

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущатовський,  
О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв**

**Технологія нанесення  
неметалевих покриттів  
та виробництво плат друкованого  
МОНТАЖУ**

*Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як підручник для студентів,  
які навчаються за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»,  
спеціалізацією «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів»*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018

УДК621.3.049.75:621.793/.795](075.8)+621.3.049.75:621.357.7](075.8)  
ТЗ8

*Гриф надано Вченою радою  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(Протокол № 7 від 25.06.2018)*

Рецензенти :

*Ю. К. Пірський, д-р  
хім. наук, ст. наук.*

*В. З. Барсуков, д-р хім.  
наук, проф.*

Відповідальний редактор

*М. В. Бик, канд. хім.  
наук, доц.*

## Електронне мережне навчальне видання

ТЗ8      Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу [Електронний ресурс] : підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущиповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв; Електронні текстові дані (1 файл: 6,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 330 с.

e-ISBN 978-966-622-902-4

Розглянуто основні способи виготовлення плат друкованого монтажу, наведено склади розчинів електролітів та технологічні режими операцій, що супроводжують процес створення друкованої плати. Наведено склади розчинів та режими операцій з нанесення неметалевих неорганічних та лакофарбових покриттів. Наведено методики розрахунків конструкторських параметрів ванн під час нанесення гальванічних покриттів на друковані плати.

Для студентів спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» (спеціальність 161 Хімічні технологія та інженерія), може бути корисним під час підготовки до лекційних занять, лабораторних та практичних робіт і виконання курсових та дипломних проєктів.

УДК 621.3.049.75:621.793/.795](075.8)+621.3.049.75:621.357.7](075.8)

© Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущиповський,  
О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв, 2018  
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ХТФ), 2018

e-ISBN 978-966-622-902-4

Навчальне видання

**Яцюк** Леонід Андрійович  
**Косогін** Олексій Володимирович  
**Ущатовський** Дмитро Юрійович  
**Лінючева** Ольга Володимирівна  
**Фатєєв** Юрій Федорович

**Технологія нанесення  
неметалевих покриттів та виробництво плат  
друкованого монтажу**

Підручник

*В авторській редакції*

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
Свідоцтво про державну реєстрацію: ДК № 5354 від 25.05.2017 р.,  
просп. Перемоги, 37,  
м. Київ, 03056

Темплан 2018 р., поз. 3-1-009

Підп. до друку 26.06.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офс. Гарнітура Times.

---

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка»  
вул. Політехнічна, 14, корп. 15,  
Київ, 03056  
тел. (44) 204-81-78

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. Конструкційні матеріали для виготовлення друкованих плат .....	9
1.1. Призначення друкованих плат.....	9
1.2. Вимоги до друкованих плат.....	10
1.3. Терміни та визначення .....	12
1.4. Характеристики друкованих плат .....	14
1.5. Міжнародні стандарти у виробництві друкованих плат .....	15
1.6. Конструкційні матеріали для виготовлення друкованих плат.....	18
Завдання для самоконтролю .....	24
РОЗДІЛ 2. Методи виготовлення друкованих плат .....	25
2.1. Класифікація методів виготовлення одношарових друкованих плат .....	25
2.1.1. Субтрактивний метод виготовлення друкованих плат .....	27
2.1.2. Електрохімічний метод виготовлення друкованих плат .....	32
2.1.3. Адитивний метод виготовлення друкованих плат .....	34
2.1.4. Комбінований метод виготовлення друкованих плат .....	39
2.1.5. Негативний комбінований метод.....	39
2.1.6. Позитивний комбінований метод .....	44
2.2. Виготовлення багатошарових друкованих плат .....	49
Завдання для самоконтролю .....	58
РОЗДІЛ 3. Хімічні процеси у виробництві друкованих плат .....	59
3.1. Хімічна металізація у виробництві друкованих плат .....	59
3.2. Хімічне осадження міді.....	64
3.3. Травлення міді у виробництві друкованих плат .....	72
3.4. Способи нанесення захисних рельєфів та паяльної маски.....	82

3.5. Фінішні покриття контактів друкованих плат .....	98
Завдання для самоконтролю .....	104
РОЗДІЛ 4. Гальванічні процеси у виробництві друкованих плат .....	107
4.1. Особливості гальванічних процесів у виробництві друкованих плат ....	107
4.2. Гальванічне міднення.....	111
4.3. Гальванічне нанесення сплаву олово-свинець (ПОС–61) на друковані плати .....	118
4.4. Гальванічне нанесення олова.....	127
4.5. Гальванічні покриття роз’ємів друкованих плат .....	130
4.6. Обладнання для нанесення гальванічних покриттів на роз’єми друкованих плат .....	135
Завдання для самоконтролю .....	135
РОЗДІЛ 5. Види захисних неметалевих покриттів.....	137
Завдання для самоконтролю .....	141
РОЗДІЛ 6. Оксидування алюмінію .....	142
6.1. Порівняльна характеристика способів оксидування алюмінію .....	142
6.2. Механізм утворення анодних плівок на алюмінії .....	145
6.3. Позначення оксидних покриттів у конструкторській та технологічній документації .....	147
6.4. Електроліти для оксидування алюмінію .....	148
6.5. Нанесення анодних покриттів різного функціонального призначення.....	153
6.6. Анодування алюмінію на змінному струмі.....	159
6.7. Декоративна обробка оксидованого алюмінію.....	161
6.8. Ущільнення (наповнення) анодних покриттів на алюмінії.....	163
6.9. Обладнання і пристрої для анодування алюмінію та його сплавів .....	164

6.10. Типовий технологічний процес анодування деталей із алюмінію та його сплавів.....	165
Завдання для самоконтролю .....	168
РОЗДІЛ 7. Оксидування легких та кольорових металів .....	169
7.1. Оксидування магнію та його сплавів .....	169
7.2. Оксидування міді та її сплавів.....	171
7.3. Оксидування цинку, його сплавів та цинкових покриттів.....	174
7.4. Оксидування кадмію та кадмієвих покриттів.....	175
7.5. Оксидування срібла та гальванічних срібних покриттів.....	175
7.6. Оксидування титану та його сплавів.....	177
Завдання для самоконтролю .....	177
РОЗДІЛ 8. Оксидування чорних металів .....	178
8.1 Термічне оксидування чорних металів .....	178
8.2 Хімічне оксидування чорних металів .....	178
8.3 Електрохімічне оксидування чорних металів.....	182
Завдання для самоконтролю .....	183
РОЗДІЛ 9. Фосфатування металів .....	184
9.1. Властивості фосфатних плівок .....	184
9.2. Хімічне фосфатування .....	185
9.3. Електрохімічне фосфатування.....	191
9.4. Фосфатування кольорових та легких металів.....	191
9.5. Підвищення захисних властивостей фосфатних плівок.....	192
9.6. Особливості будови обладнання для фосфатування .....	193
9.7. Контроль якості фосфатних плівок .....	193
Завдання для самоконтролю .....	194

РОЗДІЛ 10. Захист металів від корозії лакофарбовими покриттями .....	195
10.1. Призначення, переваги та недоліки лакофарбових покриттів .....	195
10.2. Основні компоненти лакофарбових покриттів .....	196
10.3. Класифікація лакофарбових матеріалів .....	200
10.4. Позначення лакофарбових покриттів в технічній документації.....	202
10.5. Захисна дія лакофарбових покриттів .....	203
10.6. Руйнування лакофарбових покриттів при їх експлуатації .....	208
10.7. Способи нанесення лакофарбових матеріалів .....	211
10.8. Технологія фарбування металів.....	224
Завдання для самоконтролю .....	230
РОЗДІЛ 11. Гумові захисні покриття.....	231
11.1. Гумові покриття на основі листових матеріалів.....	231
11.2. Покриття на основі рідких гумових композицій .....	233
Завдання для самоконтролю .....	236
РОЗДІЛ 12. Захисні покриття на основі полімерних матеріалів .....	237
12.1. Термопластичні і термореактивні полімерні матеріали.....	237
12.2. Способи нанесення захисних полімерних покриттів .....	238
Завдання для самоконтролю .....	242
РОЗДІЛ 13. Захисні емалеві покриття .....	243
Завдання для самоконтролю .....	246
РОЗДІЛ 14. Практичні роботи.....	247
Практичне заняття 1. Будова друкованих плат різних типів .....	247
Практичне заняття 2. Розрахунок та вибір обладнання для електроосадження металів при виробництві друкованих плат .....	251

Практичне заняття 3. Розрахунок основних техніко-економічних показників процесу гальванічного міднення у виробництві друкованих плат.....	259
Практичне заняття 4. Особливості формування осадів металу при електроосажденні в отворах друкованих плат .....	269
Практичне заняття 5. Організація маловідходних гальванохімічних операцій .....	279
Практичне заняття 6. Дефекти при виробництві та способи контролю якості друкованих плат.....	283
Практичне заняття 7. Складання технологічної схеми типового процесу електрохімічного оксидування алюмінію та його сплавів.....	291
Практичне заняття 8. Контроль якості анодних оксидних покриттів на алюмінії, чорних та кольорових металах .....	295
Практичне заняття 9. Контроль якості оксидно-фосфатних і фосфатних покриттів.....	300
Практичне заняття 10. Фактори, які визначають захисні властивості лакофарбових покриттів .....	302
Практичне заняття 11. Стадії технологічного процесу фарбування. Контроль якості лакофарбових покриттів .....	305
Практичне заняття 12. Контроль якості гумових покриттів. Контроль якості полімерних покриттів .....	311
Практичне заняття 13. Контроль якості та виправлення дефектів емалевих покриттів .....	312
 РОЗДІЛ 15. Перелік завдань до виконання розрахункової роботи .....	 313
 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	 327



## ВСТУП

Електрохімічні технології широко застосують у різних галузях промисловості. Розуміння процесів, що перебігають на межі поділу декількох фаз, дозволяє не тільки визначати та контролювати швидкість корозійного руйнування металу, але і надавати поверхні виробів нових функціональних властивостей. За допомогою методів електрохімії осаджують метали з розчинів та розплавів, які використовують в електromеталургії та гальванотехніці; формують захисні, тверді, зносостійкі анодні плівки або створюють копії через селективне розчинення в процесі електрохімічного оброблення. Надзвичайно важливо застосовувати методи гальванотехніки для виготовлення таких складних пристроїв, як плати друкованого монтажу, завдяки яким знижують габаритні розміри та металоємність радіоелектронної апаратури, підвищують якість монтажно-складальних операцій, експлуатаційні властивості та надійність електронних пристроїв.

Часто основною вимогою до виготовлених виробів є тривале збереження в часі їх високих функціональних параметрів та властивостей за рахунок підвищення їх корозійної стійкості. Цього можна досягти, як використання корозійностійких матеріалів, так і нанесення на поверхню металів шарів різних термодинамічно стійких захисних сполук, або захисного металевого та неметалевого і лакофарбового покриття.

Метою підручника є ознайомлення студентів з властивостями, сферами застосування та технологіями нанесення неметалевих неорганічних, лакофарбових, гумових та полімерних покриттів та вивчення технологічних процесів виготовлення друкованих плат різних типів, які є основними компонентами при розробці радіоелектронної апаратури і пристроїв для різних галузей їх використання і які можуть визначати їх якість та надійність.

# РОЗДІЛ 1

## КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

### 1.1. Призначення друкованих плат

Складність і велика функціональна насиченість сучасної радіоелектронної апаратури вимагають великої кількості комутаційних з'єднань, які старим монтажем здійснити неможливо. Ця проблема була вирішена створенням друкованих плат і розробкою технологій їх виготовлення.

Друкована плата (ДП) (англ. **PCB – printed circuit board, або PWB – printed wiring board**) [1 – 3] містить ізоляційну основу, з одного чи обох боків якої розташовані струмопровідники у вигляді смужок металізованого покриття, на яких провадять монтаж, кріплення і з'єднання радіоелектронних елементів та обладнання, в тому числі модулів та інтегральних схем. Електричне з'єднання між собою радіоелектронних елементів здійснюють паянням.

Використання у промисловості друкованих плат забезпечує:

- збільшення щільності монтажних з'єднань і можливості мікромініатюризації;
- одержання друкованих провідників, які екранують поверхню і радіоелектронні елементи в єдиному технологічному циклі;
- гарантована стабільність і відтворюваність електричних характеристик;
- підвищена стійкість до кліматичного і механічного впливу;
- уніфікація і стандартизація конструктивних і технологічних рішень;
- збільшення надійності апаратури;

- можливість комплексної автоматизації монтажних-складальних і контрольно-регулюючих робіт;
- зниження матеріаломісткості і собівартості продукції.

До недоліків можна віднести їх обмежену ремонтпридатність, а також складність внесення змін до конструкції готових друкованих плат.

## **1.2. Вимоги до друкованих плат**

Процес виготовлення друкованих плат, розпочинаючи із контролю якості вхідних матеріалів і контролю режимів проведення технологічних процесів та якості виготовлених друкованих плат повинен проходити відповідно до наступних вимог ДСТУ 2646–94.

– Діелектрична основа друкованих плат повинна бути однорідною за кольором, монолітною за структурою і не мати внутрішніх пухирів, раковин, сторонніх вкраплень, відколів, тріщин і розшарувань.

– Провідний рисунок ДП повинен бути чітким, з рівними краями, без пухирів, відлущень, підтравлень, розривів, темних плям, слідів інструмента та залишків технологічних матеріалів. Для забезпечення більш високої корозійної стійкості і покращення паяння на його поверхню наносять гальванічне покриття, яке повинно бути суцільним, без розривів, відлущень і підпалу.

– Товщина міді, нанесеної на металізовані ділянки ДП, повинна бути в межах 40...100 мкм, а на лініях «землі» та екрану до 150 мкм. Захисні покриття сплавами олово-свинець, олово-вісмут використовують товщиною 9...18 мкм, для спеціальних цілей ділянки покривають сріблом або золотом. Кінцеві друковані контакти на платах покривають нікелем, сріблом, золотом, паладієм або їх сплавами.

– Гальванічні покриття і фольга на друкованій платі забезпечують протікання струму, але зі збільшенням товщини покриття міцність зчеплення

його з основою зменшується. Для забезпечення захисту друкованих плат від впливу зовнішнього середовища при експлуатації приладів на поверхню струмопровідного рисунка наносять захисну або паяльну маску із полімерних матеріалів.

– Монтажні і фіксуючі отвори на платі розташовують відповідно до вимог креслення. Монтажні отвори можуть бути металізовані та не металізовані і слугують для монтажу виводів навісних електрорадіо-елементів. Металізовані отвори забезпечують електричний зв'язок між шарами провідних рисунків на обох боках плати. Кріпильні отвори призначені для кріплення плати в корпусі приладу або окремих елементів на платі. Для підвищення надійності паяних з'єднань внутрішню поверхню монтажних отворів покривають шаром міді товщиною не менше 25 мкм, який повинен бути суцільним, без включень, пластичним, з дрібнокристалічною структурою і міцно з'єднаним з діелектричною основою. Поверхню отвору, як і всі провідники покривають захисним покриттям, здатним добре паятися. Покриття в отворі повинно витримувати чотири разове перепаювання виводів без зміни зовнішнього вигляду, не мати підпалу і відшарувань. Після циклічного впливу зміни температури (термоудару) електричний опір переходу металізованого отвору не повинен відрізнятись більш, ніж на 20 % від опору за нормальних умов. Для з'єднання друкованих провідників з металізацією монтажних отворів навколо них розташовують ділянки металевого покриття круглої або прямокутної форми – контактні площадки. Гарантійний поясок навколо отворів повинен бути не менше 50 мкм. Розриви на ньому не допускаються. Контактні площадки монтажних отворів повинні рівномірно змочуватися припоєм за 3...5 секунди.

– механічна і хімічна обробка друкованих плат не повинна погіршувати їх електрофізичних та механічних властивостей.

– плата складається з шарів з різними коефіцієнтами температурного розширення, і тому процес виготовлення супроводжується її деформацією,

яка призводить до вигину та скручування. Величина такої деформації залежить від механічних властивостей матеріалу, режимів нагріву і охолодження та інших чинників. Для плат товщиною 0,8 мм і менше величина деформації не контролюється, а при товщині 1,5...3,0 мм на довжину 100 мм – деформація повинна бути не більше 0,5...0,8 мм для двобічних друкованих плат. При дії на друковані плати температур у межах 260...290 °С протягом 10 с не повинні виникати розриви провідного покриття, відшарування його від діелектричної основи.

– друковані плати повинні бути працездатними не менше 5000 годин, а імовірність безвідмовної роботи складає 0,995.

– зберігають виготовлені друковані плати при 80 % вологості і температурі в межах від +5...+39 °С за умови відсутності в повітрі кислотних та інших агресивних домішок, зокрема сірки. Термін зберігання друкованих плат до монтажу не більше 6 місяців.

### 1.3. Терміни та визначення

У виробництві друкованих плат використовують такі терміни та визначення [2]:

*Друкована плата* – ізоляційна основа з друкованим монтажем або друкованою схемою.

*Друкований блок, вузол* – сукупність друкованого монтажу або друкованої схеми і навісних електрорадіоелементів, установлених і закріплених на ізоляційній основі, що пройшли всі стадії виготовлення.

*Друкована схема* – сукупність друкованого монтажу і друкованих елементів, розташованих на ізоляційній основі і які пройшли всі стадії виготовлення.

*Друкований монтаж* – схема друкованих провідників, які забезпечують електричне з'єднання елементів схеми.

**Друкований елемент** – резистор, конденсатор, котушка індуктивності, нанесені на ізоляційну основу у вигляді металевого покриття.

**Друкований провідник** – ділянка металізованого шару, що нанесена на ізоляційну основу і еквівалентна звичайному монтажному проводу.

**Заготовка** – основа для друкованої плати з металізованого або неметалізованого електроізоляційного матеріалу, яка підготовлена будь-яким способом до нанесення друкованого монтажу або друкованої схеми.

**Плакована основа** – електроізоляційний матеріал з металевим покриттям, яке нанесене будь-яким способом і підготовлене для нанесення зображення друкованої схеми.

**Монтажна площадка** – металізована ділянка, яка прилягає до монтажного отвору, має електричний контакт з друкованим провідником і забезпечує можливість електричного з'єднання навісних електро-, радіо-елементів схеми з друкованим монтажем.

**Металізований отвір** – отвір на друкованій платі, на стінки якого нанесений шар металу і який служить для перехідного з'єднання або для монтажу.

**Базовий (фіксуєчий) отвір** – отвір, який розташований на технологічному полі друкованої плати і призначений для точного встановлення плати в процесі її виготовлення.

**Технологічний провідник** – допоміжний друкований провідник, який забезпечує електричне з'єднання окремих друкованих провідників у процесі виготовлення і в подальшому підлягає вилученню.

**Пробільна ділянка** – місце на готовій друкованій платі, на якому відсутня металізація.

**Провідний рисунок** – рисунок друкованої плати, утворений провідним матеріалом.

**Непровідний рисунок** – рисунок друкованої плати, утворений діелектричним матеріалом.

## 1.4. Характеристики друкованих плат

Друковані плати, повинна мати:

- високу точність розташування струмопровідного рисунка;
- велику величину опору діелектрика;
- високу механічну міцність;
- добру здатність до паяння, особливо після тривалого зберігання.

Точність розташування струмопровідного рисунка регламентована нормативною документацією. Державний стандарт [2] встановлює п'ять класів точності (щільності монтажу). Класи точності наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Класи точності друкованих плат

Умовне позначення елементів	Клас точності				
	1	2	3	4	5
$\delta$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$l$ , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
$b$ , мм	0,30	0,20	0,10	0,10	0,025
$d \cdot h^{-1}$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

$\delta$  – найменша ширина друкованих провідників;

$l$  – мінімальна відстань між провідниками;

$b$  – мінімальна допустима ширина контактної площадки;

$d$  – діаметр металізованих отворів;

$h$  – товщина плати.

Друковані плати виготовляють переважно прямокутної форми. Максимальний розмір одиначної ДП може складати 500x500 мм. Габаритні розміри сторін друкованої плати слід обирати із співвідношення 1:1; 2:1; 3:2; 5:2. Максимальне співвідношення лінійних розмірів сторін плати не повинне бути більше 3:1. Розміри друкованих плат більше 250x300 мм є небажаними. Уніфікований ряд лінійних розмірів, передбачений Держстандартом, наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Лінійні розміри друкованих плат

Ширина, мм	Довжина, мм	Ширина, мм	Довжина, мм	Ширина, мм	Довжина, мм	Ширина, мм	Довжина, мм
20	30	60	90	100	120	140	150
	40		100		130		200
30	40		140	110	150	150	150
		160	170		170		
40	60	75	75	120	120		180
45	75		90		140	200	
	80		170		150	170	
50	60	80	130	120	160	160	200
	80		140		170		180
	100	90	90		180	170	200
	150		120	200	280		
60	60	90	150	130	200	200	360
	80		170				

### 1.5. Міжнародні стандарти у виробництві друкованих плат

Зараз в світі є кілька авторитетних організацій – розробників міжнародних стандартів. Це такі структури.

- ISO (Міжнародна організація зі стандартизації, розробляє і випускає загальні стандарти);
- IEC (Міжнародна електрична комісія (МЕК), що розробляє і випускає електротехнічні стандарти);
- ANSI (Американський національний інститут стандартів, що є американським представником у виробництві міжнародних стандартів МЕК);
- IPC (Асоціація IPC, що випускає широкий діапазон стандартів виготовлення електронних схем);



– Європейські стандарти на друковані плати (Європейський комітет із стандартизації (CEN) – The European Committee for Standardization (CEN));

– IEEE (Американський інститут інженерів по електроніці та радіоелектроніці, встановлює тільки кілька стандартів, що відносяться до виготовлення електронних схем);

– ISA (Американське товариство приладобудування. Це товариство крім того, що випускає свої власні стандарти, координує державні стандарти США по вимірювальній апаратурі, частина яких має відношення до виготовлення електронних збірок (модулів)), і деякі інші.

У даний час у вітчизняній електронній індустрії великого поширення набули стандарти IPC. Використання цих стандартів пов'язане з рядом наступних переваг.

1. Забезпечується керована якість і надійність кінцевого виробу. Застосування стандартів IPC на всіх етапах виробничого процесу допоможе значно поліпшити характеристики виробу, збільшити термін служби і забезпечити відповідність нормам безсвинцевої технології.

2. Підвищується ефективність взаємодії з постачальниками і співробітниками. Ключова фраза кожного IPC-стандарту «Стандарти призначені для ліквідації непорозуміння між виробниками і покупцями, сприяння взаємозамінності і вдосконалення продуктів і надання допомоги покупцеві у виборі та отриманні з мінімальним затримками належного продукту для його особливої необхідності».

3. Покращується імідж та конкурентоспроможність. Стандарти IPC – це документи, які використовують в електронній промисловості по всьому світу. Той факт, що компанія виготовляє пристрої відповідно до міжнародних стандартів, підвищує її імідж і конкурентоспроможність.

4. Простота у використанні. Стандарти IPC містять швидше рекомендаційну інформацію, на відміну від жорстко регламентованих

ГОСТів, тому у працівників не виникнуть додаткові труднощі в їх розумінні і, як наслідок, не буде складностей при взаємодії з замовником [4].

Стандарт IPC максимально наближений до стандартів MEK (міжнародної електротехнічної комісії), це відкриває нові можливості при роботі з іноземними замовниками.

5. Використання сучасних технологій. Розробники стандартів IPC «тримають руку на пульсі» розвитку сучасних технологій, тому в них містяться найсвіжіші рекомендації з розробки. Наприклад, стандарти передбачають вимоги до плат вище 5-го класу точності, в ГОСТах максимальний клас точності – 5.

6. Автоматизація процесів. Розроблено базу PCB-Libraris IPC [5] з більшістю сучасних радіоелементів і можливістю їх експорту в різні програми для розробки ПП: PCAD або CAD і т.д.

7. Знижується собівартість. Гарантія того, що друковані плати відповідають стандартам IPC, дозволяє виробляти електронні модулі, які в повній мірі відповідають жорстким вимогам по контролю якості, зменшуючи час дорогого простою, знижуючи обсяг ремонту і кількість браку.

Для демонстрації зручності застосування IPC-стандартів розглянемо порівняння міжнародного промислового стандарту IPC-SM-782A, який відображає вимоги до поверхневого монтажу, з аналогічним вітчизняним ГОСТ 29137-91 (табл. 1.3). У цьому стандарті враховується класифікація електричних та електронних виробів за їх кінцевим застосуванням. Були встановлені три загальних класи кінцевих виробів, що відображають відмінності в технологічності, складності, функціональних характеристиках, а також в періодичності перевірок (контролю і випробувань). Слід мати на увазі, що можливі перехідні ситуації між виробами різних класів. За визначення класу виробів відповідає споживач.

Таблиця 1.3. Порівняльна характеристика стандарту IPC–SM–782A і ГОСТ 29137–91

Особливості	IPC–SM–782A	ГОСТ 29137–91
Актуальність і сучасність надання інформації	Описано монтаж сучасних багатовиводних EPE	Монтаж застарілих елементів зі штирьовим виводом
Розміри	Розміри наведено в метричній та дюймовій СК	Лише метричні розміри
Вимоги до пайки	Так	Ні
Температурні характеристики пайки	Так (для всіх елементів)	Ні
BGA–компоненти	Опис за монтажем всіх типів розмірів	Ні
Упаковка компонентів	Так	Ні
Таблиця кодів елементів (за ANSI)	Так	Ні

## 1.6. Конструкційні матеріали для виготовлення друкованих плат

### Матеріали для виготовлення друкованих плат

У виробництві друкованих плат якість вихідних матеріалів має вирішальне значення. До них висувають такі загальні вимоги [6]:

- високі діелектричні властивості;
- висока хімічна стійкість;
- добра здатність до механічної обробки;
- достатня механічна міцність;
- висока термостійкість;
- незалежність електричних та механічних властивостей від кліматичного впливу;
- мінімальне жолоблення;
- стійкість до спалахування;
- невелика вартість.

Для виробництва друкованих плат найчастіше використовують фольговані діелектрики, а в деяких технологіях – нефольговані діелектрики.

Більшість фольгованих діелектриків, що промисловістю виготовляє промисловість мають провідне покриття із тонкої мідної електролітичної фольги. Електролітична фольга має високою чистотою складу (99,5 %), пластичністю, низькою шорсткістю, рівномірністю товщини. Використання електролітичної фольги дозволяє відтворювати струмопровідний рисунок шляхом витравлювання міді з високою точністю. Товщина мідної фольги стандартизована і має значення 5, 18, 35, 50, 70 і 105 мкм. Для підвищення міцності зчеплення з діелектричною основою фольга з одного боку оксидують або покривають шаром хрому.

Катана мідна фольга використовується тільки при виготовленні багат шарових друкованих плат методом виступаючих виводів, де важливе значення мають високі механічні властивості міді.

Серед фольгованих діелектриків найбільш широко використовують фольгований склотекстоліт, і рідше – фольгований гетинакс.

**Фольгований склотекстоліт** – це декілька шарів склотканини, просоченої епоксифенолформальдегідною або епоксидною смолою. На один бік чи з обох боків склотекстоліту приклеєна мідна фольга визначеної товщини. Фольгований склотекстоліт широко використовується для виготовлення двобічних друкованих плат з металізованими отворами та для виготовлення багат шарових друкованих плат.

**Фольгований гетинакс** – це декілька шарів електротехнічного паперу з волокнистою структурою, просоченого фенолформальдегідною смолою. З одного чи з обох боків гетинаксу приклеєна мідна фольга. Він є більш дешевим, але має нижчі експлуатаційні характеристики. Застосовується для виготовлення плат, що використовуються у виробництві побутової радіоапаратури та блоків живлення.

Фольговані діелектрики, що виготовляються промисловістю, позначають першою літерою слів, що визначають характеристику або призначення матеріалу з цифровим позначенням кількості фольгованих боків

(1 або 2) і товщини фольги у мкм. Відсутність цифри, яка вказує на товщину фольги, означає, що використовується фольга товщиною 35 мкм. Наприклад, СТФ–1–35 означає, що це склотекстоліт (С), теплотривкий (Т), фольгований (Ф), з фольгою з одного боку (1), товщина фольги 35 мкм. Гетинакс позначають літерою (Г).

Фольговані діелектрики постачають у вигляді листів з розмірами від 400 до 1100 мм і товщиною 0,06...3 мм.

### **Матеріали для виготовлення одношарових друкованих плат**

Раніше для виготовлення друкованих плат широко використовували фольгований склотекстоліт з наступними маркуваннями [6, 7].

– Склотекстоліт фольгований маркують наступним чином: СФ–1–50; СФ–2–50; СФ–1–35; СФ–2–35; СФ–1–18; СФ–2–18. Товщина мідної фольги складає відповідно 50; 35; 18 мкм. Товщина діелектрика складає 0,5...3,0 мм.

– Склотекстоліт фольгований з підвищеною стійкістю до нагрівання: СФПН–1–50; СФПН–2–50; товщина діелектрика складає 0,5...3,0 мм.

– Склотекстоліт загального призначення негорючий фольгований: СОНФ–1–35; СОНФ–2–35; СОНФ–1–50; СОНФ–2–50; товщина діелектрика складає 0,8...3,0 мм.

– Склотекстоліт фольгований на епоксидній основі: СТФ–1–35; СТФ–2–35; СТФ–1–18; СТФ–2–18; товщина діелектрика складає 0,8...3,0 мм.

– Склотекстоліт теплостійкий для напівадитивної технології: СТПА–5–1; СТПА–5–2; товщина мідної фольги складає 5 мкм, товщина діелектрика складає 0,5...2,0 мм.

На теперішній час у промисловості широко використовують міжнародну класифікацію фольгованих діелектриків.

Стандартний FR-4 – це композитний матеріал на основі скловолокна (склотекстоліт). Наприклад, стандартний FR-4 товщиною 1,6 мм складається з восьми шарів склотекстоліту. Його колір відображає клас горючості даного матеріалу: червоний – UL94-V0, синій – UL94-HB. Матеріали серії FR (Fire Retardent – вогнетривкий).

FR-4 є найбільш поширеним у всьому світі базовим матеріалом для виробництва двосторонніх і багатошарових друкованих плат, а також для виробництва односторонніх друкованих плат з підвищеними вимогами до механічної міцності. Температура експлуатації цього матеріалу 120...130 °C. Зазвичай FR-4 прозорий, стандартний зелений колір визначається кольором паяльної маски, нанесеної на закінчену друковану плату.

FR-5 – це склотекстоліт, подібний FR4, але температура експлуатації цього матеріалу 140...170 °C.

На теперішній час замість фольгованого гетинаксу використовують фольговані діелектричні матеріали з такими маркуваннями:

FR-2 – папір, просочений фенольною смолою;

FR-3 – папір, просочений епоксидною смолою.

Залежно від використовуваного скловолокна при виготовленні склотекстоліту, його можна класифікувати за наступними основними типами.

– A-glass: називається лужним склом, що є стійким до хімічних речовин. За складом його волокон він близький до віконного скла;

– C-glass: володіє дуже високою стійкістю до хімічного впливу і також називається хімічним склом;

– E-glass: його також називають електричним склом є дуже хорошим ізолятором електроенергії;

– AE-glass: лугостійке скло;

– S-glass: конструкційне скловолокно з високими механічними властивостями;

## **Матеріали для виготовлення багат шарових друкованих плат**

Для виготовлення багат шарових друкованих плат використовують тонкі фольговані діелектрики та клеювальні прокладні матеріали. Використовувані діелектрики повинні травитися під дією тих чи інших реагентів.

Маркування фольгованих діелектриків.

1. Склотестоліт фольгований, що травиться ФТС–1–18; ФТС–2–18; ФТС–1–35; ФТС–2–35, товщина діелектрика складає 0,1...0,5 мм.

2. Склотекстоліт теплостійкий негорючий фольгований: СТНФ–1–35; СТНФ–2–35; СТНФ–1–18; СТНФ–2–18, товщина діелектрика – 0,08...0,3мм.

3. Склотекстоліт теплостійкий для напівадетивної технології СТПА–1–5, товщина діелектрика складає 0,1...0,8 мм.

4. Поліамід фольгований ПФ–1, товщина мідної фольги складає 35 мкм, товщина діелектрика 0,1 мм.

Клеювальний прокладний матеріал – це склотекстоліт, просочений епоксидною смолою, яка не повністю заполімеризована. При відповідних температурі і тиску епоксидна смола полімеризується до кінця і міцно з'єднує окремі шари багат шарової плати. Маркування: СП–1; СП–2; СП–3; СП–4, товщина діелектрика може складати 0,025, 0,06 і 0,1 мм.

## **Матеріали для виготовлення гнучких друкованих плат**

Для виготовлення гнучких друкованих плат використовуються головним чином, тонкі фольговані діелектрики, які мають таке маркування:

– склотестоліт фольгований ДФМ–1; ДФМ–2, товщина діелектрика 0,065...0,085 мм;

– плівка фторопластова фольгована Ф–4МБСФ–1; Ф–4МБСФ–2, товщина діелектрика 0,15...0,2 мм;

– лавсан фольгований ЛФ–1, товщина діелектрика 0,115 мм;

– поліамід фольгований ПФ–1, товщина діелектрика 0,1 мм.

## Мідна фольга для виготовлення друкованих плат

Використовують мідну фольгу, отриману електролітичним способом.

Ця фольга має такі властивості:

- висока електропровідність;
- добра здатність до паяння;
- висока адгезія до інших металів;
- висока пластичність;
- добрі теплофізичні властивості.

Цим вимогам якнайкраще задовольняє електролітична фольга, яка є рівномірною за товщиною, не містить домішок, має рівномірну структуру, що дозволяє витравлювати струмопровідний рисунок з необхідною точністю.

Товщина фольги стандартизована і має значення 5, 18, 35, 50, 70 і 105 мкм. Один бік фольги, яким вона приклеюється до діелектрика, має мікрошорстку поверхню (див. рис.1.1). Другий бік має гладеньку поверхню, що необхідно для точного відтворення струмопровідного рисунка.

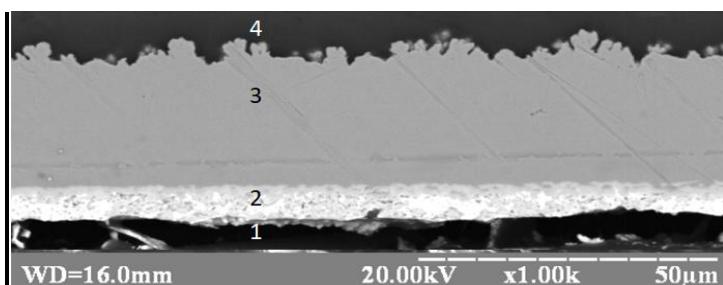


Рис. 1.1. Фотозображення шліфа поперечного перерізу друкованої плати: 1 – бакелітовий корпус шліфа; 2 – фінішне покриття ПОС-61; 3 – мідна фольга з характерним мікропрофілем; 4 – склотекстоліт

Для підвищення стійкості до нагрівання та адгезії до діелектрика фольгу іноді оксидують у лужному розчині.

Для наклеювання фольги на діелектрик використовують клей БФ-4 або БФР-4, у який для підвищення теплостійкості

клеєвого з'єднання вводять пилоподібний кварц.

Катана мідна фольга нерівномірною за товщиною, має домішки, які при травленні можуть утворювати коротко замкнуті гальванічні пари. Все це значно ускладнює процес відтворення рисунка з необхідною точністю.



Катану фольгу не використовують у виробництві друкованих плат, за виключенням багат шарових друкованих плат методом виступаючих виводів.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Яка товщина міді може бути осаджена на металізовані ділянки друкованої плати? Яка максимальна товщина міді на провідниках заземлення?
2. Якою є використовувана товщина захисних покриттів на основі сплавів олова (сплави вказати)?
3. Якою має бути мінімальна товщина міді в металізованих отворах і якою має бути ширина гарантійного пояску навколо монтажного отвору?
4. Скільки є класів точності друкованих плат і за якими параметрами друковані плати класифікують?
5. Переваги та недоліки гетинаксу та склотекстоліту.
6. Дати визначення понять: друкований вузол, друкована схема, друкований монтаж.
7. Якого типу мідна фольга використовується для виготовлення фольгованих діелектриків і які технологічні особливості її виготовлення?
8. У випадку якісного виготовлення друкованої плати за скільки секунд контактні площадки мають рівномірно змочуватись припоєм?

## **РОЗДІЛ 2**

# МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

## 2.1. Класифікація методів виготовлення одношарових друкованих плат

Методи виготовлення одношарових друкованих плат можна поділити так [6 – 8]:

- субтрактивний негативний та позитивний методи;
- адитивний метод;
- електрохімічний метод;
- комбінований негативний та позитивний метод.

Позитивний комбінований метод використовують у вигляді декількох різновидів, вони будуть розглянуті в подальшому.

Методи виготовлення ДП (рис.2.1.) поділяють на дві групи: субтрактивні та адитивні.

У субтрактивних методах (*subtratio* – віднімання) в якості основи для виготовлення плати друкованого монтажу використовують фольговані діелектрики, на яких формується провідний малюнок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. Додаткова хіміко-гальванічна металізація монтажних отворів привела до створення комбінованих методів виготовлення ДП.

