- 1) елементи повинні мати близьким до розрахункового активний опір;
- 2)) елементи повинні бути надійні і мати достатні нагревостійкість, електричну та механічну міцність;
- 3) необхідно економити матеріали, з яких виготовляються елементи.

Основною особливістю роботи резистора є те, що в ньому електрична енергія перетворюється на теплову і резистор нагрівається. Високі температури визначають основні вимоги, які пред'являються як до струмоведучих, так і до ізоляційних матеріалів резисторів.

1. Струмоведучі та ізоляційні матеріали резисторів повинні володіти високою жаростійкістю, здатністю витримувати високі температури без оплавлень, інтенсивного окислення, розтріскування, обвуглювання.

2. Струмоведучі матеріали повинні мати високий питомий опір з метою отримання значного активного опору при порівняно невеликих довжинах провідника.

3. Струмоведучі матеріали повинні володіти малим значенням температурного коефіцієнта питомого опору.

Матеріали резисторів з високим питомим опором, тривалий час витримують температуру 300 °С і більш високу. З них виготовляється струмоведуча частина резистивних елементів і їх можна поділити на такі види:

1) дровові і стрічкові сплави мідно-нікелеві (константан), марганцево-мідні (манганін), нікель-хромові (ніхром), залізохромалюмінієві (фехраль), низьковуглецева сталь та ін.

- 2) листові матеріали (електротехнічні крем'янисті сталі);
- 3) чавун;
- 4) неметалеві матеріали (вугільні композиції).

11.5.1 Технологія виробництва плівкових резистивних елементів

Технологія виготовлення плівкових елементів розкладається на багато операцій, які для різних конструкцій резисторів є різні. Однак послідовність основних операцій технологічних процесів виготовлення плівкових елементів цілком визначена і полягає в наступному:

I. Підготовка поверхні ізоляційних основ під провідні покриття:

- 1) обробка травленням в розчині плавикової кислоти або механічна обробка дрібнодисперсним абразивом;
- 2) зняття фасок (здійснюють звичайно в галтувальних барабанах);
- 3) промивка та центрифугування;
- 4) оплавлення (при високих температурах для згладжування поверхні основи);
- 5) розкалібрування основ.

II. Створення резистивних елементів:

- 1) прожарювання (для зменшення газовиділення);
- 2) нанесення провідних матеріалів на основи;
- 3) поворот основи навколо осі в момент нанесення провідних матеріалів;
- 4) перевірка питомого опору;
- 5) нанесення лакового покриття на провідний шар;
- 6) сушіння лакових покриттів (інфрачервоними променями);
- 7) нанесення спіральної або іншої нарізки;
- 8) армування виводів (створення малого перехідного опору);
- 9) електричне тренування з метою відбракування по прихованих дефектах;
- 10) покриття поверхні двома або трьома шарами емалі;
- 11) сушіння емалевих покриттів (інфрачервоними променями).

III. Конструктивне оформлення резисторів і вимірювання параметрів:

- 1) розкалібрування за класами точності;
- 2) маркування;
- 3) механічний контроль всіх параметрів.

11.5.2 Технологія дровових, стрічкових, спіральних та зигзагоподібних елементів на каркасах та без них

Навивка спіралі циліндричної форми із фехралевої стрічки на ребро здійснюється на оправці аналогічно до навивання на ребер котушок із шинної міді.

Для навивання дровових та стрічкових без каркасних елементів можна використати токарний верстат. Часто для навивки безкаркасних елементів використовують верстати, які застосовуються для намотування котушок. Всі верстати, що застосовуються для намотування безкаркасних елементів, повинні бути обладнані пристроями, які відміряють задану довжину дроту або стрічки, а також вимірюють опір елементів резисторів.

Застосовуються два види безкаркасних спіральних елементів:

- 1) окремі відрізки спіралі (рис. 11.16 а, в);

2) спіральні ділянки, пов'язані випрямленими ділянками дроту(рис. 11.16 б).

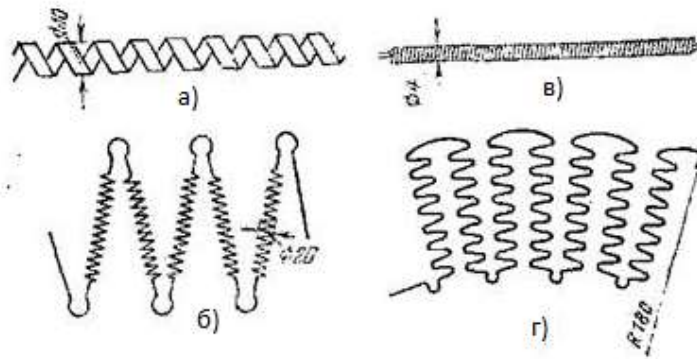


Рисунок 11.16 – Дротові та стрічкові без каркасні резистивні елементи

Технологічний процес виготовлення зигзагоподібних безкаркасних елементів (рис. 11.16 г) складається з двох операцій - гнутті зигзагів і утворення елементів. З вигнутого зигзагоподібно дроту виготовляються дискові (плиткові) реостати збудження. Після того як зигзагоподібно вигнутий дріт покладено в пресовану з нагревостійкої пластмаси основу, до дроту приварюються нерухомі контакти реостата (вони розміщуються по колу). Потім дріт заливається нагревостійкою масою.

У електроапаратобудуванні поширені такі основні способи навивки дроту або стрічки:

- 1) ручне намотування; воно застосовується в дрібносерійному виробництві;
- 2) намотування на намотувальних верстатах, яке майже нічим не відрізняється від намотування котушок з обмотувальної міді;
- 3) намотування на спеціальних верстатах для пластинчастих елементів (один із видів таких верстатів зображений на рис. 11.17).

Пластина каркасу, відштампована із сталі, з укріпленими на ній зазвичай гіпсом фарфоровими ізоляторами 1 затискається двома гвинтами між двома пластинами 2, яка є знімною частиною, що обертається. Пластини 2 разом з каркасом 1 встановлюються спочатку в патрон 3 передньої бабки верстата, а потім в отвір шпинделя 4 задньої бабки. Бухта або котушка з дротом або стрічкою 5 розміщується за верстатом з боку, протилежного робочому місцю. Для забезпечення натягу дріт або стрічка пропускається між прокладками з м'якого матеріалу, затиснутими пластинами каретки подачі 6. За допомогою валика подачі з прямокутною нарізкою 7 каретка 6 з дротом пересувається по мірі намотування;

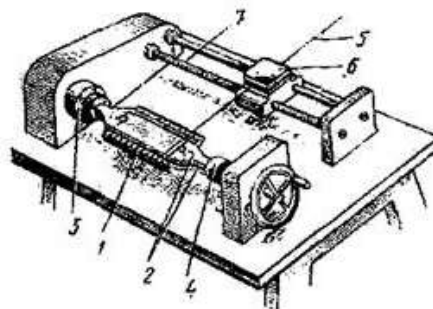


Рисунок 11.17 – Зображення верстата для намотування дротових та стрічкових пластинчастих резистивних елементів

11.5.3 Технологія штампованих резистивних елементів

Штамповані резистивні елементи мають різноманітні конструкції (рис. 11.18). Однак, технологічний процес їх виготовлення має багато спільного і включає наступні основні операції:

- 1) розрізання листа на смуги, якщо матеріал не стрічковий;
- 2) холодне штампування;
- 3) захисне покриття металом (не завжди), наприклад цинкування або покриття алюмінієвою пудрою;
- 4) інші операції, наприклад, посадка U-подібних смуг жорсткості у елементів рис. 11.18, а.

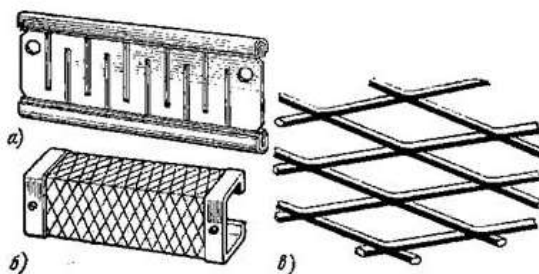


Рисунок 11.18 – Штамповані резистивні елементи

- а) елемент із тонкої сталі з U-подібними смугами; б) елемент із сітки, отриманий шляхом вирубівання та подальшої витяжки; в) сітка елемента в масштабі

11.5.4 Технологія чавунних резистивних елементів

Відливання чавунних резистивних елементів є складним виробничим завданням. Електричні опори кожного елемента повинні бути витримані у вузьких межах. Вони визначаються, по-перше, складом металу, а по-друге, геометричними розмірами перетину струмоведучих частин. Невеликі відхилення в шихті, недбале формування, що призводить до порушення форми, ведуть до браку.