Адитивні (*additio* – додавання) методи засновані на вибіркового осадженні струмопровідного покриття на діелектричну основу, на яку попередньо може наноситися шар клейової композиції. У порівнянні з субтрактивними вони мають такі переваги:

- однорідність структури провідників, так як провідники і металізовані отвори отримуються в єдиному хіміко-гальванічному процесі;
- усунуте підтравлювання елементів друкованого монтажу;

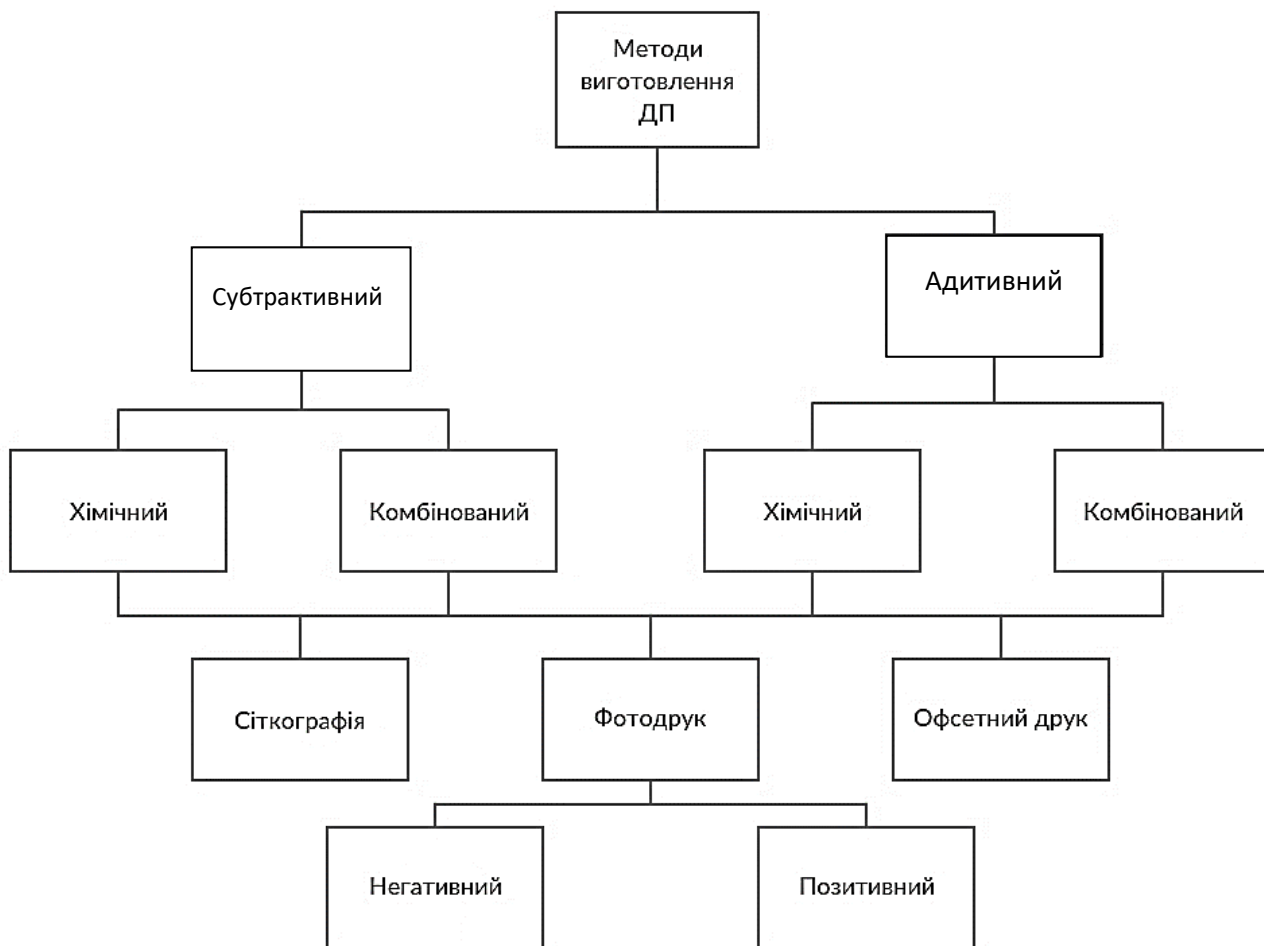


Рис. 2.1. Методи виготовлення друкованих плат

- покращена рівномірність товщини металізованого шару в отворах;
- підвищена щільність друкованого монтажу;
- спрощений ТП через усунення ряду операцій (нанесення захисного покриття, травлення);
- відсутні витрати міді та хімікатів для травлення;
- зменшена тривалість виробничого циклу.

Незважаючи на описані переваги, застосування адитивного методу в масовому виробництві ДП обмежено низькою продуктивністю процесу хімічної металізації, шкідливим впливом електролітів на діелектрик, труднощами одержання металевих покриттів з хорошою адгезією. Домінуючою в цих умовах є субтрактивна технологія, особливо з переходом на фольговані діелектрики з тонкомірної фольгою (5 і 18 мкм).

### 2.1.2. Субтрактивний метод виготовлення друкованих плат

Цей метод засновано на травленні металу. Як вихідний матеріал використовують фольгований діелектрик – гетинакс, склотекстоліт, тощо.

Суть методу [9, 10]: струмопровідний рисунок отримують шляхом витравлювання міді з пробільних ділянок. Для захисту струмопровідного рисунка від дії травильного розчину на нього попередньо наносять захисний рельєф. Як захисний рельєф використовують друкарські фарби, фоторезисти або метали чи сплави, які називають металорезисти. Навісні електрорадіоелементи закріплюють у неметалізованих монтажних отворах і припаюють до монтажних площадок. На всю поверхню плати, за виключенням місць паяння, наносять захисну або паяльну маску, яка захищає плату від дії навколишнього середовища, від механічних пошкоджень, від короткого замикання навісними електрорадіоелементами.

Субтрактивний метод призначено:

- для виготовлення однобічних друкованих плат;
- для виготовлення внутрішніх шарів багатошарових плат;
- для виготовлення гнучких друкованих плат.

Залежно від виду фотошаблону, який застосовується, розрізняють негативний варіант і позитивний варіант методу. У разі використання негативу зображення захисний рельєф наносять на струмопровідний рисунок.

У разі використання позитиву зображення захисний рельєф наноситься на пробільні ділянки і захищає їх від наступного електроосадження металу (або ж хімічного осадження металу).

## Субтрактивний негативний метод

Технологічного процес виготовлення друкованих плат за цим методом включає наступні операції.

1. Виготовлення заготовок друкованих плат. Листи фольгованого діелектрика розрізають за допомогою гільйотинних або роликкових ножиць. Розмір заготовок визначають з урахуванням технологічного поля.

2. Свердлення базових або фіксуючих отворів на технологічному полі заготовок здійснюють шляхом свердлення за допомогою шаблонів.

3. Хіміко-механічна підготовка поверхні фольги. Поверхню фольги зачищають за допомогою щіток і знежирюють.

4. Нанесення захисного рельєфу на струмопровідний рисунок здійснюють методом трафаретного друку або ж методом фотохімічного друку з використанням негатива зображення.

5. Травлення міді з пробільних ділянок.

6. Видалення захисного рельєфу з поверхні заготовок.

7. Свердлення монтажних отворів.

8. Нанесення захисної або паяльної маски на всю поверхню плати за виключенням місць паяння здійснюють методом трафаретного або фотохімічного друку.

9. Нанесення легкоплавких сплавів (ПОС–61) на місця пайки гарячим способом. Для цього плату занурюють у розплав через шар флюсу, надлишок розплавленого металу видаляють, обдуваючи плату гарячим (220 °С) стисненим повітрям (повітряний «ніж»). Ця операція виконується на спеціальних автоматизованих установках.

10. Обробка плати за контуром. Шляхом фрезерування видаляють технологічне поле.

11. Контроль якості друкованої плати.

Точність методу складає 0,2 мм і обмежена боковим підтравлюванням провідників.

Преваги методу: простота і можливість повної автоматизації.

Недоліки методу:

1. Не дозволяє виготовляти двобічні плати з перехідними з'єднаннями.
2. Великі витрати міді внаслідок її витравлювання (витравлюється 70 % фольги).
3. Метод екологічно небезпечний, вимагає значних витрат на регенерацію міді та очистку стічних вод.

Субтрактивний негативний метод – один з найпоширеніших методів виготовлення друкованих плат (рис.2.2).

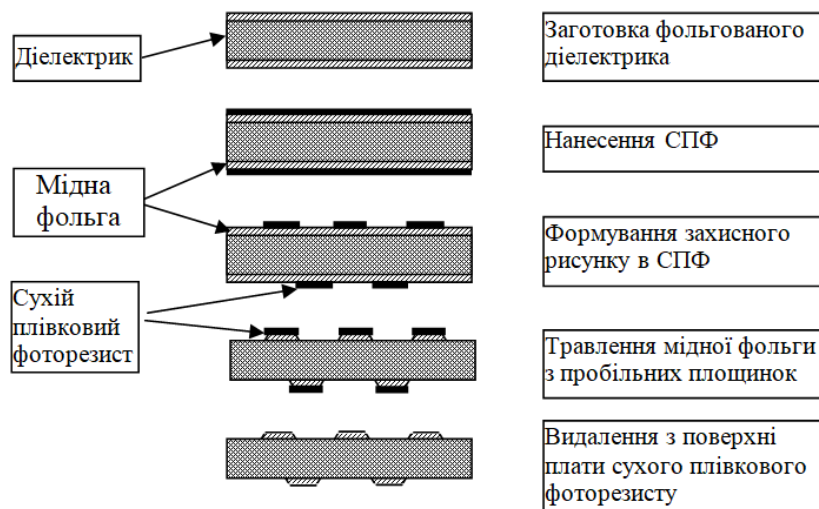


Рис. 2.2. Технологічна схема виготовлення друкованих плат субтрактивним негативним методом з використанням сухого плівкового фоторезисту (СПФ)

### Виготовлення гнучких друкованих кабелів

При виготовленні гнучких друкованих кабелів використовують тонкий однобічний фольгований склотекстоліт та захисну лавсанову плівку. Процес виготовлення друкованих кабелів включає такі операції:

1. Виготовлення заготовок.
2. Механічна підготовка поверхні фольги на заготовках.
3. Нанесення захисного рельєфу на струмопровідний рисунок заготовок.
4. Травлення міді з пробільних ділянок.

5. Видалення захисного рельєфу.
6. Підготовка поверхні плати та заготовки:
  - а) Підтравлювання струмопровідного рисунку плати у розчині: персульфат амонію – 205 г/л, сірчана кислота – 5 г/л;
  - б) Термостатування лавсанової плівки в продовж 30 хв при температурі 200 °С.

Потім поверхня плати і плівки знежирюється етиловим спиртом.

7. Склеювання заготовки і лавсанової плівки:

Поверхню заготовки і плівки промащують клеєм ТМ–60, висушують 30 хв на повітрі, потім поверхні з'єднують і прикочують гумовим валиком для видалення бульбашок повітря.

8. Пресування заготовок.

Збирають пакет з 5 кабелів у прес-форму і пресують у двоступеневому режимі:

- I. температура 145 °С,  $p = 3...5$  атм, тривалість процесу 20 хв;
- II. температура 145 °С,  $p = 12...15$  атм, тривалість процесу 45 хв.

Після пресування заготовки охолоджують під тиском

9. Обробка кабелів за контуром

10. Контроль якості, маркування.

### **Субтрактивний позитивний метод**

Метод передбачає використання фотошаблону з позитивним зображенням струмопровідного рисунка. При цьому захисний рельєф наноситься на пробільні ділянки і захищає їх від наступного електроосадження металу.

Технологічного процесу складається з наступних операцій.

1. Виготовлення заготовок друкованих плат.
2. Виготовлення базових отворів.
3. Хіміко-механічна підготовка поверхні фольги.

4. Нанесення захисного рельєфу на пробільні місця.
5. Гальванічне нанесення захисного металевого покриття (Ag, Au) на струмопровідний рисунок.
6. Видалення захисного рельєфу з пробільних ділянок.
7. Травлення міді з пробільних ділянок.
8. Виготовлення монтажних отворів.
9. Обробка плати за контуром.
10. Маркування.
11. Контроль якості.

Субтрактивний позитивний метод призначено для виготовлення друкованих плат для НВЧ-діапазону. Для нанесення захисного покриття у цьому разі використовують срібло.

Субтрактивний метод отримання малюнка провідників ДП засновано на травленні мідної фольги по захисній масці. Через процес бічного підтравлювання міді під краями захисного шару поперечний переріз провідників має форму трапеції, розташованої більшою основою до поверхні діелектрика. Величина бічного підтравлювання і, відповідно, розкид ширини створюваних провідних доріжок залежить від товщини шару металу: при травленні фольги товщиною 5 мкм інтервал розкиду ширини провідників близько 7 мкм, при травленні фольги товщиною 20 мкм розкид складає 30 мкм, а при травленні фольги товщиною 35 мкм розкид складає близько 50 мкм. Спотворення ширини мідних провідників по відношенню до розмірів ширини їх зображень на фоторезисті і на фотошаблонах зміщуються в бік звуження. Отже, при субтрактивній технології розміри провідників на фотошаблонах необхідно збільшувати на величину звуження. З цього випливає, що субтрактивна технологія має обмеження у використанні, які визначаються товщиною фольги і процесами травлення. Мінімально відтворювана ширина провідників і зазорів становить близько:

– 50 мкм при товщині фольги 5...9 мкм;



- 100...125 мкм при товщині провідників 20...35 мкм;
- 150...200 мкм при товщині провідників 50 мкм.

### **2.1.2. Електрохімічний метод виготовлення друкованих плат**

Метод призначено для виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями.

Суть методу. Як вихідний матеріал застосовують нефольгований склотекстоліт марки СТЕК. Формування струмопровідного рисунка і металізацію отворів здійснюють шляхом хімічного і наступного гальванічного міднення. Товщина шару хімічно осадженої міді складає лише 0,8...1,0 мкм і тільки забезпечує необхідну електропровідність, а нарощування шару міді здійснюють електrolітичним шляхом, що значно скорочує тривалість процесу формування рисунку.

Технологічного процесу включає наступні операції.

1. Виготовлення заготовок друкованих плат.
2. Виготовлення базових отворів.
3. Свердлення отворів, що підлягають металізації.
4. Підготовка поверхні діелектрика з метою надання їй гідрофільності та потрібної гладкості.
5. Хімічне міднення всієї поверхні до товщини  $\geq 1$  мкм.
6. Попереднє гальванічне міднення (гальванічна затяжка) до товщини 5...7 мкм.
7. Нанесення захисного рельєфу на пробільні ділянки.
8. Гальванічне міднення струмопровідного рисунка до товщини 25 мкм в отворах.
9. Гальванічне нанесення металорезисту на струмопровідний рисунок. Як металорезист часто використовують сплав ПОС–61.
10. Видалення захисного рельєфу з пробільних ділянок.
11. Травлення тонкого шару міді ( $\approx 5$  мкм) з пробільних ділянок.

12. Освітлення і оплавлення сплаву Sn–Pb.

13. Обробка плат за контуром.

14. Контроль якості друкованих плат.

У цьому методі витравлюється тонкий шар міді ( $\approx 5$  мкм) і бокове підтравлення друкованих провідників незначне. З огляду на це, точність методу висока і складає 0,15 мм.

### **Використання електрохімічного методу для виготовлення друкованих плат на металевій основі**

Електрохімічний метод є єдиним методом, який дозволяє виготовляти плати на металевій основі. Такі плати використовуються в радіоелектронній апаратурі, яка працює при високих значеннях струму та в умовах підвищених температур. Металева основа плати дозволяє відводити велику кількість тепла, яке виділяється при роботі.

Основу таких плат часто виготовляють із алюмінієвих сплавів. На анодовану поверхню заготовки з попередньо просвердленими отворами спочатку наносять електроізолюючий шар, а потім формують струмопровідний рисунок та металізують отвори.

Технологічний процес включає наступні операції.

1. Виготовлення заготовок друкованих плат.

2. Виготовлення базових отворів.

3. Виготовлення отворів, які підлягають металізації.

4. Анодування поверхні заготовки в сірчанокиислому електроліті.

5. Нанесення електроізоляційного шару на поверхню заготовки та в отвори: використовують порошкову фарбу ПЕП–219, яку наносять розпиленням 4 шарами з наступним оплавленням кожного шару при температурі 180 °С.

6. Калібрування діаметрів отворів, що підлягають металізації.

7. Хімічне міднення всієї поверхні до одного мкм.

8. Попереднє гальванічне міднення до товщини 5...7 мкм.
9. Нанесення захисного рельєфу на пробільні ділянки.
10. Гальванічне міднення струмопровідного рисунка і отворів.
11. Гальванічне нанесення металорезисту на струмопровідний рисунок.
12. Видалення захисного рельєфу.
13. Травлення міді з пробільних ділянок.
14. Обробка плати за контуром.
15. Контроль якості друкованих плат.

### **2.1.3. Адитивний метод виготовлення друкованих плат**

Метод призначений для виготовлення для виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями. Вперше почали використовувати в США.

Вихідним матеріалом є нефольгований діелектрик спеціальних сортів. Формування струмопровідного рисунка та металізацію отворів здійснюють шляхом хімічного товстошарового осадження міді. Пробільні ділянки від осадження металу попередньо захищають шляхом нанесення захисного рельєфу.

Технологічний процес включає наступні операції.

1. Виготовлення заготовок друкованих плат.
2. Виготовлення базових отворів.
3. Свердлення отворів, які підлягають металізації, на верстатах з ЧПУ.
4. Нанесення захисного рельєфу на пробільні ділянки.
5. Хімічне міднення струмопровідного рисунка та отворів до товщини 30 мкм.
6. Видалення захисного рельєфу.
7. Нанесення паяльної маски на всю поверхню плати за виключенням місць паяння.

8. Нанесення легкоплавких сплавів (ПОС–61) гарячим методом з вирівнюванням покриття гарячим стисненим повітрям.

9. Обробка плати за контуром.

10. Контроль якості плати.

В адитивному методі використовують такі нефольговані діелектрики:

СТАМ – склотекстоліт, у склад якого вводять 0,1...0,2 % каталітичних агентів, які підвищують якість металізації;

СТЕК – склотекстоліт, на поверхню якого нанесено напівзатверділий клейовий шар епоксикаучукової композиції, яка покращує адгезію шару міді до діелектрика.

Преваги адитивного методу:

- висока точність відтворення рисунка – 0,1 мм, так як відсутня операція травлення міді;

- можна виготовляти плати самого високого класу точності;

- малі витрати міді на виробництво плат;

- велика надійність з'єднань металізованих отворів і друкованих провідників;

- рівномірне покриття міддю по всій поверхні плати;

- можливість повторного використання бракованих плат після витравлювання міді;

- невелика кількість обладнання, високий коефіцієнт використання виробничої площі.

Недоліки адитивного методу:

- мала швидкість осадження міді, тривалість процесу складає приблизно 17 годин;

- мала продуктивність, висока собівартість виробництва;

- складно підібрати захисний фоторезист який був би стійким протягом 17 годин у сильно лужному середовищі;

– хімічно осаджена мідь має недостатню адгезію до діелектрика, друковані провідники можуть відшаруватися від поверхні плати.

Адитивний метод знаходить обмежене застосування, але проводяться роботи з його вдосконалення.

## **Напрямки подальшого розвитку адитивного методу**

### **Фотоадитивний метод**

У склад діелектрика вводять  $\text{TiO}_2$  у рутильній формі. На поверхню діелектрика наносять фоточутливий шар, який містить катіони  $\text{Pd}^{2+}$  чи  $\text{Cu}^{2+}$ . При експонуванні цього шару через фотошаблон під дією ультрафіолетового світла  $\text{TiO}_2$  віддає електрони катіонам паладію чи міді, вони відновлюються до металу і утворюють центри кристалізації для наступного процесу хімічного міднення. Захисний рельєф при цьому взагалі не наносять. Основні фрагменти фотоадитивного методу показані на рис. 2.3.

### **Метод переносу**

Призначений для виготовлення однобічних плат. Метод передбачає використання тимчасової основи у вигляді пластини із нержавіючої сталі. На цю основу наносять захисний рельєф на пробільні ділянки і шляхом гальванічного осаджування міді формують струмопровідний рисунок. Після цього захисний рельєф видаляють, тимчасову основу рисунком притискають до діелектрика з нанесеним клеєним шаром. При цьому струмопровідний рисунок відшаровується від нержавіючої сталі і приклеюється до діелектрика. Цей метод використовується за кордоном для виготовлення гнучких друкованих плат. Проводиться аналогічно до вищеописаного адитивного способу наступним чином. Провідний рисунок формується (рис. 2.4) послідовним нарощуванням шарів: 1 – отримання на тимчасових

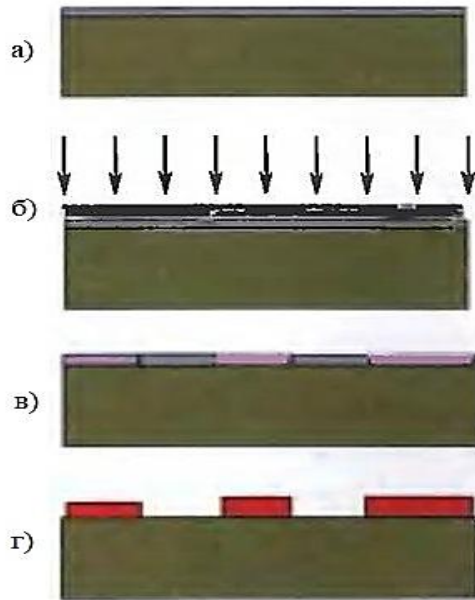


Рис. 2.3. Схема фотоадитивного процесу: а – нанесення і закріплення на поверхні підкладки фотокаталізатора; б – експонування фотокаталізатора через фотошаблон-негатив; в – активація фотокаталізатора на освітлених ділянках підкладки – по місцях майбутніх провідників; г – товсто хімічна металізація провідників за рахунок роботи активованого каталізатора, готова плата [6]

виготовленні ДП підготовлені пластини поділяються пластиною з препрегу або іншого діелектрика (7) і спресовуються (8), після чого механічно видаляються носії (9). Якщо не потрібні міжшарові переходи, то мідні шини стравлюються і плата готова (10).

«носіях» – листах з нержавіючої сталі – мідної шини товщиною 2 ... 20 мкм; 2 – формування малюнка в СПФ; 3 – гальванічне осадження тонкого шару нікелю (2...3 мкм) і міді (4) (30...50 мкм) по малюнку звільненого в рельєфі плівкового фоторезисту. У захисному рельєфі плівкового фоторезиста на верхню поверхню сформованих провідників проводиться також нанесення адгезійних шарів (5). Після цього плівковий фоторезист видаляється (6). При

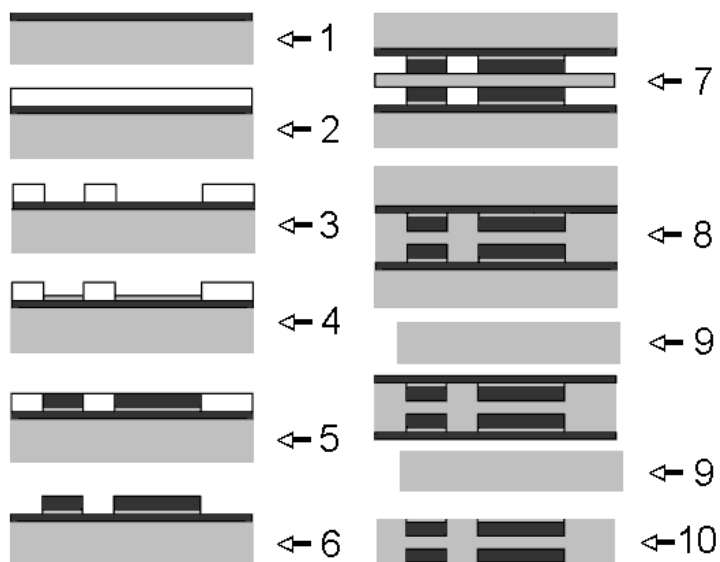


Рис.2.4. Процес формування провідного рисунку згідно методу переносу

### **Виготовлення гнучких друкованих плат з використанням струмопровідних паст**

Як вихідні матеріали використовують нефольговану лавсанову плівку і струмопровідну металополімерну пасту, яка містить порошок срібла і полімерний зв'язувальний агент. Процес виготовлення гнучких плат включає наступні стадії.

1. Виготовлення заготовок.
2. Знежирювання поверхні заготовок органічними розчинниками.
3. Нанесення струмопровідного рисунка методом трафаретного друку з використанням струмопровідної паст.
4. Сушка в термошафі при 120 °С протягом 15 хв.
5. Нанесення захисної композиції «СКАТ» на поверхню заготовки.
6. Сушка в інфрачервоних променях.
7. Механічна обробка по контуру плати.

Товщина друкованих провідників на таких платах складає 14 мкм. Провідники містять у своєму складі до 90 % срібла, що забезпечує їх високу електропровідність.

Використання даного способу дає можливість створювати ДП найвищої складності з високою щільністю монтажу.

#### 2.1.4. Комбінований метод виготовлення друкованих плат

Метод призначений для виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями. Цей метод поєднує хімічний (рис 2.5 а) та електрохімічний методи, тобто є їх комбінацією (рис 2.5 б). Як вихідний матеріал використовують двобічний фольгований склотекстоліт. Струмopрoвідний рисунок отримують шляхом витравлювання міді з пробільних ділянок фольги, а металізацію отворів здійснюють шляхом хімічного та наступного гальванічного нанесення мідного покриття.

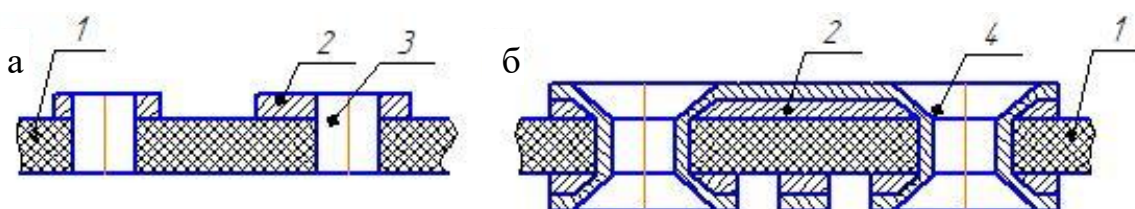


Рис.2.5. Друкована плата, виготовлена: а – хімічним методом; б – комбінованим (двобічна); 1 – основа плати; 2 – провідник чи контактна площадка; 3 – отвір неметалізований; 4 – отвір металізований.

У залежності від виду фотошаблону, який застосовується, розрізняють негативний і позитивний варіанти методу.

#### 2.1.5. Негативний комбінований метод

Як фотошаблон використовують негативне зображення струмопpрoвідного рисунку. Захисний рельєф при цьому наноситься на струмопpрoвідний рисунок, який захищає його від дії травильного розчину.

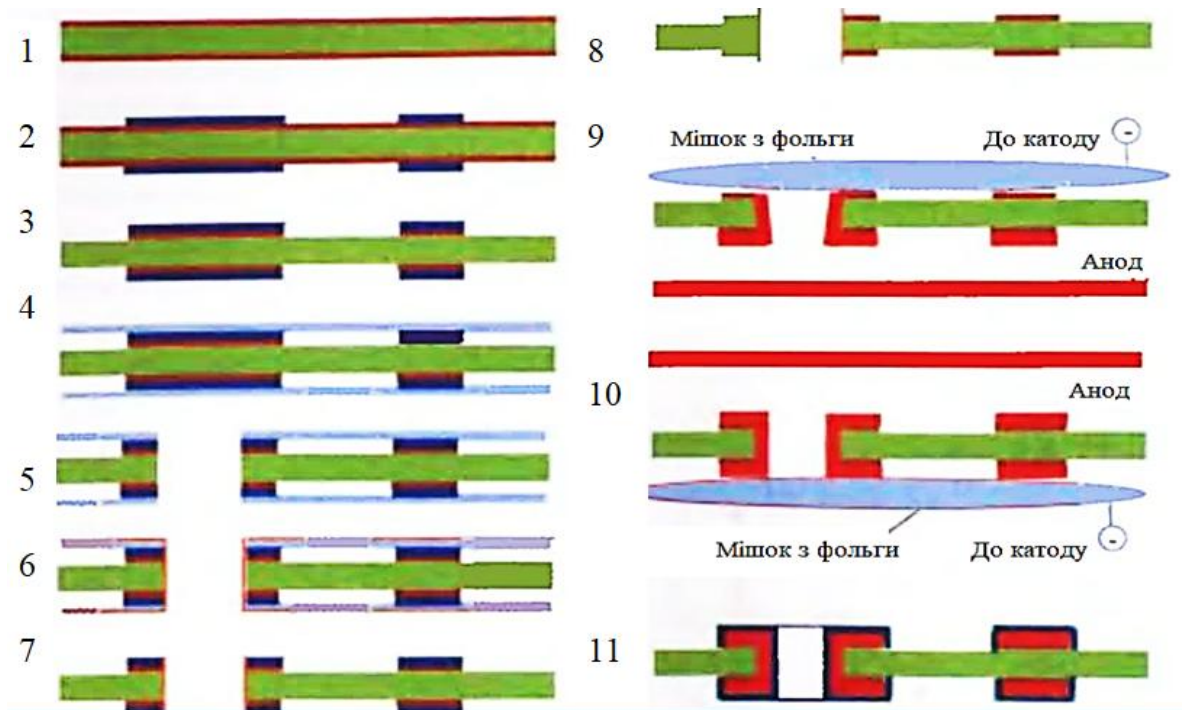
Схема технологічного процесу представлена на (рис.2.6.) і складається з таких операцій.



1. Виготовлення заготовок друкованих плат.
  2. Виготовлення базових отворів.
  3. Хіміко-механічна підготовка поверхні фольги.
  4. Нанесення захисного рельєфу на струмопровідний рисунок.
  5. Травлення міді з пробільних ділянок.
  6. Видалення захисного рельєфу.
  7. Нанесення захисної лакової плівки на поверхню плати. Ця плівка захищає пробільні ділянки діелектрика від наступного хімічного осадження міді та захищає друковані провідники від механічного пошкодження при свердленні отворів.
  8. Свердлення отворів, що підлягають металізації.
  9. Хімічне міднення поверхні отворів.
  10. Видалення захисної лакової плівки шляхом роздублювання.
  11. Гальванічне міднення струмопровідного рисунку і отворів. Так як струмопровідний рисунок уже сформований, то розробник плати передбачає технологічні провідники, які з'єднують окремі друковані провідники між собою таким чином, щоб увесь рисунок складав катод. Потім технологічні провідники видаляються механічно.
  12. Електролітичне нанесення сплаву олово-свинець для захисту рисунка від дії навколишнього середовища та для забезпечення паяння.
  13. Оплавлення сплаву олово-свинець.
  14. Видалення технологічних провідників.
  15. Обробка плати за контуром.
  16. Контроль якості друкованих плат.
- Друковані плати у яких не передбачені технологічні провідники виготовляють за технологічною схемою, яка наведена на рис.2.6.
- Точність методу складає 0,2 мкм і обмежена боковим підтравлюванням друкованих провідників.

Недоліки негативного методу такі:

1. Наявність ручної операції із видалення технологічних провідників.
2. Пробільні ділянки плати в процесі виготовлення тривалий час контактують з агресивними розчинами, що значно погіршує її діелектричні властивості.
3. При свердленні отворів через лакову плівку утворюються задирки, які потім видаляють шляхом Zenкування, що здорожує виробництво.



*Рис. 2.6.* Схема процесу виготовлення друкованих плат комбінованим негативним методом: 1 – заготовка з фольгованого матеріалу; 2 – нанесення захисного рельєфу (фоторезисту чи кислотостійкої фарби) для захисту провідників від травлення; 3 – травлення пробільних місць рисунку плати; 4 – нанесення лакової плівки на поверхню плати; 5 – свердління наскрізних отворів; 6 – хімічна металізація; 7 – відділення лакової плівки, в отворах залишається хімічно осаджений метал; 8 – видалення захисного рельєфу; 9 – електрохімічна металізація з одного боку плати; 10 – електрохімічна металізація з іншої сторони плати; 11 – обслуговування плати легкоплавкими припоями (наприклад в сплаві Розе) [6].

4. При нанесенні гальванічного покриття відбувається його розростання. Це приводить до збільшення поперечного перерізу друкованих провідників і знижує точність відтворення рисунку.

Через ці недоліки негативний комбінований метод на теперішній час не застосовується, хоча раніше, це був єдиний метод для виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями.

### **«Тентінг» метод виготовлення друкованих плат**

«Тентінг» метод використовується для виготовлення двобічних друкованих плат з металізованими отворами та двобічних шарів з перехідними металізованими з'єднаннями багат шарових друкованих плат.

Особливості «тентінг» методу полягають у наступному.

- Металізується одночасно вся поверхня заготовки та отвори.
- Не використовується нанесення металорезистів.
- Захист струмопровідного рисунку та отворів при травленні міді здійснюється з використанням сухих плівкових фоторезистів з товщиною 40...50 мкм, який створює над отворами умовно кажучи тент (див. рис.2.7). Утворений тент із фоторезисту має витримувати тиск травильного розчину  $1,6 \cdot 10^5 \dots 2 \cdot 10^5$  Па.
- Травлення міді проводять у кислих мідно-хлоридних розчинах, що характеризуються простотою регенерації та утилізації міді.
- Для виготовлення друкованих плат застосовують двобічний фольгований діелектрик з товщиною мідної фольги не більше 18 мкм.
- Для забезпечення постійного захисту отворів фольгованого діелектрика контактні площадки виконують в 1,4 рази ширші за діаметр отворів.
- Цей метод добре поєднується з процесом прямої металізації діелектрика.

*Технологічний процес* за «тентінг» методом складається з таких стадій.

1. Різання фольгованого діелектрика (товщина фольги до 18 мкм) на заготовки.
2. Свердлення базових фіксуючих отворів.
3. Свердлення отворів, що підлягають металізації.
4. Активація діелектрика.
5. Хімічне міднення діелектрика до товщини 3...4 мкм.
6. Гальванічна металізація діелектрика з нарощуванням шару металу товщиною 35...40 мкм на поверхні металу та в отворах.
7. Нанесення СПФ товщиною 40...50 мкм.
8. Отримання захисного рельєфу на струмопровідному рисунку фотохімічним способом.
9. Травлення міді з пробільних місць
10. Видалення захисного рельєфу.
11. Нанесення паяльної маски.
12. Нанесення фінішних покриттів на контактні площадки та металізовані отвори з метою збереження здатності до паяння.

Суть «тентінг» метода розкрита на рис. 2.7.

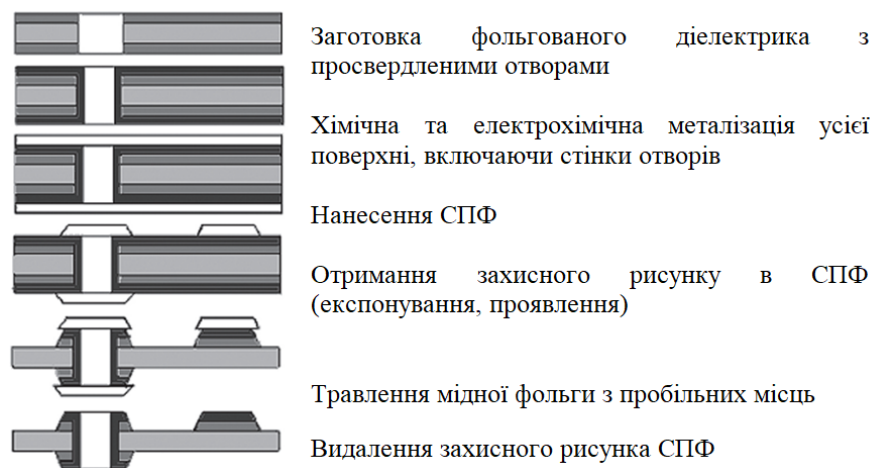


Рис. 2.7. Схема тентінг метода

Переваги «тентінг» метода є наступними:

- найменша тривалість технологічного процесу;
- не використовуються лужні травильні розчини, які містять амонійні сполуки, що ускладнюють очистку стічних вод;
- економічність та екологічність технологічного процесу.

Недолік – обмежена розділювальна здатність (точність) внаслідок витравлювання значного шару міді.

### **2.1.6. Позитивний комбінований метод**

Виготовлення двобічних друкованих плат з металізованими отворами в промисловості здійснюють позитивним комбінованим методом, який є комбінацією хімічного і електрохімічного способів. Як вихідний матеріал у цьому методі використовують двобічний фольгований склотекстоліт. Струмopрoвідний рисунок отримують витравлюванням мідної фольги з пробільних місць, а металізацію отворів здійснюють шляхом хімічного і наступного гальванічного міднення. Метод передбачає використання захисного гальванічного покриття металорезистом, який захищає струмopрoвідний рисунок від витравлювання.

У залежності від виду застосованого металорезисту використовують два варіанти цього методу.

У першому варіанті методу металорезист не тільки захищає струмopрoвідний рисунок від витравлювання, а й захищає його від дії навколишнього середовища і забезпечує високу здатність до паяння. Як металорезист найчастіше застосовують сплав ПОС–61, сплав олово–вісмут, а в окремих випадках золото та срібло.

У другому варіанті металорезист тільки захищає провідний рисунок від дії травильного розчину, а потім металорезист видаляється витравлюванням. Захист провідного рисунка від дії навколишнього середовища здійснюють нанесенням захисної (або паяльної) маски, а пайку забезпечують нанесенням

фінішних покриттів гарячим або імерсійним способами. Як металорезист у цьому варіанті використовують олово.

При виготовленні двобічних друкованих плат з металізованими отворами позитивним комбінованим (напівадитивним) методом з використанням сплаву ПОС–61 (олово–свинець) основні технологічні операції здійснюють у наступній послідовності (рис. 2.8).

1. Вхідний контроль фольгованого діелектрика.
2. Виготовлення заготовок друкованих плат.
3. Виготовлення базових або фіксуючих отворів.
4. Свердлення отворів, які підлягають металізації на верстатах з числовим програмним керуванням.
5. Хіміко–механічна підготовка поверхні заготовки та гідроабразивна очистка отворів.
6. Хімічне міднення отворів до товщини 1 мкм.
7. Попереднє гальванічне міднення поверхні отворів (гальванічна затяжка) до товщини 5...7 мкм.
8. Нанесення захисного рельєфу (непровідного рисунка) на пробільні місця заготовки, методом фотохімічного або трафаретного друку.
9. Гальванічне міднення струмопровідного рисунка до товщини 25 мкм в отворах.
10. Гальванічне нанесення металорезисту сплаву ПОС–61 на струмопровідний рисунок до товщини 10...12 мкм.
11. Видалення захисного рельєфу з пробільних місць заготовки.
12. Хімічне травлення міді з пробільних місць заготовки.
13. Освітлення сплаву ПОС–61.
14. Оплавлення сплаву ПОС–61.
15. Гальванічне покривання кінцевих друкованих контактів дорогоцінними металами.
16. Обробка контуру заготовки друкованої плати шляхом фрезерування.

## 17. Контроль якості друкованих плат.

У тому разі, коли як металорезист використовують сплав олово–вісмут, або золото чи срібло, операції «Освітлення захисного покриття» та «Оплавлення захисного покриття» не передбачають.

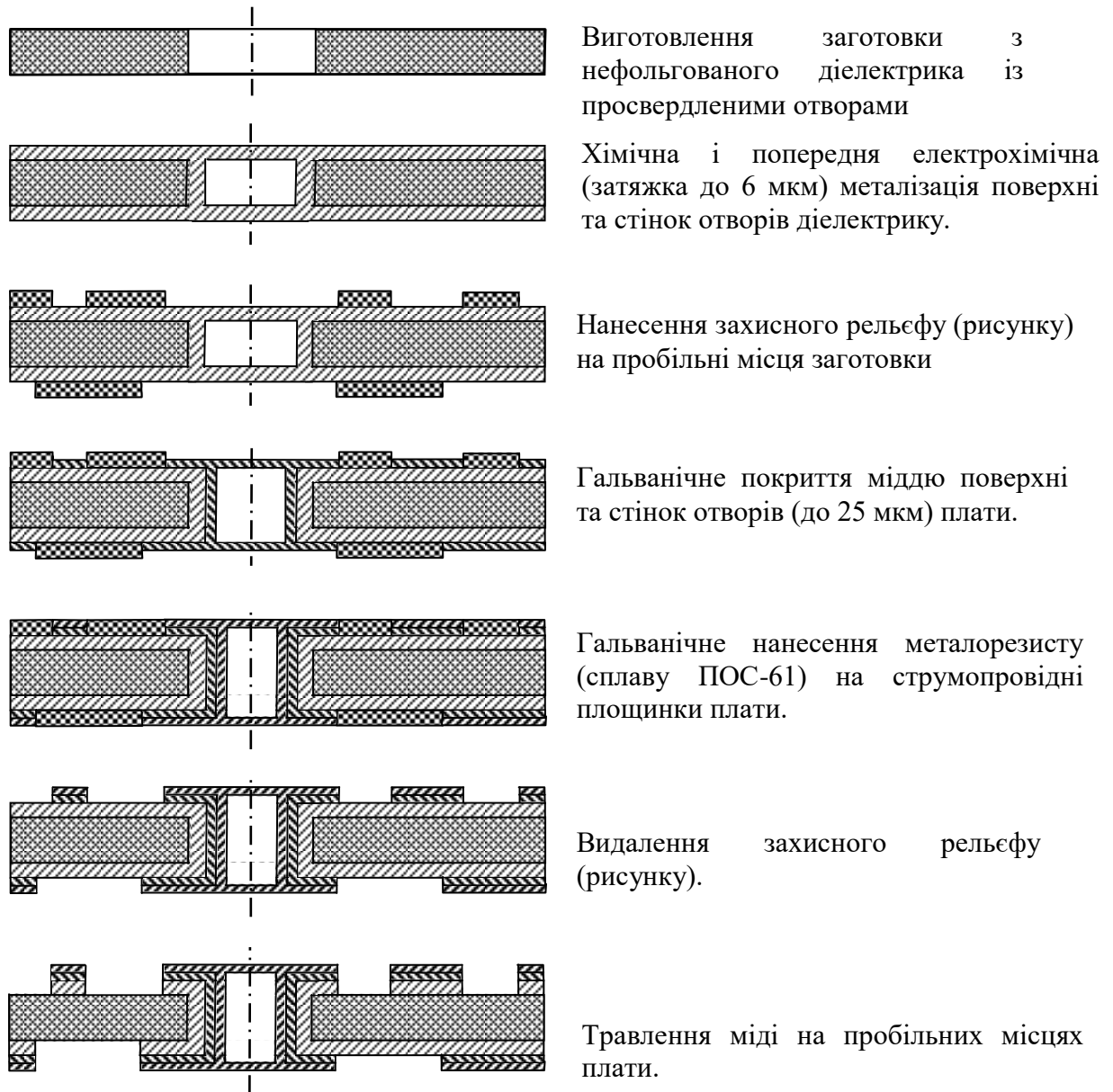


Рис. 2.8. Схема процесу виготовлення друкованих плат позитивним комбінованим (напівадитивним) методом з використанням металорезисту із сплаву ПОС–61 [7]

Останнім часом у багатьох країнах заборонено використовувати свинець при виробництві радіоелектронної апаратури. Через це були

розроблені технології виготовлення друкованих плат без використання сплаву олово-свинець, а пайку навісних електрорадіоелементів здійснюють безсвинцевими припоями. У таких технологіях як металорезист використовують гальванічне олов'яне покриття, яке потім видаляють. Здатність плат до паяння забезпечують нанесенням фінішних покриттів, які не містять свинцю. Захист провідного рисунка і поверхні плати від дії навколишнього середовища здійснюють нанесенням захисної маски.

### **Позитивний комбінований метод з використанням тонкомірної фольги (напівадитивна технологія)**

Як вихідний матеріал у цьому варіанті методу використовують діелектрик з тонкомірною фольгою СТПА–5–2. Товщина фольги складає 5 мкм. Фольга такого діелектрика додатково захищена захисним протектором, який видаляється в процесі виготовлення плати. Технологія виготовлення плат таким методом відрізняється від базової тим, що після операції «Виготовлення отворів для металізації» передбачена додаткова операція «Видалення захисного протектора», який потім відправляється на переробку. Всі інші операції відповідають базовому варіанту. Так як у процесі травлення витравлюється тільки п'ять мкм міді, то бокове підтравлювання незначне і точність цього варіанта методу складає 0,15 мм.

### **Виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями з паяльною маскою і підвищеною густиною монтажу**

Виготовленню двобічних друкованих плат з підвищеною густиною монтажу заважають металізовані монтажні отвори, у яких методом пайки закріплюють штиркові виводи електрорадіоелементів. Щоб у таких отворах розмістилися штиркові виводи, отвори повинні мати порівняно великий діаметр, і саме це заважає розмістити на платі велику кількість друкованих провідників, близько розташованих один від одного.



Останнім часом в електронній промисловості широко застосовують «поверхневий» монтаж. У цьому разі всі навісні електрорадіоелементи мають не штирові, а планарні виводи (у вигляді плоских пластинок). Такі виводи припаюють безпосередньо до монтажних площадок на платі. Монтажні металізовані отвори при цьому не потрібні. Перехідні електричні з'єднання здійснюють за допомогою перехідних металізованих отворів дуже малого діаметра 0,2...0,15 мм. Ширина друкованих провідників може складати при цьому 0,15...0,1 мм, відстань між провідниками має той же порядок. Так як друковані провідники розташовані дуже близько, то при нагріванні шари розплавленого припою на суміжних провідниках можуть дотикатися один до одного (в результаті краплеутворення) і викликати коротке замикання електричної схеми.

Для запобігання таких явищ на поверхню провідників (тобто на всю поверхню плати) необхідно нанести паяльну маску. Максимальна адгезія паяльної маски досягається у тому разі, коли маску наносять безпосередньо на хімічно окисдовану мідь або на чисту мідь. На сплав ПОС–61 маску не наносять, так як при нагріванні вона буде відшаровуватися.

Технологія виготовлення двобічних друкованих плат комбінованим позитивним методом з використанням паяльної маски в літературі отримала назву – технологія «SMOBC».

Схема технологічного процесу «SMOBC».

Операції 1–8 аналогічні, як у базовому позитивному комбінованому методі.

9. Гальванічне нанесення олова товщиною 5...7 мкм як металорезисту. Використовують електроліт:  $\text{SnSO}_4$  – 40 г/л;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 100 г/л; добавка ОА – 8 мл/л; добавка ОБ – 12 мл/л;  $i_k = 2 \text{ А/дм}^2$ .

10. Видалення захисного рельєфу з пробільних ділянок.

11. Травлення міді з пробільних ділянок.

12. Хімічне травлення олова із струмопровідного рисунка. Розчин, що містить:  $\text{HCl}$  – 150 г/л;  $\text{SnCl}_2$  – 22,5 г/л;  $\text{CuCl}_2$  – 9,5 г/л.

14. Нанесення паяльної маски на всю поверхню плати за виключенням місць паяння.

16. Нанесення сплаву ПОС–61 гарячим способом з вирівнюванням покриття стисненим нагрітим повітрям або інших фінішних покриттів імерсійним методом.

17. Обробка плати за контуром

18. Контроль якості друкованих плат.

На теперішній час це найпоширеніший метод, його освоюють багато підприємств.

## **2.2. Виготовлення багатошарових друкованих плат**

БДП є незамінними у авіакосмічній техніці, де є необхідність у значній мініатюризації. Практичний досвід показав, що габарити друкованих плат не мають перевищувати 150...200 мм. Перевагою БДП є також невелика кількість вхідних контактів та виводів [11, 12].

Багатошарова друкована плата (БДП) містить друковані провідники на окремих, ізольованих один від одного шарах діелектрика. Ці плати також широко використовують для виготовлення електронно–обчислювальної техніки.

### **Виготовлення багатошарових друкованих плат методом металізації наскрізних отворів**

Багатошарова друкована плата (БДП) містить друковані провідники на окремих, ізольованих один від одного шарах діелектрика. Ці плати використовують для виготовлення електронно-обчислювальної, авіаційної та космічної апаратури.

Технологічний процес виготовлення багат шарових плат складається з наступних основних чотирьох етапів.

1. Виготовлення окремих шарів.
2. Складання пакета БДП та його пресування.
3. Свердлення отворів для металізації та їх обробка.
4. Металізація отворів та виготовлення струмопровідного рисунка на зовнішніх шарах БДП.

Вихідними матеріалами для виготовлення БДП є фольгований склотекстоліт товщиною 0,1...0,2 мм з товщиною мідної фольги 18 та 35 мкм і спеціальна прокладна склотканина.

Схема технологічного процесу виготовлення БДП

1 етап – виготовлення окремих шарів

1. Виготовлення заготовок.
2. Виготовлення технологічних отворів.
3. Нанесення захисного рельєфу на струмопровідний рисунок внутрішніх шарів.
4. Травлення міді з пробільних ділянок внутрішніх шарів.
5. Видалення захисного рельєфу із внутрішніх шарів.

Зовнішні шари БДП – це не оброблені фольговані заготовки.

2 етап – складання пакета БДП та його пресування.

1. Складання пакета БДП.

Складання пакета здійснюють у спеціальних прес-формах шляхом послідовного укладання окремих шарів БДП і прокладної склотканини. Нижній і верхній шари пакета – це фольговані діелектрики, рисунок на яких відсутній. Для усунення можливих нерівностей між плитами прес-форми і пакетом укладають лавсанову плівку і декілька шарів кабельного паперу.

2. Пресування пакета БДП.

Здійснюють на пресах з плитами, які підігріваються. Пресування виконують за двома стадіями з такими режимами:

- а)  $p = 1$  атм, температура 160...170 °С, тривалість процесу 10...30 хв;
- б)  $p = 20...30$  атм, температура 160...170 °С, тривалість процесу 50...70 хв.

Після пресування плити охолоджують. Величину тиску, температури і тривалість процесу вибирають експериментально для кожної партії прокладної склотканини і строго витримують. Операцію пресування здійснюють у приміщеннях, очищених від пилу.

3 етап – свердлення отворів для металізації та їх обробка.

1. Свердлення отворів для металізації здійснюють на верстатах з ЧПУ.
2. Обробка отворів полягає у підтравлюванні діелектрика на їх боковій поверхні. Призначення цього процесу:

а) Видалення тонкого шару епоксидної смоли, яка в розплавленому стані наноситься на торці друкованих провідників при свердленні отворів.

б) Надання поверхні діелектрика потрібної мікрошорсткості.

в) Збільшення площі контакту провідників з металізованою поверхнею отворів. Площа контакту зростає на 300 %. Підвищується надійність міжшарових з'єднань.

У промисловості очистку поверхні отворів здійснюють хімічним гідроабразивним та плазмохімічним способами.

Хімічну очистку отворів здійснюють за двома варіантами:

а) Обробка концентрованою сірчаною та плавиковою кислотою;

б) Обробка лужними розчином перманганату калію. Перманганатна очистка останнім часом більш поширена.

Гідроабразивна очистка полягає в прокачуванні через отвори під великим тиском гідропульпи, яка містить дрібний абразивний порошок. При цьому додатково очищається поверхня фольги і набуває потрібної мікрошорсткості.

Плазмохімічну очистку отворів здійснюють у плазмі, яка утворюється в суміші кисню і фреону під дією високочастотних розрядів. Плазма

перетворює епоксидну смолу і скло у летку речовину, яка легко видаляється із отворів. Процес сухий, не вимагає додаткових обробок заготовок плат.

Для плазмової обробки пакет БДП поміщають у простір між двома паралельними електродами з отворами, які є спільновісні з отворами на платах. Пакет з електродами розташовують у спеціальній камері, яку герметизують і заповнюють сумішшю кисню та фреону. На електроди подають високу напругу з частотою 15 МГц від генератора. Між електродами виникають високочастотні розряди і утворюється плазма, яка вільно проходить через отвори, частково руйнує діелектрик і очищає отвори. Цей процес очистки вимагає складного обладнання і є дорогим, але забезпечує дуже високу якість.

4етап – металізація отворів та виготовлення струмопровідного рисунка на зовнішніх шарах БДП.

Здійснюють базовим позитивним комбінованим методом з наступними послідовними операціями.

1. Хімічне міднення до товщини одного мкм.
2. Попереднє гальванічне міднення до товщини 5...7 мкм.
3. Нанесення захисного рельєфу на пробільні ділянки методом фотодруку.
4. Гальванічне нанесення міді на струмопровідний рисунок до товщини 25 мкм в отворах.
5. Гальванічне нанесення металорезисту (ПОС–61) на струмопровідний рисунок.
6. Видалення захисного рельєфу з захисних ділянок.
7. Травлення з пробільних ділянок.
8. Освітлення і оплавлення сплаву ПОС–61.
9. Обробка плати за контуром.
10. Контроль якості БДП. На спеціальних пристроях для усіх плат перевіряють наявність усіх міжшарових електричних з'єднань.

Виготовлення струмопровідного рисунка на зовнішніх шарах БДП останнім часом здійснюють також за технологією «SMOBC» з використанням паяльної маски.

### **Виготовлення БДП методом металізації наскрізних отворів з використанням діелектриків із тонкомірною фольгою**

Для виготовлення БДП використовують фольгований склотекстоліт СТПА–5–1, товщина фольги якого складає 5 мкм. Рисунок, отриманий на такій фользі, необхідно нарощувати гальванічним осадженням міді. Для створення струмопровідного рисунка на внутрішніх шарах БДП використовують субтрактивний позитивний метод.

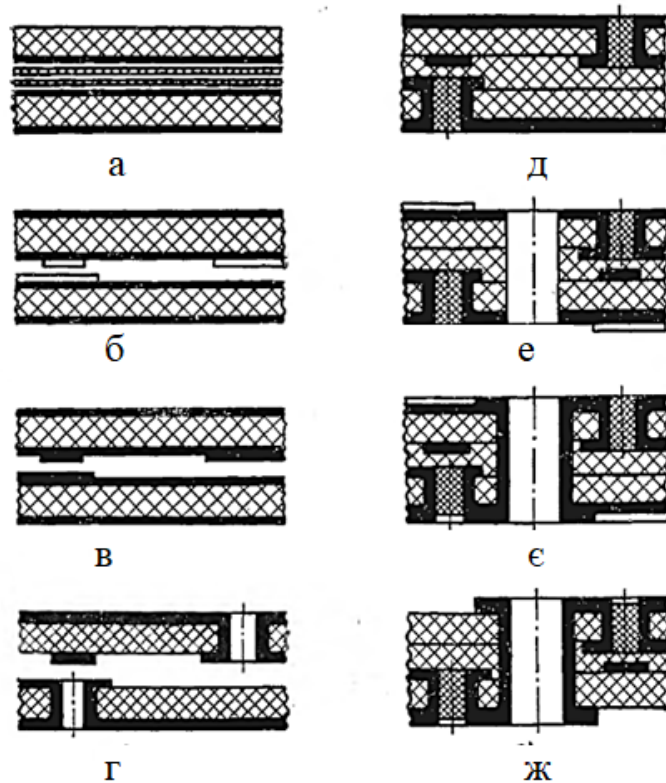
Перший етап виготовлення БДП здійснюють за такою схемою:

1. Виготовлення заготовок БДП.
  2. Підготовка поверхні заготовок.
  3. Нанесення захисного рельєфу на пробільні ділянки заготовок.
  4. Гальванічне нанесення міді на струмопровідний рисунок.
  5. Гальванічне нанесення олова як металорезисту на струмопровідний рисунок.
  6. Видалення захисного рельєфу з пробільних ділянок.
  7. Травлення міді з пробільних ділянок.
  8. Витравлювання олова із струмопровідного рисунка заготовок.
  9. Промивання, зачистка та висушування.
- Усі інші етапи виготовлення БДП здійснюються за звичайною схемою (див. вище).

### **Виготовлення БДП методом попарного пресування**

Цим методом виготовляють багат шарові друковані плати з найбільш складною топологією через більшу кількість металізованих отворів. Однак такі плати будуть мати меншу щільність друкованого монтажу через

порівняно невисоку кількість шарів. Особливість плат – наявність глухих заповнених металізованих отворів, що можуть бути використані у якості площадок для монтажу радіоелементів з планарними виводами. Технологічну схему процесу наведено на рис. 2.9.



*Рис. 2.9.* Технологічна схема виготовлення друкованих плат методом попарного пресування: *а* – виготовлення заготовок фольгованого діелектрика; *б* – отримання струмопровідного рисунку внутрішніх шарів БДП; *в* – травлення міді з пробільних місць, видалення захисного шару малюнку; *г* – виконання міжшарових з’єднань між внутрішніми і зовнішніми шарами; *д* – пресування БДП; *е* – отримання струмопровідного рисунку на зовнішніх шарах, нанесення шару лаку, свердлення отворів, хімічне міднення отворів, видалення шару лаку; *є* – гальванічне міднення, нанесення металорезисту; *ж* – травлення міді з пробільних місць, освітлення захисного металевого покриття, обробка БДП за контуром, нанесення паяльної маски та захисних покриттів на виводи [11]

### **Виготовлення БДП методом відкритих контактних площадок**

Плати, виготовлені таким чином, можуть мати не більше шести шарів через особливості розміщення електричного кола та уніфікації схемних шарів (рис. 2.10).

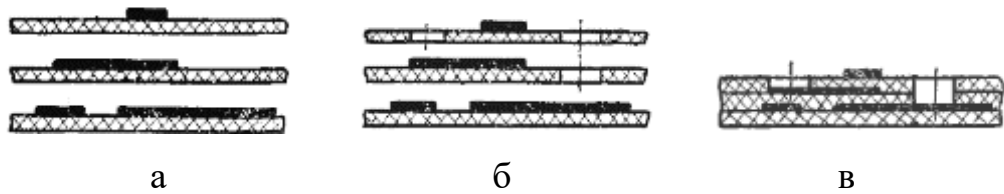


Рис. 2.10. Технологічна схема виготовлення друкованих плат методом відкритих контактних площадок: *а* – виготовлення заготовок; *б* – виконання отворів для контактних площадок; *в* – пресування БДП [11]

Плати, виготовлені таким чином, як правило, використовуються для однобічного монтажу радіоелементів. Для двобічного монтажу використовується попарне склеювання схем, у результаті чого отримується плата, яка містить дві самостійні за схемою друковані плати (рис. 2.11).

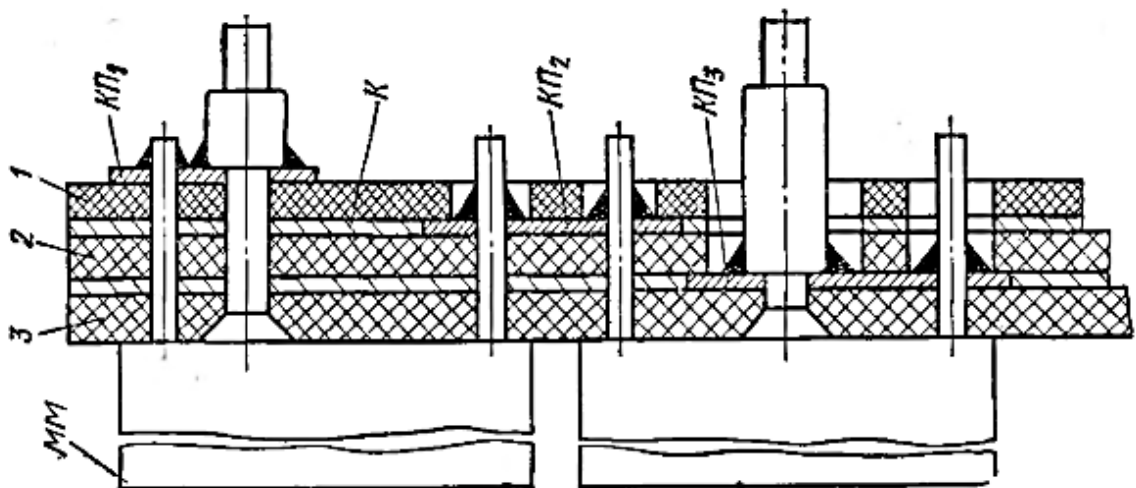


Рис. 2.11. Схема БДП, виготовленої методом відкритих контактних площадок: *1* – верхній шар; *2* – середній шар; *3* – нижній шар;  $КП_i$  – контактна площадка відповідного шару; *К* – контакт [11]

Плати такого типу дають можливість монтувати електрорадіоприлади з планарними та за спеціальної обробки з радіальними виводами.

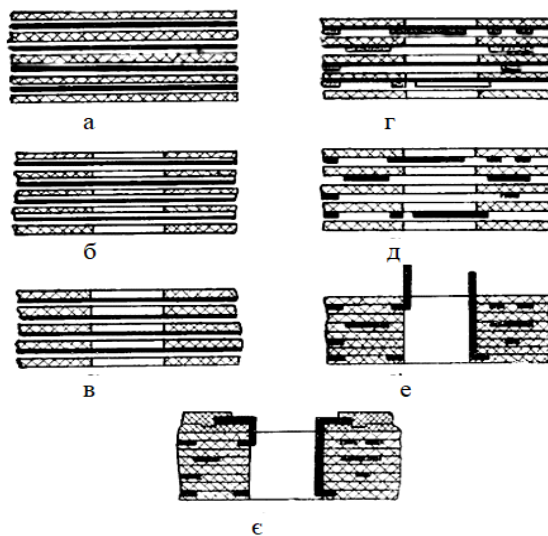


## Виготовлення БДП методом виступних виводів

Плати такого роду використовують для монтажу мікросхем з планарними виводами. Плати такого виду розраховані на одnobічну установку мікросхем.

Суть методу полягає у пресуванні заготовок з нанесеним струмопровідним рисунком та перфорованими у діелектрику вікнами прямокутної форми.

Типовий технологічний процес виробництва таких плат можна зобразити наступним чином (рис. 2.12):



*Рис. 2.12.* Технологічна схема виготовлення друкованих плат методом виступальних виводів: *а* – виготовлення заготовок зі склотканини та фольги; *б* – перфорування склотканини; *в* – пресування перфорованої склотканини з фольгою; *г* – отримання струмопровідного рисунку схеми на шарах-пресованих заготовках, нанесення лаку на шари з боку діелектрика; *д* – травлення міді з пробільних місць, видалення захисного шару малюнка, видалення лаку на заготовки шарів з боку діелектрика; *е* – пресування БДП; *є* – відгинання виступальних виводів на планки, приклеювання накладок до БДП, нанесення сплаву ПОС на виводи, обробка плати за контуром [11]

## Виготовлення БДП з використанням міжшарового з'єднання об'ємною деталлю

Етапи 1 – 3 такі самі, як і в методі хіміко–гальванічної металізації наскрізних отворів.

З'єднання за допомогою штифта, пістонів та фланців наведено на рис. 2.13. – 2.15.

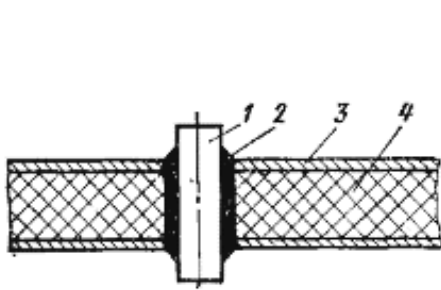


Рис. 2.13. Схеми шару плати зі з'єднанням за допомогою штифта: 1 – штифт; 2 – припой; 3 – контакт; 4 – основа.

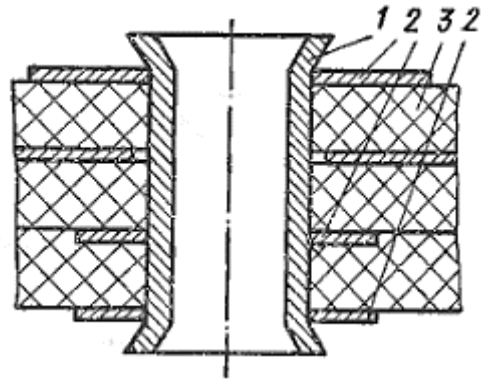


Рис. 2.14. Схема БДП зі з'єднанням за допомогою пістону: 1 – припой; 2 – контакти; 3 – основа.

Суть методу полягає у тому, що спресовану заготовку плати свердлять. Після цього у сформований отвір вставляють об'ємну деталь, поверхня якої вкрита шаром припою. Деталь розігрівається і шари спаюються між собою. У випадку використання пістонів його верхні краї розвальцовуються.

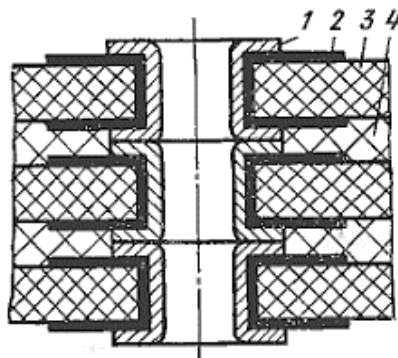


Рис.2.15. З'єднання по фланцям, що дотинаються: 1 – об'ємна деталь чи пістон; 2 – припой; 3 – основа; 4 – проміжний шар.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Порівняльна характеристика способів виготовлення друкованих плат.
2. Електрохімічний (напівааддитивний) спосіб виготовлення друкованих плат.
3. Хімічний спосіб виготовлення друкованих плат.
4. Комбінований позитивний спосіб виготовлення друкованих плат.
5. Комбінований негативний спосіб виготовлення друкованих плат.
6. Аддитивний спосіб виготовлення друкованих плат.
7. Субтрактивний негативний спосіб виготовлення друкованих плат.
8. Технологічна схема виготовлення багатошарових друкованих плат способом металізації наскрізних отворів.
9. Плазмове травлення діелектрика в отворах багатошарових друкованих плат.
10. Технологічна схема виготовлення гнучких друкованих плат з використанням фольгованих діелектриків.
17. Хімічний позитивний спосіб виготовлення друкованих плат.
18. Порівняльна характеристика способів виготовлення двобічних друкованих плат з перехідними з'єднаннями.
19. Виготовлення друкованих плат на металевій основі.
20. Виготовлення гнучких друкованих плат з використанням нефольгованих діелектриків.

## РОЗДІЛ 3

# ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВИРОБНИЦТВІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

### 3.1. Хімічна металізація у виробництві друкованих плат

Хімічна металізація [6, 7] є гетерогенний автокаталічний окислювально–відновлювальний процес осадження металевого покриття на діелектрик друкованої плати шляхом взаємодії іонів і відновника, які знаходяться у розчині (рис. 3.1). Молекули відновника при цьому є донорами електронів. Процес хімічного осадження покриття розпочинається тільки у присутності каталізатора у твердій фазі, а потім осаджуваний метал сам є каталізатором. Каталізатор необхідно наносити на ті ділянки плати, де необхідно нанести покриття.

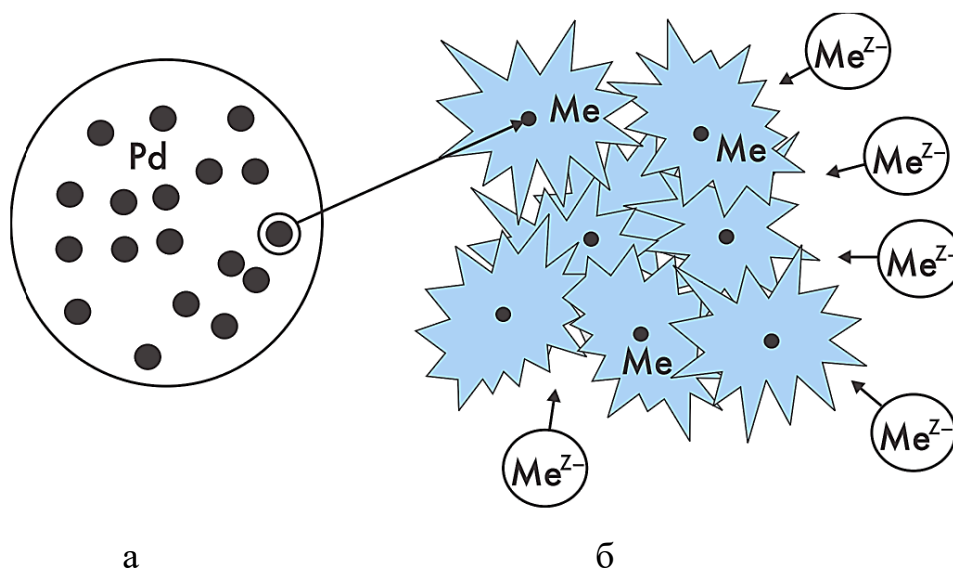


Рис. 3.1. Стадійність процесу хімічної металізації: *а* – перша стадія – активація (каталізація) поверхні паладієм; *б* – друга стадія – хімічна металізація на центрах каналізації [7]

Призначення хімічної металізації у виробництві друкованих плат – це осадження металу на поверхню діелектрика в отворах плат та на всю

поверхню заготовки плати в електрохімічному методі і формування струмопровідного рисунка в адитивному методі виготовлення друкованих плат.

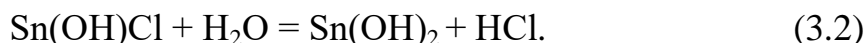
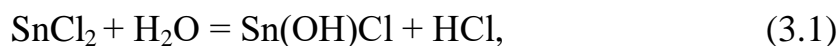
### **Активация діелектриків у виробництві друкованих плат**

Процес нанесення каталізатора на діелектрик називається активацією діелектрика. Дуже часто як каталізатор використовують металевий паладій. Він має такі переваги:

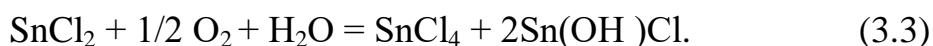
- легко відновлюється;
- володіє високою каталітичною активністю і не пасивується;
- володіє високою електропровідністю.

У промисловості використовуються два способи активації діелектриків.

*Двостадійний процес активації діелектриків.* Стадія 1 – сенсibilізація . Це процес нанесення на поверхню діелектрика  $\text{Sn}^{2+}$  у вигляді малорозчинної сполуки. Для цього заготовку плати занурюють у розчин :  $\text{SnCl}_2$  – 10 г/л;  $\text{HCl}$  (38 %) – 40 г/л;  $\text{SnCl}_2$  адсорбується у мікробпадинах поверхні діелектрика. При наступному промиванні поверхні відбувається гідроліз:



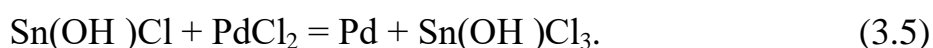
Частинки  $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$  і  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  залишається на поверхні діелектрика. Однак при цьому під дією  $\text{O}_2$  і денного світла відбувається побічний процес:



Для гальмування цього побічного процесу у розчин додають гранули олова, які переводять  $\text{Sn}^{4+}$  у  $\text{Sn}^{2+}$  :

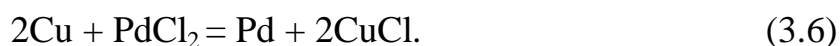


Стадія 2 – активація діелектрика. Заготовки занурюють у розчин:  $\text{SnCl}_2$  – 1 г/л ;  $\text{HCl}$ (38 %) – 18 мл/л . При цьому відбувається процес :



У процесі наступного промивання частинки  $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}_3$  вимиваються, а металевий паладій буде залишатися на поверхні діелектрика у вигляді вигляді не суцільного шару.

Однак, вищенаведений розчин активування мало придатний для обробки фольгованих діелектриків, так як на поверхні фольги буде відбуватися побічний процес :



Цей процес призводить до перевитрат паладію. Для обробки фольгованих діелектриків запропонований розчин, який містить комплексоутворювач:  $\text{PdCl}_2$  – 4 г/л; трилон-Б – 13 г/л ;  $\text{NH}_4\text{OH}$  (25%) – 350 мл/л.

У такому розчині паладій не витісняється міддю. Після обробки в такому розчині плати занурюють у розчин відновника ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$  – 30 г/л), який сприяє більш повному відновленню паладію із комплексу. Це ускладнює процес активації.

### Активация диэлектриков в смешанном растворе (прямое активирование)

Раствор предназначен для активирования фольгованных диэлектриков и разработан с целью сокращения технологического цикла та покращання якості металізації. У промисловості використовується розчин такого складу :  $\text{PdCl}_2$  – 1 г/л ;  $\text{SnCl}_2$  – 45 г/л;  $\text{HCl}$ (38 %) – 180 г/л;  $\text{KCl}$  – 150 г/л . Цей розчин – колоїдна система. Паладій знаходиться у вигляді комплексної сполуки  $\text{PdSnCl}_n$ , яка стабілізована  $\text{SnCl}_2$  (рис. 3.2).  $\text{KCl}$  виконує роль стабілізатора розчину. Наведений розчин має такі переваги :

- металевий паладій майже не виділяється на мідній фользі;
- більша стабільність розчину в роботі;
- менші витрати паладію;
- більша адгезія паладію до діелектрика.

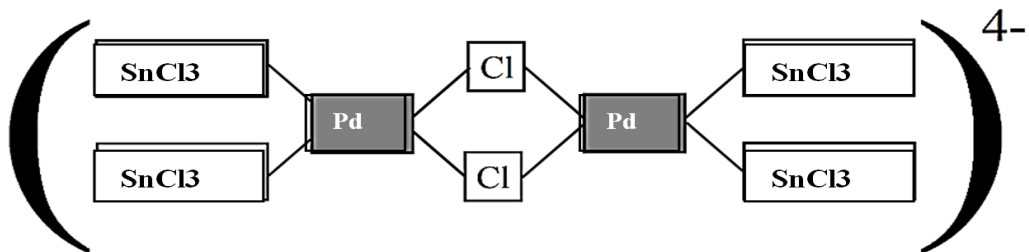


Рис. 3.2. Комплексна сполука паладію в суміщеному розчині активування фольгованих діелектриків [6]

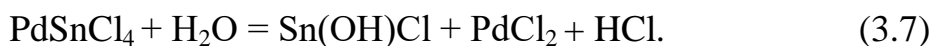
Перед обробкою в суміщеному розчині заготовки плат попередньо занурюють у розчин  $\text{HCl}$ . Це потрібно для того, щоб суміщений розчин не розбавлявся водою, інакше рН розчину буде підвищуватися і він буде розкладатися.

Імовірний механізм активування діелектриків у суміщеному розчині.

Розрізняють 4 стадії процесу.

1. Занурення діелектрика у розчин  $\text{PdSnCl}_n$  обумовлює адсорбцію відповідних частинок на поверхні діелектрика та заповнення мікробпадін здійснюється.

2. Промивання обумовлює гідроліз комплексу на поверхні діелектрика:



Важкорозчинні частинки захоплюють колоїдні частки паладію. На поверхні заготовки утворюється желеподібний шар, який містить малорозчинні сполуки вищенаведеної реакції.

3. Обробка заготовок у розчині прискорювача ( HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HBF<sub>4</sub> та ін.). У кислому розчині на поверхні заготовки відбувається реакція:



4. Промивання проточною водою. Частки Sn(OH)Cl<sub>3</sub> вимиваються і на поверхні залишається металевий паладій.

Промивні операції є надзвичайно важливими. Коли промивання не достатнє, то гідроліз проходить у недостатній мірі, а частинки Sn(OH)Cl<sub>3</sub> відмиваються недостатньо, тому на заготовці плати буде мало осажденного металевого паладію, що сприяє недостатній активації її поверхні. При надмірній промивці з поверхні плати змиваються компоненти розчину і металевий паладій на поверхні може бути взагалі відсутнім.

Недоліки обробки поверхні в розчині суміщеного активування такі ж самі, як у розчині активування за двостадійною схемою.

### **Особливості експлуатації розчинів активування**

Розчин можна зберігати у металевих нефутерованих ємкостях, так як паладій буде контактено виділятися на стінках і на поверхні металевій арматури.

Необхідно використовувати механічне перемішування розчину.

У неробочий час ванни активації рекомендується закривати кришками.



Після ванни активування розташовують дві ванни–збірники. Розчини із цих ванн використовують для доливання основної ванни.

### **Регенерація паладію із відпрацьованих розчинів активування**

Використовують два методи [13].