Для того щоб отримати гарне заповнення форм і підвищену механічну міцність елементів, відливання проводиться металом, перегрітим приблизно на 80°C у порівнянні зі звичайним чавунним литтям, тобто при $1450 - 1460^{\circ}\text{C}$.

Шліфування може здійснюватись на звичайному плоскошліфувальному верстаті, що має електромагнітну плиту. Після шліфування з одного боку елемент перевертається, і шліфується з іншого боку. Для підвищення продуктивності праці доцільно шліфувати одночасно з двох сторін на спеціальному верстаті, що має два абразивних кола, які обертаються навколо горизонтальної осі.

Процес гальванічного металопокриття тривалий і складається з багатьох операцій. Замість цинкування застосовується більш простий і дешевий процес покриття чавунних елементів алюмінієвою фарбою (алюмінієва пудра, рідке скло й ін.). Після нанесення пульверизатором фарби елементи сушаться в тунельній терморадіаційній печі на конвеєрній лінії, при цьому відпадає необхідність направляти елементи в гальванічний цех. Це значно скорочує виробничий цикл виготовлення чавунних елементів і знижує їх собівартість.

11.6 Технологія виготовлення литої ізоляції

При виробництві деталей і складальних одиниць електричних апаратів використовується лита ізоляція, яка набула широкого поширення в даний час.

Застосування литої ізоляції в електричних апаратах дає велику економію трудових витрат, а також зменшує розміри і масу виробів і робить їх більш простими. Лита ізоляція після заливки забезпечує одночасно високі механічні властивості та електроізоляцію. У ряді конструкцій апаратів заливаються обмотка, магнітопровід, а іноді цілі апарати без комутуючих контактів і таким чином захищаються від вологи, механічних впливів і впливів навколишнього середовища. Лита ізоляція забезпечує високі електроізоляційні властивості і тому виключає необхідність нанесення великої кількості дорогих шарів різної ізоляції (наприклад, слюдяних). Крім високих електроізоляційних властивостей лита ізоляція також володіє високою питомою ударною в'язкістю (5 - 20) · 10³ Дж / м², значно більшою, ніж кераміка.

Основними матеріалами литої ізоляції є ряд синтетичних смол - полімерів, які знаходять широке поширення в електроапаратобудуванні. Застосування смол в чистому вигляді недоцільно по причині великої вартості, а також зменшеної міцності в порівнянні з компаундами. На базі тих чи інших смол створюються різні компаунди, які складаються з смол, затверджувача, наповнювача, а також. дуже часто додаються пластифікатор, стабілізатор, інгібітор та ін. Склад компаунда залежить в першу чергу від застосовуваної смоли. Наповнювачами можуть служити кварцовий пісок, порцеляновий мука, слюдяная пил, мелене скловолокно, тальк, терте скло та інші матеріали, що володіють достатньою теплопровідністю. Залежно від смоли і компонентів та інших умов наповнювача в компаунді може бути до 30% по відношенню до маси смоли.

Найбільш часто в електроапаратобудування застосовуються компаунди на основі епоксидної смоли. Ізоляція такого типу являє собою поєднання склотканини, посиленої слюдинітом, що є високоміцним електричним прошарком, з епоксидним компаундом. Епоксидна смола з в'язкорідкого стану переходить у твердий неплавкий і нерозчинний стан при введенні в неї затверджувачів.

Метакрилові компаунди і смоли мають високі показники по дугостійкості, а також водо- і вологостійкості. Компаунди на основі метакрилових смол при введенні затверджувача полімеризуються при кімнатній температурі протягом 6 - 12 год.

При виробництві деталей і складальних одиниць апаратів з литої ізоляції обладнання, як правило, не потрібно. Рідкий компаунд або смола заливається в форму, в якій встановлені деталі, складальні одиниці або цілі апарати. Форми представляють із себе корпус, в якому заливаються деталі фіксуються в певному положенні стійками або розпірками. Форми виготовляються з металу (силуміну, сталі) і синтетичних матеріалів (полівінілхлориду, фторопласту).

Технологія виготовлення литої ізоляції має наступну послідовність

I. Підготовчі роботи:

- 1) процес просочення і сушіння обмоток, що заливаються
- 2) у процесі підготовки смоли, наповнювачів і затверджувачів смоли необхідно розплавити, фільтрувати і дозувати; наповнювачі необхідно сушити, просівати, сепарувати (видаляти металеві частинки) і дозувати; затверджувачі, що вводяться в заливний склад в порошкоподібному вигляді, необхідно сушити, розмелювати (якщо вони злежалися в грудки), а використовувані в рідкому вигляді - розплавляти, потім ті й інші дозувати;

3) в процесі приготування компаунда смола змішується з наповнювачем; без затверджувача смола може залишатися без зміни її властивостей тривалий час, проте як тільки в смолу додається затверджувач, термін використання, або, як прийнято говорити, «термін життя», отриманого компаунда стає строго обмеженим. Після закінчення цього терміну компаунд густіє і стає вже непридатним до заливання. Термін придатності залежить від виду смоли, затверджувача і температури, наприклад для епоксидних смол при 120 – 130 ° С термін придатності знаходиться в межах 0,5 – 1 год, а при 160 ° С він дуже малий. Змішування смол гарячого затвердіння, в тому числі епоксидних з наповнювачем, проводиться в котлі при 160 °С. Суміш вакуумують для видалення бульбашок повітря, потім в суміш смоли з наповнювачем додається затверджувач, отриманий компаунд ретельно перемішується і в ряді випадків, в тому числі епоксидний компаунд, обов'язково ще раз вакуумують; після цього необхідно негайно приступити до заливання компаунда в форму;

4) щоб уникнути прилипання до форми, наприклад епоксидного компаунда, її внутрішня поверхня покривається розчином кремнійорганічного каучуку в толуолі, потім форма сушиться для видалення з мастила розчинника.

II. Встановлення виробу в форму. Необхідно звертати увагу на центрування і правильну установку виробу в форму. В іншому випадку товщина литої ізоляції буде нерівномірною.

III. Заливання. Заливання повинне бути закінченим до закінчення терміну часу життя компаунда. При високих вимогах до якості литої ізоляції заливку рекомендується проводити під вакуумування щоб видалити всі пухирці повітря. Для цього форма повинна бути поміщена в вакуум-котел.

IV. Полімеризація або поліконденсація компаунда. У деяких випадках необхідне охолодження виробів з литою ізоляцією разом з піччю.

V. Витягування виробів з литою ізоляцією з форми, видалення літників і облоя. При гарячій полімеризації в ряді випадків видалення літників і облоя доцільно проводити безпосередньо після виймання виробів з форми ще в гарячому їх стані.

VI. Вторинна термообробка – випічка для остаточної полімеризації або поліконденсації литої ізоляції.

VII. Технічний контроль – контроль правильного взаємного розташування залитих складальних одиниць і деталей за допомогою рентгенівського апарату. Виявлення бульбашок, раковин і тріщин здійснюється за допомогою ультразвукової установки. Контроль електричних параметрів виробів і властивостей литої ізоляції проводиться звичайними методами

Лекція 12

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ЗБОРКИ

12.1 Загальні відомості про процес зборки

Трудомісткість складальних операцій у виробництві електротехнічних приладів складає 40 –50% загальної трудомісткості їхнього виготовлення, що висуває складальні роботи в число визначальних у виробництві.

Операції зборки є заключною стадією виробництва, при якій окремі деталі і вузли з'єднуються в готовий до експлуатації виріб. Операції контролю служать для перевірки якості виготовлення деталей, вузлів і виробу в цілому, його працездатності і відповідності фактичних світлотехнічних характеристик заданим. Операції упакування забезпечують збережуваність виробів чи їхніх складових частин при збереженні і транспортуванні.

Вироби підрозділяють на деталі, складальні одиниці, комплекси і комплекти. При цьому деталлю вважається виріб, виготовлений з одного матеріалу без застосування складальних операцій; складальною одиницею – складова частина виробу, отримана у процесі здійснення складальних операцій; комплексом – два вироби і більше, не з'єднані складальними операціями, але призначені для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій; комплектом – два вироби і більше, не з'єднані складальними операціями, але маючі загальні експлуатаційні призначення допоміжного характеру.

Технологічним процесом зборки називається сукупність операцій по з'єднанню деталей у визначеній технічно й економічно доцільній послідовності для одержання складальних одиниць і виробів, що цілком відповідають установленим для них вимогам.

Зборка поділяється на поточну і непоточну. Кожна з них може бути стаціонарною або рухомою. Рухома поточна зборка поділяється на зборку з періодичним та неперервним переміщенням об'єкту.

Стаціонарною називається зборка, при якій виріб, що збирається, залишається на одному робочому місці, до якого подаються всі деталі і вузли, а *рухомою* – при його безупинному чи періодичному переміщенні від одного робочого місця до іншого, на яких здійснюється та сама повторювана складальна операція. У зв'язку з цим технологічні процеси за принципом зборки можуть бути розділені на наступні: індивідуальний пригін; повна взаємозамінність; неповна взаємозамінність шляхом індивідуального і групового підбору деталей. Зборка за принципом індивідуального пригону застосовується в одиничному і дрібносерійному виробництвах; зборка за принципом повної взаємозамінності застосовується в крупносерійному і масовому виробництвах, а за принципом неповної взаємозамінності – як в одиничному і дрібносерійному, так і серійному виробництвах.

Зборка на основі максимальної концентрації (індивідуальна) використовується при одиничному, а максимального розчленовування (диференційована) – при серійному і масовому виробництвах.

При *індивідуальній зборці* всі складальні операції виконує один робітник чи бригада, як правило, на одному робочому місці. При *диференційованій зборці* окремі операції виконуються різними робітниками на різних робочих місцях. Транспортування виробів від одного робочого місця до іншого здійснюється транспортними конвеєрами. Стаціонарна зборка може застосовуватися при індивідуальному і диференційованому методах зборки. Поточна зборка застосовується тільки при диференційованому методі зборки й у виробництві світлових приладів є найпоширенішою.

Зборку можна розділити на два самостійних технологічних процеси: так називану *чорнову зборку*, при якій деталі з'єднують зварюванням, пайкою і

клепкою, і *чистову зборку*, при якій деталі з'єднують за допомогою різних рознімних кріпильних і інших з'єднань. Електромонтажні роботи також відносяться до чистової зборки.

Розрізняють два види з'єднань деталей при зборці – рухомі, у яких одна деталь може переміщатися щодо іншої, утворити кінематичну пару, і нерухомі, котрі, у свою чергу, підрозділяються на роз'ємні і нероз'ємні.

12.2 Підготовка виробництва до зборочних робіт

Підготовка виробництва зборочних робіт містить багато задач: це відпрацювання конструкцій на технологічність з погляду зборки; уніфікація; забезпечення точності розмірів і якості деталей і комплектуючих вузлів і виробів; оптимальне проектування технологічного процесу зборки щоб уникнути необґрунтованого збільшення собівартості і зменшення надійності виробів. При відпрацюванні конструкцій збиральних виробів на технологічність зборки враховують: можливість їхнього розчленовування на складальні одиниці; присутність місць кріпильних з'єднань; необхідність додаткової обробки деталей; їхня взаємозамінність; наявність у конструкції більш простих і симетричних форм деталей, що мають направляючі елементи, фаски й інші особливості, що забезпечують швидку орієнтацію, подачу і базування деталей на місці зборки.

Процес зборки можна умовно розділити на наступні процеси: комплектування і доставка деталей до місця зборки; заготовка й обробка проводів; розбирання, заряджання і зборка патронів; власне зборка виробу; випробування виробу; транспортування готових виробів; упакування. В окремих конкретних випадках ці операції можуть сполучатися чи роз'єднуватися.

Основою для проектування технологічного процесу зборки є: креслення складальні і загальні види вузлів і деталей; технічні умови на приймання й іспит виробів; виробнича програма зборки; специфікація вузлів, що надходять на зборку, і деталей.

У кресленнях, необхідних для проектування технологічних процесів зборки, повинні бути зазначені допуски на лінійні і кутові розміри, що визначають взаємне розташування деталей, конструктивні зазори, а також особливі вимоги, що стосуються зборки виробу. На кресленнях повинні бути дані проекції і розрізи, необхідні для повного розуміння і ясного представлення конструкцій вузлів, що збираються, і виробів. Технічні умови повинні відповідати вимогам ЄСКД і містити інформацію, достатню для проведення приймання й випробування готового виробу. Виробнича програма повинна містити найменування виробів, що збираються, і вузлів, масу кожного вузла, річний обсяг випуску виробів чи вузлів. У специфікаціях, що надходять на зборку деталей і вузлів, указуються їхнє найменування, номер, кількість на один виріб, з якого цеху надходить на зборку. Після вивчення вихідних даних розробляється технологічний процес зборки, що включає в себе окремі послідовні операції і переходи. Якщо виробу необхідне допрацювання окремих деталей і вузлів перед зборкою, то такі операції, наприклад виготовлення електричних джгутів, повинні передувати зборці. У зв'язку з цим зборку підрозділяють на вузлову і загальну. При розробці технологічного процесу зборки для кожної операції, переходу й інших частин складального процесу повинний бути даний опис характеру робіт і способів їхнього виконання; зазначені

необхідний інструмент і пристосування, визначені необхідна кількість часу, число робітників і їхня кваліфікація.

До числа основних факторів, що визначають технологічний процес зборки, відноситься час, необхідний на виконання складальних операцій. Норма часу на одиницю виробу визначається як сума основного (технологічного), допоміжного часу і часу на перерви й обслуговування робочого місця.

12.3 Технологічні особливості складальних операцій

У виробництві електротехнічних приладів переважне поширення одержали наступні організаційні форми зборки: рухома конвеєрна з регламентованим ритмом; стаціонарна конвеєрна зборка з вільним ритмом і стаціонарною зборкою з використанням індивідуальних робочих місць.

Рухома конвеєрна зборка з регламентованим ритмом. Ця форма потокової організації складальних робіт є основною у масовому і крупносерійному виробництвах.

Для здійснення потокової зборки необхідне виконання наступних умов: забезпечення взаємозамінності деталей, при якій виключається пригін їх по місцеві; розчленування всього складального процесу на окремі операції, по можливості однакові чи кратні за часом їхнього виконання (такту); забезпечення регулярної і своєчасної доставки до складальних місць деталей і вузлів, а також матеріалів і інструмента. Складність налагодження потокової зборки компенсується її перевагами – мінімальною собівартістю виробів, високою продуктивністю, ефективним використанням виробничої площі і т.п.

Відмінними рисами потокового виробництва є безперервність руху складальної одиниці і вихід її з автоматичної конвеєрної лінії (складальної ділянки) з необхідним тактом.

У поточкових лініях устаткування розставляється по ходу технологічних операцій таким чином, щоб скоротити до мінімуму довжину шляху, що проходиться виробом, забезпечити можливість найкращого використовувати виробничої площі. Все устаткування потокової лінії зв'язується за допомогою транспортних пристроїв для передачі виробу з однієї операції на іншу. Контрольні операції, як звичайні операції технологічного процесу, включаються безпосередньо в поточкову лінію.

Як транспортуючий пристрій переважне поширення в складальному виробництві одержали конвеєри з регламентованим ритмом. Конструктивно вони виконуються горизонтально і вертикально замкнутими.

За способом розміщення транспортуючого органа конвеєри можуть бути підвісні, наземні і підземні. У електротехнічному виробництві застосовуються конвеєри, у конструкції яких є різні транспортуючі органи (найбільше поширення одержали стрічкові, пластинчасті і візкові).

Для *стрічкових конвеєрів* застосовують гумовотканинну стрічку шириною 200—650 мм. Швидкість руху стрічки звичайно регулюється в широких межах, при цьому маса світильників, що збираються, до 5 кг.

На *пластинчастих конвеєрах* збирають прилади масою від 5 до 25 кг, робочий орган таких конвеєрів виконується у виді металевої пластинчастої стрічки,

У *візкових конвеєрах* виробу розміщують у спеціальних візках, швидкість

переміщення яких складає 0,2—0,8 м/с, маса приладів, що збираються, від 10 до 50 кг.

Сучасні конвеєри – складні технічні спорудження, оснащені великою кількістю різних комунікацій, повітропровідною, вентиляційною системами і т.п.