1. У відпрацьований розчин додають HCl і вносять стержні із чистого цинку, на поверхні яких відбувається реакція:



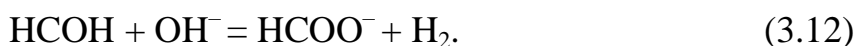
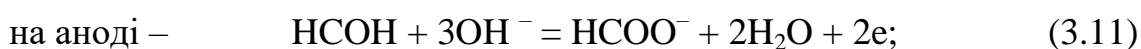
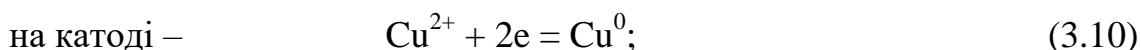
Порошок паладію із стержнів зчищають механічно, розчиняють у суміші HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, нагрівають до розкладання H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, охолоджують і аналізують на вміст паладію. Використовують для приготування нових розчинів активування.

2. Відпрацьований розчин частково випаровують, додають луг і формалін, при цьому паладій відновлюється з утворення металевого порошку. Порошок паладію відфільтровують, промивають, висушують, аналізують на вміст домішок. Використовують для приготування нових розчинів активування.

### **3.2. Хімічне осадження міді**

Як відновник у цьому процесі зазвичай використовують формалін (формальдегід), який має такі переваги: реагує за кімнатної температури, недорогий, недефіцитний. Товарний формалін має 35 – 40 % CH<sub>2</sub>O і 10...15 % CH<sub>3</sub>OH, який вводять для запобігання можливої полімеризації. У промисловості використовують також параформ, триоксан, поліоксиметилен гліколь – які у лужному середовищі розкладається з виділенням CH<sub>2</sub>O [6, 7, 14].

Процеси, які перебігають на умовних катодних та анодних ділянках поверхні каталізатора:



Сумарна реакція має вигляд:



Процес хімічного відновлення міді відбувається тільки в лужному середовищі, тому  $\text{Cu}^{2+}$  необхідно зв'язати в комплексну сполуку. Для цього застосовують комплексоутворювачі. Швидкість процесу хімічного міднення в сильній мірі залежить від величини рН розчину (рН 12...13). Коли водневий показник сягає величини рН 14, розчин розкладається, а при  $\text{pH} \leq 11$ , поверхня плати пасивується і процес осадження міді припиняється.

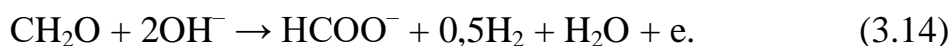
Процес хімічного міднення проходить на межі поділу фаз. Можна виділити такі стадії процесу: доставка компонентів до межі поділу, адсорбція компонентів на каталізаторі, окислювально-відновна реакція, десорбція, видалення продуктів реакції з межі поділу. Установлено, що швидкість десорбції водню визначає швидкість усього процесу хімічного міднення.

Вивченню механізму і кінетики процесу хімічного міднення присвячені роботи багатьох дослідників. Відповідно до досліджень процес хімічного міднення має електрохімічну природу, на що вказує сильна залежність швидкості міднення від потенціалу поверхні. Перебіг процесу здійснюється внаслідок утворення на реакційній поверхні великої кількості мікрогальванопар з двох суміщених стадій: катодної (виділення металу) і

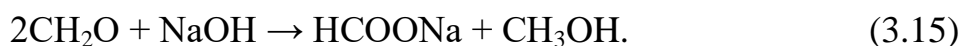
анодної (окислення відновника). Швидкість процесу контролюється його анодної стадією.

Процес хімічного міднення завжди супроводжується виділенням водню, об'єм якого еквівалентний кількості осащеної міді. Це вказує на сумісність процесів виділення міді і водню. Перебіг останнього при потенціалах більш позитивних, ніж потенціал водневого електрода в розчинах міднення, свідчить про те, що виділення водню відбувається не по електрохімічному механізму з молекул води, а обумовлено реагуванням формальдегіду на поверхні металу з утворенням хімічно активної проміжної речовини та атмосферного водню.

Відповідно до досліджень анодна стадія процесу хімічного міднення сумарно може бути виражена реакцією:



Формальдегід витрачається також при реакції його диспропорціонування (реакція Канніцаро) – його поєданого окислення і відновлення:



Ця реакція протікає як при експлуатації ванн міднення, так і при їх простоюванні. При правильно організованому процесі хімічного міднення частка витрат формальдегіду на корисний процес міднення становитиме понад 90%.

За всі роки використання технологія хімічного осащення міді безперервно удосконалювалася, і зараз є надійні процеси для виготовлення плат з наскрізними і глухими металізованими отворами.

## Розчини для хімічного міднення друкованих плат

Розчини для хімічного міднення повинні містити такі компоненти: солі міді, комплексоутворювач, відновник, луг, стабілізатори. Розчини класифікуються за природою комплексоутворювача. Як комплексоутворювачі використовують: тартрат калію натрію, трилон-Б, етилендіамін, гліцерин.

Розглянемо характеристики розчинів поширених у промисловості.

Розчин на основі калій–натрію виннокислого містить (г/л):

сульфат міді	15;
тартрат калію – натрію	60;
натрію гідроксид	15;
карбонат натрію	4;
нікель хлористий	4;
формалін ( 37 % )	15 мл/л;
тіосульфат натрію	1...2 мг/л.

Величина рН 12,6...12,8; температура 18...25 °С; тривалість процесу 20... 30 хв., питома площа завантаження 3...4 дм<sup>2</sup>/л.

Цей розчин найбільш поширений у промисловості, є економічним, містить недорогі компоненти. Швидкість осадження міді – 2,5 мкм/год. Товщина отриманого мідного покриття до 1 мкм.

Як стабілізатор можна замість тіосульфату натрію використовувати сульфід свинцю (0,05 г/л) або діетилдитіокарбамат натрію (5...10 мг/л). У цьому складі і далі метанол додається як змочувач. Хлористий нікель введений до складу розчину як ущільнювач одержуваного покриття. Відзначено, що тіосульфат збільшує крихкість покриттів.

Розчин на основі калію–натрію виннокислого (натуральної сегнетової солі) містить (г/л):

сульфат міді	25;
тартрат калію натрію	30;

натрію гідроксид	30;
формалін (37%)	15 мл/л;
натрію диетилтіокарбамат	30 мг/л.

Величина рН 13,1...13,3; температура 18...25 °С; тривалість процесу 15... 25 хв., питома площа завантаження 2...3 дм<sup>2</sup>/л.

Цей розчин більш дешевий, ніж попередній, але менш стійкий.

Розчин на основі трилону-Б містить (г/л):

сульфат міді	15;
трилону-Б	30;
натрію гідроксид	15;
формалін (37%)	20 мл/л;
натрію диетилтіокарбамат	30 мг/л;
калію гаксаціаноферат	40 мг/л.

Величина рН 12,8...13,0; температура 18...25 °С; тривалість процесу 20...30 хв., питома площа завантаження 2...3 дм<sup>2</sup>/л.

Комплексна сіль міді з трилоном-Б є більш стійкою сполукою, через це цей розчин характеризується великою стабільністю, і в ньому можна наносити шар міді товщиною 3 мкм за 30 хвилин. Додатки диетилтіокарбамату натрію та гексаціаноферату калію виконують роль стабілізаторів.

Коригування розчинів хімічного міднення. Коригування за вмістом сірчаної кислоти міді, гідроксиду натрію та формаліну здійснюється щоденно перед початком роботи за результатами хімічних аналізів. Стабілізатор вводять у розчин в кінці робочого дня в кількості 50 % від рецептурного значення. Коригування за вмістом комплексоутворювача здійснюється 1 раз на тиждень.

Зберігання розчинів хімічного міднення. З метою запобігання розкладання розчинів під час зберігання їх підкислюють сірчаною кислотою таким чином:

- у разі зберігання більше 24 годин розчин підкислюють до рН 5...6;
- у разі зберігання менше 24 годин розчин підкислюють до рН 12.

### **Утилізація відпрацьованих розчинів хімічного міднення**

У процесі експлуатації у розчинах хімічного міднення накопичується сульфат та ацетат натрію, що призводить до погіршення якості осадів і їх замінюють на нові. Відпрацьовані розчини утилізують з метою вилучення міді та інших цінних компонентів. Технологія утилізації визначається природою комплексоутворювача [13].

Для вилучення міді із розчинів на основі калію–натрію виннокислого роблять хімічний аналіз на вміст  $\text{Cu}^{2+}$  та  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$ , додавають  $\text{Cu}^{2+}$  для вирівнювання концентрації з  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$ . Після цього розчин підкислюють  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до рН 4. При цьому випадає осад  $\text{CuC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ . Розчин декантують, а сіль промивають, висушують та використовують для приготування нових розчинів хімічного міднення.

Вилучення міді з розчинів на основі трилону-Б здійснюється за допомогою двостадійного процесу.

На першій стадії здійснюють вилучення міді у вигляді порошку. Відпрацьований розчин нагрівають до 60 °С. Додають розчин лугу і формалін, перемішують протягом двох годин, відстоюють протягом десяти годин. Утворений порошок міді відфільтровують, промивають. Висушують в електропечах і здають на переплавку.

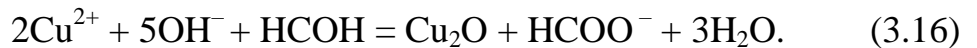
На другій стадії здійснюють вилучення кислотного залишку трилону-Б. Фільтрат підкисляють  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до рН 1...2, перемішують протягом двох годин. При цьому утворюється осад етилендіамінтетраоцтової кислоти. Розчин відстоюють дев'ять годин, фільтрують, а осад промивають, висушують і здають на переробку.

## Причини нестабільності розчинів хімічного міднення

Розчини хімічного міднення є нестабільними, можуть самовільно змінювати свій склад і навіть розкладатися, що є їх недоліком.

### *1. Наявність реакції диспропорціонування.*

На поверхні плати перебігає ще одна реакція:



$\text{Cu}_2\text{O}$  може включатися в осад і погіршувати його якість.

При накопиченні  $\text{Cu}_2\text{O}$  буде перебігати реакція диспропорціонування  $2\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{Cu}^{2+}$  за такою схемою:



В об'ємі розчину будуть утворюватися частки металевої міді, які будуть каталізаторами і на них буде відбуватися хімічне одержання міді. Це призведе до виснажування розчину та до його розкладання. Частки металевої міді будуть також включатися в склад осаду і надавати йому шорсткості. У технології хімічного міднення передбачають наступні засоби попередження цього негативного явища.

– Барботаж розчину очищеним повітрям. Під дією кисню  $\text{Cu}^+$  переходить у  $\text{Cu}^{2+}$  і не накопичується у розчині.

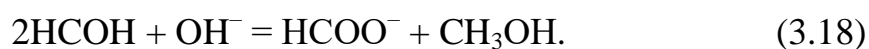
– Безперервна фільтрація розчину через механічний фільтр. При цьому відфільтровуються частки  $\text{Cu}_2\text{O}$  і  $\text{Cu}$ .

– Пасивування поверхні часток міді шляхом адсорбції на них поверхнево-активних речовин (ПАР). Для цього у склад розчину водять так звані стабілізатори (диетілкарбомат, дитізон, тіосульфат натрію, роданін, роданістий калій та ін.). Ці ПАР адсорбуються і пасивують

поверхню часток міді у розчині, після чого вони вже не можуть бути каталізаторами. Однак стабілізатори також уповільнюють процес хімічного міднення. Через це вводять їх у дуже малій кількості 5...10 мг/л, як правило, половину від рецептурного складу. При перевищенні необхідної концентрації стабілізаторів процес хімічного міднення може припинитися.

– У склад розчину інколи вводять комплексоутворювачі для  $\text{Cu}^+$  (ціаніди, сполуки селену, тіосульфати та ін.), що також перешкоджає перебігу реакції диспропорціонування.

## **2. Саморозкладання формаліну за реакцією Каніцаро:**



Для зменшення витрат формаліну його вводять в склад розчину хімічного міднення у мінімальній кількості і за 15 хвилин до початку роботи. Вміст формаліну регулярно корегують. Так як втрати формаліну збільшуються з нагріванням розчину, то процес хімічного міднення проводять за кімнатної температури.



*Рис. 3.3.* Напівпромислова установка хіміко–гальванічного міднення COMРАСТА L40 АВС 2, Bungard Elektronik

## **Обладнання для хімічного міднення друкованих плат**

Хімічне міднення друкованих плат виконується на спеціалізованих лініях для хіміко-гальванічної обробки друкованих плат, таких як АГ–44; АГ–44М; «Діна 130+»;



«Блазберг» та ін. Активацію діелектрика і хімічну металізацію в цих лініях виконують на модулі хімічного міднення (ці лінії мають дворядну компоновку і складаються з модуля хімічної металізації та модуля гальванічної обробки друкованих плат). Ванни для хімічного міднення та їх комунікації футеровані полімерними матеріалами, обладнані пристроєм для перекачування та фільтрації розчину, барботерами, пристроями для хитання катодних штанг. У складі модуля передбачено запасна ємність для очищення та корегування розчину.

### **3.3. Травлення міді у виробництві друкованих плат**

Травлення міді – це окислювально–відновлювальний процес, у результаті якого мідь переходить у розчинений стан у вигляді іонів, а травильний розчин при цьому є окислювачем. Травлення міді є однією із основних операцій у виробництві друкованих плат, використовується в усіх методах, за виключенням адитивного. Травильні розчини, за допомогою яких здійснюється ця операція, повинні відповідати таким вимогам:

- у склад розчинів повинні входити дешеві та доступні компоненти;
- розчин повинен регенеруватися з метою утилізації міді;
- величина бокового підтравлювання [2] в розчинні повинна бути мінімальною (рис. 3.4);
- розчин не повинен діяти на діелектричну основу плати та на захисний рисунок (рельєф).

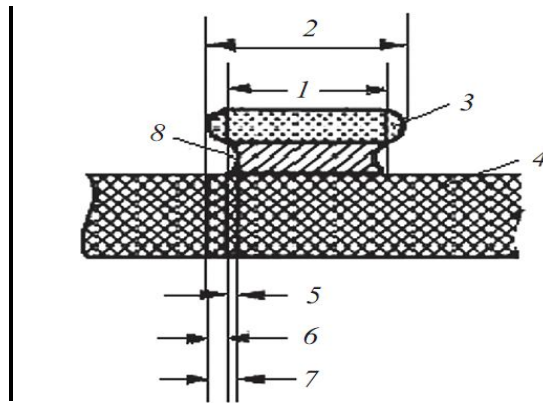


Рис. 3.4. Переріз друкованої плати з провідником після травлення: 1 – ширина провідника за робочим фотошаблоном; 2 – ширина провідника; 3 – фоторезист; 4 – основа ДП; 5 – величина бічного підтравлення; 6 – величина розростання резисту над провідником; 7 – величина нависання резисту над провідником

У промисловості процес травлення здійснюється у конвеєрних струменевих установках двобічного травлення з горизонтальним розташуванням друкованих плат. У цих установках на плати, які переміщуються на транспортері, зверху і знизу направляють струмені травильного розчину, який інтенсивно переміщується в робочій камері. Струменевий метод є найбільш ефективним як за швидкістю травлення, так і зі зменшенням величини бокового підтравлювання.

Травильна установка складається із окремих пов'язаних між собою модулів, у яких виконують такі операції: завантаження, травлення, лужна чи кисла промивка, візуальний контроль, фінішна промивка і висушування (рис.3.5).

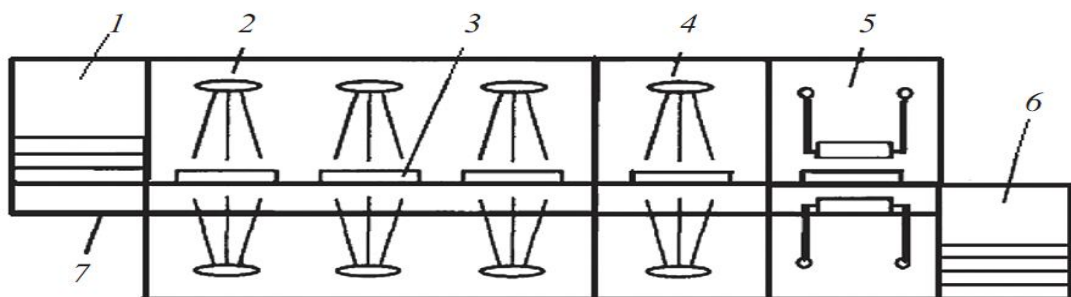
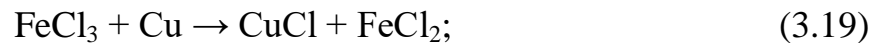


Рис. 3.5. Схема системи модульного травлення міді: 1 – загрузка ДП; 2 – камери травлення; 3 – ДП що підлягає травленню; 4 – камера промивання; 5 – камера сушіння; 6 – розвантаження; 7 – конвеєр.

В подальших підрозділах пропонується більш детально розглянути основні травильні розчини, які найбільш поширенні у промисловості.

### Розчини на основі хлорного заліза

Водний розчин хлорного заліза є сильним окисником і з великою швидкістю розчиняє мідь за такими реакціями:



Частка останньої реакції становить 80 % від загальної кількості стравленої міді, через це даний травильний розчин можна вважати залізо–мідно–хлоридним. Таким чином, у розчині травлення будуть міститися такі складники:  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{CuCl}$ .

У промисловості використовують розчин такого складу (г/л):

хлорне залізо 400;

кислота хлороводнева 50;

густина розчину – 1,3 г/см<sup>3</sup>;

температура розчину до 35 °С.

Основні характеристики розчину:

– швидкість травлення 35 мкм/хв;

– бокове підтравлювання 40...66 мкм/хв;

– ємність за стравленою міддю до 105 г/л.

Свіжоприготовлений розчин забарвлено у коричневий колір. У процесі експлуатації колір змінюється на зелений.

Переваги розчину:

– висока швидкість травлення;

– висока ємність розчину за міддю.

Недоліки розчину:

- руйнує металорезисти на основі сплаву ПОС–61 і через це непридатний для використання в позитивному методі виготовлення друкованих плат;
- при промиванні плат після травлення залишки травильного розчину легко гідролізують з утворенням важкорозчинних основних солей заліза, які необхідно видаляти механічною зачисткою;
- фенольні смоли діелектрика частково проявляють властивості іонообмінних смол і адсорбують іони  $Fe^{3+}$ , що погіршує діелектричні властивості плат;
- відпрацьований розчин містить катіони чотирьох різновидів, що ускладнює регенерацію розчинів та утилізацію міді.

Внаслідок наведених недоліків застосування цього розчину на теперішній час скорочується. У промисловості регенерацію відпрацьованих розчинів здійснюють хімічним та електрохімічним способами.

*Утилізація міді із відпрацьованого розчину* хімічним способом заснована на контактному виділенні міді на залізі. У ємність із відпрацьованим розчином завантажують перфоровану вінілпластову корзину, в яку засипана знежирена сталева стружка. Повноту виділення міді контролюють по закінченню осадження міді на окремих знежирених зразках, які періодично занурюють у розчин. Після повного осадження міді корзини виймають із розчину, порошкоподібну мідь із стружки змивають сильним струменем води у льняний мішок, промивають водою, зневоднюють на рамному фільтрпресі, висушують і здають на переробку.

Розчин, з якого вилучена мідь, нейтралізують вапняним молоком. Осад гідрооксиду заліза теж зневоднюють на рамному фільтрпресі і вивозять у спеціально відведені місця. Більш перспективним може бути використання для цементації не залізної, а алюмінієвої стружки. При цьому утворюється

розчин хлориду алюмінію, який можна використовувати як коагулянт на очисних спорудах.

**Електрохімічна регенерація залізо–мідно–хлоридного розчину.** Використовують електролізери без діафрагми, оснащені титановими катодами та графітовими анодами. На титанових катодах відбувається виділення порошкоподібної міді, а на графітовому аноді здійснюється окислення  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^+$  до  $\text{Cu}^{2+}$ , крім того хлор, який при цьому виділяється, також окислює  $\text{Fe}^{2+}$ . Регенерований розчин направляють на травильну установку, а порошкоподібну мідь – на переробку.

### **Кислі розчини на основі хлорної міді (хлорно–мідний кислий розчин)**

Хлорид міді окисляє і розчиняє мідь за такою реакцією:



Утворювана сіль  $\text{CuCl}$  є малорозчинною сполукою. Однак в присутності іонів хлору у вигляді  $\text{HCl}$ ,  $\text{NHCl}_4$  утворюються добре розчинні комплекси  $[\text{CuCl}_2]^-$ .

Хлоридно–мідний кислий розчин містить (г/л):

хлорид міді (II) 100...150;

кислота хлороводнева(38 %) 145...150;

pH 0...(-1); робоча температура розчину 45...50 °С.

#### **Основні характеристики розчину:**

- швидкість травлення 35 мкм/хв;
- бокове підтравлювання 40...60 мкм;
- ємність за стравленою міддю 160 г/л.

#### **Переваги розчину:**

- висока швидкість травлення;
- розчин порівняно дешевий;

- відсутність шламу при промиванні;
- простота коригування та регенерації, так як розчин містить тільки  $\text{CuCl}_2$  та  $\text{CuCl}$ .

**Недоліки розчину:**

- руйнує металорезист ПОС-61 і через це не придатний для позитивного комбінованого методу.

На теперішній час цей розчин є основним у субтрактивному негативному методі виготовлення друкованих плат.

Регенерація відпрацьованого кислого розчину на основі хлорної міді здійснюється хімічним способом і базується на таких реакціях:



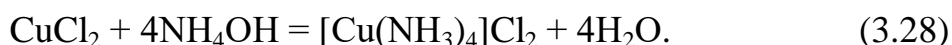
Відпрацьований кислий розчин хлорної міді можна легко регенерувати до вихідного стану і використовувати повторно.

Вилучення міді із відпрацьованих травильних розчинів здійснюють осадженням  $\text{CuO}$  під дією  $\text{NaOH}$  при нагріванні і барботуванні повітрям за реакціями:

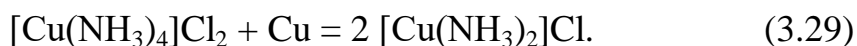


**Лужні травильні розчини на основі хлорної міді**

В аміачному середовищі солі міді утворюють комплексну сіль за реакцією:



Аміачна комплексна сіль двовалентної міді є окислювачем і розчиняє мідь за реакцією:



У склад лужного розчину на основі хлорної міді входять такі компоненти (г/л):

$\text{CuCl}_2$	100;
$\text{NH}_4\text{Cl}$	100;
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	30;
$\text{NH}_4\text{OH}(25\%)$	140 мг/л;
рН	8...9,5.

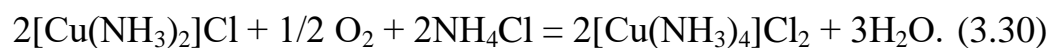
Температура розчину 40...50 °С.

Розчин не руйнує металорезист і призначений виключно для позитивного методу, що є перевагою цього розчину.

Недоліки розчину:

- необхідне постійне корегування вмісту розчину через безперервне випаровування аміаку.
- стічні води забруднюються амонієвими солями і це ускладнює очищення таких вод від солей важких металів.
- внаслідок безперервного випаровування аміаку необхідна ефективна вентиляція травильної установки.

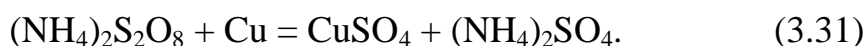
Відпрацьований лужний розчин, що містить одновалентну мідь, легко регенерується хімічним способом за допомогою окислення киснем повітря:



Регенерацію міді із лужних розчинів здійснюють також електрохімічним шляхом. Використовують електролізери, оснащені катодами із титану і анодами із графіту. Мідь, яку вилучають, можна отримувати у вигляді фольги або ж у вигляді порошку в залежності від режиму електролізу.

### Розчини на основі персульфату амонію

Персульфат амонію відноситься до категорії сильних окисників і в кислому середовищі розчиняє мідь за реакцією:



Побічною реакцією при цьому є гідроліз персульфату:



Для травлення міді використовують розчин, що містить (г/л):

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$                       200...250;

$\text{H}_2\text{SO}_4$                                 5...7.

Температура розчину до 50 °С.

Основні характеристики розчину:

- швидкість травлення – 25 мкм/хв.
- бокове підтравлювання – 50...80 мкм;
- ємність за стравленою міддю – 35 г/л.

Переваги розчину:

- відсутність шламу при травленні;
- простота в приготуванні розчину.

Недоліки розчину:

- нестійкість персульфату (самовільно розкладається);



- висока вартість персульфату;
- нерівномірність травлення;
- мала швидкість травлення;
- складність утилізації міді.

Утилізацію міді із відпрацьованого розчину здійснюють шляхом його охолодження до +5 °С. При цьому випадає осад подвійної солі  $\text{CuSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Осад відфільтровують, а розчин нагрівають, додають необхідну кількість  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  і використовують повторно.

Персульфатний розчин не руйнує металорезисти і може використовуватися в позитивному і негативному методах. Однак недоліки, наведені вище, обумовлюють його обмежене використання в промисловості. В основному, розчин використовується для підтравлювання фольги перед нанесенням гальванопокриттів.

### Пероксидні сульфатні розчини

Пероксидні сульфатні розчини є перспективними і використовуються зарубіжними фірмами замість мідно-аміачних розчинів. Розчинення міді перебігає під дією перекису водню в кислому середовищі за реакціями:



Утворюється хімічно чиста сірчаноокисла мідь, яку можна використовувати для приготування розчинів та електролітів.

Розчин не руйнує металорезисти, і його можна використовувати в позитивному методі. Однак, використання  $\text{H}_2\text{O}_2$  у промислових масштабах пов'язане з труднощами.  $\text{H}_2\text{O}_2$  легко розкладається в присутності  $\text{Cu}^{2+}$ , часток пилу та під дією світла.

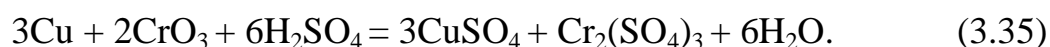
Після того, як були знайдені стабілізатори у виді органічних кислот та інших речовин, стало можливим застосування перекису водню у струминних установках та стаціонарних ваннах. У склад розчинів також вводять каталізатори для прискорення процесу та інгібітори для захисту металорезистів.

Регенерацію відпрацьованого розчину здійснюють шляхом його охолодження, внаслідок чого випадають кристали  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

### **Хроматні універсальні розчини**

Хроматний розчин відноситься до категорії дуже сильних окислювачів і може бути використаний для витравлювання міді при різних резистивних покриттях, проте широкого застосування хроматний розчини не отримав внаслідок значних ускладнень, пов'язаних із знешкодженням стічних вод і великих витрат на знешкодження залпових скидів при зміні розчинів. Сполуки хрому, крім того, є дорогими і дефіцитними. З цих причин хроматні розчини не рекомендуються для промислового використання.

Механізм процесу може бути описаний реакцією:



Даний розчин має наступні переваги:

- висока швидкість і коефіцієнт травлення;
- сумісний з такими резистами, як трафаретна фарба і фоторезист.

Недоліки хромовокислих розчинів:

- не можлива регенерація розчину до вихідного складу;
- токсичні небезпечні сполуки шестивалентного хрому, що входять до складу розчину;
- складність регенерації.

### **3.4. Способи нанесення захисних рельєфів та паяльної маски**

#### **Метод фотохімічного друку**

Цей метод передбачає використання так званих фоторезистів, світлочутливих полімерних матеріалів, які під дією ультрафіолетових променів із лінійних вуглецевих ланцюгів утворюють розгалужені структури. Після дії ультрафіолетових променів ці речовини стають стійкими до дії розчинів, на основі яких вони виготовлені. Такі розчини називають проявниками. Наносять їх з метою отримання пробільних місць у відповідності до фотошаблону для доступу травильних розчинів до поверхні металу. Сам фоторезист у цьому випадку є стійким до дії травильних речовин

Загальна схема нанесення захисного рельєфу цим методом включає такі операції:

1. Нанесення фото чутливого шару на поверхню друкованих плат.
2. Експонування ультрафіолетовими променями з використанням відповідного фотошаблону.
3. Проявлення зображення.
4. Промивання та висушування.

Конкретна схема процесу нанесення захисного рельєфу визначається видом застосовуваних фоторезистів. У виробництві друкованих плат використовують два види фоторезистів:

- рідкі фоторезисти (негативний SN–35, згладжує нерівності на заготовці, позитивний SN–24 – для багаторазового експонування);
- сухі плівкові фоторезисти (СПФ).

#### **Нанесення захисного рельєфу з використанням рідких фоторезистів**

Найбільшого поширення набув рідкий фоторезист на основі полівінілового спирту (ПВС). Його склад є наступним (г/л):

полівініловий спирт 120;

біхромат амонію 9;  
етиловий спирт 120 мл/л.

Фоторезист готують безпосередньо на виробництві.

Технологічний процесу складається з наступних операцій.

1. Двошарове нанесення фоторезисту на поверхню заготовок шляхом зануренням плат у рідкий фоторезист з наступним висушуванням кожного шару теплим повітрям (40 °С) протягом 30 хв. Перед нанесенням другого шару заготовку повертають на 180°. Можливе нанесення центрифугуванням, валковим способом, пульверизацією, електростатичним розпиленням у полі високої напруги, електрофорезом.

2. Експонування. Ця операція здійснюється на спеціальних установках, обладнаних ртутними кварцовими лампам ЛУФ. Попередньо на поверхню фоточутливого шару кладуть відповідний фотошаблон (контактний друк). Тривалість експонування вибирають експериментально. Установа дозволяє одночасно експонувати обидва боки плати.

3. Проявлення проводять у воді температурою 35...40 °С, тривалість  $\approx$  1 хв.

4. Фарбування у розчині барвника метиловий фіолетовий для контролю якості проявлення. Барвник забарвлює фоторезист, і доки пробільні ділянки забарвлені у фіолетовий, проявлення недостатнє.

5.Хімічне дублення у розчині  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  – 2 г/л тривалістю 1...3 хв, з наступним промиванням.

6.Термічне дублення при температурі 100 °С, тривалість 60 хв.

Хімічне і термічне дублення використовують для надання рельєфу хімічної стійкості та механічної міцності.

Товщина рисунка складає 12...15 мкм. Розділювальна здатність цього методу 0,25 мм.

Переваги методу: фоторезист не токсичний, простий у приготуванні, порівняно дешевий, використовується просте обладнання.

***Недоліки рідкого фоторезисту є наступними.***

1. Задублювання фоторезисту у темноті (самовільне) – біхромат амонію, який є у складі фоторезисту, гідролізує під дією парів води, утворює хромову кислоту, яка реагує з полівініловим спиртом. Через це плати після нанесення фоторезисту не можна зберігати більше 3 годин до моменту їх експонування;

2. Недостатня стійкість рисунка при підвищеній вологості і температури.

***Загальні недоліки технології з використанням рідких фоторезистів такі.***

1. Нерівномірність товщини фоторезисту по поверхні плати, що відбивається на якості відтвореного рисунка і знижує розділювальну здатність.

2. Фоторезист безбарвний, що ускладнює контроль якості проявлення.

3. Технологія не придатна для позитивного комбінованого методу, тому що фоторезист буде затікати в отвори плати.

4. Оскільки товщина шару фоторезисту складає 15 мкм, а товщина гальванічного покриття повинна бути не меншою 25 мкм, то буде спостерігатися «розростання» гальванопокриття, що знизить розділювальну здатність.

5. Руїнування шару фоторезисту під час висушування (присипання пилу та твердих часток), що буде спотворювати рисунок.

6. Нетехнологічність.

Через ці недоліки рідкі фоторезисти на теперішній час мають обмежене використання.

**Нанесення захисного рельєфу з використанням сухих плівкових фоторезистів**

Сухий плівковий фоторезист є тришаровою композицією.

Верхній шар – захисна поліетиленова плівка товщиною 25 мкм.  
Середній шар – СПФ [6]. Нижній шар – захисна прозора лавсанова плівка товщиною 25 мкм.

Шар СПФ – це багатокомпонентну суміш, до складу якої входять:

1. Мономери з провідними зв'язками.
2. Полімерні зв'язувальні агенти.
3. Сенсibilізатори.
4. Адгезиви.
5. Барвники.
6. Пластифікатори.
7. Інгібітори.

СПФ має забарвлення, що полегшує контроль якості проявлення. Товщина СПФ, який виробляється промисловістю, складає 12,5; 25; 39,5; 62,5 мкм. Постачається у вигляді рулонів шириною 150...590 мм. Основним недоліком СПФ є обмежений термін придатності.

Переваги СПФ:

1. Можна використовувати у позитивному комбінованому та в адитивному методах.
2. Має високу розділювальну здатність, яка складає 0,1 мм.
3. Висока хімічна стійкість і механічна міцність захисного рельєфу.
4. Висока технологічність.

СПФ широко використовується у промисловості, особливо при виготовленні плат високого класу точності і багат шарових друкованих плат.

На сьогодні широко використовують такі СПФ:

- СПФ–1, СПФ–2. Мають спектральну чутливість 320...400 нм, здатність відтворювати лінію шириною 100 мкм з точністю 10 мкм. Тривалість експонування складає 35...40 с.
- СПФ–АС для високоточного виробництва друкованих плат з підвищеною роздільною здатністю.

- СПФ–В, СПФ–ВЩ–25, СПФ–ВЩ–50, фоторезисти водно–лужного проявлення для уникнення токсичних розчинників. СПФ–ВЩ–25, СПФ–ВЩ–50 – фоторезисти водно–лужного проявлення з спектральною чутливістю 320...400 нм. Здатні відтворювати лінію товщиною 100 і 125 мкм з ефективним часом експонування 5...60 та 10...80 с відповідно.

- СПФ–ПНЩ–25 та СПФ–ПНЩ–50 – фоторезисти підвищеної надійності водно–лужного проявлення для негативного та позитивного експонування. Спектральна чутливість 320...400 нм. Здатні відтворювати лінію товщиною 75 та 100 мкм з ефективним часом експонування 25 та 40 с.

- СПФ Laminar 5000 – негативний водопроявний фоторезист котрий використовують для нанесення на хімічно осаджену мідь, в технологічному процесі з прямою металізацією і в тентінг процесах. Товщина 25, 32, 38 та 50 мкм. Він має високу роздільну здатність, світлочутливість, стійкість при металізації, хорошу адгезію.

- СПФ Pro Etch 1230 Laminar HG, GA, LP, PS, ProTent 3140 для тентінг процесу.

- СПФ Riston, СПФ ORDYL ALPHA фоторезисти для лужного проявлення.

Схема технологічного процесу нанесення захисного рельєфу з використанням СПФ включає наступні операції.

1. Нанесення СПФ на заготовки друкованих плат за допомогою спеціальних ламінувальних установок шляхом гарячого накочування. Ламінувальна установка складається з бобіни із фоторезистом, відокремлювального вала, на якому відокремлюється поліетиленова плівка, приймальної бобіни для поліетиленової плівки, притискного валу, що підігрівається. За допомогою цього валу фоторезист накочується на заготовки плат. Накочування здійснюється через захисну лавсанову плівку, яка є на поверхні фоторезисту. Температура валу 110...118 °С. Заготовки друкованих плат попередньо підігрівають до 50 °С у термошафі. Швидкість

прикочування підбирають експериментально. Ламінувальна установка дозволяє одночасно наносити СПФ на обидва боки плати. Роботи проводять у приміщенні, з посиленою вентиляцією. Після нанесення СПФ заготовки витримують 30 хв при неактивному освітленні для завершення усадкових процесів та знімання напружень, інакше буде спостерігатися спотворення рисунка та погіршення адгезії. На теперішній час для нанесення СПФ використовують наступні автоматичні ламінатори.

- Theokol DYNACHEM 1024, для нанесення СПФ з автоматичним завантаженням плат із стопок. Швидкість нанесення 5 м/хв.
- Ламінатор Anger 1.60.2 для одностороннього та двостороннього нанесення СПФ (для отримання рисунку та захисної маски) дозволяють плавне регулювання натиску. Температурний діапазон: 80–135°C.
- DFL 305, RLM 419p, APCM3. 289.006

Основна відмінність між вищезазначеними ламінаторами – ширина друкованих плат, які можна завантажити до приладу.

2. Експонування через відповідний фотошаблон (контактний друк). Здійснюється на спеціальних установках, обладнаних лампами ультрафіолетового світла та вакуумними копіювальними рамами, які призначені для щільного притискання фотошаблону до поверхні заготовки друкованої плати. Копіювальна рама складається із верхньої та нижньої рами із закріпленими прозорими еластичними мембранами, вакуумних ущільнювачів. Через спеціальний штуцер вакуумна рама під'єднується до вакуумної системи. Тривалість експонування підбирають експериментально для кожної партії фоторезисту.

3. Витримка заготовок у темряві протягом 30 хвилин для завершення процесів полімеризації експонованих ділянок. Інакше фоторезист буде недоекспонованим, що призведе до зниження хімічної стійкості фоторезисту.

4. Проявлення заготовок друкованих плат. Із заготовок попередньо видаляють лавсанову плівку. Проявлення здійснюють на автоматичних



конвеєрних установках струминного з двобічним проявленням. Склад проявника визначається типом застосовуваного фоторезисту. На теперішній час у виробництві в основному використовуються СПФ водно-лужного проявлення, наприклад СПФ-ВЩ, або аналогічні фоторезисти зарубіжного виробництва. Такі фоторезисти проявляються у 5 % розчині кальцинованої соди з наступною нейтралізацією у 1 % розчині  $H_2SO_4$ , промиванням водою та висушуванням.

Видалення рельєфу із СПФ-ВЩ здійснюють обробкою розчиною 10% NaOH. При цьому рельєф набухає і відшаровується від поверхні фольги. Установки для видалення рельєфу СПФ-ВЩ компонуються фільтрувальною системою, яка уловлює плівку фоторезисту у вигляді смужок, які потім утилізують шляхом спалювання в спеціальних печах з фільтрами.

Фоторезисти СПФ-ВЩ (СПФ-ВЩ 25, СПФ-ВЩ 50) і його аналоги на теперішній час надзвичайно поширені у промисловості.

До недоліків СПФ-ВЩ можна віднести неможливість використання лужних розчинів і електролітів для обробки заготовки плат. Під їх дією фоторезист буде руйнуватися і відшаровуватися.

#### ***Застосування СПФ в залежності від їх товщини.***

СПФ товщиною 40 та 60 мкм застосовуються у позитивному комбінованому, адитивному, електрохімічному та тентінг методах, а СПФ товщиною 20 мкм застосовується у субтрактивному негативному методі.