Рухова зборка з регламентованим ритмом здійснюється переважно на пульсуючих візкових чи пластинчастих конвеєрах. Зборка здійснюється під час зупинки конвеєра, на що приділяється строго регламентований час, після закінчення якого конвеєр переміщає вироби на наступні операції. Для ефективної роботи в пульсуючому режимі необхідно, щоб час виконання кожної з операцій був однаковим і рівним такту

З метою підвищення продуктивності складальних ліній прагнуть скорочувати такт зборки, для чого збільшують швидкість конвеєра і зменшують час розчленовування складальних операцій. Оскільки одночасно з цим підвищується монотонність праці і стомлюваність робітників, у складальному виробництві впроваджуються різні заходи наукової організації праці, наприклад вводять перемінний ритм роботи – більш швидкий у середині робочого дня і повільний у його початку і кінці; використовують функціональну музику і т.п.

При комплектуванні бригад збирачів на конвеєрах із жорсткою регламентацією темпу роботи варто враховувати індивідуальні особливості збирачів і їхній вік. Рекомендується формувати бригади збирачів двох типів: від 18 до 40 років і від 41 року і старше. Час додаткових регламентованих, що рекомендується, перерв — дві перерви по 10 хв і дві перерви по 5 хв.

Стаціонарна конвеєрна зборка з вільним ритмом. Принципова відмінність стаціонарної зборки з вільним ритмом від зборки з твердим регламентованим ритмом полягає в тому, що на кожному робочому місці створюється страховий запас деталей, вузлів і виробів, що збираються, що безупинно поповнюється конвеєром

Робітник, виконавши чергову операцію на виробі, що надійшов на його робоче місце, відправляє його по конвеєрі далі – у страховий запас на наступне робоче місце. Вироби надходять на наступну складальну операцію вже зі страхового запасу. При такій організації роботи немає жорсткої залежності робітника від ритму роботи конвеєра, що сприяє зменшенню стомлюваності і нервової напруги збирача. При такому режимі зборки продуктивність, як правило, трохи нижче, однак метод зборки з вільним ритмом у більшому ступені відповідає вимогам охорони праці і здоров'я людини.

Стаціонарна конвеєрна зборка з вільним ритмом застосовується в серійному і крупносерійному виробництвах світлових приладів. При цьому може здійснюватися зборка з неповною взаємозамінністю деталей, коли в робітника мається запас часу на припасування чи добір деталей, що не впливає на загальний ритм зборки. Налагодження таких конвеєрних ліній значно простіше, тому що не потрібно, щоб конвеєр рухався строго ритмічно; досить, щоб він працював у безупинному чи пульсуючому режимі. Як транспортуючий пристрій переважно поширення при цьому виді зборки одержали стрічкові і візкові конвеєри. При розчленовуванні складальних операцій варто стежити за їхньою рівномірною трудомісткістю, не допускаючи перевантаження окремих робочих місць трудомісткими операціями. Зборка з вільним ритмом рекомендується при масі

виробу до 4 – 5 кг.

Стационарна зборка з використанням індивідуальних робочих місць.

Застосовується укрупнення складальних вузлів аж до зборки усього виробу на одному робочому місці з доставкою до нього всіх необхідних деталей і комплектуючих виробів і наступним збиранням готового виробу. Перевагою такої організації складальних робіт є індивідуальна оцінка праці робітника, що дозволяє вводити диференційовану оплату праці в залежності від кількості і якості зібраних виробів. Такий метод зборки дозволить у максимальному ступені підвищити індивідуальну продуктивність праці робітника.

12.4 Нероз'ємні з'єднання

До нероз'ємного відносяться з'єднання, що виключають можливість розбирання без руйнування зібраних деталей у процесі експлуатації вузла чи виробу. У електротехнічному виробництві застосовуються з'єднання за допомогою клепок, склеювання, пайки і зварювання. Застосовуються також з'єднання заливанням різними компаундами (у виробництві магнітопроводів ПРА), розвальцьовуванням (у виробництві корпусних деталей), тощо.

З'єднання клепокою. Застосовуються для забезпечення надійного з'єднання деяких вузлів.

Заклепувальні з'єднання розрізняються в залежності від характеристик одержуваного зчленування деталей на міцні і щільні. *Міцні з'єднання* мають гарантоване значення зусилля, яке вони витримують без руйнування. *Щільні* – забезпечують задану герметичність шва і при зборці застосовують обмежено. Існує багато різних форм заклепок і типів заклепувальних швів (однорядні, багаторядні й ін.). Розміри заклепок стандартизовані. На рис.12.1 подано види заклепок.

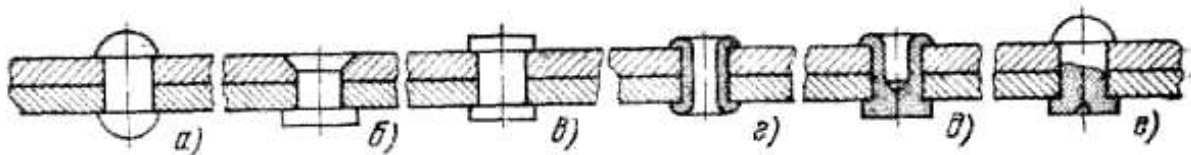


Рисунок 12.1 – Види заклепок:

- а) півкругла; б) потайна; в) циліндрична; г) пістон; д) напівпістон;
е) комбінована

Заклепувальні з'єднання виконують холодним (без розігріву заклепки) або гарячим (з розігрівом заклепки) способами на спеціальних клепальних пресах, штампувальних чи пресах із застосуванням клепальних молотків.

З'єднання склеюванням. Клейові з'єднання мають ряд переваг у порівнянні з заклепувальними і зварними з'єднаннями. Насамперед це можливість надійно з'єднувати різні матеріали, наприклад пластмасу з металом; здатність протистояти корозії; висока еластичність; температурна стійкість і ін. Недоліком клейових з'єднань є їх відносно невисока міцність при нерівномірних навантаженнях. У виробництві електротехнічних приладів застосовуються клеї на основі термореактивних полімерів (епоксидні, фенолформальдегідні, поліефірні й ін.), неорганічних з'єднань (фосфатні, силікатні й ін.), термопластичних полімерів (полівінілхлоридні, полівінілацетатні й ін.), гумових та ін.

Перед нанесенням клею поверхня матеріалу зачищають і знежирюють бензином чи ацетоном. Клей наносять за допомогою кисті чи спеціального валика.

Після деякої витримки деталі з'єднують і залишають при певних температурі і тиску.

З'єднання пайкою широко застосовуються при зборці електричних схем. У порівнянні зі зварюванням пайка має деякі переваги: менша витрата теплоти на нагрівання матеріалу, відсутність істотних змін хімічного складу і механічних властивостей основного металу, менші залишкові деформації й ін.

Паяння – процес отримання нероз'ємного з'єднання заготовок без їх розплавлення шляхом змочування поверхонь рідким припоєм з подальшою його кристалізацією. Розплавлений припой затікає в спеціально створювані зазори між деталями і дифундує в метал цих деталей. Відбувається процес взаємного розчинення металу деталей і припою, внаслідок чого утворюється сплав, міцніший, ніж припій.

Утворення з'єднання без розплавлення основного металу забезпечує можливість розпаювання з'єднання.

Якість паяних з'єднань (міцність, герметичність, надійність і ін.) залежать від правильного вибору основного металу, припою, флюсу, способу нагріву, типу з'єднання.

Припой повинен добре розчиняти основний метал, володіти змочуючою здатністю, бути дешевим і недефіцитним. Припоями є сплави кольорових металів складного складу. За температурою плавлення припої підрозділяють на особливо легкоплавкі (температура плавлення нижче 145°C), легкоплавкі (145 – 450°C), середньоплавкі (450 – 1100°C) і тугоплавкі (вище 1050°C). До особливо легкоплавких і легкоплавких припоїв відносяться олов'яно-свинцеві, на основі вісмуту, індію, олова, цинку, свинцю. До середньоплавких і тугоплавких відносяться припої мідні, мідно-цинкові, мідно-нікелеві, припої з сріблом, золотом, платиною. Припої виготовляють у вигляді прутків, листів, дротів, смуг, спіралей, дисків, кілець, зерен.

У електротехнічному виробництві переважне поширення одержали легкоплавкі олов'яно-свинцеві припої, що мають верхню критичну точку плавлення 209 – 327° С.

Ці припої ефективні при пайці мідних проводів і деталей з міді, сталі і латуні. Тверді припої при виробництві світлових приладів використовуються для пайки світлорозсіюючих решіток, з'єднань деталей у вибухозахщених світильниках і інших випадках. Пайка твердими припоями застосовується при зборці елементів конструкцій світильників, виготовлених з міді і сплавів на її основі, а також легованих сталей і алюмінієвих сплавів.

При паянні застосовуються флюси для захисту місця спаю від окислення при нагріві складальної одиниці, забезпечення кращої змочуваності місця спаю розплавленим металом і розчинення металевих оксидів. Температура плавлення флюсу повинна бути нижче за температуру плавлення припою. Флюси можуть бути тверді, пастоподібні і рідкі. Для паяння найбільш застосовні флюси: бура, плавиковий шпат, борна кислота, каніфоль, хлористий цинк, фтористий калій. Паяння точних з'єднань проводять без флюсів в захисній атмосфері або у вакуумі.

Залежно від способу нагріву розрізняють паяння газове, зануренням (у металеву або соляну ванну), електричне (дугове, індукційне, контактне), ультразвукове.

В одиничному і дрібносерійному виробництві застосовують паяння з місцевим нагрівом за допомогою паяльника або газового пальника.

У крупносерійному і масовому виробництві застосовують нагрівання у ваннах і газових печах, електронагрівання, імпульсні паяльники, індукційне нагрівання, нагрівання струмами високої частоти.

Перспективним напрямом розвитку технології паяння металевих і неметалічних матеріалів є використання ультразвуку. Генератор ультразвукової частоти і паяльник з ультразвуковим магнітострикційним вібратором застосовуються для безфлюсового паяння на повітрі і паяння алюмінію. Оксидна плівка руйнується за рахунок коливань ультразвукової частоти.

Процес паяння включає: підготовку поверхонь деталей під паяння, зборку, нанесення флюсу і припою, нагрівання місця спаю, промивку і зачистку шва. Деталі для паяння ретельно готуються: їх зачищають, промивають, знежирюють. Зазор між поверхнями, що сполучаються, забезпечує дифузійний обмін припою з металом деталі і міцність з'єднання. Зазор повинен бути однаковий по всьому перетину.

Припой повинен бути зафіксований щодо місця спаю. Припой закладають в місці спаю у вигляді фольгових прокладок, дротяних контурів, стрічок, дробу, паст разом з флюсом або наносять в розплавленому вигляді. При автоматизованому паянні – у вигляді пасти за допомогою шприц-установок.

Найбільше поширення у електротехнічному виробництві одержали наступні методи.

Пайка паяльником. Застосовується при паянні низькотемпературними припоями в дрібносерійному виробництві. В удосконалених конструкціях паяльників забезпечується механізована подача припою і його дозування.

Пайка газовим полум'ям. Використовується при механізованій пайці в серійному виробництві. Джерелом нагрівання служить полум'я звичайних пальників із застосуванням як пальне газ, наприклад пропан. Газове полум'я лише частково охороняє місце спаю від окислювання, тому обов'язковим є застосування флюсів. При газовій пайці можливе застосування високотемпературних і легкоплавких припоїв.

Пайка зануренням. Застосовується при механізованій пайці в крупносерійному і масовому виробництвах шляхом занурення в соляні (флюсові) і припойні ванни. Подальшим розвитком цього методу є пайка біжучою хвилею, що дозволяє скоротити витрату припою при практичному збереженні продуктивності (рис. 12.2). Виріб 1 із установленими деталями конвеєром 3 переміщається над ванною 4, у якій припой перекачується через виступ, створюючи біжучу хвилю 2. Проходячи над хвилею, поверхня виробу, призначена для пайки, змочується припоєм. Спосіб знайшов широке застосування при виробництві друкованого монтажу.

Пайка електроконтактним нагріванням здійснюється за рахунок тепла, що виділяється в деталях при протіканні по них електричного струму. Способи підведення струму різні – через електроди до місця пайки чи через одну з деталей. При цьому методі пайка може здійснюватися без флюсів. До нього можна також віднести розглянуту вище пайку електричним паяльником шляхом контактного нагрівання.

Паяні з'єднання контролюють за параметрами режимів паяння, зовнішнім оглядом, перевіркою на міцність або герметичність, методами дефекто- і рентгеноскопії.

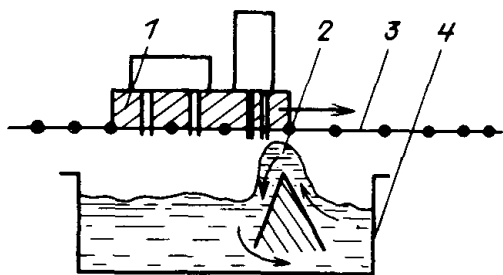


Рисунок 12.2 – Схема пайки біжучою хвилею.

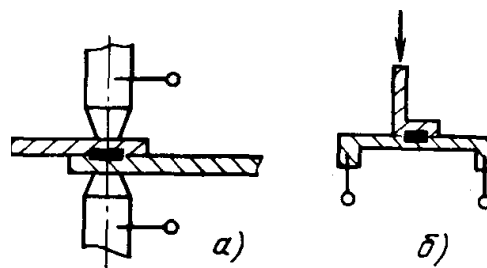


Рисунок 12.3 – Схема пайки електроконтактним нагріванням: а) електродами; б) пропусканням струму через деталь.

З'єднання зварюванням у світлотехнічному виробництві знайшли широке застосування при попередній зборці вузлів світлових приладів.

Технологічний процес зварювання – комплекс декількох одночасно протікаючих фізико-хімічних процесів, основними з яких є тепловий вплив на метал, його плавлення, металургійні процеси, кристалізація металу шва. Метали, що зварюються, можуть мати як однакові, так і різні хімічний склад і властивості. У залежності від цього метали підрозділяють на чотири групи: добре, задовільно, обмежено і погано зварювані.

Існуючі способи визначення технологічної зварюваності можна розділити на дві групи: прямі способи, коли зварюваність визначається зварюванням зразків визначеної форми, і непрямі способи, коли зварювальний процес замінюють іншими процесами, характер впливу яких на метал імітує вплив зварювального процесу. Доброю зварюваністю володіють вуглецеві і леговані сталі, поганою – інструментальні сталі.

Основними видами зварювання, що використовуються при здійсненні складальних робіт при виробництві світлових приладів, є: газова, електродугова і електроконтактна. Перспективними видами зварювання є ультразвукова, дифузійна, високочастотна і деякі інші.

Газове зварювання. Суть цього процесу полягає в тому, що зварювальний і присадочний метали розплавляють у теплому полум'ї, що отримується при згорянні якого-небудь пального газу, наприклад ацетилену, у суміші з киснем. Газове зварювання є малопродуктивним процесом, але воно дозволяє здійснювати якісне з'єднання тонких сталевих деталей, а також кольорових металів і їхніх сплавів. Як робочі гази звичайно використовується кисень технічний з чистотою 99,2 – 99,7% (з одного літра рідкого кисню при випаровуванні одержують 790 л газоподібного), а також ацетилен. Температура полум'я при згорянні ацетилену в кисні 3150 – 3200°C. Застосовуються також і інші гази – водень (температура згорання 2100 °C), коксовий газ (2200 °C), нафтовий газ (2300 °C) й ін.

На рис. 12.4 показана схема газового зварювання.

Різновидом газового зварювання є *кисневе різання*, що засноване на згорянні металу в струмені технічно чистого кисню. Метал при різанні розігрівають

полум'ям газового пальника, безпосередньо різка здійснюється ріжучим киснем, що подається окремо від кисню, який йде на утворення пальної суміші.

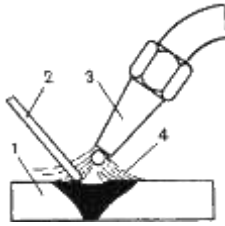


Рисунок 12.4 – Схема газоплазменного зварювання:

1 – заготовка; 2 – присадочний матеріал; 3 – газовий пальник; 4 – полум'я.

Електродугове зварювання. Процес заснований на перетворенні енергії руху електронів у теплову енергію при їхньому зіткненні з металом і нейтральними атомами газу при підведенні електричного струму до анода (деталі) і катоду (електроду). Тепло, що виділяється в електричній дузі, витрачається на випромінювання і додаткове нагрівання крапель металу електрода. Температура катодної й анодної плям сталевих електродів досягає $2400 - 2600^{\circ}\text{C}$, а температура стовпа дуги $6000 - 7000^{\circ}\text{C}$.