#### **Нанесення захисного рельєфу методом трафаретного друку**

***Суть методу полягає у наступному.*** Захисний рельєф на плату наноситься шляхом продавлювання друкарської фарби через сітку трафаретної друкарської форми (ТДФ) із необхідним рисунком. Продавлювання друкарської фарби здійснюють за допомогою ракелю. Його виготовляють із гуми, стійкої до стирання, і загострюють під кутом  $45^\circ$ . Цей метод передбачає, що між поверхнями заготовки і ТДФ обов'язково повинен

бути зазор. Його величина складає близько 3 мм для неметалевих сіток і 0,8...0,15 мм для металевих сіток ТДФ. Коли величина зазору буде недостатньою то рисунок буде розпливатися.

Розділювальна здатність цього методу порівняно невелика і складає 0,3 мм. Вона обмежена деяким розтягненням сітки ТДФ при нанесенні рисунка, що негативно впливає на його якість.

Метод трафаретного друку високопродуктивний, має низьку собівартість, широко застосовується у виготовлення друкованих плат, які не вимагають високої точності. Також цей метод використовується при нанесенні паяльної маски на поверхню плати та паяльної пасти на контактні площадки.

Принцип трафаретного друку викладено на рис. 3.6.

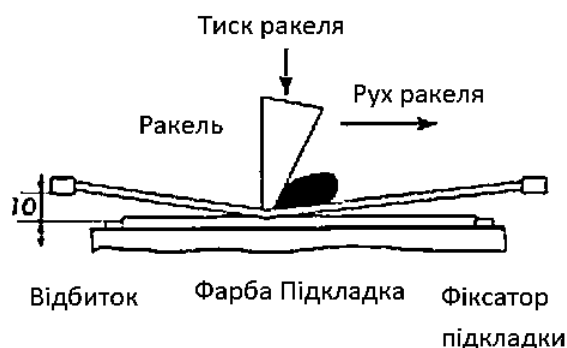


Рис.3.6. Принцип трафаретного друку

### **Сіткові матеріали для виготовлення трафаретних друкованих форм**

Сітка визначає: довговічність ТДФ, точність відтворення рисунка, товщину рисунка. До сіткових матеріалів ставляться такі вимоги:

1. Величина просвітів у 2...2,5 рази повинна перевищувати товщину ниток сітки.
2. Нитки не повинні мати потовщень, вузлів, повинні мати високу міцність на розрив та на стирання.
3. Нитки не повинні необоротно витягуватися.
4. Нитки не повинні набухати під дією розчинників.

5. Нитки повинні мати мінімальний діаметр 35...65 мкм.

6. Сіткові матеріали повинні виготовлятися із монониток (несуканих).

Розрізняють прямий та непрямий методи виготовлення сіткових трафаретів. Їх суть викладено на рис. 3.7. (а та б відповідно).

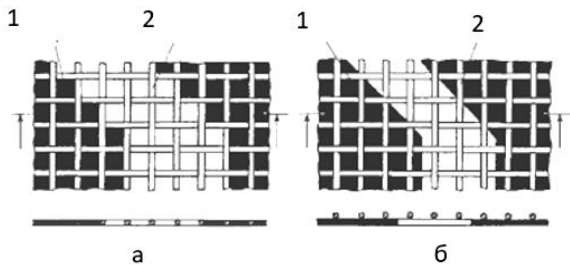


Рис. 3.7. Прямий (а) та непрямий (б) методи виготовлення сіткових трафаретів. 1 – фоторезист; 2 – сітка.

Для виготовлення ТДФ використовуються неметалеві та металеві сіткові матеріали. Як неметалеві матеріали використовують лавсанові і капронові сітки. Лавсанові сітки мають більш високу міцність на розтягнення, але меншу міцність на стирання. Лавсанові і капронові нитки недорогі, забезпечують значний термін експлуатації ТДФ і широко застосовуються для виготовлення плат невисокого класу точності (не прецизійних плат). До недоліків цих матеріалів можна віднести накопичення статичної електрики на ТДФ при нанесенні рисунка, що вимагає застосовувати на виробництві спеціальні заходи з пожежної безпеки.

Для виготовлення плат з підвищеною точністю, тобто прецизійних плат, використовують металеві сіткові матеріали. До них відносяться сітки з нержавіючої сталі, латуні і бронзи. Ці сітки мають високу стійкість до хімічних розчинників і до стирання. Мають невелике відносне видовження. Забезпечують високу точність відтворення рисунка та високу жаростійкість. До недоліків таких сіток можна віднести чутливість до вигинів, необоротне витягування у процесі експлуатації, порівняно велику вартість.

### Трафаретні друкарські фарби

До трафаретних друкарських фарб ставляться такі вимоги:

1. Повинні мати добру адгезію до мідної фольги.
2. Не повинні самовільно розтікати по поверхні ТДФ, але повинні легко розтікати під дією ракеля.
3. Повинні добре продавлюватися через отвори сітки і не проходити через ці отвори самовільно.
4. Не повинні залишатися в отворах сітки після відокремлення ТДФ від плати.

Після нанесення захисного рельєфу його необхідно висушити (перевести в твердий стан). Способи висушування залежать від типу друкарської фарби і можуть здійснюватися таким чином:

1. Висушуванням гарячим повітрям.
2. Тверднення під дією ультрафіолетових променів.
3. Тверднення в наслідок фотополімеризації.

**Приклади маркування трафаретних друкарських фарб для виробництва друкованих плат.** Зазвичай використовують спирто-бензостійкі та лугозмиваємі фарби. Фарби для субтрактивного негативного методу:

- СТЗ.12–2 синя, твердне під дією УФ–променів протягом 12 с. Використовується в автоматичних лініях.
- СТЗ.12–51 жовта, висушується гарячим повітрям при 60...70 °С протягом 45 хв.
- СТЗ.12–35 блакитна, висушується гарячим повітрям при 60...70 °С протягом 45–55 хв.
- СТЗ.5 висихає на повітрі за 15 хв.
- Літопонні білила, вимагають довгої та складної сушки у тунельних сушарках.

Фарба для комбінованого позитивного методу:

- СТЗ.13 хімічностійка, висушується гарячим повітрям при 60...100°С протягом 5...8 хв. Придатна для розчинів з рН 0,5...8. Розводять сумішшю

тетрадину і бензилового спирту (4:1) та «уайт-спіритом», або хлористим метиленом.

- СТЗ.12–51 розводиться «уайт-спіритом».
- СТЗ.19–53 використовують для маркування.

Усі фарби спиртобензостійкі, змиваються лужним розчином.

### **Виготовлення ТДФ з використанням плівкового резисту типу ФП**

Виготовленні за такою технологією ТДФ можна використовувати тільки для фарб, які видаляють уайт-спіритом.

Схема технологічного процесу складається з наступних операцій.

1. Закріплення сітки на рамці ТДФ.
2. Знежирювання віденським вапном.
3. Змочування сітки розчином: 17 г/л біхромату амонію та 0,1 г/л Синтанол ДС–10.
4. Нанесення заготовки фоторезисту ФП. Заготовку необхідного розміру копіювальним шаром кладуть на сітку і через захисну лавсанову плівку прикочують гумовим валком для видалення бульбашок повітря.
5. Експонування. Спершу видаляють захисну лавсанову плівку, потім на шар фоторезисту кладуть фотошаблон, далі заготовку розміщують у вакуумній копіювальній рамі і експонують за допомогою ламп ЛУФ.
6. Набухання фоторезисту. Заготовку ТДФ занурюють у воду при температурі 20...35 °С на 2...3 хв для набухання фоторезисту.
7. Проявлення. Проявляють розпилюванням води температурою 20...25°С за допомогою пневматичного фарборозпилювача.
8. Висушування ТДФ здійснюють у темній шафі за температури 45 °С протягом 25 хв.

## **Виготовлення ТДФ з використанням рідкої світлочутливої композиції «ФОТОСЕТ–Ж»**

Ця композиція полімеризується під дією УФ–променів із рідкого стану і не вимагає висушування.

Схема технологічного процесу передбачає виконання таких операцій.

1. Закріплення сітки на рамку ТДФ. Сітку попередньо розтягують з відповідним зусиллям і закріплюють на рамці (механічно або за допомогою клею).

2. Знежирювання віденським вапном.

3. Нанесення рідкої світлочутливої композиції. Операцію виконують таким чином. Під рамку з сіткою знизу підкладають вкладиш із оргскла з попередньо розміщеною захисною лавсановою плівкою. Товщина вкладиша повинна перевищувати товщину рамки.

Зверху на сітку ТДФ наносять необхідну кількість світлочутливої композиції. Після її розтікання на шар фотокомпозиції кладуть фотошаблон і прикочують його гумовим валиком для видалення бульбашок повітря.

4. Експонування. Експонують світлочутливу композицію за допомогою ультрафіолетової лампи ЛУФ протягом 1...15 хв. Після експонування видаляють фотошаблон зверху і вкладиш з лавсанової плівкою знизу.

5. Проявлення. Здійснюють за допомогою етилового спирту шляхом багаторазового протирання змоченим ватним тампоном до моменту, коли тампон перестане забарвлюватися в коричневий колір.

6. Висушування. Здійснюють очищеним стисненим повітрям або у термошафі протягом 30 хв за температури 40 °С.

Отриманий рисунок на сітці є стійким до дії води, етилового спирту, уайт–спіриту, ацетону.

Тиражостійкість отриманих за такою технологією ТДФ складає 4000...5000 відбитків.

## **Виготовлення ТДФ методом впресовування СПФ в металеву сітку**

Ця технологія передбачає використання фоторезисту СПФ–2 органічного проявлення і металеві сітки.

Схема технологічного процесу:

1. Закріплення металеві сітки на рамку.
2. Знежирювання сітки віденським вапном.
3. Пресування СПФ–2 в сітку. Під рамку з сіткою знизу підкладають сталевий полірований вкладиш. На сітку зверху кладуть заготовку СПФ–2, попередньо звільнивши її від захисної поліетиленові плівки, СПФ–2 прикочують гумовим валком для видалення бульбашок повітря. Після цього зверху на шар СПФ кладуть триацетатну захисну плівку та другий сталевий полірований вкладиш. Весь пакет розташовують у пресі, плити якого підігріваються. Пресування здійснюють у такому режимі: тиск 18...23 атм, температура 60...70 °С, тривалість 10 хвилин. Після пресування заготовку витримують 30 хвилин при неактивному освітленні для завершення усадкових процесів.

4. Експонування. На шар СПФ кладуть фотошаблон, закріплюють його липкою стрічкою, експонують з використанням лампи ЛУФ. Після експонування заготовку витримують 30 хвилин при неактивному освітленні для завершення процесів полімеризації.

5. Проявлення. Після видалення захисної лавсанові плівки з поверхні СПФі проявляють у метил хлороформі з наступним промиванням проточною водою.

6. Висушування ТДФ здійснюють у темній шафі за температури 40°С.

ТДФ, виготовлені таким способом дозволяють наносити високоякісне зображення, але мають невелику теражостійкість у межах 600...800 відбитків.

## **Обладнання дільниць трафаретного друку**

Все обладнання дільниць поділяється на основне та допоміжне.

Основне обладнання: верстати з ручним обслуговуванням, напівавтоматичні верстати трафаретного друку, автоматичні трафаретного друку, терморадіаційна установка конвеєрного типу для висушування плат.

Допоміжне обладнання: установки для розтягування та закріплення сітки на рамках ТДФ, установки для експонування, установки для появилення, верстат для заточування ракелів.

### **Верстати з ручним обслуговуванням**

Ручний трафаретний принтер слугує для нанесення паяльної пасти на друковані плати в технології поверхневого монтажу. Дані принтери є простими системами з невисокою вартістю для нанесення паяльної пасти на друковані плати методом трафаретного друку.

Перевагами даного обладнання є дешевизна та універсальність. Ручні принтери дозволяють працювати із платами будь-якого розміру. Їх доступність та малі розміри роблять дані прилади придатними і для лабораторних умов. Недоліками є працемісткість процесу друку та недостатня точність приладу.

Зовнішній вигляд приладу зображено на рис. 3.8.



*Рис. 3.8. Типовий зовнішній вигляд ручного принтера*

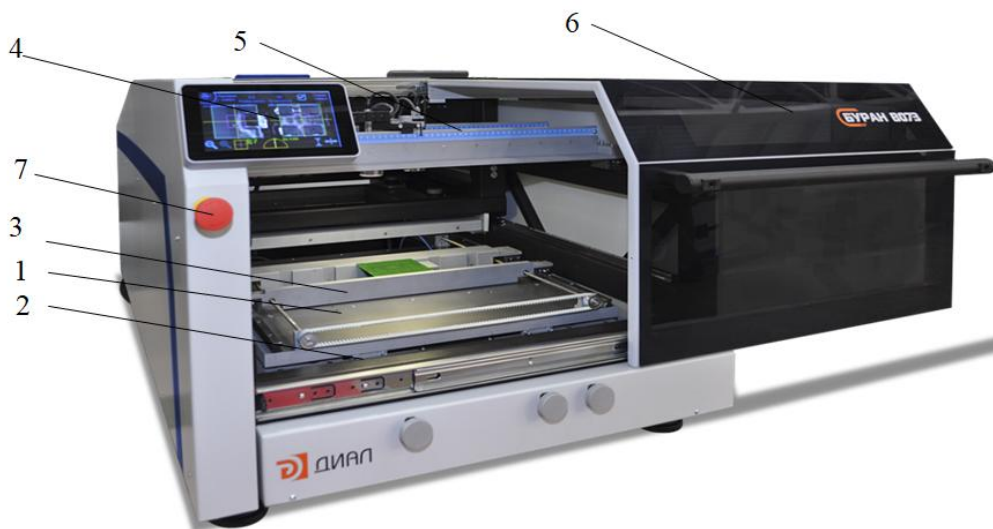


## Напівавтоматичні верстати

Напівавтоматичні принтери призначені для нанесення паяльної пасти трафаретним друком на плати. Працює прилад автономно. Будучи напівавтоматичним, принтер може швидко налаштовуватись для роботи. Перевагою є зручність роботи на налаштування. Швидке переналаштування робить прилади придатними як для серійного випуску так і для виробництва дослідних зразків. Прилади дозволяють підвищити ефективність роботи шляхом установки додаткових операцій котрі роблять процес автоматичним.

Схема напівавтоматичного принтера наведено на рис. 3.9.

Процес друку складається із декількох стадій. Спершу, трафарет натягнутий на рамку, монтують в принтер. Далі, закріплюють ракельні ножі та наноситься паяльна паста. При нанесенні пасти робочий вузол переміщується у робочу позицію шляхом підняття стола. Після нанесення



*Рис.3.9.* Напівавтоматичний принтер Буран В073. Принтер складається з стола (1) з електроприводом підйому (2), вузла для нанесення складу, котрий включає механізм кріплення рамки (3), екрану (4), пристрою для нанесення паяльної пасти (5), дверей (6) та кнопки аварійної зупинки приладу (7).

ракельні ножі і ракель з заданою швидкістю видавлюють паяльну пасту на основу. Насамкінець, вузол друку стає у вихідну позицію і плату виймають.

Процес друку складається із декількох стадій. Спершу, трафарет натягнутий на рамку, монтують в принтер. Далі, закріплюють ракельні ножі та наноситься паяльна паста. При нанесенні пасти робочий вузол переміщується у робочу позицію шляхом підняття стола. Після нанесення ракельні ножі і ракель з заданою швидкістю видавлюють паяльну пасту на основу. Насамкінець, вузол друку стає у вихідну позицію і плату виймають. Розміщення плати, затискання, позиціонування та інші процеси здійснюються автоматично. Перевагою даної конструкції є рівномірний відрив плати від трафарету, на відміну від ручних принтерів. Програмне забезпечення принтера дозволяє контролювати якість процесу за допомогою оптичних систем.

Можлива також «книжкоподібна» конструкція напівавтоматичних принтерів (рис. 3.10).



*Рис. 3.10.* «Книжкоподібний» напівавтоматичний принтер Uniprint Go3

Недоліком даного принтера є менша рівномірність відриву плати від трафарету. Перевагою є компактність.

### **Автоматичні верстати**

Автоматичні трафаретні принтери призначені для нанесення пасти на друковані плати в промисловості. Вимогами до даних моделей є висока швидкість циклу, дешевизна, точність та простота налаштування.

Сучасні принтери мають тривалість циклу 8 секунд і точність 15 мкм. Вони дозволяють вести 2D контроль за базовою конфігурацією, мають компактні розміри. Крім того, пристрої оснащені системою автоматичної очистки трафарету і ведуть автоматичний контроль за тиском на ракелі. Будучи оснащеним сучасним ПО, принтери дозволяють підтримувати температурний режим та певне значення вологості, дозволяють розставляти підтримуючі піни за допомогою координатної сітки та здійснювати дозування багатокомпонентних матеріалів.

Деякі принтери (SJ Innotech) дозволяють здійснювати торцеву фіксацію плати, відкидаючи тим самим потребу у крайових технологічних полях. Деформація плати усувається за допомогою додаткової її підтримки знизу. Це дозволяє наносити пасту рівномірно по всій площині поверхні плати.

Нижче, наведено рисунок типового трафаретного принтеру HP-520S (рис. 3.11).



*Рис. 3.11.* Типовий автоматичний принтер

### **3.5. Фінішні покриття контактів друкованих плат**

Фінішні покриття наносять на ті місця друкованих плат, що підлягають паянню для забезпечення надійності паяльних з'єднань після тривалого зберігання друкованої плати [6 – 8].

## Покриття інгібуючими органічними композиціями

Таке органічне покриття позначається OSP і забезпечує захист мідної поверхні від окислення при її зберіганні і паянні. Для захисту використовують два класи сполук: бензотриазоли та імідазоли. Ці речовини взаємодіють виключно з міддю і не адсорбуються на захисній паяльній масці чи діелектрику. Однак, такі покриття не забезпечують багаторазову пайку і мають невеликий термін придатності, що є їх недоліком.

## Імерсійне позолочення

Таке покриття умовно позначається ENIG, є двошаровим і містить  $\approx$  4мкм хімічного нікелю та 0,1мкм золота, осадженого контактним (імерсійним) способом. Підшар нікелю наносять хімічно із слабо кислого розчину. Шар золота наносять імерсійним методом із розчину такого складу (г/л):

KAu(CN) <sub>2</sub>	4,2;
Сульфат гідразину	75;
Лимонна кислота	30;
NH <sub>4</sub> Cl	80;
FeSO <sub>4</sub>	1,0;
pH	5,7 – 5,9;

температура розчину 95±1 °С, товщина покриття 0,1 мкм

Покриття ENIG добре паяється, придатне до мікрозварювання та багаторазового перепаявання, може замінити покриття HASL.

## Імерсійне олов'янення

З усіх фінішних покриттів останнім часом найбільшого поширення набуває покриття імерсійним оловом (ImSn). Імерсійне олово

використовується в якості покриття контактних площадок і металізованих отворів для поліпшення їх здатності до паяння.

В основі процесу імерсійного осадження олова на мідні доріжки провідників друкованих плат лежить контактне заміщення. Оскільки мідь є більш благородним металом, ніж олово, то процес контактного заміщення можливий тільки в присутності спеціальних комплексоутворювачів, наприклад, тіосечовини та органічних кислот, таких як винна чи метансульфонова. У присутності цих органічних сполук потенціал міді стає більш негативним, ніж у олова, в результаті виходить можливим протікання наступної реакції:



Однак описаний вище процес є дуже чутливим до зростання концентрації міді в розчині, яка не повинна перевищувати 5 г/л. При досягненні такої концентрації розчини піддаються регенерації.

До переваг імерсійних покриттів можна віднести:

- на відміну від покриттів, отриманих так званим «гарячим» способом з розплаву (HASL–процес), імерсійні є більш рівномірними по товщині;
- у порівнянні з гальванічним і «гарячим» способом, технологія отримання імерсійних покриттів є більш простою в апаратурному оформленні;
- такі покриття володіють хорошою змочуваністю припоєм.

До недоліків імерсійного олова слід віднести схильність до утворення «вусів», а також утворення інтерметалевих сполук з міддю. При тривалому зберіганні інтерметаліди здатні повністю поглинати олово, в результаті чого покриття може втрачати свої властивості до пайки через підвищену здатність до окислення останніх.

Товщина імерсійних олов'яних покриттів, як правило, не перевищує 1 мкм. Олово імерсійним способом можна наносити із розчину такого складу (г/л):

$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$             5,6;

Тіокарбамід            50;

Винна кислота            35;

температура розчину 60...70 °С.

Для консервації покриття з метою запобігання окислення, шляхом аерозольного розпилення наносять флюсуючі композиції. Наступне паяння проводять без видалення флюса.

### **Покриття гарячим припоєм HASL–процес**

HASL (Hot Air Solder Leveling) – покриття, наприклад, припоєм ПОС–61 з подальшим його вирівнюванням повітряним ножем.

Даний вид покриття до недавнього часу переважав в електронній промисловості завдяки відмінним характеристикам паяння сплаву олово–свинець і його відносній дешевизні в порівнянні з покриттями на основі благородних металів. Зараз даний метод втрачає актуальність через зростання вимог до площинності і зменшення кроку контактних майданчиків, а також через перехід багатьох галузей промисловості на безсвинцеву технологію, що викликало подорожчання матеріалів припою і підвищення температур процесу. Схема процесу наведена на рисунку 3.12.



Рис.3.12. Технологічна схема HASL процесу

В результаті класичного HASL–процесу контактні площадки плати покриваються шаром евтектичного сплаву олово–свинець товщиною, як правило, від 1 до 40 мкм. Перед процесом HASL друкована плата проходить ряд операцій підготовки – відмивання від забруднень, попередній нагрів і флюсування. Схема HASL процесу наведена на рис. 3.13.



Рис. 3.13. Принципова схема HASL процесу

Процес гарячого лудіння має два варіанти: вертикальний і горизонтальний (конвеєрний).

У вертикальному варіанті друкована плата занурюється вертикально в ванну з розплавленим припоєм, знаходиться в ній деякий час при температурі  $\sim 260\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для евтектичного сплаву) і потім швидко виймається; надлишки припою при цьому здуваються так званими «Повітряними ножами» – струменями гарячого повітря. Одночасно відбувається вирівнювання покриття. Майданчики, різноорієнтовані на платі по відношенню до повітряних ножів, матимуть різну товщину покриття: перпендикулярно нолям – більш тонке, а паралельно – більш товсте, так як ножі обдувають плату під кутом в  $90\text{ }^{\circ}$ . Крім того, нижня частина плати може перебувати у ванні з розплавленим припоєм на 4...5 с довше номінального часу, що прискорює дифузю міді і може привести до забруднення припою.

Як правило, вертикальне лудіння застосовується тільки для друкованих плат, на які не будуть встановлюватися поверхнево монтовані електронні компоненти.

При горизонтальному лудінні плата переміщається по конвеєру, проходить через ванну з припоєм, що рециркулює, а потім також обдувається повітряним ножем. Рівномірна товщина покриття тут може бути забезпечена розташуванням плат на конвеєрі під кутом  $45\text{ }^{\circ}$ .

Головне і безперечне достоїнство HASL – забезпечення відмінної здатності до паяння друкованої плати і її довгострокове збереження.

Загальним недоліком HASL є нерівномірність покриття, викликана утворенням напливів припою (особливо – на великих металізованих полігонах) і яка призводить до утворення неплоских контактних майданчиків. Такий дефект знижує вихід придатних плат, викликаючи, в свою чергу, зсув відбитків паяльної пасти і електронних компонентів, а також погіршення змочування припоєм. Внаслідок цього, при установці компонентів з малим кроком виводів таке покриття може не задовольнити



вимогам площинності. Крім того, для контактних площадок, розташованих з малим кроком (0,5 мм і менше), можливе утворення перемичок.

З точки зору виробника друкованих плат, HASL–процес вимагає інтенсивного обслуговування, шкідливий для здоров'я, пожежонебезпечний і вимагає значних фінансових затрат.

Плата, занурювана в розплавленій припой, відчуває жорсткий тепловий вплив. Існує думка, що надійність внутрішніх з'єднань ДП різко падає внаслідок таких термоударів, що можна виявити в результаті проведення випробувань надійності плати за кількістю витриманих термоциклів до відмови, внаслідок чого ряд виробників не використовує HASL для покриття БДП. Крім того, такий термоудар викликає нерівномірне теплове розширення плати, що може унеможливити подальшу точну установку компонентів з малим кроком виводів, якщо ця деформація буде значною.

Внаслідок прийняття директив RoHS, спрямованих на обмеження і подальшу повну заборону використання свинцю в електронній промисловості, здійснюється поступовий перехід від свинцевовмісних покриттів до альтернативних безсвинцевих. В даний час технологія HASL застосовує і безсвинцеві припойні сплави.

Переваги HASL процесу є наступними:

- найбільш відомий і традиційно застосовується метод покриття, технологія його нанесення і подальшого використання плат, покритих HASL, добре відпрацьована;

- хороша міцність паяного з'єднання;

- витримує безліч циклів пайки.

Недоліки:

- значна неплщинність контактних майданчиків;

- містить свинець, шкідливий для навколишнього середовища і обслуговуючого персоналу;

- ускладнене застосування для плат з великим співвідношенням товщини плати і діаметра металізованого отвору;
- значне теплове навантаження на плату, що може викликати її викривлення;
- можливі замикання контактних майданчиків компонентами з малим кроком; не рекомендується застосовувати даний метод для компонентів з кроком менше 0.5 мм;
- нерівномірна товщина покриття на контактних майданчиках різного розміру і орієнтації.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Хімічна металізація у виробництві друкованих плат.
2. Активація поверхні діелектрика в суміщеному розчині.
3. Сенсibiliзація і активація поверхні діелектрика у виробництві друкованих плат.
4. Порівняльна характеристика розчинів хімічного міднення, які використовуються у виробництві друкованих плат.
5. Причини нестабільності розчинів хімічного міднення.
6. Регенерація паладію із відпрацьованих розчинів активування поверхні діелектрика.
7. Регенерація міді із тартратних розчинів хімічного міднення.
8. Травлення міді із пробільних місць друкованих плат
9. Устаткування для травлення міді у виробництві друкованих плат.
10. Регенерація кислих міднохлоридних травильних розчинів.
11. Порівняльна характеристика кислих та лужних міднохлоридних травильних розчинів.
12. Регенерація міді із відпрацьованих травильних розчинів.
13. Утилізація міді із міднохлоридних травильних розчинів.
14. Нанесення захисної маски у виробництві друкованих плат.

15. Травлення міді в лужних розчинах на основі хлорної міді.
16. Вимоги, які ставлять до травильних розчинів.
17. Травлення міді в розчинах на основі хлорного заліза.
18. Травлення міді в кислому розчині на основі хлорної міді.
19. Гальванічні покриття кінцевих друкованих контактів плат друкованого монтажу.
20. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів на роз'єми друкованих плат.
21. Порівняльна характеристика методів нанесення захисного рельєфу у виробництві друкованих плат.
22. Нанесення захисного рельєфу методом фотохімічного друку.
23. Нанесення захисного рельєфу методом трафаретного друку.
24. Нанесення захисного рельєфу з використанням сухих плівкових фоторезистів.
25. Устаткування для нанесення захисного рельєфу з використанням сухих плівкових фоторезистів.
26. Виготовлення трафаретних друкованих форм методом впресовування СПФ у металеву сітку.
27. Нанесення захисного рельєфу методом фотохімічного друку з використанням рідких фоторезистів.

## РОЗДІЛ 4

# ГАЛЬВАНІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВИРОБНИЦТВІ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

### 4.1. Особливості гальванічних процесів у виробництві друкованих плат

Гальванічні процеси у виробництві друкованих плат мають особливо важливе значення, так як вони визначають такі властивості як здатність провідного рисунка до паяння, рівномірність розподілу шару металу в отворах, еластичність металу. Ці процеси в основному визначають і електричні параметри друкованих плат. Так, наприклад, недостатня товщина струмопровідного шару призводить до значного збільшення опору металізованих отворів, що при установці навісних елементів порушує цілісність електричних кіл. Порушення і зміна структури осаджуваного покриття – виникнення поруватості, шорсткості, підвищення твердості покриття також призводить до збільшення опору металізованих отворів, знижує надійність з'єднань. Типові недоліки друкованих плат в значній мірі зумовлені нерівномірністю товщини металізації і наявністю внутрішніх напружень у покритті. Рівномірність гальванічних покриттів залежить головним чином від електрохімічних, електричних і геометричних умов їх осадження.

Для покращення електрохімічних умов осадження необхідно підбирати електроліти з високою розсіювальною здатністю (РЗ), яка забезпечує рівно–товщинне розподілення металу. Підвищення РЗ зменшує середню товщину покриття, скорочує витрати металу, забезпечує точність і високу густину монтажу.

Кращим електролітом визнається такий, в якому товщина металізації в отворах і на поверхні плати (в центрі плати і на периферії) буде однаковою. Інакше для досягнення мінімальної товщини металу в отворах процес

металізації повинен продовжуватися довше оптимально встановленого часу, а осадження додаткового металу на поверхні викликає більш тривалий процес травлення, що в свою чергу збільшує вірогідність підтравлювання елементів друкованого рисунка аж до відокремлення його від діелектричної основи. Поряд з цим нерівномірність товщини металізації від центра до краю плати створює неоднорідність геометричних параметрів друкованого рисунка плати.

Один з простих способів підвищення РЗ – застосування розведених електролітів, однак при цьому різко знижується допустима робоча густина струму. Найбільш ефективним засобом є підбір спеціальних добавок, які вводять в електроліт і які одночасно проявляють вирівнювальну дію з блискоутворюючою. Проте вміст в електролітах органічних сполук, які часто використовують як вирівнюючі добавки, досить складно контролювати. Оптимальна їх концентрація знаходиться у вузьких межах і в ряді випадків вони чи продукти їх розкладання сприяють утворенню крихких осадів, а інколи погіршують і їх зовнішній вигляд.

Для підвищення РЗ і покращення рівномірності металізації в отворах необхідно забезпечити інтенсивне проходження електроліту через отвори похитуванням катодних штанг у горизонтальній площині з частотою 30...40 коливань за хвилину, амплітуда коливань – до 50 мм. Збільшення амплітуди обмежується відстанню між платою і анодом, яка повинна складати не менше 150 мм для запобігання підгару осаду.

Електричний режим осадження також впливає на рівномірність покриттів. При використанні низьких густин струму ділянки в середині плат будуть мати занижену товщину покриття. При роботі на верхній межі густини струму на кутах і крайках плати товщина покриття виявиться завищеною, що призводить до потовщення і шорсткості шару на цих ділянках. Але, не дивлячи на це, інтенсифікація процесу при нанесенні гальванопокриттів на друковані плати використовується, тому що при цьому

відбувається скорочення часу знаходження плат в електролітах, а це сприяє зменшенню кількості браку, яке зумовлено відшаруванням і руйнуванням фоторезистів.

Із геометричних чинників, які впливають на рівномірність покриття, у першу чергу необхідно відзначити відстань між анодами і платами, на які наносять покриття. Ця відстань повинна бути не менше 150 мм. Недбале завішування плат на пристосування призводить до того, що вони розташовуються в різних напрямках одна від одної, а також по відношенню до анодів. При цьому товщина покриття на ближніх до анодів ділянках може бути більшою до 10 раз, ніж у середній зоні ванни.

Для отримання рівномірних і гладких гальванічних покриттів необхідно враховувати два основних правила, які є наслідком законів Ома і Кірхгофа [10]:

1. В електроліті струм завжди перебігає по лінії найменшого опору. Отже, найбільший за силою струм проходить через ті ділянки електроліту, де відстань між анодами і платами є найменшою.

2. Найбільша кількість електрики проходить через гострі кінці та кутові ділянки. Відповідно, найбільша кількість металу осаджується на кутах, ребрах і гострих виступах. Це може відбуватися на задирках і навіть на мікровиступах поверхні, внаслідок чого покрита поверхня стає матовою і навіть шорсткою, якщо для осадження не вибрали електроліт з вирівнюючими добавками.

Виходячи із цього на поверхні, яка покривається, не повинно бути задирок, забоїн, раковин, тріщин, рваних шорсткостей після обробки і інших механічних дефектів, які погіршують стан поверхні. При цьому необхідно враховувати, що гальванічні покриття не завжди можуть згладити наведені дефекти поверхні, так як їх розміри багатократно перевищують товщину покриття. Чистота поверхні повинна бути не нижче сьомого класу, при цьому

забезпечується підвищена корозійна стійкість гладких поверхонь та економічність витрачених кольорових і дорогоцінних металів.

Для підтримання постійного складу електроліту, усунення пасивації анодів і забезпечення відносно рівномірного розподілу металу по платі поверхня анодів повинна бути як мінімум в 2 рази більшою від катодної. При розрахунках поверхня анода, повернена до стінки ванни, зменшується у 2 рази. Плати на підвісах повинні розташовуватися строго паралельно до анодів. Гачки для завішування анодів на штанги повинні забезпечувати жорсткі контакти з анодом і зі штангою; контакт з анодом повинен знаходитися вище рівня електроліту. Аноди не слід занурювати у ванну на таку ж глибину, на яку занурюють плати. Сама нижня точка плати повинна бути занурена у ванну на 5...8 см глибше анода. Аноди розташовують на штанзі на однаковій відстані один від одного. Крайній анод установлюють на такій відстані від краю ванни, щоб вона перевищувала відстань від краю ванни до плати. Для виключення попадання шламу в електроліт на розчинні аноди надівають чохли із хімічно стійких тканин.

При визначенні анодної густини струму велике значення має величина співвідношення поверхні анодів і катодів. Надто велика анодна густина струму може призвести до зменшення анодного виходу за струмом, утворення твердих часток (шламу), а також призводить до утворення грубих гальванічних покриттів на поверхні плати, а також до небажаних змін у складі електроліту – зниження концентрації іонів металів.

Найбільш ефективним заходом створення рівномірних покриттів є застосування спеціальних неметалевих екранів, які установлюють між анодами і платами таким чином, щоб силові лінії струму, які ідуть до гострих здирок і кутів, огинали ці екрани і проходили більш довгий шлях. Так, для рівномірного покриття плат великих розмірів застосовують екрани із вініпласту. Еліпсоподібні отвори, прорізані в екранах, дозволяють створити

доволі рівномірне покриття. Підбір розмірів в екранах здійснюють експериментальним шляхом.

Один із суттєвих недоліків гальванічних покриттів є наявність внутрішніх напружень, які обумовлені створенням кристалічної ґратки металу і включенням в неї сторонніх частинок у процесі осадження. Напруження металу обумовлено виникненням у ньому сил, які намагаються стиснути або розтягнути осад і повернути його до нормального стану. При цьому між внутрішнім напруженням та крихкістю спостерігається чіткий паралелізм. Наявність значних внутрішніх напружень в осаді є прихованим дефектом, який визначає надійність плати. Цей дефект виявляється в процесі паяння, коли в металізованому шарі стінок отворів утворюються тріщини, які порушують цілісність електричних кіл.

З метою скорочення втрат розчинів при гальванічній металізації передбачають витримку плат над ваннами для стікання з них електроліту і обдування стисненим повітрям. Першу промивку після нанесення покриття здійснюють у ванні уловлювання, заповненій чистою непроточною водою.

## **4.2. Гальванічне міднення**

### **Попередня обробка поверхні друкованих плат**

Операції попередньої обробки поверхні друкованих плат перед гальванічним мідненням можуть бути наступними (табл. 4.1).

Як видно з таблиці для знежирювання мідної поверхні друкованої плати застосовується кислотомісний розчин. Це пов'язано з тим, що лужні розчини для знежирення не придатні при виготовленні друкованої плати з використанням сухих плівкових фоторезистів водно-лужного проявлення.



Таблиця 4.1. Схема технологічного процесу обробки поверхні друкованих плат

№	Операція	Матеріали	C, г/л	t, °C	τ, хв	Додаткові вказівки
1	Знежирення	Сульфатна кислота Мурашина кислота ОС-20	25 – 40 10 – 15 3 – 5	30 – 40	2 – 4	Барботування
2	Промивка	Водопровідна вода		30 – 50	1 – 5	
3	Підтравлення	Сульфатна кислота Перокси-дисульфат амонію	10 – 20 90 – 120	18 – 30	0,3 – 1,0	
4	Каскадна промивка	Водопровідна вода			1 – 5	Барботування стиснутим повітрям
5	Активація	Сульфатна кислота	50 – 100		0,3 – 1,0	

### Електроліти для міднення друкованих плат

У виробництві друкованих плат гальванічна мідь широко використовується як основний струмопровідний шар. Гальванічно осаджена мідь визначає надійність друкованих плат і є шаром, на який потім осаджують металорезист, через це якість осадженої міді, в значній мірі, визначає захисні властивості резисту [7 – 10].

У відповідності з вимогами ДСТУ 2646–94 наскрізна металізація отворів на друкованих платах повинна виконуватися міддю і задовольняти такі вимоги:

- наявність суцільної металізації;
- однакова товщина покриття в отворах і на поверхні фольги;
- дрібнозерниста структура покриття;
- відсутність потовщень, включень і т. ін.;
- відсутність надлишкового наростання металу на вході отвору або на зовнішньому краю контактної площадки;

- відсутність тріщин у покритті;
- висока пластичність покриття;
- мінімальна товщина міді в отворах 25 мкм.

Такі характеристики, як товщина мідного покриття в отворах і його пластичність строго контролюються в процесі виробництва друкованих плат.

На друковані плати наносять, як правило, блискучі мідні покриття [15]. Використання таких покриттів, які мають високоякісну поверхню, дозволяє наносити наступний шар металорезисту мінімальної товщини при збереженні його захисних властивостей.

Електроліти для міднення друкованих плат повинні відповідати таким вимогам:

- висока розсіювальна здатність;
- можливість отримання пластичних покриттів;
- висока продуктивність;
- невелика агресивність до фоторезистів та діелектриків;
- біологічна безпечність;
- стабільність в експлуатації;
- невелика вартість та доступність компонентів.