У світлотехнічному виробництві переважно поширення одержало електродугове зварювання електродами, що плавляться, і в середовищі захисних газів. Автоматичне зварювання під флюсом застосовується обмежено.

Для створення електричної дуги достатньої потужності використовуються спеціальні трансформатори з підвищеним магнітним розсіюванням.

Зварювання електродом, що плавиться. Як електрод при цьому способі зварювання використовується холодновитягнутий калібрований дріт діаметром $0,3 - 12$ мм, що підрозділяється на низьковуглецевий, легований і високолегований.

Зварювання в середовищі захисних газів. При цьому методі в зону зварювання подається спеціальний газ, що захищає наплавлюваний дугою присадочний і основний метали від впливу повітря. На практиці застосовуються інертні (аргон, гелій і ін.) і активні (водень, вуглекислий газ і ін.) гази. Електрод, що плавиться, виконується у вигляді зварювального дроту, по хімічному складу близький до металу, що зварюється. Застосовуються також вольфрамові електроди, які не плавляться, особливо при аргонодуговому зварюванні кольорових металів і тонких сталевих деталей. Струмінь газу (звичайно суміш аргону 90% і водню 10%) подається через сопло пальника, у якому розміщений вольфрамовий електрод. При подачі постійного чи змінного електричного струму утвориться електрична дуга, що плавить присадочний і основний метали. Зона зварювання при цьому надійно захищена потоком газу. При зварюванні електродом, що не плавиться, використовуються охолоджувані і неохолоджувані пальники. Для здійснення зварювання в середовищі захисних газів використовуються дугові автомати

Електроконтактне зварювання. Суть цього методу зварювання базується на нагріванні металу при проходженні через нього електричного струму й одночасному прикладенню до місця зварювання деякого зусилля (рис.12.5).

Основний вплив на виділення тепла чинить зварювальний струм і меншою мірою стан металів у зоні контакту. Контактне зварювання високопродуктивне і дозволяє цілком механізувати й автоматизувати процес, скоротити витрату матеріалів і енергії. Розрізняють кілька видів електроконтактного зварювання:

стикове, точкове, роликкове (шовне) і рельєфне. Процес електроконтактного зварювання протікає в такий спосіб: при підведенні струму до електродів контактної машини в зоні їхнього контакту з деталями метал розплавляється. Після вимикання струму деталі короткочасно витримують між електродами під впливом зусилля стискання, у результаті чого відбувається охолодження зони зварювання, кристалізація розплавленого металу і зменшення усадочної раковини в ядрі зварювальної точки. Значення сили струму і зусилля стискання встановлюють постійними чи змінюють за певним циклом. Методом електроконтактного зварювання з'єднують різні деталі зі сталей товщиною 0,5 – 4 мм.

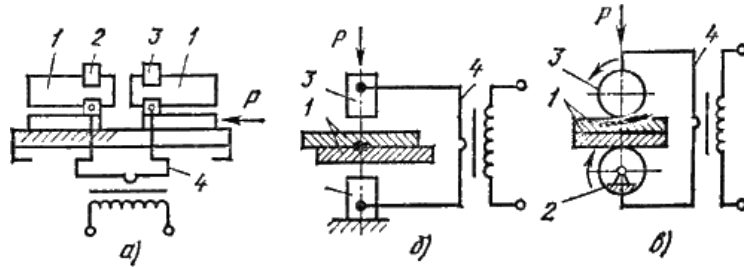


Рисунок 12.5 – Схеми контактного зварювання:

а) стикове; б) точкове; в) шовне;

1 – заготовка; 2 – нерухомий струмовідвід; 3 – рухомий струмовідвід;
4 – зварювальний трансформатор.

Основними перевагами зварних з'єднань є: економія металу; зниження трудомісткості виготовлення корпусних деталей; можливість виготовлення конструкцій складної форми з окремих деталей.

Зварні конструкції мають і деякі недоліки: поява залишкового напруження; викривлення в процесі зварювання; погане сприйняття знакозмінної напруги, особливо вібрацій; складність і трудомісткість контролю.

Тип зварного з'єднання визначають взаємним розташуванням зварюваних елементів і формою підготовки (обробки) їх кромки під зварювання.

Залежно від розташування деталей, що сполучаються, розрізняють чотири основні типи зварних з'єднань: стикові, накладні, кутові і таврові (рис.12.6).

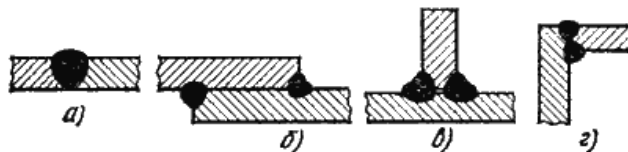


Рисунок 12.6 – Основні типи зварних з'єднань:

а) стикове; б) накладне; в) таврове; г) кутове.

Краї обробляють для повного провару заготовок по перетину, що є одним з умов рівномірності зварного з'єднання з основним металом.

Форми підготовки кромки під зварку показані на рис. 12.7.

За характером виконання зварні шви можуть бути односторонні і двосторонні.

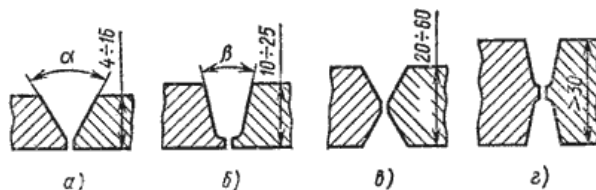


Рисунок 12.7 – Форми підготовки країв під зварювання.

12.5 Роз'ємні з'єднання

До роз'ємних відносяться з'єднання, що дозволяють здійснювати багаторазове розбирання-збирання виробу без руйнування його складових деталей чи вузлів. У світлотехнічному виробництві застосовуються з'єднання, одержувані за допомогою нарізних з'єднань і різних безгвинтових з'єднань.

Нарізні з'єднання. З'єднання за допомогою різьбових деталей (болтів, гвинтів, шпильок тощо) є найпоширенішими. При виготовленні світлових приладів використовуються кріпильні різьбові деталі широкої номенклатури діаметром від 2 до 24 мм. В окремих випадках, наприклад при зборці світильників великої потужності, застосовують нарізні сполучення ще більших розмірів. На рис. 12.8 показано види різьбових з'єднань.

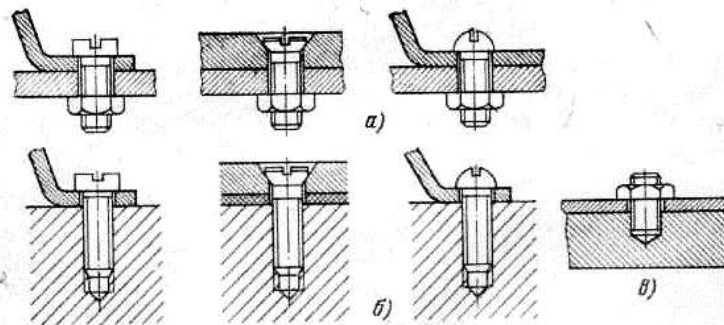


Рисунок 12.8 – Види різьбових з'єднань:

а) болтові; б) гвинтові; в) за допомогою шпильки.

Безгвинтові з'єднання. У електротехнічному виробництві застосовуються різні способи безгвинтових з'єднань: еластичними і пружинними затискачами, штекерними з'єднаннями, засувками й ін. Еластичні затискачі, як правило, виконуються з термопластичних пластмас; пружинні затискачі – з термопластичних пластмас і пружних статей.

Штекерні з'єднання одержали велике поширення при зборці електричної схеми світлових приладів. Вони, зокрема, використовуються в наборах затискачів ПРА, у з'єднаннях електронних пристроїв. Засувки одержали переважне поширення при остаточній зборці світлових приладів, зокрема, для кріплення розсіювачів до корпусних деталей.

На рис. 12.9 показано деякі способи безгвинтового з'єднання деталей.

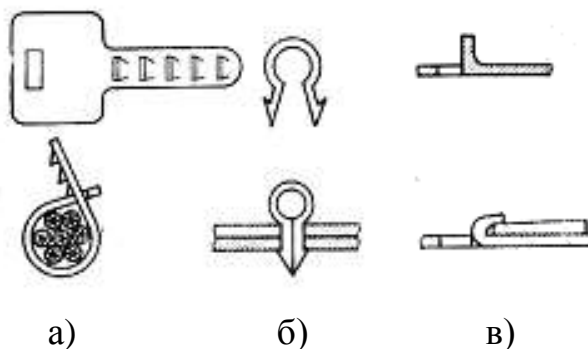


Рисунок 12.9 – Способи безгвинтового з'єднання деталей:
а) еластичним хомутом; б) розтискачем; в) загинанням.

Лекція 13

ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ВИПРОБУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ

Вибір засобів вимірювань залежить від складності форми контрольованої деталі, характеру вимірюваних параметрів і характеру виробництва. Наявність браку деталі чи вузла створює небезпеку зриву ритму остаточної зборки виробу чи появи браку в готовій продукції. У зв'язку з цим необхідний поопераційний контроль, що не тільки б реєстрував наявність браку, але і впливав на хід виробничого процесу, попереджаючи брак.

13.1 Технологічні операції контролю

Контрольні операції є важливою складовою частиною будь-якого технологічного процесу, а іноді й операції. Для цих цілей застосовуються різні системи датчиків. Найбільше поширення одержали електроконтактні, пневмоелектроконтактні, індуктивні і фотоелектричні датчики.

До операцій контролю основних процесів відносяться контроль якості механообробки, покриттів, скляних розсіювачів і зборки. Крім цього важливо забезпечити контроль параметрів оптичного випромінювання і фотометричних параметрів світлових приладів.

Контроль якості механообробки. Існують дві форми контролю лінійних параметрів деталей, оброблюваних на верстатах: пасивна й активна.

Пасивна форма застосовується для контролю готових деталей і виправдує себе в умовах нестабільного технологічного процесу, коли можливі випадки виникнення аварійного браку. Операції пасивного контролю відірвані від операцій обробки деталей, і тому результати вимірів не можуть бути використані безпосередньо для впливу на виробничий процес. Це спосіб виявлення і фіксації браку, тому він має обмежене поширення.

Активна форма застосовується для контролю деталей у процесі їхнього виготовлення. Активний контроль в основному спрямований на попередження браку. Для здійснення активного контролю застосовуються різні типи вимірювальних пристосувань з використанням традиційних індикаторних приладів, що реєструють зміну розмірів деталі в процесі її обробки.

Контроль якості покриттів.

Контроль якості гальванопокриттів. Якість гальванопокриттів, як правило, перевіряється безпосередньо в гальванічних цехах. При цьому контролюється як протікання процесу осадження металів, так і якість отриманого покриття.

У процесі електроосадження постійно перевіряються основні параметри - густину струму, кислотність рН і температура електроліту. Для контролю густини струму використовуються електронні гальванометри різних систем; для контролю кислотності електроліту - спеціальні рН-метри, для контролю температури електроліту - електронні термометри. Якість отриманого покриття на деталях контролюється шляхом їхнього зовнішнього огляду, а також за допомогою різних контрольних приладів. Одним з основних якісних показників гальванічних покриттів є товщина нанесеного шару металу. Товщина покриття визначається фізичними і

хімічними способами. До таких способів відносяться: фізичні – магнітний, мікроскопічний і ін.; хімічні – краплинний, струминний і спосіб знімання.

Оскільки хімічні способи засновані на частковому руйнуванні шару покриття, вони застосовуються обмежено тільки для вибіркового контролю. Фізичні способи одержали широке поширення, оскільки використовують неруйнівні методи контролю. На принципі електромагнітної взаємодії заснована робота різних електронних товщиномірів. Межі виміру товщиномірів від 1 до 50 мкм із точністю $\pm 10\%$.

Контроль якості лакофарбових покриттів. Перед фарбуванням деталі оглядають – контролюють якість очистки їхньої поверхні. Перед нанесенням лакофарбові матеріали піддають контролю на в'язкість, для чого використовують різні віскозиметри. Після сушіння деталі піддають ретельному зовнішньому огляду й випробуванням на якість покриття. До таких випробувань відносяться: визначення якості адгезії, здійснюване методом відшаровування шляхом нанесення надрізів; визначення ударної міцності, твердості за маятниковим приладом; еластичності по шкалі гнучкості ШГ-1. Товщину лакофарбових покриттів визначають мікрометрами, вимірниками товщини, діапазон виміру товщини від 1 до 1000 мкм, з точністю до $\pm 10\%$.

Контроль якості оплавлених покриттів. Перед нанесенням оплавленого покриття оглядають поверхні деталей, контролюють якість їхнього очищення, крім того, перевіряють якість сировинних матеріалів, зокрема емалевих фрітт і шлікерів перед емалюванням.

Після оплавлення покриття вироби піддають ретельному зовнішньому огляду і контролю якості покриття. Товщину покриття перевіряють за допомогою спеціальних електромагнітних товщиномірів різних систем, що дозволяють визначати товщину покриття без його руйнування. Точність виміру товщини покриття такими приладами складає $\pm 0,02$ мм. При необхідності перевіряють механічну міцність покриття на удар на приладах маятникового типу, на твердість покриття й інші механічні іспити.

Контроль світлотехнічних характеристик покриттів здійснюється в основному фотометричним способом. Найбільш повну характеристику коефіцієнта відбивання можна одержати за допомогою спектрофотометрів чи спеціальних білизнамірних голівок. Кольоровість покриттів, пофарбованих у хроматичні кольори, визначають за відносною інтенсивністю дифузійного відбивання різними світлофільтрами з застосуванням спеціальних таблиць.

При контролі дзеркальних відбиваючих покриттів, отриманих шляхом напилювання алюмінію у вакуумі, а також деяких інших відбивачів, наприклад альзакованих, дуже важливо забезпечити контроль якості внутрішньої поверхні відбивача. Контроль шорсткості внутрішньої поверхні відбивача є досить складним, тому для оцінки відбиття виробів приймаються параметри оцінки блиску чи дзеркальності.

Для виміру блиску застосовуються фотоелектричні блискоміри, що вимірюють частку коефіцієнта відбивання, що залежить від ступеня дифузності відбитого зразком світла й апертури використовуваного приймача. Погрішність виміру не більше 4%. Блиск плоских і криволінійних поверхонь також може бути визначений фотоелектричним блискоміром чи універсальним фотоелектричним

гоніофотометром. На практиці так само широко застосовуються візуальні фотоелектричні фотометри.

Коефіцієнт дзеркального відбивання вимірюють приладом ФЗ-65, що дозволяє вимірювати коефіцієнт дзеркального відбивання плоских і криволінійних поверхонь. Інтегральний коефіцієнт відбивання вимірюють за допомогою кульового універсального фотометра чи фотоелектричного фотометра з інтегральною кулею.

При контролі дифузійних відбивачів білизна покриття визначається за допомогою електронного компаратора кольору. При цьому виміряється колірне розходження між зразком і білим еталоном.

Для визначення координат кольоровості пофарбованих матеріалів використовують фотоелектричні колориметри.

Спектральні характеристики пропускання і відбивання матеріалів одержують за допомогою реєструючих спектрофотометрів.

Контроль якості. Технічний контроль складальних операцій має своєю метою забезпечити задану якість з'єднань деталей і вузлів і перевірити відповідність цих з'єднань технічним умовам їхнього приймання. Крім цього важливо забезпечити контроль працездатності виробу на запалювання лампи, міцність електричної ізоляції й інших параметрів.

Контролю піддають як окремі вузли, так і зібраний виріб у цілому, для чого на складальних лініях передбачають технічний контроль. Контроль електричних параметрів і працездатності виробу, як правило, виконують для всіх виробів, а механічної міцності і герметичності – вибірково, під час випробувань світлових приладів.

Похибки, що виникають при зборці, в основному викликаються наступними причинами: встановлення неправильних конструктивних зазорів; перекося деталей при їхній установці; деформації деталей і виробу при його зборці, наприклад зварюванню, і транспортуванні й ін.

При контролі зборки окремих з'єднань і вузлів використовують різні пристосування, що спрощують процес здійснення контрольних операцій, підвищують точність і зменшують час, необхідний на перевірку. Перевірку механічної міцності, герметичності, світлостійкості покриття, оптичних характеристик і інших параметрів здійснюють у процесі їхніх іспитів на відповідність заданим технічними умовами.

13.2 Випробування електроприладівприладів

Необхідною умовою гарантованого забезпечення якості і надійності електроприладів є проведення встановленого технічними умовами обсягу випробувань.