Серед електролітів міднення найбільшу розсіювальну здатність мають комплексні лужні електроліти. Найбільшу розсіювальною здатність мають *ціанідні електроліти*. Однак через надзвичайно високу токсичність, агресивність до фоторезистів і діелектриків, низький вихід за струмом і малу продуктивність вони *не знайшли використання у виробництві друкованих плат*.

*Пірофосфатні електроліти* також характеризуються високою РЗ, але вони не токсичні. Серед різних за складом електролітів у виробництві використовується електроліт такого складу (г/л):

сульфат міді	90;
пірофосфат калію	350;

лимонна кислота	20;
селеніт натрію	0,002;
гідроксид амонію (25 %)	2 мл/л;
pH	8,3...8,5.

Режим електролізу:

катодна густина струму	0,8...1,7 А/дм <sup>2</sup> ,
температура електроліту	30...50 °С.

Переваги пірофосфатного електроліту:

- дрібнокристалічна структура покриття;
- висока розсіювальна здатність (товщина шару міді в отворах складає 90 % від товщини на контактних площадках);
- відсутність органічних добавок дає можливість здійснювати безперервну фільтрацію електроліту через фільтр з активованим вугіллям, що дозволяє зберігати добрі механічні властивості мідного покриття, зокрема, еластичність протягом тривалої експлуатації електроліту.

Недоліки пірофосфатного електроліту:

- мала продуктивність;
- вузький робочий діапазон pH, який складно підтримувати;
- схильність анодів до пасивації, що робить необхідним підтримувати підвищену температуру електроліту;
- фосфор включається в склад осаду і робить його крихким;
- лужне середовище електроліту не дозволяє застосовувати перспективні фоторезисти СПФ–ВЩ для нанесення захисного рельєфу на пробільні місця плати;
- електроліт містить дорогі компоненти.

Наявність відзначених недоліків обмежує широке розповсюдження пірофосфатних електролітів у виробництві друкованих плат.

Більш стійкими і більш продуктивними є *прості кислі електроліти міднення*, але вони мають меншу розсіювальну здатність.

*Борфтористоводневий електроліт* міднення, який знаходить застосування у промисловості, має такий склад (г/л):

мідь борфтористоводнева	250;
кислота борфтористоводнева	15;
кислота борна	40.

Режим електролізу:

температура електроліту	15...25 °С,
катодна густина струму	3...5 А/дм <sup>2</sup> .

Основною перевагою електроліту є висока швидкість осадження міді.

Недоліки електроліту:

- порівняно низька розсіювальна здатність (товщина шару міді в отворах складає 40...50 % від товщини на контактних площадках);
- агресивність до органічних фоторезистів, що призводить до накопичення органічних домішок в електроліті і до втрати пластичності покриття;
- складність при очищенні стічних вод через наявність фтор боратів.

Борфтористоводневі електроліти можна використовувати для міднення друкованих плат з низькою густиною струмопровідного рисунка.

*Сульфатні електроліти міднення* [8] є найбільш простими за складом і дуже стабільними в роботі. Їх легко готувати і корегувати. Однак стандартний сульфатний електроліт має низьку розсіювальну здатність, а отримані осадки є крупнокристалічними. Продуктивність електроліту невисока. Такі електроліти є непридатними для міднення друкованих плат. Однак, введення високоефективних блискоутворюючих добавок з одночасною зміною співвідношення концентрації міді і сульфатної кислоти в бік збільшення останньої значно покращує характеристики сульфатних електролітів. За величиною розсіювальної здатності вони наближаються до

комплексних електролітів, однак при цьому забезпечують високу продуктивність.

У промисловості використовують такі блискоутворюючі добавки як «МІДЕЛ», «RV–M», «Supracid VL–CT» та «Supracid VL». Наприклад, використання добавки «МІДЕЛ» (виробник Україна) дозволяє отримувати осади, стійкі до термічних навантажень, які витримують не менше 10 термоударів. Відносне видовження покриття складає 10...12 %. Розподіл металу в отворах і на контактних площадках складає 0,85...0,9 % блиск – 95 %. Добавка «МІДЕЛ» стійка у сильно кислих середовищах, не токсична, не містить біологічно жорстких речовин.

На теперішній час сульфатні електроліти з блискоутворюючими добавками є основними для міднення друкованих плат. Для прикладу можна навести склад електролітів міднення на базі добавки «МІДЕЛ», які поширені в промисловості.

Електроліт №1 (г/л):

сульфат міді	70...80;
сульфатна кислота	170...180;
натрій хлористий	0,030...0,50;
добавка «МІДЕЛ»	1...2.

Режим електролізу:

Катодна густина струму	1...4 А/дм <sup>2</sup> ;
Температура електроліту	15...30 °С.

Електроліт №2 (г/л):

сульфат міді	150...160;
сульфатна кислота	140...150;
натрій хлористий	0,05...0,8;
добавка «МІДЕЛ»	1...2.

Режим електролізу:

Катодна густина струму	2...5 А/дм <sup>2</sup> ;
Температура електроліту	20...30 °С.

В обох електролітах передбачається використовувати аноди марки АМФ, застосовувати хитання катодних штанг та перемішування стисненим повітрям. Електроліт №1 характеризується підвищеною РЗ і використовується у виробництві багат шарових друкованих плат та плат з діаметром отворів менше 0,7 мм. Електроліт №2 дозволяє використовувати підвищену густина струму і застосовується для виготовлення звичайних двобічних друкованих плат.

*Аноди.* Для нанесення блискучих мідних покриттів в електролітах з блискоутворюючими добавками застосовують аноди марки АМФ (аноми мідні фосфоровмісні), які містять 0,07...0,1 % фосфору і відносяться до категорії *без шламових*. Ці аноди розчиняються більш рівномірно і без шламоутворення. Наявний додаток фосфору в анодах виконує такі функції:

- сприяє розкисленню мідного зерна при вальцюванні анодів;
- фосфор реагує з іонами  $\text{Cu}^+$ , які знаходяться в приелектродному шарі, з утворенням чорної плівки  $\text{Cu}_3\text{P}$  на поверхні анодів і цим призупиняє подальше утворення  $\text{Cu}^+$ , так як унеможлиблюється перебіг реакції диспропорціонування з утворенням частинок металеві міді;
- плівка  $\text{Cu}_3\text{P}$  перешкоджає можливому розкладанню ПАР на анодах.

На роботу анодів АМФ дуже впливає вміст хлорид-іонів в електроліті. Якщо цей вміст перевищує 80 мг/л, то спостерігається суцільне шламоутворення, що призведе до погіршення фізико-механічних властивостей покриття. Для попередження сольової пасивації величина анодної поверхні повинна в два рази перевищувати величину катодної поверхні, але не більше чим в 3 рази.

До недоліків анодів марки АМФ можна віднести забруднення електроліту фосфором при тривалій експлуатації, що сприяє утворенню

крихких осадів. Домішки фосфору видаляють шляхом обробки електроліту активованим вугіллям.

### **Очищення електролітів міднення від органічних домішок**

Внаслідок вилуговування фоторезистів електроліт міднення в процесі експлуатації забруднюється органічними домішками, які значно погіршують якість покриття. Воно стає крихким, на покритті з'являються смужки. Покриття перестає відповідати поставленим вимогам. Забрудненні електроліти регулярно очищують від органічних домішок. Момент очищення електроліту визначають, вимірюючи відносне подовження нанесеного мідного покриття. Коли відносне подовження менше за 6 %, то електроліт підлягає очистці.

Методика очистки. В електроліт уводять  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30 %) у кількості 3 мл/л і витримують одну годину при температурі 40...50 °С. Потім додають активоване вугілля в кількості 3 г/л, перемішують протягом 30 хвилин і відфільтровують через механічний фільтр. Електроліт переводять в основну ванну, корегують і додають розраховану кількість ПАР. Останнім часом для очистки електролітів від органічних домішок пропонується використовувати фільтри з активованого вугільного волокнистого матеріалу (АУВМ).

### **4.3. Гальванічне нанесення сплаву олово–свинець (ПОС–61) на друковані плати**

#### **Призначення гальванічного покриття сплавом олово–свинець**

Гальванічне покриття сплавом олово–свинець є захисним і призначається для:

- захисту струмопровідного рисунку від дії травильного розчину;
- забезпечення паяння навісних електрорадіоелементів;

- захисту струмопровідного рисунку від дії навколишнього середовища.

У виробництві друкованих плат використовують сплав марки ПОС–61, який містить:

61±5 % олова;

39±5 % свинцю.

Вибір сплаву марки ПОС–61 обумовлений такими чинниками:

- сплав за своїм складом близький до евтектичного і має найнижчу температуру плавлення;
- такий склад сплаву забезпечує максимальну міцність паяних з'єднань;
- виключається утворення металевих голок під час зберігання плат.

Товщина сплаву на друкованих плат за вимогами стандарту повинна бути в межах 10...12 мкм. Коли товщина сплаву буде більшою за 15 мкм, то при його оплавленні буде спостерігатися краплеутворювання і напливи в отворах, що ускладнить монтаж радіоелектронних компонентів на плату. Сплав повинен бути гомогенним і повністю покривати поверхню струмопровідного рисунка.

При електролітичному нанесенні сплавів у гальванотехніці використовують такі способи зближення потенціалів виділення компонентів:

- змінювання співвідношення концентрацій окремих компонентів;
- використання комплексоутворювачів, при цьому стійкість компонентів із більш благородними компонентами повинна бути більшою;
- застосування ПАР, які гальмують виділення більш благородного компонента;
- виділення більш благородного компонента на граничному струмі.

При осадженні сплаву олово–свинець використовують перший та третій способи зближення потенціалів виділення компонентів.



Якість осаджуваного на катоді сплаву олово–свинець залежить від:

- співвідношення вмісту двовалентних іонів олова та свинцю в електроліті;
- концентрація ПАР в електроліті, які гальмують виділення свинцю. Чим вища концентрація ПАР, тим менший вміст свинцю в сплаві і навпаки;
- умови адсорбції ПАР на катоді. Чим вища швидкість перемішування і вища температура електроліту, тим гірші умови адсорбції і тим менш ефективно діють ПАР в електроліті;
- густина струму на катоді. Вибирають такий склад електроліту і робочий інтервал густин струму, щоб вміст сплаву не залежав від величини густини струму (інакше на різних ділянках плати склад сплаву буде різним і кожна ділянка буде мати свою температуру плавлення сплаву).

### **Електроліти для нанесення сплаву ПОС–61 на друковані плати**

До електролітів для нанесення сплаву ПОС–61 ставлять такі загально прийняті вимоги:

- 1) висока розсіювальна здатність;
- 2) висока стабільність складу сплаву;
- 3) широкий діапазон допустимих густин струму на катоді;
- 4) стабільність електроліту при експлуатації.

У виробництві друкованих плат в основному використовують фторборатні і кремній–фторидні електроліти.

Фторборатний електроліт, який широко використовується в промисловості, має такий склад (г/л):

фторборат олова (мет)	16;
фторборат свинцю (мет)	8;
кислота борфтористоводнева	260;

кислота борна	30;
пептон	4;
гідрохінон	1.

Режим електролізу:

Катодна густина струму	0,5...2,0 А/дм <sup>2</sup> ;
Температура електроліту	18...25 °С.

В цьому електроліті борфтористоводнева кислота виконує такі функції: забезпечує необхідну електропровідність, збільшує стійкість солей до гідролізу, підвищує розсіювальну здатність. Борна кислота підвищує буферну стійкість електроліту, перешкоджає розкладанню фторборату свинцю. Пептон забезпечує дрібнокристалічну структуру осаду, підвищує розсіювальну здатність електроліту, гальмує виділення свинцю і тим самим визначає склад сплаву. Гідрохінон є сильним відновлювачем, гальмує процес окиснення двовалентного олова у чотиривалентне. У разі утворення сполук чотиривалентного олова вони гідролізують з утворенням метаолов'янистої кислоти, яка випадає в осад і при цьому захоплює і зв'язує ПАР.

В електроліті наведеного складу можна отримувати однорідні за складом покриття в діапазоні густин струму 0,5...2 А/дм<sup>2</sup>. Однак через великий вміст борфтористоводневої кислоти електроліт дуже агресивний до фоторезистів, забруднюється продуктами їх розкладання (органічними домішками). При накопиченні цих домішок електроліт очищають активованим вугіллям, фільтрують, корегують вміст ПАР і використовують повторно. В електроліті використовують розчинні аноди із сплаву ПОС–61, який не містить домішок інших металів.

Нанесення блискучих покриттів сплавом ПОС–61.

Такі покриття мають гладку і компактну поверхню і як наслідок цього поверхня має підвищену твердість, корозійну стійкість, стійкість до окиснення і кращу здатність до паяння. Найбільш поширеним для отримання

блискучих покриттів сплавом ПОС–61 є електроліт, що містить блискоутворюючу добавку Лімеда ПОС–61 і має такий склад (г/л):

фторборат олова (мет)	12 ... 17;
фторборат свинцю (мет)	5 ... 8;
кислота борфтористоводнева	180...200;
кислота борна	5... 15;
добавка Лімеда ПОС–61	0,4...0,5;
синтанол ДС–10	6...7 мл/л.

Режим електролізу:

Катодна густина струму	2...4 А/дм <sup>2</sup> ;
Температура електроліту	15...30 °С.

Аноди – розчинні із сплаву ПОС–61.

У цьому електроліті синтанол ДС–10 виконує роль змочувача, диспергує добавку Лімеда ПОС–61.

З метою заміни дефіцитної борфтористоводневої кислоти на більш дешеву і недефіцитну на деяких підприємствах використовують електроліт на основі кремнійфтористої кислоти, яка є більш дешевою і доступною.

Склад електроліту (г/л):

кремнійфтористий свинець (мет)	12...14;
кремнійфтористе олово (мет)	10...20;
кремнійфториста кислота	150...170;
синтанол ДС–10	60 мл/л;
ДС–натрій	5 мл/л.

Режим електролізу:

Катодна густина струму	3...5 А/дм <sup>2</sup> ;
Температура електроліту	15... 30 °С.

Цей електроліт є більш дешевим, але більш агресивним, ніж борфтористоводневий, тому використання його обмежене.

Для усіх електролітів нанесення сплаву олово–свинець шкідливою домішкою є іони двовалентної міді. Мідь осаджується на катоді, включається в склад покриття, частково його пасивує і погіршує здатність до паяння. Домішки іонів міді видаляють, проробляючи електроліт із випадковими катодами при високій густині струму (більше 4 А/дм<sup>2</sup>).

### **Пірофосфатний електроліт**

Для отримання сплаву із вмістом олова 60 ± 5 % було запропоновано розчин наступного складу: Олово (в перерахунку на метал) 30...40 г/л, свинець (в перерахунку на метал) 20...25 г/л, пірофосфат калію 130 г/л, хлорид гідразину 8...12 г/л, ДДДМ 1 г/л, гідролізований клей 1,5 г/л. Величина рН 8,3...8,9. Температура електроліту – 18...28 °С. Катодна густина струму 2...4 А/дм<sup>2</sup>.

Хлорид гідразину стабілізує вміст Sn<sup>2+</sup> попереджуючи його окислення до чотирьохвалентного олова. ДДДМ з клеєм обумовлює постійний вміст олова в сплаві.

Основною перевагою пірофосфатного електроліту є його менша агресивність до фоторезисту. Відтак, менше продуктів розкладу включається в покриття.

### **Особливості технологічного процесу гальванічного нанесення сплаву**

#### **ПОС–61 на друковані плати**

Для забезпеченості постійного складу сплаву та стабільності його фізико–хімічних властивостей необхідно виконувати наступні рекомендації.

1. Зберігати стале співвідношення концентрацій солей олова і свинцю в електроліті.
2. Зберігати сталий вміст ПАР в електроліті.
3. Використовувати аноди марки ПОС–61, що не містять домішок металів.

4. Перемішування електроліту здійснювати повільним хитанням катодних штанг з платами (з періодом 1...2 хитання в секунду. Більш інтенсивне перемішування викличе зменшення вмісту свинцю в сплаві).
5. Для запобігання попадання сульфатної кислоти в електроліт операцію активування поверхні плат перед нанесенням покриття необхідно здійснювати не в  $H_2SO_4$ , а в 10 % розчині  $HBF_4$  без наступного промивання водою.
6. Для виключення можливості накопичення іонів двохвалентної міді в електроліті не допускається відокремлення плат від підвіски та падіння їх на дно ванни. Також не можна підіймати рівень електроліту у ванні вище гачків для кріплення анодів.

### **Освітлення і оплавлення покриття сплавом ПОС–61**

**Освітлення покриття.** При травленні міді з пробільних місць в лужному розчині олов'яно–свинцеве покриття частково розчиняється з утворенням на поверхні шламу темно сірого кольору. Ця плівка шламу перешкоджає проведенню наступних операцій оплавлення сплаву та паяння. Для видалення травильного шламу плати занурюють у освітлюючий розчин такого складу:

тіосечовина	100 г/л;
кислота соляна ( $d = 1,19 \text{ кг/м}^3$ )	60 мл/л;
синтанол ДС–10	6 мг/л;
препарат ОС–20	10 мл/л.
Режим освітлення:	
Температура розчину	18...25 °С,
Тривалість обробки	1...2 хв.

Операцію освітлення можна проводити в фторборатному розчині, який містить:

борфторводневу кислоту	100 мл/л;
тіосечовину	100 г/л;
змочувач ОП–7	10 мл/л.
Режим освітлення:	
Температура	50...60 °С,
Тривалість протягом	1...2 хв.

**Оплавлення покриття.** Гальванічне покриття сплавом ПОС–61 є евтектикою з температурою плавлення 183 °С. Через це покриття легко розплавляється і в рідкому стані стікає з поверхні провідників на їх бокові стінки. Оплавлене покриття має цілий ряд переваг у порівнянні з неоправленим. Через це у виробництві друкованих плат обов'язково використовують оплавлення покриття, яке здійснюють з метою:

- перетворення губчастої поверхні покриття у блискучу гладку;
- захисту бокових стінок провідників від корозії, особливо коли суміжні провідники різнополярні;
- покращення здатності до паяння, особливо після тривалого зберігання;
- усунення напливів металу на краях провідників;
- виключення можливості росту ниткоподібних кристалів в умовах тривалого зберігання та експлуатації;
- зниження на 15...20 °С температури припою при автоматизованій пайці;
- додаткового контролю якості струмопровідного рисунка, так як оплавлення є достатньо жорстким випробуванням.

У промисловості використовують два способи оплавлення покриття сплавом ПОС–61.

**Оплавлення занурюванням у рідкий теплоносій.** Як теплоносій використовують такі речовини, як Лапрол, олігоефір ОЖ–1, масло ТП–22 (негорючі рідини, стійкі в діапазоні температур 220...240 °С. Оплавлення

покриття здійснюють при температурі  $230 \pm 10$  °С в автоматичних установках конвеєрного типу, які мають модульну конструкцію. У окремих модулях установки виконують такі операції: флюсування; оплавлення занурюванням у теплоносій; видалення теплоносія стіканням; промивка в гарячій воді; промивка в гарячій воді з додатком синтетичних мийних засобів; промивання в гарячій воді; висушування плат гарячим повітрям.

**Оплавлення під дією інфрачервоних променів**, як і при оплавленні в рідких теплоносіях, здійснюють в автоматичних установках конвеєрного типу, які також мають модульну конструкцію. У модулях установки виконують такі операції: флюсування; підсушування флюсу; оплавлення під дією інфрачервоних променів; відмивання флюсу гарячою водою; висушування плат гарячим повітрям. В якості флюсу найчастіше використовують розчин складу (% мас.):

олеїнова кислота	20;
етиловий спирт	35;
продукт ОС–20	40.

Для зміни тривалості оплавлення плат різної товщини в установках передбачена зміна швидкості конвеєра. Так, для плат товщиною 1,0 мм швидкість конвеєра 1,2...1,3 м/хв., а для плат товщиною 2,0 мм – 1,0...1,1 м/хв.

### **Видалення покриття сплавом ПОС–61 із друкованих роз’ємів плат**

Так як на поверхню роз’ємів наносять дорогоцінні метали, то попередньо із контактів необхідно видалити покриття сплавом. Для видалення сплаву у промисловості використовують три наступні способи:

1. **Механічний** – покриття видаляють за допомогою гумово–абразивних кругів;
2. **Хімічний** – покриття розчиняють у розчині такого складу:

борфтористоводнева кислота	330 мл/л;
----------------------------	-----------

пероксид водню	70 мл/л;
температура розчину	18...25 °С.

Інший склад розчину:

Азотна кислота	400...500 мл/л;
мідь борфториста	5...10 г/л;
ОС–20	2...5 г/л.

Процес триває 3–5 хв. Для захисту рисунку використовувати клейку стрічку.

**3. Електрохімічний** – покриття знімають шляхом анодного розчинення в електроліті, що містить:

кремнійфтористоводневу кислоту (45%)	400 мл/л;
нітрат амонію	15 г/л.

Як матеріал катода використовують нержавіючу сталь.

Розчини для стравлювання сплаву олово–свинець не корегуються, а замінюються повністю, коли концентрація стравлюваних металів перевищує 120...150 г/л.

#### **4.4. Гальванічне нанесення олова**

Останнім часом у промисловості набули широкого поширення технології виготовлення друкованих плат з використанням паяльної маски, яка наноситься безпосередньо на мідні друковані провідники і захищає їх від дії навколишнього середовища. У таких технологіях металорезист лише захищає струмопровідний рисунок від дії травильного розчину і потім видаляється. У зв'язку з тим, що такий поширений металорезист, як сплав ПОС–61, містить шкідливий свинець, у нових технологіях його замінили на олово, яке наноситься гальванічним способом [8].

До електролітів для гальванічного нанесення олова на друковані плати ставлять такі вимоги:

- висока розсіювальна здатність;



- робоча температура в межах 18...25 °С;
- простота в приготуванні і експлуатації;
- вихід за струмом близький до 100 %;
- невелика вартість і доступність компонентів електроліту.

Виходячи з вищенаведених вимог, можна рекомендувати такі електроліти.

1. **Сульфатний електроліт** містить (г/л):

Сульфат олова	40...60;
Сульфатну кислоту	50...80;
Сульфат натрію	30...50;
Препарат ОС–20	2...5;

Електроліз проводять при температурі електроліту 18...25 °С і катодній густині струму 1...2 А/дм<sup>2</sup>.

2. **Фторборатний електроліт** містить (г/л):

Фторборат олова	180...200;
Кислоту борфторводневу	45...60;
Кислоту борну	25...30;
Інгібітор И1–Е	2...3;

При активному перемішуванні електроліту процес можна проводити при катодній густині струму до 10 А/дм<sup>2</sup>, температура електроліту 18...35 °С.

Високими експлуатаційними характеристиками відрізняється сульфатний електроліт олов'янування, який містить добавки, розроблені фірмою «Atotech» (Німеччина) і має такий склад (г/л):

Сульфат олова (метал)	20;
Сульфатна кислота	175;
Добавка Sulfoteach port A	40 мл/л;
Добавка STN Zusatz	40 мл/л.
Температура	15...28 °С
Катодна густина струму	1...2 А/дм <sup>2</sup>
Вихід за струмом	≈ 100 %.

Аноди розчинні із олова чистоти 99,9 %. Електроліт відрізняється високою розсіювальною здатністю, простотою обслуговування і все більше використовується в промисловості.

На роботу зазначеного електроліту впливають, як концентрація складових електроліту, так і забруднення його продуктами вилуговування фоторезисту.

#### ***Вплив органічних складових.***

- 1) Добавка Sulfoteach port A: оптимальна концентрація 40 мл/л. Добавка знижує поверхневий натяг і сприяє утворенню дрібнокристалічної структури осаджуваних покриттів. Зменшення концентрації добавки знижує робочу густину струму.
- 2) Добавка STH Zusatz: оптимальна концентрація 40 мл/л. Добавка покращує покривну здатність електроліту. Коли концентрація цієї добавки низька, то в області низьких значень густини струму осадження покриття не відбувається.

Проблеми з покриттям можуть виникнути після обробки електроліту активованим вугіллям.

#### ***Вплив неорганічних складових.***

- 1) Іони олова. Мала кількість іонів олова (менш 15 г/л) знижує використовувану густину струму і спричиняє підгар в області високих значень густини струму. Надлишок іонів олова знижує розсіювальну здатність електроліту.
- 2) Сульфатна кислота. Надлишок чи недостача сульфатної кислоти не впливають на якість осаджуваного покриття.
- 3) Забруднення фоторезистом. Високий вміст органічних домішок за рахунок вилуговування фоторезисту призводить до утворення темних і шорстких покриттів в області високих і середніх густин струму.

- 4) Забруднення хлоридами. При накопичуванні в електроліті хлорид-іонів (вище 180 мг/л) осадження покриття припиняється в області низьких густин струму.

#### ***Видалення олов'яного покриття.***

Видалення олов'яного покриття із струмопровідного рисунка після травлення міді здійснюють хімічним способом, використовуючи розчин такого складу:

соляна кислота ( $d = 1,18 \text{ кг/м}^2$ )	20 ... 40 мл/л;
кислота оцтова (80 %)	100...120 мл/л;
залізо хлорне	160...180 г/л;
кислота оксалатна	50 ... 70 г/л.

### **4.5. Гальванічні покриття роз'ємів друкованих плат**

У виробництві ДП покриття дорогоцінними металами наносять на друковані роз'єми плат, а золото та срібло також наносять на струмопровідний рисунок як металорезист і функціональне покриття при виготовленні плат спеціального призначення [6, 7].

Кінцеві друковані роз'єми призначені для електричного з'єднання блоків на друкованих платах за допомогою з'єднувальних колодок. Для забезпечення надійного електричного з'єднання покриття на роз'ємах повинні відповідати таким вимогам:

- мінімальний перехідний опір;
- добра зносостійкість;
- відсутність будь-яких плівок, які погіршують контактне з'єднання.

Таким вимогам відповідають покриття з деяких дорогоцінних металів.

### Гальванічне нанесення золотих покриттів

Найбільш вищенаведеним вимогам відповідають покриття із так званого «твердого» золота (золото, леговане 0,6 % кобальтом або нікелем) товщиною 2,5 мкм. Золоті покриття за вимогою стандарту наносять по підшару нікелю товщиною 6...9 мкм, при цьому нікелеве покриття не повинно мати внутрішніх напружень. Підшар нікелю використовується з метою підвищення зносостійкості шару золота внаслідок підвищення твердості підкладки. Крім того, підшар нікелю покращує корозійну стійкість міді за рахунок гальмування її окиснення через пори золотого покриття, а також перешкоджає дифузії міді в золоте покриття і цим забезпечує сталість величини перехідного опору в процесі тривалої експлуатації та зберігання позолочених контактів. У деяких випадках як підшар використовують покриття сплавом олово – нікель.

У виробництві друкованих плат в основному використовують кислі електроліти позолочення, які не містять вільного ціаніду. Найбільш поширеними є три електроліти, які мають такий склад, (г/л):

#### Електроліт №1:

калію диціаноаурат	11,7...14,6;
кислота лимонна	70...80;
сульфамат нікелю	5...6;
нікелю сульфат	4,3...5,2;
калію гідроксид до рН	4,0...4,5.

#### Режим електролізу:

Температура	18...25 °С.
Катодна густина струму	0,3...0,5 А/дм <sup>2</sup> .

#### Електроліт №2:

калію диціаноаурат	11,7...14,6;
кислота лимонна	80...100;

кобальту сульфат, 7–водний	2,3...3,5;
калію гідроксид до рН	3,8...4,2.

Режим електролізу:

Температура	30...40 °С,
Катодна густина струму	0,4...0,6 А/дм <sup>2</sup> .

Електроліт №3:

калію диціанаурат	11,7...17,5;
кислота лимонна	50...80;
кобальту сульфат, 7–водний	1,8...4,6;
нікелю сульфат	1,9...4,8;
калію гідроксид до рН	3,8...4,2;

Режим електролізу:

Температура	30...40 °С.
Катодна густина струму	0,7...0,9 А/дм <sup>2</sup> .

В усіх електролітах використовують нерозчинні аноди із платинованого титану. Після нанесення золотого покриття плати промивають у трьох ваннах – збірниках, розташованих послідовно.

Нанесення *нікелевого підшару* на друковані плати здійснюють із сульфатного електроліту такого складу, (г/л):

нікелю сульфат	200;
магнію сульфат	60;
натрію сульфат	70;
кислота борна	30;
натрій хлористий	5;
натрій лаурилсульфат	1.

Режим електролізу:

Температура	18...25 °С,
Катодна густина струму	1 А/дм <sup>2</sup> .

### Аноди нікелеві.

Електроліт для нанесення підшару сплавом олово–нікель має такі компонентний склад, (г/л):

нікель (в перерахунку на метал)	60...70;
олово (в перерахунку на метал)	23...26;
амоній фтористий	65...70;
амоній хлористий	50...70;
pH	3,5...4,0.

Режим електролізу:

Температура електроліту	52...57 °С,
Катодна густина струму	20...2,5 А/дм <sup>2</sup> .

Для приготування електроліту використовують двохлористе олово і хлористий нікель. Для нанесення сплаву використовують нікелеві аноди. Можна також застосовувати аноди із термічного сплаву. Сплав містить 65 % олова і 35 % нікелю. Характерною особливістю даного сплаву є стабільність його складу в широкому інтервалі концентрації компонентів електроліту.

### Гальванічне нанесення паладієвих покриттів

Паладій характеризується доброю зносостійкістю і має більш низьку вартість ніж золото. Товщина шару паладію складає 2,5...6 мкм. В процесі експлуатації, на поверхні паладію, внаслідок його каталітичної активності, утворюються полімерні плівки із органічних продуктів, які знаходяться в повітрі. Ці плівки можуть порушувати контактне з'єднання. Тому покриття роз'ємів плат паладієм дозволяється використовувати в умовах добре вентильованої апаратури.

Для паладіювання використовують електроліт такого складу, (г/л):

паладій хлористий	18...25;
амоній хлористий	15;

малеїновий ангідрид	0,15;
гідроксид амонію (25%)	2...5 мл/дм <sup>3</sup> .

Режим електролізу:

Температура електроліту	18...25 °С,
Катодна густина струму	0,8...1,0 А/дм <sup>2</sup> .
Аноди нерозчинні із платинованого титану.	

Паладієві покриття також наносяться по нікелевому підшару.

### Гальванічне нанесення срібних покриттів

Срібло є самим дешевим із дорогоцінних металів, забезпечує саму високу електропровідність, але має ряд недоліків:

- має малу зносостійкість;
- легко кородує під дією корозійних агентів;
- швидко темніє під дією сірководню.

Срібні покриття рекомендуються для маловідповідальних систем, у яких контактна пара експлуатується в легких умовах за відсутністю сірчистих сполук у повітрі. Товщина покриття складає 6...9 мкм. Срібні покриття заборонено використовувати при виготовленні багат шарових друкованих плат та плат, які використовуються в обладнанні спеціального призначення.

Для нанесення срібних покриттів використовують електроліт на основі диціанаргентату калію, який не містить вільний ціанід і має такий склад (г/л):

диціанаргентат калію (мет)	40...50;
калій роданистий	200...250;
карбонат калію	20...30.

Режим електролізу:

Температура електроліту	18...25 °С;
Катодна густина струму	0,8...1,5 А/дм <sup>2</sup> .

Аноди розчинні, срібні.

В останні роки на НВП «ЕКОМЕТ» була розроблена серія досить ефективних композиційних домішок для отримання якісних, зі заданими властивостями, гальванічних покриттів із більшості металів та сплавів, що використовуються в різних галузях промисловості, під загальною назвою «ЕКОМЕТ– NNN».

#### **4.6. Обладнання для нанесення гальванічних покриттів на роз'єми друкованих плат**

Гальванічна ванна має невелику висоту, обладнана донним анодом та зливним карманом, який дозволяє підтримувати сталим рівень електроліту. Плати попередньо закріплюють у спеціальну касету і потім завантажують у ванну.

На друкованих платах для підведення струму до роз'ємів передбачають друковану шину, поверхню якої попередньо ізолюють. Частина струмопровідного рисунка вище друкованих роз'ємів ізолюють смужкою із клеєвої композиції, яку наносять методом трафаретного друку. Ця смужка захищає рисунок від шкідливої дії електроліту. Потім захисну смужку та друковану шину видаляють.

#### **Завдання для самоконтролю**

1. Гальванічні процеси у виробництві друкованих плат.
2. Гальванічне міднення у виробництві друкованих плат.
3. Гальванічні покриття золотом у виробництві друкованих плат.
4. Гальванічне паладіювання у виробництві друкованих плат.
5. Гальванічне сріблення у виробництві друкованих плат.
6. Гальванічне нікелювання у виробництві друкованих плат.



7. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів у виробництві плат друкованого монтажу.
8. Знешкодження відпрацьованих електролітів для нанесення сплаву олово-свинець.
9. Устаткування для оплавлення сплаву олово–свинець на друкованих платах.
10. Травлення міді із пробільних місць друкованих плат.
11. Фторборатний електроліт для нанесення сплаву олово–свинець на друковані плати.
12. Устаткування для нанесення сплаву олово–свинець на друковані плати гарячим способом.
13. Пірофосфатний електроліт міднення друкованих плат.
14. Оплавлення сплаву олово–свинець у виробництві друкованих плат.
15. Основні компоненти розчинів хімічного міднення і їх призначення.
16. Порівняльна характеристика електролітів для гальванічного нанесення сплаву олово–свинець на друковані плати.
17. Фторборатні електроліти міднення друкованих плат.
18. Гальванічне нанесення блискучих покриттів сплавом олово–свинець.
19. Сульфатні електроліти міднення друкованих плат.

## РОЗДІЛ 5

### ВИДИ ЗАХИСНИХ НЕМЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ

Під неметалевими покриттями розуміють покриття виробів тонкими шарами неметалевих речовин, які забезпечують захист від дії навколишнього середовища і надають їм декоративний вигляд.

Неметалеві покриття можуть бути поділені на дві основні групи: органічні і неорганічні покриття. До органічних відносяться лакофарбові покриття, а також гумові та полімерні покриття. Неорганічні неметалеві покриття – це отримані на поверхні металів неорганічні сполуки: фосфати, оксиди та ін., або ж покриття на основі силікатних емалей [16 – 18].

При позначенні в конструкторській документації покриття поділяються в залежності від сукупності двох чи більше ознак:

- спосіб отримання покриття;
- матеріал покриття;
- фізико механічні властивості покриття;
- декоративні властивості покриття;
- вид додаткової обробки покриття.

Запис позначення покриття (за ГОСТ 9.073–77, ГОСТ 9.306–85) складається з п'яти розрядів:

1   2   3   4   5 .

#### 1 Спосіб отримання покриття:

Катодне відновлення	–;
Анодне окислення	Ан;
Хімічний	Хім;
Гарячий	Гор;

Дифузійний	Диф;
Металізаційний	Мет;
Конденсаційний	Кон;
Контактний	Кт;
Контактно–механічний	Км;
Впалювання	Вж;
Катодне розпилення	Кр;
Термічне розкладання	Тр;
Плакування	Пк.

Спосіб отримання гальванічного двошарового покриття з термічною обробкою для утворення дифузійного шару позначають ГТ (гальвано–термічний спосіб).

Спосіб отримання покриттів, що забарвлюються в процесі анодного окислення алюмінію, позначають «Аноцвет» та вказують колір покриття.

Хімічний спосіб отримання оксидних покриттів на міді та її сплавах, корозійно–стійких сталях, вуглецевих, низько– та середньолегованих сталях з кислих розчинів позначають Хім.Пас.

**2 Матеріал покриття.** Матеріал покриття, що складається з одного металу, позначають символами у вигляді одної чи двох літер, що входять в назву відповідного металу. Наприклад позначення є такими: А – алюміній; Кд – кадмій; Ср – срібло.

В позначенні композиційного покриття вказують метал покриття та в дужках символ елемента чи формулу хімічної сполуки, яка включається у фазу металу, наприклад, нікель з оксидом алюмінію –  $N(Al_2O_3)$ .

Матеріал неметалевих неорганічних покриттів позначають скороченою назвою основних хімічних сполук, які входять до складу покриття:

Оксиди	Окс;
Оксиди–хромати	Окс Хром;
Оксиди–фториди	Окс Фтор;
Фосфати	Фос;
Фосфати–фториди	Фос Фтор;
Фториди–хромати–фосфати	Фтор Хром Фос.

За необхідності позначають електроліт, з якого отримано покриття.

Оксидне покриття на алюмінії та його сплавах:

– з електроліту на основі хромового ангідриду	окс хром;
– з електроліту, що містить сульфатну, сульфосаліцилатну та оксалатну кислоти	окс сщс;
– з електроліту, що містить оксалатну кислоту, солі титану, цирконію або талію, або з електроліту, що містить хромовий ангідрид та боратну кислоту	окс ент;
– з електроліту, що містить хромовий ангідрид та фториди	окс фтор;
– з електроліту, що містить хромовий ангідрид, фосфатну кислоту та фториди	окс фос фтор;
– фосфатне покриття на вуглецевих, низько– та середньолегованих сталях та чавуні, з розчинів, що містять нітрат барію	окс фос.

### 3 Товщина покриття в мікрометрах.

4 Умовні позначення що характеризують фізико-механічні та декоративні властивості покриттів є наступними:

Мікропувате	пор;
Молочне	мол;
Тверде	тв;

Електроізоляційне	еіз;
Електропровідне	е;
Дзеркальне	зк;
Блискуче	б;
Напівблискуче	нб;
Матове	м;
Гладеньке	гл;
Шорстке	ш;
Катодне розпилення	кр;
Термічне розкладання	тр;
Плакування	пк.

#### **5 Вид додаткової обробки покриття:**

Гідрофобізування	гфж;
Наповнення у воді	нв;
Наповнення у розчині хроматів	нхр;
Нанесення лакофарбового покриття	лфп;
Оксидування	окс;
Оплавлення	опл;
Просочення (лаком, клеєм, емульсією та ін.)	прп;
Просочення мастилом	прм;
Термообробка	т;
Тонування	тн;
Фосфатування	Фос.

Хімічне фарбування, в тому числі наповнення наповнення в розчині барвника	Назва кольору;
Електрохімічне фарбування	ел. Назва кольору;
Хроматування	Хр.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Види неметалевих неорганічних покриттів.
2. Позначення способу отримання покриття в конструкторській документації.
3. Позначення матеріалу неметалевого неорганічного покриття в конструкторській документації.
4. Умовне позначення ознак, що характеризують фізико–механічні та декоративні властивості покриття, в конструкторській документації.
5. Умовне позначення виду додаткової обробки покриття в конструкторській документації.

## РОЗДІЛ 6

### ОКСИДУВАННЯ АЛЮМІНІЮ

Алюміній знаходить широке застосування в авіаційній, автомобілебудівній, хімічній промисловості, у будівництві, при виготовлення товарів широкого вжитку. Таке широке поширення алюмінію в промисловості стало можливим завдяки розробці надійних методів захисту його від корозії.

У природних умовах алюміній, маючи електронегативний потенціал, легко утворює з киснем повітря оксидну плівку товщиною 0,02...0,1 мкм. Однак, через малу товщину, поруватість, низьку механічну міцність ця плівка не в змозі забезпечити надійний захист алюмінію від корозії. Через це у промисловості застосовують такі методи захисту алюмінію від корозії: електрохімічне та хімічне оксидування, нанесення гальванопокриттів, нанесення лакофарбових покриттів. Найбільшого поширення набуло електрохімічне та хімічне оксидування.

**Оксидування** [16, 19] – це процес отримання на алюмінії оксидних плівок внаслідок електрохімічної або хімічної обробки.

#### **6.1. Порівняльна характеристика способів оксидування алюмінію**

*Хімічне оксидування* здійснюється шляхом занурювання виробів із підготовленою поверхнею у відповідні розчини. Отримані цим способом плівки мають малу товщину (0,5...4 мкм) і низьку механічну міцність.

Розчини для хімічного оксидування поділяються на 4 групи:

1. Слаболужний розчини на основі хромового ангідриду містить (г/л):

$\text{CrO}_3$             3...4;

$\text{Na}_2\text{SiF}_6$         3...5;

температура розчину 20...25 °С, тривалість процесу 5...20 хв.

Плівки, що утворюються в цьому розчині, мають товщину 2...3 мкм, невелику міцність, руйнуються під дією гарячої води.

2. Фосфатний розчини містить (г/л):

$\text{H}_3\text{PO}_4$  40...60;

$\text{CrO}_3$  5...10;

$\text{HF}$  3–5 г/л;

температура розчину 20...25 °С, тривалість процесу 5...20 хв.

Утворювані плівки мають більшу механічну міцність і кращі, ніж у плівок, що утворюються в хроматному розчині, електроізоляційні властивості, тому використовуються як ґрунт перед нанесенням лакофарбових покриттів (ЛФП).

3. Розбавлений розчини, що містить  $\text{CrO}_3$  і  $\text{F}^-$  (г/л):

$\text{CrO}_3$  5...8;

$\text{NH}_4\text{HF}$  1,5...2,0;

$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  0,5...3,0;

температура розчину 15...25 °С, тривалість процесу 5...20 хв.

Отримують тонкі, але щільні плівки, які мають значну електропровідність. Їх називають умовно струмопровідними і використовують для захисту виробів, на поверхні яких не допускається наявність електроізолюючого шару.

4. Карбонатно–хроматний розчин містить (г/л):

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  40...60;

$\text{Na}_2\text{CrO}_4$  10...20;

$\text{NaOH}$  2...3;

температура розчину 80...100 °С, тривалість процесу 3...10 хв.

Переваги хімічного оксидування: простота обладнання, мала тривалість процесу, відсутність витрат електроенергії, можна обробляти багато деталей за одне завантаження, невелика собівартість покриття.



Недоліки хімічного оксидування: мала товщина плівки та невелика механічна міцність, невисокі захисні властивості плівки.

Хімічне оксидування має обмежене застосування і використовується, в основному, для нанесення підшару при фарбуванні алюмінієвих виробів.

**Електрохімічне оксидування (анодування)** – це отримання на поверхні алюмінієвих виробів оксидних плівок під дією електричного струму. При анодуванні можна отримати плівки з наперед завданими властивостями. Шляхом анодування отримують захисні, захисно-декоративні, тверді електроізоляційні плівки, а також спеціальні плівки, що використовуються як підшар перед нанесенням гальванопокриттів. Конкретні властивості плівки обумовлені складом електроліту і режимом електролізу.

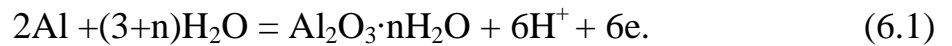
Класифікація анодних плівок в залежності від їх подальшого використання:

- тонкі бар'єрні плівки товщиною 0,1...1 мкм. Використовуються для виготовлення електроізоляційних матеріалів (покриттів);
- анодні плівки середньої товщини 1...50 мкм. Використовуються для захисту виробів від корозії та для їх декоративної обробки;
- товсті анодні плівки 50...300 мкм. Застосовуються для захисту поверхні від зносу та стирання, для теплоізоляції, електроізоляції виробів.

Все це можна віднести до переваг електрохімічного оксидування. Однак, електрохімічне оксидування вимагає спеціального обладнання і пристроїв, джерел електропостачання, точного дотримання режиму електролізу. Це ускладнює процес анодування і робить його дорогим. Однак, надзвичайно висока якість анодних плівок забезпечує надзвичайно широке використання цього процесу в промисловості.

## 6.2. Механізм утворення анодних плівок на алюмінії

Алюміній належить до металів, які легко пасивуються. При анодуванні алюміній у більшості розчинів кислот і нейтральних електролітів легко покривається тонким щільним шаром гідроксидних сполук алюмінію нестехіометричного складу  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ :



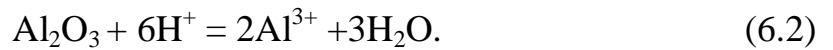
Кисень у вигляді іонів проникає через плівку і викликає подальше окислення металу [16]. З ростом товщини плівки проникнення кисню через пори ускладнюється, через це їм потрібно надавати все більшу енергію шляхом підвищення напруги на ванні. Щільний шар плівки, що утворюється, має товщину  $\approx 0,1$  мкм і називається *бар'єрним*. Якщо не збільшувати напруги на ванні, то ріст плівки припиняється.

Подальший хід процесу оксидування залежить від здатності електроліту розчиняти  $Al_2O_3$ .

Якщо плівка в електроліті не розчиняється (розчини  $H_3BO_3$ , нітратів, хроматів та ін.), то електроліз припиняється як тільки товщина плівки досягне межі, яка відповідає прикладеній напрузі. Товщина таких плівок складає 1...2 мкм, вони мало поруваті, мають високий електричний опір і використовуються у виробництві електролітичних конденсаторів.

Коли ж електроліт здатний розчиняти  $Al_2O_3$ , то подальше зростання товщини плівки буде залежати від співвідношення двох паралельних процесів, які будуть перебігати на аноді:

- а) електрохімічне окислення алюмінію біля основи пори іонами кисню, які проникають через пори плівки;
- б) хімічне розчинення плівки  $Al_2O_3$  за реакцією:



Зростання товщини плівки буде відбуватися в тому разі, коли швидкість її розчинення буде нижчою, ніж швидкість утворення. На початку анодування швидкість процесу окиснення буде більшою, ніж швидкість розчинення, але з часом плівка з боку електроліту стає все більш поруватою і більш пухкою, площа контакту плівки з електролітом зростає і це збільшує швидкість її розчинення. У деякий момент швидкості утворення і розчинення оксиду стають однаковими і ріст плівки припиняється. Чим вища розчинювальна здатність електроліту, тим менша товщина отримуваної плівки.

Здатність електроліту розчиняти оксидну плівку залежить від природи кислоти, її концентрації, температури та інших чинників. Підбираючи ці чинники, можна регулювати товщину плівки та її поруватість. Наприклад, у одному і тому ж розчині  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $t < 0^\circ\text{C}$  можна отримати плівки товщиною 100...300 мкм, а при температура розчину 18...25  $^\circ\text{C}$  – плівки товщиною 20 мкм. Товщина бар'єрного шару плівки при цьому не змінюється.

***Товщина оксидних плівок залежить також від хімічного складу та структури алюмінієвих сплавів.*** Можна відзначити такі основні закономірності: чистий алюміній анодується краще, ніж сплави; чим більше легуючих добавок у сплаві, тим важче отримати товсті плівки; сплави, які містять кремній, не піддаються декоративному оксидуванню, оскільки кремній не анодується в і залишається в плівці у вигляді сіро-чорного порошку; Mg, Fe, Mn, Cu знаходяться у сплавах у вигляді інтерметалевих сполук. Ці сполуки розчиняються швидше, ніж Al і оксидні покриття на таких сплавах будуть шорсткими.

Властивості оксидних плівок визначаються їх товщиною, поруватістю та наявністю домішок. Так, твердість і зносостійкість плівок тим вищі, чим

менша поруватість. Наявність домішок знижує твердість покриття. Адсорбційна здатність вища у поруватих плівок, вони добре забарвлюються. Діелектричні властивості оксидних плівок залежать від їх товщини та способу отримання.

### **6.3. Позначення оксидних покриттів у конструкторській та технологічній документації**

Вказують спосіб отримання, матеріал покриття, ознаки, які характеризують фізико–механічні та декоративні властивості покриття, вид додаткової обробки. Позначення складається із 5 розрядів: 1; 2; 3; 4; 5. У кожному із розрядів зазначають таке.

1 – *спосіб отримання плівки.* – АН–анодування: АНОЦВЕТ – оксид набуває забарвлення безпосередньо під час анодування.

2 – *матеріал плівки:* «ОКС».

3 – *інколи зазначають тип використовуваного електроліту* таким чином: «хром» –  $\text{CrO}_3$ ; «бор» –  $\text{CrO}_3 + \text{H}_3\text{BO}_3$ ; «фтор» –  $\text{CrO}_3 + \text{F}^-$ ; «СЩС» – суміш сірчаної, щавлевої та сульфонованої кислоти. Інколи в цьому розряді зазначають товщину плівки в мкм.

4 – *фізико–механічні властивості плівки (покриття):* «пор» – мікропоувате; «мол» – молочне; «тв» – тверде; «із» – електроізоляційне; «тп» – струмопровідне.

5 – *види додаткової обробки:* «гфж» – гідрофобізовані; «нв» – наповнення водою; «нхр» – наповнення хроматами; «прм» – просочування маслом; «прп» – просочування лаком; « / лкп» – лакофарбові покриття.

Приклади позначення: Ан.окс.із/лкп; Ан.окс.зо.тв.прм; ан.окс.нхр; АНОЦВЕТ зелений; Ан.окс.фтор / лкп.

#### 6.4. Електроліти для оксидування алюмінію

Електролітичне оксидування алюмінію здійснюють у водних та неводних розчинах окремих органічних і неорганічних сполук та їх сумішей. Найчастіше в промисловості використовують такі електроліти.

**Сульфатний електроліт** – найбільш агресивний по відношенню до оксидної плівки, отримувани плівки мають високу адсорбційну здатність, стійкі до корозії. Можна анодувати майже всі види сплавів і, в залежності від режиму електролізу, отримувати плівки різних типів. найдешевший із усіх електролітів.

**Ортофосфатний електроліт** – дозволяє отримувати поруваті покриття із значним діаметром пор. Такі покриття використовуються як підшар для наступного нанесення гальванічних покриттів на алюмінієві деталі. У промисловості найбільшого поширення набули перші три електроліти.

**Хроматний електроліт** – менш агресивний і призначений для отримання антикорозійних покриттів на деталях складної конфігурації. Плівки мають підвищену корозійну стійкість і не вимагають подальшої обробки. Покриття еластичні і мають підвищений електричний опір.

**Оксалатний електроліт** – має слабку розчинювальну здатність. Призначений для отримання електроізоляційних та зносостійких плівок. Анодування вимагає значної напруги та порівняно великого часу обробки деталей.

**Сульфосаліцилатний електроліт.** З цього електроліту отримують щільні тонкі плівки з високими діелектричними властивостями. Плівки відзначаються захисними властивостями, зносостійкістю і твердістю. У процесі електролізу плівки забарвлюються у сіро–чорний або коричнево–бронзовий кольори. Цей електроліт має найбільшу вартість.

## Електрохімічне оксидування алюмінію в сульфатних електролітах

Сульфатні електроліти найбільш широко застосовуються у промисловості завдяки дешевизні та низькій робочій напрузі на ванні. Покриття на алюмінії та деяких його сплавах, отримані з цих електролітів, прозорі або напівпрозорі, мають достатню поруватість, високі захисні властивості, достатню твердість і жароміцність, не відшаровуються від основи. Плівки легко фарбуються органічними та неорганічними барвниками. Сульфатні електроліти мають високу розчинювальну здатність, через це їх не можна використовувати для анодування деталей, які мають зварні або клепані шви, складну конфігурацію або вузькі щілини. На таких деталях у разі їх недостатнього промивання можлива корозія поверхні.

Для зменшення розтравлювальної дії сульфатної кислоти використовують такі заходи:

- а) в електроліт додають 10...20 г/л оксалатної кислоти;
- б) електроліт перемішують стисненим повітрям;
- в) електроліт охолоджують до температури 18...24 °С. Для охолодження використовують занурювані змієвики із титану чи нержавіючої сталі і холодильні установки різних типів. Температура електроліту є дуже важливим фактором. З ростом температури від 20 до 50 °С товщина покриття зменшується в 10 разів. З пониженням температури електроліту та вмісту сірчаної кислоти оксидні покриття стають менш поруватими та більш твердими. Із ростом концентрації сірчаної кислоти товщина плівки зростає повільніше, оскільки кислота швидко її розчиняє. Поруватість плівки при цьому збільшується.

Склад стандартного сульфатного електроліту:

$\text{H}_2\text{SO}_4$  180...200 г/л.

Стандартний режим анодування: анодна густина струму 0,5...2 А/дм<sup>2</sup>; напруга на ванні приблизно 24 В; температура розчину 15...25 °С; тривалість процесу 15...80 хв.

Товщина оксидної плівки складає 15...25 мкм (залежить від марки сплаву і режиму електролізу).

Режим електролізу залежить від марки сплаву, який анодують.

Наприклад:

- сплави АМ<sub>Г</sub>, АМ<sub>У</sub> температура розчину 15...23 °С, анодна густина струму 1,0...1,5 А/дм<sup>2</sup>, U = 12...18 В, тривалість процесу 30...40 хв;
- сплави Д16 – анодна густина струму 1,5...2,0 А/дм<sup>2</sup>, температура розчину 16...25 °С, U = 17...20 В, тривалість процесу 40...60 хв;
- сплави з добавками кремнію – анодна густина струму 2,0 А/дм<sup>2</sup>, U = 28 В, тривалість процесу 50...80 хв.

Матеріал катодів – свинець, сталь 12х18Н10Т або алюміній А00. Відношення площ анода та катода складає  $S_a : S_k = 1:1$  до  $1:5$ . **Шкідливими домішками** до електроліту є іони СГ (викликає пітінг),  $Al^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $F^-$ ,  $NO_3^-$ . Коли вміст іонів  $Al^{3+}$  перевищує 25 г/л, електроліт замінюють на новий.

Недоліки сульфатного електроліту:

- необхідність охолодження електроліту;
- необхідність застосування кислотостійкої футеровки ван;
- не можна обробляти деталі із швами, щілинами та із складною конфігурацією;
- розтравлювання деталей в електроліті в разі вимикання струму.

### **Анодування алюмінію в хроматних електролітах**

Електроліти рекомендуються для обробки таких деталей:

- що мають клепані та зварні шви;
- мають точні розміри;
- мають складну конфігурацію;
- виготовлені із ливарних сплавів, що містять добавки кремнію.

Отримувані покриття мають малу поруватість, добре зберігають блиск поверхні, мають високі захисні властивості і є більш еластичними, ніж покриття, отримані із сірчаноокислого електроліту. Практично не змінюються розміри оброблюваних деталей. Анодування не зменшує міцність швів.

Недоліки електроліту: покриття мають невелику товщину (2...5 мкм), важко фарбуються в барвниках, мають пониженоу зносостійкість та мікротвердість.

Склад електроліту:

CrO<sub>3</sub> 30...100 г/л.

Режим електролізу: анодна густина струму 3 А/дм<sup>2</sup>; напруга на ванні 40...50 В; тривалість процесу 30...80 хв.

Особливістю електроліту є нижчі електропровідність і розчинювальна здатність електроліту, тому електроліз ведуть за більш високої температури і напруги. *Шкідливими домішками* є іони Cl<sup>-</sup> з концентрацією вище 0,03 г/л та SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – вище 0,5 г/л. Для видалення SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> в електроліт додають BaCO<sub>3</sub>, потім утворений осад декантують.

Матеріалом катодів є Al марки А0, сталь 12Х18Н10Т або графіт.

Під час електролізу на катоді перебігає побічний процес:



що призводить до зменшення вмісту CrO<sub>3</sub> в електроліті. Для регенерації розчину електроліт пророблюють із свинцевими анодами і стальними катодами при  $i_a = 0,2...0,3$  А/дм<sup>2</sup>. Для попередження утворення Cr<sup>3+</sup> збільшують частку площі катода ( $S_k : S_a = 5:1$ ). Контроль вмісту CrO<sub>3</sub> в електроліті здійснюють вимірюючи рН електроліту (величина рН залежить від вмісту CrO<sub>3</sub> в електроліті).

Недоліки хроматного електроліту:

– екологічна небезпечність та порівняно висока вартість;



- необхідні джерела постійного струму з порівняно високою напругою;
- тривала витримка деталей в електроліті;
- складний контроль вмісту  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  в електроліті.

### **Анодування алюмінію в оксалатних електролітах**

Оксалатна (щавелева) кислота має слабку розтравлюючу дію на плівку  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Товщина оксидного покриття майже пропорційна тривалості процесу електролізу. Електроліт рекомендується для отримання електроізоляційних покриттів, для анодування ливарних сплавів, зокрема з високим вмістом міді та кремнію (які не аноднуються в інших електролітах). За вартістю та енергетичними витратами оксалатний електроліт є найдорожчим із розглянутих електролітів.

Склад електроліту:

$(\text{COOH})_2$  40...100 г/л.

Режим електролізу: анодна густина струму 2,5...3,5 А/дм<sup>2</sup>; тривалість процесу 90...120 хв.

Оксалатний електроліт не охолоджують, оскільки розчинність оксалатної кислоти при зниженні температури різко зменшується, зростає електричний опір, збільшується формувальна напруга і може статися електричний пробій оксидної плівки. Вихід за струмом залежить від складу оброблюваного сплаву і може змінюватися від 65 % до 30 %. Матеріалом катодів є свинець, сталь 12Х18Н10Т, графіт. **Шкідливими домішками** в розчині є іони  $\text{Cl}^-$  з концентрацією вище 0,04 г/л і  $\text{Al}^{3+}$ . Після того, як вміст  $\text{Al}^{3+}$  складе 30 г/л, електроліт замінюють на новий.

Анодування в оксалатному електроліті має такі особливості: у процесі електролізу оксалатна кислота частково зв'язується іонами  $\text{Al}^{3+}$  і частково розкладається на електродах. Для коригування складу в електроліт додають 0,13...0,14 г кислоти на 1 А·год пропущеної електрики.

Безпосередньо в процесі анодування можна отримувати забарвлену плівку, колір якої залежить від режиму електролізу:

- сріблястий – анодна густина струму  $1,5 \text{ А/дм}^2$ ; температура розчину  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- жовтий (латунь) – анодна густина струму  $3 \text{ А/дм}^2$ ; температура розчину  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- коричневий (бронза) – анодна густина струму  $4...5 \text{ А/дм}^2$ ; температура розчину  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## **6.5. Нанесення анодних покриттів різного функціонального призначення**

### **Товстошарове або тверде анодування алюмінію та його сплавів**

Товстошарове оксидування [16] – це процес отримання оксидних плівок, які мають товщину не менше  $50 \text{ мкм}$ , високу твердість, зносостійкість, високі антифрикційні властивості. Часто товщина плівок, які використовуються у машинобудуванні, авіабудуванні, приладобудуванні, повинна бути не менше  $75 \text{ мкм}$ . Товстошарові плівки використовують для обробки шестерень, деталей двигунів, деталей текстильних машин, для збільшення жорсткості тонкостінних деталей. Термін служби оброблених таким чином деталей значно збільшується. Наприклад, зносостійкість шестерень збільшується в  $5...10$  разів.

Недоліки товстошарового анодування: утворення таких плівок призводить до значного зниження межі втомлюваності металу та погіршення чистоти поверхні.

#### ***Товстошарове анодування не рекомендується:***

- а) для виробів з товщиною стінки  $\leq 0,8 \text{ мм}$ ;
- б) для виробів, що мають клепані або зварені шви, або вузькі прорізи;
- в) для виробів, які мають різьбу з кроком  $< 1,5 \text{ мм}$ .

Необхідною умовою товстошарового анодування є зменшення розчинення оксидної плівки, що утворюється. Отримання твердих плівок

великої товщини також пов'язане з виділенням великої кількості тепла у зоні утворення осаду, що призводить до місцевого розігріву електроліту, розпушування осаду і травлення металу. Через це при твердому анодуванні обов'язково охолоджують електроліт, а у деяких випадках охолоджують і деталі. Застосовують також інтенсивне перемішування електроліту стисненим повітрям для запобігання місцевого перегріву.

Склад електроліту (г/л):

$\text{H}_2\text{SO}_4$             180...200;

$(\text{COOH})_2$             20...30.

Режими електролізу:

- температура розчину  $0 \dots - 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , анодна густина струму  $2,5 \dots 5 \text{ А/дм}^2$  – для отримання плівок товщиною  $\delta = 130 \dots 175 \text{ мкм}$ ;
- температура розчину  $0 \dots + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , анодна густина струму  $2,5 \dots 5 \text{ А/дм}^2$  – для більш тонких плівок.

Напруга на ванні має бути в межах  $120 \dots 200 \text{ В}$ .

Обов'язковою умовою є додержання теплового режиму процесу. Якщо товщина плівки  $\delta \leq 70 \text{ мкм}$ , то охолоджують тільки електроліт з обов'язковим його перемішуванням. Якщо товщина плівки  $\delta > 70 \text{ мкм}$ , то додатково охолоджують деталі (прокачують охолоджуючу рідину через порожнини деталей або охолоджують спеціальну підвіску, до якої жорстко прикріплюють деталі).

Для підтримування температурного режиму застосовують особливий режим електролізу – *режим постійної потужності*. Процес починають за більшої густини струму, потім вона зменшується, а напруга на ванні зростає, потужність при цьому залишається постійною. Величину потужності контролюють за допомогою ватметра.

Властивості і товщина твердих плівок у значній мірі залежить від складу алюмінієвих сплавів. Найбільш якісні плівки отримуються на чистому алюмінії та на його сплавах з магнієм. Найменш якісні – на сплавах Д1; Д16;

Д20 із вмістом міді більше 4,5%. Для таких сплавів рекомендується проводити електроліз із накладанням змінного струму на постійний при сумарній густині струму до  $10 \text{ А/дм}^2$  і співвідношенні густини постійного струму до змінного як 3 : 1. Такі ж заходи можна застосовувати і для твердого анодування силумінів.

### **Електроізоляційне анодування алюмінію та його сплавів**

До електроізоляційних відносять покриття, пробивна напруга яких складає 300 В і більше. Величина цієї напруги залежить від чистоти алюмінію, товщини плівки, складу електроліту і умов електролізу. Чим чистіший алюміній і більша товщина плівки, тим вища пробивна напруга. Вплив природи електроліту можна продемонструвати таким прикладом. Плівка товщиною 15 мкм, отримана в сірчанокиислому електроліті, має пробивну напругу 200 В, а плівка такої ж товщини із оксалатного електроліту – 450 В.

Склад електролітів і режими електролізу.

1. Сульфатний електроліт:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  180...200 г/л; температура розчину  $-8...-2 \text{ }^\circ\text{C}$ ; анодна густина струму  $2,5...5 \text{ А/дм}^2$ , товщина покриття  $\delta = 80...90 \text{ мкм}$ , тривалість процесу  $\tau = 90...180 \text{ хв}$ , напруга на ванні  $U \sim 70 \text{ В}$ ; катода свинцеві.

2. Оксалатний електроліт:  $(\text{COOH})_2$  30...40 г/л; температура розчину  $18...26 \text{ }^\circ\text{C}$ ; анодна густина струму  $1...2 \text{ А/дм}^2$ ,  $\delta = 10...60 \text{ мкм}$ ,  $\tau = 40...60 \text{ хв}$ ,  $U \sim 60 \text{ В}$ . катода свинцеві.

3. Сульфосаліциловий електроліт: сульфосаліцилова кислота 100 г/л; температура розчину  $20...45 \text{ }^\circ\text{C}$ ; анодна густина струму  $1 \text{ А/дм}^2$ ;  $\delta = 2 \text{ мкм}$ ,  $\tau = 20...40 \text{ хв}$ ,  $U \sim 60 \text{ В}$ ; катода – нержавіюча сталь.

Для усіх електролітів необхідно забезпечити жорсткий контроль деталей з підвісками. Для покращання електроізоляційних властивостей і

запобігання їх погіршення у вологій атмосфері електроізоляційні покриття просочують електроізоляційним лаком.

Тонкошарові покриття бар'єрного типу товщиною 0,4 мкм мають гарні електроізоляційні властивості і їх використовують для виготовлення безпористих електроізоляційних плівок конденсаторів. Такі плівки отримують із боратних електролітів, приблизного складу (г/л):

борна кислота            90...150;  
тетраборат натрію    1,5...2,5.

Режим електролізу: температура розчину 80 °С; тривалість електролізу 15...20 хв; напруга на ванні 160...220 В.

### **Ематалювання алюмінію та його сплавів**

Ематалювання – це процес отримання непрозорих емалеподібних анодних оксидних плівок. Ці плівки мають гарний декоративний вигляд (емаль, порцеляна, мармур), високу твердість, високий електричний опір, та відрізняються високою стійкістю до дії органічних розчинників, мастил, органічних кислот, харчових продуктів. Ематалеві покриття використовуються для оздоблення посуду, при виготовленні приладів, медичного обладнання, меблів, предметів широкого вжитку. В окремих випадках їх використовують як зносостійкі покриття.

Для нанесення ематалевих покриттів у промисловості використовують дві групи електролітів: оксалатні і хроматні.

**Оксалатно-хроматно-титановий електроліт** містить (г/л):

(COOH)<sub>2</sub>            1,5...2;  
KTi(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>        40;  
H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>            10;  
Лимонна кислота    2;  
рН                2,9...3,1.

Режим електролізу: температура розчину 55...60 °С; анодна густина струму до 3 А/дм<sup>2</sup>

В процесі електролізу контролюють напругу, яку змінюють ступінчасто за таким режимом: U = 60 В впродовж 3 хв, потім U = 120 В впродовж 10 хв і далі таку величину напруги підтримують до кінця процесу. Передбачається перемішування електроліту стисненим повітрям 30...40 хв.

Матеріал катодів – Al, Pb, нержавіюча сталь. Сріввідношення площ електродів S<sub>a</sub> : S<sub>к</sub>= 3:1. **Шкідливими домішками** в електроліті є іони СГ, Al<sup>3+</sup>. Коли вміст Al<sup>3+</sup> складе 30 г/л, електроліт замінюють на новий.

У процесі експлуатації витрачаються солі титану. Для корегування складу в електроліт на кожні 6 А·год/літр добавляють 1 г солі титану.

Недоліки оксалатного електроліту: дорогий, нестабільний за складом, висока напруга на ванні.

***Боратно-хроматний електроліт містить*** (г/л):

CrO<sub>3</sub>        100;

H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>       3.

Режим електролізу: температура 45...55 °С; анодна густина струму – до 1 А/дм<sup>2</sup>. Матеріал катоду – нержавіюча сталь. S<sub>a</sub> : S<sub>к</sub>= 3:1.

В процесі електролізу контролюють напругу, яку змінюють ступінчасто за таким режимом: за 5 хвилин збільшують до 40 В і витримують 30 хв; потім за 5 хвилин збільшують до 80 В і витримують ще 30 хв.

У хроматному електроліті не можна обробляти сплави з високим вмістом міді і кремнію. Його не можна застосовувати також для обробки деталей, які зазнають значних механічних навантажень.

Хроматний електроліт більш дешевий та більш стійкий, ніж оксалатний, і дозволяє застосовувати меншу напругу на ванні.

***Причини появи ематаль-ефекту:***

1. Солі титану гідролізують, проникають в оксидну плівку, роблять її непрозорою і надають плівці необхідні властивості.

2. Зміна структури плівки при ступінчастому збільшенні напруги. Кожній величині напруги відповідає своя система пор–комірок. При ступінчастій зміні величини напруги суміжні пори зливаються, оксидні комірки укрупнюються. Розгалужена система пор, очевидно, призводить до розсіювання світла, що викликає непрозорість плівки, тобто ематаль–ефект.

### **Анодування алюмінію та його сплавів для створення підшару під гальванопокриття**

Зазвичай при нанесенні гальванопокриттів на алюміній застосовують цинкатну обробку його поверхні. Але наявність цинкового підшару інколи небажана, особливо на деталях високовакуумної апаратури. Для створення підшару для наступного нанесення гальванопокриття здійснюють анодування в електроліті:  $\text{H}_3\text{PO}_4$  250...300 г/л; температура розчину 18...35 °С; анодна густина струму 1...3 А/дм<sup>2</sup>;  $U_b = 10...30$  В; тривалість процесу 15 хв.

На отриману анодну плівку наносять мідне покриття із пірофосфатного електроліту, а потім інші гальванічні покриття згідно вимог.

### **Електролітичне отримання кольорових захисно–декоративних плівок**

Отримати забарвлені плівки в процесі електролізу можливо з використанням двох– або трикомпонентних електролітів [16]. До їх складу входить сірчана кислота і компоненти, продукти розкладу яких на аноді або в дисперсному стані проникають у плівку і забарвлюють її чи утворюють з оксидом алюмінію кольорові сполуки. В якості таких компонентів використовують: сульфоароматичні кислоти, малеїнову, малонову, мурашину кислоти, а також ванадати, вольфрамати, молібдати. У цих електролітах отримують корозійностійкі і світлостійкі покриття золотистого, бронзового, коричневого, сірого і чорного кольорів. Отримувані покриття мають також високі електроізоляційні властивості. Нанесення таких покриттів потребує використання джерел струму з високою напругою.

1. Електроліт на основі сульфосаліцилової кислоти з вмістом останньої 100 г/л.

Режим електролізу: анодна густина струму 1 А/дм<sup>2</sup>; напруга 500 В; тривалість процесу 20...40 хв; температура розчину 20...40 °С; катод – свинець. Отримані плівки безпористі, прозорі, не фарбуються.

2. «Багатокомпонентний» розчин на основі трьох кислот містить (г/л):

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2...4;
H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	25...35;
Сульфосаліцилова кислота	90...110.

Режим електролізу: анодна густина струму 1,5...3 А/дм<sup>2</sup>; напруга 100 В; тривалість процесу 20...120 хв; температура розчину 10...30 °С; Колір отриманих оксидних плівок – від темносірого до коричневого.

3. Електроліт «Аноцвет» дозволяє отримувати в залежності від складу та режиму електролізу різнокольорові плівки (г/л):

C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub> S	70...90;
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4...5;
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1...1;
трилон-Б	0,1...0,5.

Режим електролізу: анодна густина струму 1,3...2 А/дм<sup>2</sup>; напруга 25...80 В; тривалість процесу 25...50 хв; температура розчину 20...25 °С; Забарвлення оксидних плівок – від темносірого до коричневого.

## 6.6. Анодування алюмінію на змінному струмі

Таке анодування має свої переваги та недоліки.

### *Переваги процесу:*

1. Утворення оксидної плівки відбувається тільки у позитивний напівперіод струму. Під час негативного напівперіоду на поверхні оксиду



відбувається розряд іонів водню, кислотність у приелектродному шарі знижується і оксид не розчиняється. Це сприяє росту плівки;

2. Як допоміжні електроди використовують підвіски з деталями, які також анодуються. Це підвищує продуктивність процесу, підвищує ефективність використання виробничої площі.

### ***Недоліки процесу:***

1. Оскільки плівка утворюється за один напівперіод, то для отримання плівки такої ж товщини, що і на постійному струмі, необхідно збільшити або анодну густину струму, або тривалість процесу анодування. Підвищення анодної густини струму викликає нагрівання електроліту і вимагає додаткових витрат на його охолодження. Встановлено, що при анодуванні на змінному струмі енергетичні затрати зростають на 10...15 % у порівнянні з процесом на постійному струмі;

2. У разі використання сплавів, що містять мідь, можливі такі ускладнення. Мідь у сплаві анодно розчиняється до  $\text{Cu}^{2+}$ , накопичується, осаджується при негативному напівперіоді і проникає в поверхневий шар, наявність міді у складі осаду призводить до того, що частина струму в позитивний період витрачається лише на виділення кисню, що знижує вихід за струмом. Домішки міді також псують зовнішній вигляд покриття.

Для усунення цих недоліків в електроліт вводять 6...8 г/л  $\text{HNO}_3$ , це ускладнює осадження міді на поверхні оксиду. Коли ж все таки  $\text{Cu}^{2+}$  накопичується в електроліті, то той проробляють постійним струмом з мідними катодами за  $i_k = 0,1 \dots 0,2 \text{ А/дм}^2$ . При цьому мідь осідає на катодах.

***Анодування шляхом накладання змінного струму на постійний.*** У цьому разі використовують допоміжний катод.

### ***Переваги такого процесу:***

- можна подвоїти анодну густину струму без перегрівання деталей;
- зменшується небезпека виникнення «пригарів»;
- товщина плівки і її мікротвердість значно збільшуються.

## 6.7. Декоративна обробка оксидованого алюмінію

Процес забарвлення (фарбування) заснований на високій адсорбційній здатності оксидних плівок, тобто на їх здатності поглинати та втримувати барвники. При цьому органічні барвники інколи можуть утворювати хімічні сполуки із  $Al_2O_3$ .

Для забарвлення придатні оксидні плівки, отримані в сірчаній кислоті та ематаль-покриття. Інтенсивність забарвлення зростає із збільшенням товщини плівки, її поруватості та концентрації барвника в розчині. Найбільш чисті тони можна отримати для чистого алюмінію та його сплавів із магнієм та марганцем. Такі сплави як силуміни, утворюють при оксидуванні темну плівку і її забарвлюють у чорний і коричневий кольори.

Адсорбційне забарвлення здійснюють після ретельного промивання анодованих деталей у холодній проточній воді. Не допускається промивання у гарячій воді, оскільки плівка ущільниться і зменшиться її адсорбційна здатність. Забарвлення деталей здійснюють безпосередньо після анодування. Міжопераційна перерва не повинна перевищувати 30 хв, у цей час деталі тримають у холодній проточній воді.

### Адсорбційне фарбування анодних плівок за допомогою неорганічних сполук

Виконують шляхом послідовної обробки виробів у двох розчинах солей, які адсорбувавшись, взаємодіють між собою і утворюють кольорові нерозчинні сполуки. Тривалість витримки деталей у кожному розчині 10...20 хв. Після кожної обробки деталі промивають у холодній воді.

Для фарбування в кольори від світло золотого до темно бронзового застосовують розчини, що містять (г/л):

1.  $NH_4Fe(SO_4)_2$       28;  
    $H_2CrO_4$               22;

$\text{NH}_4\text{OH}$  25...30;

тривалість 180...300 с; температура розчину 50...55 °С.

2.  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{CrO}_4)$  3...10;

$(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$  2;

тривалість 1200...1800 с; температура розчину 50...55 °С.

Таблиця 6.1. Склад розчинів адсорбційного фарбування

Колір	Розчин №1	Розчин №2	Сполука, що забезпечує забарвлення
синій	$\text{FeCl}_3$ 40...100г/л	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 10...50г/л	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
чорний	$\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 40...100г/л або $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 10...50 г/л	$\text{KMnO}_4$ 15...25г/л	$\text{MnO}_2$
жовтий	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 100...200 г/л	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 50...100г/л	$\text{PbCrO}_4$
оранжевий	$\text{K}_2\text{CrO}_4$ 5...10 г/л	$\text{AgNO}_3$ 50 ...100г/л	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$
коричневий	$\text{CuSO}_4$ 10...100 г/л	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 10...50г/л	$\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
білий	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 10...50г/л	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 10...50г/л	$\text{PbSO}_4$

Пофарбовані в неорганічних барвниках деталі промивають у холодній, а потім у гарячій воді, висушують за температура розчину 90...100 °С. Для підвищення стійкості пофарбовані вироби покривають безбарвним лаком. Неорганічні кольорові сполуки стійкі до дії світла та сонячних променів, але мають обмежену гаму кольорів.

#### Адсорбційне фарбування анодних плівок в органічних барвниках

Ці барвники дозволяють отримати широку гаму чистих та яскравих кольорів, але мають понижену світлостійкість. Фарбування можна виконувати як у холодних розчинах, так і в гарячих. У гарячих розчинах

менша тривалість процесу і більш інтенсивне забарвлення, але важко витримати однотонність кольору для великої партії деталей. Широко використовують такі барвники як «Жовтий 3», «Золотистий», «Оранжевий 2Ж», «Чорний» і т.ін. Концентрація барвників складає 1...3 г/л, рН=5...7.

Неякісне забарвлення органічними барвниками можна видалити шляхом обробки у розчині (20 г/л  $\text{KMnO}_4$  + 200 г/л  $\text{HNO}_3$ ) без руйнування оксидної плівки. Покриття промивають і фарбують повторно.

### **6.8. Ущільнення (наповнення) анодних покриттів на алюмінії**

Для підвищення захисних властивостей та зносостійкості оксидних покриттів застосовують:

- 1) ущільнення в киплячій воді;
- 2) ущільнення у водяній парі;
- 3) ущільнення в розчинах хроматів;
- 4) ущільнення в розчинах солей важких металів.