Приймально-здавальним випробуванням піддається кожна партія виготовлених приладів, при цьому, як правило, здійснюються вибіркові перевірки, а в необхідних випадках для відповідальних приладів – суцільні. При вибірковій перевірці з кожної партії відбирають визначену кількість апаратів, звичайно не більше 1%. При суцільній перевірці випробуванням піддають 100% виробів.

Періодичні випробування проводяться за графіком, але не рідше 1 разу в півроку. Періодичні випробування здійснюють по повній програмі, перевірці

піддаються всі контрольовані параметри виробу. Обсяг цих випробувань значно перевищує обсяг приймально-здавальних перевірок.

Типові випробування звичайно проводять при освоєнні нових виробів чи після внесення в конструкцію виробу істотних змін.

Відповідно до класифікації випробувальне устаткування поділяється на чотири підгрупи: для електричних, механічних, кліматичних і теплових випробувань. Класифікація світлотехнічних випробувань: світлотехнічні, електротехнічні, теплові, механічні і кліматичні. Від правильності і повноти проведення випробувань у значній мірі залежить якість приладів, вірний вибір напрямку подальшого удосконалювання їхньої конструкції.

Світлотехнічні випробування світлових приладів. Ці випробування є обов'язковими для всіх типів світильників і проводяться з метою одержання об'єктивних даних для розрахунку освітлювальних установок і з'ясування відповідності їхніх світлотехнічних характеристик вимогам стандартів і технічних умов. При цих випробуваннях проводять вимірювання освітленості від світильника, його світлового потоку, яскравості і захисного кута. Випробування проводяться при включенні світильників у мережу змінного струму частотою 50 Гц при синусоїдальній формі кривої напруги. Коливання напруги під час вимірів не повинні перевищувати $\pm 1\%$ її номінального значення для того, щоб виключити можливі зміни світлового потоку і потужності ламп. Клас точності приладів для контролю електричного режиму повинний бути не нижче 0,5. Як показує практика, усі світлотехнічні вимірювання світлових приладів в основному виконуються з похибкою 5-10%.

Вимірювання сили світла світлових приладів виконуються за допомогою селенового фотоелемента, спектральна чутливість якого приведена до спектральної чутливості ока (коригований фотоелемент) і мікроамперметра (гальванометра). Похибка при вимірах не повинна перевищувати $\pm 1,5\%$. Оскільки електричні і світлотехнічні характеристики джерел світла залежать від температури навколишнього повітря, усі виміри рекомендується проводити при температурі повітря 20-27°C, а результат перераховувати на робочу температуру 25°C. За результатами вимірів будують криві сили світла для умовної лампи зі світловим потоком 1000 лм.

Вимірювання освітленості від світильника проводиться, як правило, тільки для світильників місцевого освітлення. У залежності від вимог до світильників виконуються виміри максимальної і мінімальної освітленості у світловій плямі, на основі яких будуються криві рівних значень освітленості на робочій поверхні. При вимірюванні світильник встановлюється в робочому положенні на номінальній висоті від поверхні. При вимірах використовуються люксметри, що забезпечують точність виміру освітленості не нижче $\pm 5\%$.

Визначення світлового потоку може бути проведено розрахунковим методом чи шляхом його виміру у кульовому фотометрі. У залежності від розмірів світлових приладів застосовують кулі різного діаметра. При вимірі світлового потоку світильників із люмінесцентними лампами необхідно, щоб діаметр кулі перевищував довжину світильника не менше, ніж на 20%. При вимірюваннях світильник і лампи поміщають у центрі кулі. Основна похибка вимірів визначається тим, що еталонні лампи розжарення мають іншу форму,

світлорозподіл і спектральні характеристики випромінювання, ніж люмінесцентні лампи.

Визначення яскравості світлових приладів здійснюють розрахунковим шляхом (габаритна яскравість) або шляхом безпосереднього вимірювання яскравоміром. Фотоелемент 3, з'єднаний з мікроамперметром 4 і поміщений у тубус 2, має можливість встановлюватися в різних положеннях відносно світильника 1, що дозволяє нормувати яскравість у визначених напрямках.

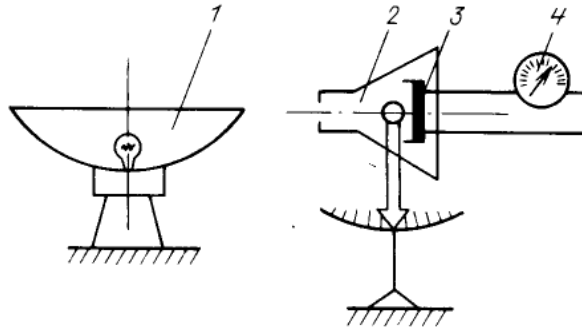


Рисунок 16.2 – Схема вимірювання яскравості.

Визначення захисного кута здійснюється розрахунковим шляхом. При іспитах світильників із лампами розжарення захисний кут визначається безпосередньо при фотометруванні за значеннями сили світла, а світильників із люмінесцентними лампами – візуально на поворотному пристрої з фіксацією визначеного положення світильника, що відповідає початку повного екранування.

Електротехнічні випробування полягають у перевірці працездатності електричної схеми приладу, неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, опору ізоляції, електричної міцності ізоляції, а також перевірці коефіцієнта потужності.

Неможливість випадкового дотику до струмоведучих частин приладу перевіряють за допомогою іспитового щупа.

Опір ізоляції вимірюють мегаомметром при напрузі постійного струму не менш 500 В. Діючими стандартами нормуються не тільки значення опору ізоляції, але і пропонується перевірка електричної міцності ізоляції між кінцями проводів, що виходять із приладу, і між кінцями проводів і корпусом приладу.

Випробування на електричну міцність ізоляції здійснюють при змінній напрузі струму частотою 50 Гц від джерела потужністю не менш 0,5 кВ·А. Випробувальна напруга залежить від типу приладу, і при перевірці вона поступово підвищується. Після витримки під випробувальною напругою протягом 1 хв її плавно знижують до нуля. Для жорсткості іспитів іноді ці перевірки здійснюють безпосередньо після іспитів на вологостійкість і витримують їх під напругою до 5 хв або проводять випробування безпосередньо в камері вологості. Для жорсткості іспитів іноді також відключають конденсатори.

Вимір коефіцієнта потужності здійснюється на спеціальних стендах за допомогою вольтметра, амперметра і ватметра при сталому тепловому режимі, звичайно не раніше чим через 2 год після його включення.

Теплові випробування проводяться в спеціальних камерах чи приміщеннях, де підтримуються задані стабільні умови навколишнього середовища і відсутні потоки повітря.

При випробуваннях перевіряють перевищення температури найбільш теплонавантажених елементів над температурою навколишнього повітря, що приймається рівною 30°C. Як вимірювальні прилади використовуються потенціометри і мікроамперметри. Термоелектричні термометри попередньо градууються в термостаті не менше чим по чотирьох температурних точках. Температурні виміри світильників проводяться при сталому тепловому режимі, при якому протягом 30 хв температура змінюється не більше ніж на 1°C.

Механічні випробування залежать від їх типу. До механічних випробувань варто також віднести перевірки працездатності при впливі вібрацій, якості і надійності упакування виробів, іспити на удар тощо.

Кліматичні випробування. Кліматичні іспити приладів проводять наступні: на вологостійкість, бризказахисність, водозахисність, водонепроникність, пилонаепроникність, теплотривкість.

Іноді додатково перевіряють холодостійкість (звичайно визначають при експлуатації), захист від впливу хімічних активних середовищ, корозійну стійкість при впливі 3%-го розчину солі, герметичність і деякі інші. Перед кліматичними випробуваннями прилади оглядають і вимірюють параметри, після проведення кліматичних випробувань вимірювання проводять вдруге.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.

2. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090.202 „Технологія машинобудування” усіх форм навчання. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – 64 с.

3. Чухліб В. Л. Технологія процесів листового штампування : навч.-метод. посібник / В. Л. Чухліб, О. А. Юрченко, А. В. Ашкелянєць ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2021. – 76 с. – URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/53206>.

4. Технологія світлотехнічного виробництва : навч. посібник / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с. Технологія виробництва світлових приладів. Курс лекцій / Укл. Мелашенко С.І. В-во Полтавського політехнічного коледжу.

5. Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.

6. Курс лекцій з дисципліни «Технологія світлотехнічного виробництва» для студентів спеціальності 7.090605 «Світлотехніка та джерела світла» / Укл. Костик Л.М. – Тернопіль: ТДТУ, 2009.