При обробці в киплячій воді або у водяній парі  $\text{Al}_2\text{O}_3$  гідролізується, перетворюється в гідроксид алюмінію, який має більший об'єм, ніж оксид і заповнює всі пори. Обробку ведуть за температури 100 °С. Якість наповнення залежить від товщини плівки, її поруватості, температури і тривалості обробки. Шкідливими є домішки  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Через це обробку здійснюють у дистильованій воді, а деталі перед ущільненням ретельно промивають проточною і деінізованою водою.

При обробці у розчинах хроматів  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  40...100 г/л (рН 5...7, температура розчину 85...95 °С, тривалість процесу 20...30 хв) у порах відбуваються утворення оксихроматів і оксибіхроматів, які заповнюють пори. Поверхня плівки пасивується.

При обробці у розчинах солей важких металів у результаті гідролізу утворюються малорозчинні гідроксиди цих металів, які і заповнюють пори.

Просочення оксидних плівок лаками, воском, парафіном закупорює пори і створює на поверхні шар, який має гідрофобні властивості.

### **6.9. Обладнання і пристрої для анодування алюмінію та його сплавів**

Для анодування алюмінієвого дроту та стрічки використовують безперервно діючі установки. Вони складаються із ряду послідовно розташованих ванн, через які безперервно протягається оброблювальний дріт або стрічка. Після анодування, промивання та висушування дріт або стрічка збираються у бухти на намотувальних барабанах.

Деталі середніх розмірів анодують в автоматичних автооператорних лініях, де всі операції автоматизовані (за виключенням монтажу деталей на підвіски). Ванни виготовлені із сталі, футеровані вініпластом або свинцем. Для хромовоокислого електроліту використовують ванни із корозійно-стійкої сталі 12Х18Н10Т. Ванни обладнані бортовою вентиляцією. Для запобігання місцевого перегрівання обов'язково передбачають перемішування електроліту шляхом барботування повітря.

Охолодження електроліту здійснюють за допомогою занурюваних теплообмінників-змійовиків, виготовлених із титану, нержавіючої сталі або звичайної сталі і посвинцьованих. Для охолодження використовують артезіанську воду або спеціальні холодильні установки (особливо для товстошарового анодування).

Стромопровідні штанги у ваннах виготовленні з міді і розраховані на максимальний струм.

Підвісні пристрої виготовляють з дюралюмінію або титану. Площа поперечного перерізу підвіски повинна бути достатньою для того, щоб підвіска не розігрівалася під дією струму. Підвіска обладнується пружинними контактами або затискними гвинтами для забезпечення надійного контакту деталей з підвіскою (з метою запобігання перегрівання та

наступного розпушення плівки). Контакти систематично очищають механічним або хімічним способом. Неробоча частина підвіски ізолюється хімічно-стійким лаком або спеціальними речовинами.

*Анодування дрібних деталей* (болти, гвинти, гайки, заклепки та ін.) здійснюють у спеціальних перфорованих алюмінієвих стаканах. У середині стакана розташована перфорована вініпластова труба, через яку прокачують електроліт для охолодження деталей. Стакан закривається перфорованою кришкою, яка одночасно є струмопідводом. Зовнішня поверхня стакана ізольована.

Для анодування внутрішньої поверхні труб застосовують додаткові катоди із свинцевого чи алюмінієвого дроту. Труби великої довжини анодують при безперервному прокачуванні електроліту.

## **6.10. Типовий технологічний процес анодування деталей із алюмінію та його сплавів**

*Підготовка поверхні деталей* із алюмінію та його сплавів перед анодуванням.

Послідовність технологічних операцій визначається початковим станом поверхні, потрібною шорсткістю поверхні, видом наявного обладнання. Всі підготовчі операції поділяються на 4 групи:

- попередня обробка;
- основна обробка;
- остаточна обробка;
- очищення поверхні.

*Попередня обробка* – це грубе очищення, травлення, обдування кварцовим піском. Підлягають деталі, які виготовлені методом виливання, для видалення залишків формувальної суміші, ливарної кірки, грубих поверхневих дефектів. Часто використовують грубе травлення у розчині

NaOH (150 г/л), температура розчину 20...80 °С. Коли у сплаві є домішки заліза і міді, то поверхня після травлення має темний колір. Такі деталі освітлюють в 20...40 % HNO<sub>3</sub>. Сплави з домішками кремнію травлять у розчині HNO<sub>3</sub> (350 г/л) + HF (15 г/л), температура розчину 10...30 °С. Для травлення характерне зменшення розмірів деталей. Глибина травлювання пропорційна тривалості процесу і температурі розчину. Підвищення температури інтенсифікує процес травлення. Попередня обробка використовується не завжди, а тільки за необхідності.

**Основна обробка** – це гідро–, дробоструминна обробка, крацювання, галтування, віброгалтування і шліфування поверхні. Гідро– і дробоструменева обробка виконується в камерах, виготовлених із алюмінієвих листів; якщо камера буде сталева, то поверхня алюмінієвих деталей насичуватиметься залізом і набуватиме інших властивостей. Гідроструменева обробка **не рекомендується** для м'яких сплавів, оскільки частки абразивів будуть проникати у поверхневий шар. Галтування і віброгалтування використовують для обробки поверхні дрібних деталей. Шліфування поверхні здійснюють за допомогою шліфувальних кругів, здійснюючи 4...7 переходів для забезпечення високої чистоти, або за допомогою нескінченних шліфувальних стрічок. На стадії основної обробки деталі набувають розмірів, які близькі до заданих.

**Остаточна обробка** – це та стадія, на якій деталі набувають потрібного декоративного вигляду, а їх поверхня дзеркального блиску. На даній стадії використовують механічне полірування за допомогою полірувальних кругів та паст; полірування в барабанах для обробки дрібних деталей. Використовують також **електрохімічне полірування**, яке забезпечує високу якість поверхні. При цьому також видаляється тонкий поверхневий шар (декілька мікрон), який містить інородні включення і приховані дефекти. Електрохімічне полірування вимагає ретельної попередньої підготовки поверхні, оскільки значні подряпини потім не видаляються. Для

електрохімічного полірування рекомендується електроліт наступного складу (г/л):

$\text{H}_3\text{PO}_4$  1460;

$\text{CrO}_3$  160.

Катоди виготовляють з алюмінію або нержавіючої сталі.

Для полірування деталей складної конфігурації або ж великого розміру використовують *хімічне полірування*, яке здійснюють у розчині:

$\text{H}_3\text{PO}_4$  1500;

$\text{HNO}_3$  60.

Температура розчину 65...75 °С. Розчин швидко виснажується і вимагає частого корегування.

*Очищення поверхні* – остання стадія підготовки поверхні, коли використовують хімічне знежирювання в розчинниках та лужних розчинах, електрохімічне знежирювання на катоді, ультразвукове очищення, яке особливо ефективно для деталей складної конфігурації.

***Схема типового процесу анодування алюмінію:***

- попередня механічна обробка поверхні;
- очищення від залишків полірувальної пасти;
- промивання гарячою проточною водою;
- промивання холодною проточною водою;
- знежирювання хімічне;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною проточною водою;
- травлення в 40...60 г/л NaOH, температура розчину 40...60 °С;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною проточною водою;
- електрохімічне полірування;
- промивання гарячою водою;



- промивання холодною проточною водою;
- анодування;
- промивання холодною водою (подвійне);
- наповнення;
- промивання холодною водою;
- промивання гарячою водою;
- висушування гарячим повітрям.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Механізм утворення оксидних плівок на алюмінію та його сплавах.
2. Анодний і катодний процеси при оксидуванні алюмінію.
3. Властивості та сфери використання оксидних плівок на алюмінію.
4. Позначення оксидних плівок в конструкторській та іншій нормативній документації.
5. Порівняльна характеристика електролітів для електрохімічного оксидування алюмінію.
6. Режим та електроліти для товстошарового анодування алюмінію.
7. Причини виникнення ематаль-ефекту при ематалюванні алюмінію. Порівняльна характеристика електролітів ематалювання алюмінію.
8. Переваги та недоліки хімічного оксидування алюмінію.
9. Особливості процесу анодування алюмінієвих сплавів для створення підшару для гальванопокриттів.
10. Способи підвищення захисних властивостей оксидних плівок на алюмінію та його сплавах.
11. Способи фарбування оксидних плівок на алюмінію.
12. Конструктивні особливості ванни та підвісочних пристроїв для електрохімічного оксидуванні алюмінію.
13. Методи визначення поруватості анодних оксидних плівок на алюмінії та його сплавах.

## РОЗДІЛ 7

### ОКСИДУВАННЯ ЛЕГКИХ ТА КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

#### 7.1. Оксидування магнію та його сплавів

Магній та його сплави легко піддаються корозії. Домішки інших металів до магнію посилюють його корозію. Для захисту виробів із магнію від корозії на них наносять захисні оксидні плівки, інколи з наступним нанесенням лакофарбових покриттів. Оксидні плівки на магній наносять хімічним та електрохімічним способом [17].

##### *Хімічне оксидування.*

При хімічному оксидуванні відбувається значне розчинення магнію, що призводить до зменшення розмірів виробів. Оксидні плівки мають пониженої твердість та зносостійкість. Переваги хімічного оксидування: просте обладнання, відсутність джерел живлення, невеликі енерговитрати.

Склад розчину для хімічного оксидування магнію залежить від способу виготовлення деталей.

Розчин для обробки *ливарних* сплавів містить (г/л):

$K_2Cr_2O_7$  50;

$HNO_3$  90;

$NH_4Cl$  1...2.

температура розчину 70...80 °С;  $\tau \leq 2$  хв

Розчин для обробки *деформованих* сплавів (г/л):

$K_2Cr_2O_7$  25;

$HNO_3$  35;

$NH_4Cl$  1,5.

Тривалість процесу 5 хв.

Для отримання плівок високої якості температура цих розчинів обов'язково повинна бути в межах 70...80 °С. Коли температура менше 70 °С, то плівка має пониженої корозійну стійкість. Коли ж температура вище

80 °С – плівки розтравлюються і стають пухкими. У цих розчинах розміри деталей зменшуються на 0,01 мм.

Розчин для обробки *деталей з точними розмірами* містить (г/л):

$K_2Cr_2O_7$  160;

$CrO_3$  3;

$(NH_4)_2SO_4$  4;

$CH_3COOH$  20 мл/л.

Температура розчину 70...80 °С; тривалість процесу 2 хв

У цьому розчині магній практично не розчиняється.

Колір отримуваних хімічним способом плівок у залежності від складу сплаву змінюється від золотистого до чорного.

#### ***Електрохімічне оксидування.***

Використовують лужні та кислі розчини.

***Лужні розчини:*** на поверхні виробів утворюються гідроксидні сполуки магнію.

Розчин №1 містить (г/л):

$NaOH$  160;

фенол 5;

$Na_2SiO_3$  25.

Анодна густина струму 0,5...1 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 60...70 °С; тривалість процесу 30 хв. В результаті обробки утворюються плівки товщиною 7...15 мкм сіро-зеленого кольору.

Розчин №2 містить (г/л):

$NaOH$  50;

$Na_3PO_4$  3.

Анодна густина струму 1,5 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 70 °С; тривалість процесу 40 хв. Після обробки утворюються плівки товщиною 7...15 мкм сірого кольору. Катоди для обох розчинів використовують сталеві.

**Кислі розчини:** на поверхні виробів утворюються важкорозчинні сполуки складного складу.

Розчин №1 містить (г/л):

$\text{NH}_4\text{BF}_4$  400;

$\text{H}_3\text{PO}_4$  120;

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  80.

Анодна густина струму 5 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 70...80 °С; напруга на ванні 70...90 В; тривалість процесу 30...40 хв. Утворюються плівки товщиною 30...50 мкм, які мають значну твердість.

Розчин №2 містить (г/л):

$\text{NH}_4\text{BF}_4$  400

або

КФ 60.

Анодна густина струму 5 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 15...30 °С; напруга на ванні 120 В; тривалість процесу 20...40 хв. Товщина утвореної плівки складає 5 мкм. Катоди в обох розчинах свинцеві.

При електрохімічному оксидуванні розмір деталей не зменшується. Плівки мають більшу механічну міцність та зносостійкість, однак при цьому потрібне більш складне обладнання, джерела постійного струму, більші енерговитрати. При електрохімічному оксидуванні магнію дотримуються тих же правил, що і анодуванні алюмінію. Підвіску виготовляють із магнієвих сплавів або із сплаву АМг. Обов'язковою умовою є забезпечення надійного контакту деталей з підвіскою.

## 7.2. Оксидування міді та її сплавів

При оксидуванні міді та її сплавів на поверхні формуються плівки із  $\text{CuO}$  та невеликої кількості  $\text{Cu}_2\text{O}$ , які мають чорний колір і є вологостійкими.

Товщина плівки складає 1...2 мкм. На сплавах міді плівка може мати коричневий відтінок. Оксидні покриття використовуються в оптичній промисловості, приладобудуванні, для декоративної обробки деталей та товарів широкого вжитку. Оксидування міді здійснюють хімічним або електрохімічним способами.

### Хімічне оксидування

Здійснюють у персульфатних та мідно аміачних розчинах.

Персульфатний розчин призначений для оксидування сплавів із вмістом міді > 90% і має склад (г/л):

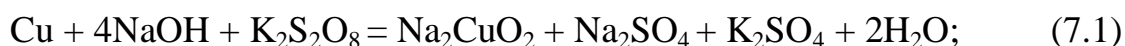
$K_2S_2O_8$  15;

$NaOH$  50;

$Na_2NO_3$  10.

Температура розчину 60...65 °С; тривалість процесу 10...15 хв.

Механізм оксидування можна записати у вигляді наступних реакцій:



Дуже важливо витримувати температуру в діапазоні 60...65 °С. Коли температура перевищує 65 °С, починається розкладання  $K_2S_2O_8$ . Якщо ж температура нижче 60 °С, знижується механічна міцність плівки та погіршується її зовнішній вигляд.

При роботі ванни з часом на її дні накопичується шлам у вигляді  $CuO$ . Його періодично видаляють, використовуючи конусне дно з краном.

Підвіски для деталей виготовляють із міді. Виключають контакт деталей із сталевими стінками ванни. Деталі періодично похитують. З метою запобігання скаламучування осаду розчин не перемішують.

До недоліків персульфатних розчинів можна піднести обмежену сферу їх застосування та необхідність точно дотримуватися температурного режиму.

**Мідноаміачний розчин** призначений для оксидування латуней і має наступний склад (г/л):

$\text{CuCO}_3$  50...200;

$\text{NH}_4\text{OH}$  860;

температура розчину 15...25 °С; тривалість процесу 5...15 хв.

У процесі експлуатації аміак із розчину випаровується, а в розчин переходять іони  $\text{Zn}^{2+}$ , тому склад розчину потрібно регулярно корегувати.

Плівки, отримані хімічним способом, рекомендується додатково захищати нанесенням безбарвного лаку.

### Електрохімічне оксидування

Процес електрохімічного оксидування має такі переваги:

1. Можливість отримувати смоляно-чорні плівки як на міді, так і на її сплавах;
2. Висока механічна міцність плівок, які можна додатково не лакувати;
3. Доступність і дешевизна електроліту;
4. Простота контролю складу ванни, висока рівномірність покриття на складних профілях.

При анодному оксидуванні спочатку утворюється тонкий шар  $\text{Cu}_2\text{O}$ , а потім формується більш товста плівка  $\text{CuO}$  чорного кольору.

Склад електроліту (г/л):

$\text{NaOH}$  150...200.

Анодна густина струму 0,8...2 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 80...100 °С; тривалість процесу 10...30 хв. Катоди виготовляють зі сталі або нікелю.

На закінчення процесу оксидування указує поява бульбашок газу на деталі або ж різке підвищення напруги на ванні.

Новий електроліт рекомендується пророблювати з мідними анодами до появи світло-блакитного забарвлення.

З підвищенням густини струму число кристалічних зародків на поверхні збільшується і утворюється тонка щільна плівка CuO. Для отримання більш товстої плівки рекомендується процес починати при невеликій густині струму струму  $0,1 \dots 0,5 \text{ А/дм}^2$ , а після невеликої витримки густину струму підвищують до  $0,8 \dots 1,5 \text{ А/дм}^2$ .

Зменшення температури електроліту призводить до отримання плівок зеленуватого кольору. Підвищення температури збільшує швидкість розчинення металу.

Зменшення концентрації NaOH призводить до зменшення товщини плівки та звуження робочого діапазону анодної густини струму. Підвищення концентрації NaOH сприяє утворенню пухких плівок.

Підвіски для електрохімічного оксидування виготовляють із міді і передбачають надійний контакт їх з деталями.

### **7.3. Оксидування цинку, його сплавів та цинкових покриттів**

Нанесення даного роду покриттів використовується для захисно-декоративної обробки виробів і здійснюється хімічним та електрохімічним способами.

#### ***Хімічне оксидування.***

Склад розчину (г/л):

CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O      200;

KClO<sub>3</sub>              20.

Температура розчину  $15 \dots 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ; тривалість процесу  $2 \dots 5 \text{ хв.}$

Отримувані плівки мають чорний колір.

#### ***Електрохімічне оксидування.***

Склад електроліту для анодування цинку (г/л):

NaOH 45...50;

K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 45...60.

Анодна густина струму 1,5...2 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 18...25 °С; тривалість процесу 12...15 хв. Катодними матеріалами є сталь або свинець.

Для анодування цинкових сплавів застосовують розчин NaOH з концентрацією 20 г/л; анодна густина струму 6...12 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 40...45 °С. катоди виготовляють зі свинцю. Тривалість процесу 8...60 хв і залежить від складу сплаву. Отримувані плівки мають чорний колір.

#### **7.4. Оксидування кадмію та кадмієвих покриттів**

Використовують для захисно–декоративної обробки виробів і здійснюється *електрохімічним способом*.

Склад електроліту (г/л):

NaOH 25;

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 50.

Анодна густина струму 15...25 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 15...25 °С; тривалість процесу 1...2 хв.

Плівки мають білий колір. Для підвищення стійкості їх додатково покривають безбарвним лаком.

#### **7.5. Оксидування срібла та гальванічних срібних покриттів**

Застосовують для декоративної обробки виробів та захисту їх від корозії. Плівки мають чорний або темно–коричневий колір. Процес оксидування інколи називають «чорнінням» срібла. Оксидування срібла здійснюють хімічним та електрохімічним способами.



### ***Хімічне оксидування.***

Склади розчинів:

1. Ліконда 6/А                    350 г/л.  
Температура розчину 15...30 °С;
2. Ліконда 6/В                    35 г/л.  
Температура розчину 10...30 °С.

Використовують також розчини «сірчистої печені». Їх готують таким чином: 1 частина сірки і 2 частини поташу розмелюють і сплавляють протягом 15...20 хв.

### ***Електрохімічне оксидування.***

Склад електроліту (г/л):

Na <sub>2</sub> S	25;
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	15;
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5;
Ацетон	3;

Анодна густина струму  $\leq 0,5$  А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 18...25 °С; тривалість процесу 3...5 хв.

## **7.6. Оксидування титану та його сплавів**

Застосовуються для покращення фрикційних властивостей та підвищення їх хімічної стійкості. У промисловості використовується ***електрохімічне оксидування***, яке виконується в розчинах сірчаної, оксалатової, хромової, фосфорної кислоти та їх сумішах.

Наприклад:

Електроліт №1: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 180 г/л; анодна густина струму 10...12 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 15...35 °С; тривалість процесу 10...15 хв. Плівки призначені для збільшення хімічної стійкості.

Електроліт №2:  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  – 180 г/л; анодна густина струму 1,5 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 15...30 °С; тривалість процесу 60 хв. Плівки використовують для покращення фрикційних властивостей.

Електроліт №3:  $\text{CrO}_3$  – 140 г/л;  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 4 г/л; температура розчину 95...100 °С; напруга на ванні 50...60 В. Покриття призначено для підвищення механічної міцності.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Порівняльна характеристика електролітів для оксидування магнію та його сплавів.
2. Порівняльна характеристика електролітів для оксидування титану та його сплавів.
3. Анодний і катодний процеси при електрохімічному оксидуванні міді.
4. Механізм утворення оксидних плівок на міді при її хімічному оксидуванні у пероксодисульфатних розчинах.
5. Порівняльна характеристика мідноаміачних і пероксодисульфатних розчинів для хімічного оксидування міді.
6. Визначення корозійної стійкості оксидних плівок на магнії та його сплавах.

## РОЗДІЛ 8

### ОКСИДУВАННЯ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ

Оксидування застосовується для захисту чорних металів від корозії та для надання виробам декоративного вигляду. У промисловості використовують *термічний, хімічний і електрохімічний* способи оксидування.

#### 8.1. Термічне оксидування чорних металів

*Термічний спосіб* полягає в нагріванні деталей в повітрі або в розплавах солей і існує в таких різновидах:

1) сталеві деталі нагрівають до 450...470 °С і занурюють у лляну олію, повторюючи операцію декілька раз. На поверхні деталей утворюється чорна плівка.

2) сталеві деталі занурюють у розплав: 4 м.ч. NaOH + 1 м.ч. NaNO<sub>3</sub> при температурі розплаву 250...270 °С. Утворюється плівка чорного кольору.

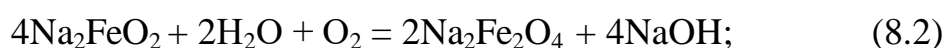
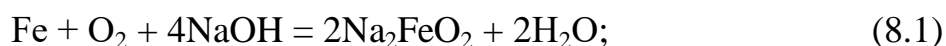
3) сталеві деталі занурюють у розплав: 55 %ваг. NaNO<sub>2</sub> + 45 %ваг. NaNO<sub>3</sub>. Утворюється плівка синього кольору. Товщина плівки за таких видів обробки складає ≈ 1мкм. Термічний спосіб застосовується для оксидування інструментів та деяких дрібних деталей.

#### 8.2. Хімічне оксидування чорних металів

Отримують плівки товщиною 1,5...3 мкм. Даний спосіб обробки застосовують для захисту виробів, які працюють у легких корозійних умовах. Плівки мають високу поруватість, легко стираються, не придатні для захисту виробів, які працюють в умовах тертя. Для хімічного оксидування у промисловості використовують *лужні і безлужні* розчини.

### Хімічне оксидування в лужних розчинах

Здійснюється в розчинах NaOH з додаванням окислювача і за підвищеної температури. Механізм утворення плівки в лужних розчинах наведено нижче. За високої температури і великої концентрації NaOH у присутності окислювача на поверхні заліза відбуваються такі реакції:



Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> кристалізується на поверхні деталей і складає (утворює) оксидну плівку. Спочатку утворюються кристалічні зародки, які розростаються і утворюють суцільну плівку. Структура плівки та її товщина залежить від співвідношення швидкості утворення центрів кристалізації та швидкості росту окремих кристалів. Якість плівки та її властивості залежать від окремих технологічних параметрів процесу таким чином:

- із ростом концентрації окисника швидкість утворення кристалів значно перевищує швидкість їх росту, що призводить до утворення тонкої щільної плівки;
- при збільшенні вмісту NaOH утворюються товсті, але пухкі плівки;
- перемішування розчину призводить до зменшення кількості кристалічних зародків, при цьому також утворюються товсті, пухкі плівки;
- зниження температури розчину впливає таким же чином, як і перемішування.

При хімічному оксидуванні як окисники використовують нітрати і нітрити. Нітрати сприяють утворення матових плівок чорного кольору, які більш корозійно стійкі. Використання нітритів дозволяє отримувати блискучі плівки із синюватим блиском. Сталеві деталі, які містять олово або свинець,

навпаки, не оксидують у лужних розчинах через витравлювання цих компонентів.

**Універсальний лужний розчин** є найбільш поширений у промисловості. Цей розчин найбільш економічним і має такий склад (г/л):

NaOH 550...700;

NaNO<sub>3</sub> 50...100;

NaNO<sub>2</sub> 200...250.

Нанесення оксидних плівок здійснюють при кипінні розчину. Режим оксидування залежить від марки сталі:

- високовуглецеві сталі та чавуни – температура розчину 135...145 °С; тривалість процесу 10...30 хв;
- середньо вуглецеві сталі – температура розчину 135...145 °С; тривалість процесу 30...50 хв;
- низько вуглецеві сталі – температура розчину 145...155 °С; тривалість процесу 40...60 хв;
- леговані сталі – температура розчину 145...155 °С; тривалість процесу 60...90 хв.

***Особливості технологічного процесу оксидування.***

- У процесі оксидування контролюють температуру кипіння розчину. У разі підвищення температури кипіння у розчин доливають воду. Коли ж температура занижена – додають компоненти розчину;
- Свіжоприготований розчин проробляють декілька годин, завісивши сталеві полоси. При цьому відбувається накопичення солей заліза, що дозволяє отримати плівки глибоко-чорного кольору;
- Під час експлуатації у ванні накопичується осад гідроксиду заліза, який періодично видаляють.

Після оксидування деталі ретельно промивають гарячою водою з перемішуванням повітрям, занурюють на 2 хв у розчин господарчого мила (30...50 г/л; температура розчину 90 °С), висушують теплим повітрям,

промаслюють зануренням у мінеральне мастило на 4...6 хв., нагріте до 100...110 °С. Надлишок мастила видаляють, протираючи деталі ганчір'ям (після обробки милом плівка добре змочується мастилом, але не змочується водою).

Недоліки оксидування у лужних розчинах: складно підтримувати високу температуру кипіння розчину, небезпечно корегувати ванну водою.

### **Хімічне безлужне оксидування**

Отримувані плівки є оксидно-фосфатними і мають антикорозійні, адгезивні, механічні властивості значно вищі, ніж звичайні оксидні плівки.

До складу розчинів входять:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ . Інколи в розчин додають інгібітори.

Склад розчину залежить від марки сталі, яку оксидують. Наприклад:

1. Для вуглецевих та легованих сталей

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$                     120 г/л;

$\text{H}_3\text{PO}_4$                          3 г/л;

Температура розчину 94...98 °С.

2. Для чавунів

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$                     100 г/л;

$\text{MnO}_2$                             2 г/л;

$\text{H}_3\text{PO}_4$                          2,5 г/л;

Температура розчину 94...98 °С.

3. Для загартованої сталі

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$                     100 г/л;

$\text{MnO}_2$                             15 г/л;

$\text{H}_3\text{PO}_4$                          5 г/л;

Температура розчину 98...100 °С .

Тривалість обробки в усіх розчинах складає 40...60 хв.

Процес оксидування супроводжується виділенням водню. Ознакою завершення процесу оксидування є припинення сильного газовиділення. Зниження концентрації  $\text{H}_3\text{PO}_4$  та зменшення температури розчину призводить до отримання крупнокристалічних покриттів із пониженими захисними властивостями.

Після безлужного оксидування деталі обробляють таким же чином, як і після лужного.

Видалення недоброякісних покриттів, отриманих шляхом хімічного оксидування, здійснюють обробкою в 10 %  $\text{HCl}$ .

### 8.3. Електрохімічне оксидування чорних металів

Отримувані оксидні плівки більш товсті, менш поруваті, більш корозійно стійкі, ніж плівки після хімічного оксидування.

Для електрохімічного оксидування використовують лужні та кислі електроліти. Перед оксидуванням деталі анодно активують в 5 %-ному розчині  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , анодна густина струму 3...5  $\text{A}/\text{дм}^2$ ; температура розчину 45...55 °С. тривалість процесу 10...15 хв.

*Лужний електроліт* містить:

$\text{NaOH}$             350 г/л.

Анодна густина струму 3...5  $\text{A}/\text{дм}^2$ ; температура розчину 65...80 °С .  
Тривалість процесу 10...30 хв. Катоди – сталь нікельована.

Утворюється плівка чорного кольору з синюватим відтінком.

*Кислий електроліт* містить:

$\text{CrO}_3$             150...250 г/л;

$\text{HBF}_4$             1...2 г/л.

Анодна густина струму 5...10  $\text{A}/\text{дм}^2$ ; температура розчину 40...50 °С;  
тривалість процесу 10...15 хв.

Деталі у ванну завішують на сталевих підвісках, забезпечивши надійний контакт з деталями.

Видалення недоброякісних оксидних покриттів здійснюють обробкою в 10% HCl.

**Контроль якості оксидних плівок на чорних металах.** Оксидні покриття перевіряють на суцільність за такою методикою. На знежирену контрольовану поверхню наносять краплями розчин 3 % CuSO<sub>4</sub>. У місцях пор утворюються кристали міді. Підраховують кількість пор на 1 см<sup>2</sup>.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Порівняльна характеристика способів оксидування чорних металів.
2. Механізм утворення оксидних плівок на залізі.
3. Фактори, що впливають на якість оксидних плівок на залізі.
4. Способи підвищення корозійної стійкості оксидних плівок на залізі.
5. Особливості будови ванн для електрохімічного оксидування чорних металів.



## РОЗДІЛ 9

### ФОСФАТУВАННЯ МЕТАЛІВ

*Фосфатування* – це процес утворення на поверхні металу плівки нерозчинних у воді фосфорнокислих сполук деяких металів, наприклад, Mn, Fe; Zn, Fe та ін. Товщина фосфатної плівки залежить від способу підготовки поверхні, складу розчину, режиму нанесення і змінюється в діапазоні 7...8 мкм до 45...50 мкм [16, 17, 20].

#### 9.1. Властивості фосфатних плівок

##### *Властивості фосфатних плівок:*

1. Товщина плівки практично не змінює розмірів деталей (частина металу перетворюється у фосфатні плівки);
2. Велика міцність зчеплення плівки з поверхнею виробів;
3. Високо порувата структура плівки дозволяє її використовувати як ґрунт для нанесення лакофарбових покриттів. Плівки добре просочуються оліями;
4. Плівка не змінює механічних властивостей сталі (за виключенням деякого наводнювання);
5. Висока корозійна стійкість в атмосферних умовах, у мастилах, бензині, толуолі, у всіх газах, за виключення  $H_2S$ ; в кислотах, лугах, морській воді. У водяній парі плівки нестійкі, проте після просочування їх лаками або оліями корозійна стійкість плівок значно підвищується;
6. Високі електроізоляційні властивості, особливо після просочування електроізоляційними лаками;
7. Значна жаростійкість – до 600 °С;
8. Плівки не змочуються розплавленими металами.

**Недоліки плівок:** невелика твердість, слабка механічна міцність та еластичність. При згині на 180° плівка дає тріщини, але при цьому не відшаровується і не пропускає корозійної рідини до поверхні.

### ***Сфери застосування плівок.***

1. Масовий захист виробів від корозії, підшар під фарбування в авто, машинобудуванні, судно будуванні та ін;
2. Захист від корозії кріпильних деталей (не змінюються розміри різьби);
3. Електротехнічна промисловість – нанесення електроізоляційного шару на трансформаторні та роторні пластини;
4. Для захисту окремих ділянок від розтікання розплавленого металу при азотуванні поверхні;
5. Фосфатування з намаслюванням при холодному волочінні та штампуванні для ліквідації задирок.

Фосфатуванню підлягають вуглецеві та низьковуглецеві сталі, чавун, серед кольорових металів – алюміній, магній, цинк, кадмій.

Високолеговані сталі через наявність пасивної плівки на поверхні фосфатуються з великими труднощами, а утворювані плівки мають невисоку якість та низькі механічні властивості.

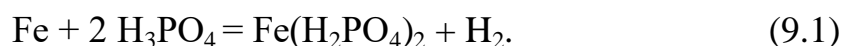
Фосфатування можна здійснювати ***хімічним та електрохімічним*** способами.

## **9.2. Хімічне фосфатування**

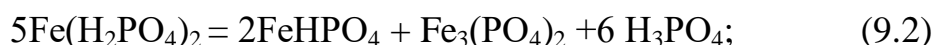
Хімічний спосіб має ширше практичне застосування завдяки вищій корозійній стійкості фосфатних плівок та простоті технологічного процесу.

### Сутність хімічного фосфатування

Вихідний розчин містить однозаміщені фосфати Mn і Fe або Zn та  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Кислотність розчину вибрана близькою до рН гідратуутворення. При внесенні в розчин виробу, наприклад, із заліза, на його поверхні відбуваються такі процеси:



Кислотність розчину у приповерхневому шарі зменшується і відбувається гідроліз однозаміщених фосфатів, які там є, з утворенням дво- і тризаміщених фосфатів:



В процесі формування плівки встановлюється рівновага між дво- та тризаміщеними фосфатами і  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . При цьому двозаміщені фосфати частково розчинні, а тризаміщені – повністю нерозчинні. Так як  $\text{H}_3\text{PO}_4$  витрачається на реакцію травлення Fe, то рівновага зміщується у бік утворення нерозчинних тризаміщених фосфатів, які і створюють захисну плівку. Усі ці процеси відбуваються на поверхні деталі до тих пір, поки розчиняється залізо у  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Після того як фосфати щільним шаром покривають поверхню, процес припиняється. Якщо у робочих розчинах присутні кислі розчинні фосфати інших важких металів (Zn, Mn), то вони також будуть утворюватися на поверхні виробу.

**Встановлено**, що фосфатні плівки складаються з двох шарів, які відрізняються за своїм складом:

1. внутрішній шар, який прилягає безпосередньо до металу, щільно з ним зв'язаний, має незначну товщину, еластичний, поруватий. Складається з монофосфатів заліза;

2. зовнішній шар. складається з вторинних і третинних фосфатів, має кристалічну структуру, є крихким і високопоруватим. Зовнішній шар надає фосфатній плівці притаманні їй властивості.

**Якість фосфатного покриття** та його властивості залежить від таких чинників:

1. Співвідношення загальної та вільної кислотності розчину;
2. Концентрації монофосфатів;
3. Природи катіонів у монофосфатах ( $Mn^{2+}$ ;  $Zn^{2+}$ ;  $Fe^{2+}$ ;  $Ca^{2+}$ ).

**Кристалічна структура і товщина** фосфатних плівок тісно пов'язані між собою.

**Розрізняють два типи плівок:**

а) дрібнокристалічні плівки товщиною 1...4 мкм мають кращі захисні властивості. Отримують такі плівки у присутності в розчині  $Zn^{2+}$  та окисників. Використовують як підшар для наступного нанесення лакофарбових покриттів (ЛФП);

б) крупнокристалічні плівки товщиною 10...12 мкм. отримують у присутності  $Mn^{2+}$  у розчині. Після промаслювання такі плівки використовуються як самостійні покриття.

**На властивості фосфатних плівок** сильно впливає попередня підготовка поверхня деталей. Після **ніскострумної обробки** утворюються тонкі дрібнокристалічні плівки товщиною 5...10 мкм з високими захисними властивостями. Після **травлення поверхні** в  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  чи  $H_3PO_4$  утворюються пухкі плівки з крупнокристалічною структурою товщиною 40...50 мкм та з слабкими захисними властивостями.

**Розчини для хімічного фосфатування.** У залежності від умов технологічного процесу розрізняють:

1. нормальне;
2. прискорене;
3. холодне;
4. чорне фосфатування.

### Нормальне фосфатування

Застосовують розчини на основі препарату МАЖЕФ, який містить  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnHPO}_4$  в кількості 2,4...2,5 % Fe, 14 % Mn; 46...52 % фосфатів (у перерахунку на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); 1 %  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 1...2 % води.

Склад розчину: МАЖЕФ – 30...35 г/л; температура розчину 96...98 °С.

Особливості технологічного процесу:

1. Для отримання якісних покриттів дуже важливе співвідношення вільної кислотності  $K_v$  та загальної кислотності  $K_z$ . Загальну та вільну кислотність прийнято виражати у *точках*. Точка – це кількість мл 0,1 н NaOH, яка іде на титрування 10 мл робочого розчину. При цьому  $K_z$  титрують по фенол–фталеїну, а  $K_v$  – у присутності метил–оранжу.  $K_z = 28...30$  точок,  $K_v = 3...4$  точки. Оптимальне відношення  $K_z : K_v = 7:1; 8:1$ . Загальну кислотність регулюють, додаючи у розчин воду або препарат МАЖЕФ. Коли підвищується вільна кислотність, додають  $\text{MnCO}_3$ ;

2. Найбільш ефективно фосфатування перебігає за температури 96...98 °С. За підвищеної температури у розчині утворюється багато шламу, що позначається на якості покриття. За пониженої температури утворюється дуже крупнокристалічна плівка з слабкими захисними властивостями;

3. Тривалість процесу складає 60...120 хв. Кінець процесу фосфатування визначають за моментом закінчення виділення водню на деталі. Після цього деталі витримують 10...15 хв, так як плівка продовжує утворюватися.

При нормальному фосфатуванні отримують поруваті плівки товщиною 7...50 мкм, які після додаткової обробки можна використовувати як самостійні покриття.

**Недоліки процесу:** висока температура, значна тривалість процесу, вузький робочий діапазон температури, значне газовиділення і наводнювання деталей.

### Прискорене фосфатування

Для прискорення процесу фосфатування і зменшення виділення водню у склад розчину уводять окислювачі ( $Zn(NO_3)_2$ ) та активатори (NaF).

Склад розчину (г/л):

МАЖЕФ            40;

$Zn(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$     65;

NaF                5;

температура розчину 46...65 °С; тривалість процесу 8...15 хв.

Отримувані покриття мають невелику товщину та понижену корозійну стійкість, через це їх додатково обробляють в розчині  $K_2Cr_2O_7$ . Використовують як підшар перед фарбуванням.

Для прискореного фосфатування використовують цинк-фосфатні розчини такого складу (г/л):

$Zn(H_2PO_4)_2$     12;

$Zn(NO_3)_2$         20;

$Ba(NO_3)_2$         40;

температура розчину 75...85 °С; тривалість процесу 3...10 хв.

Покриття застосовують як підшар під фарбування.

### Холодне фосфатування

Застосовують розчини на основі препарату МАЖЕФ або  $Zn(H_2PO_4)_2$ . Активаторами процесу є аніони  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $F^-$ . Наприклад у промисловості широко застосовують розчин такого складу (г/л):

МАЖЕФ	30;
$Zn(NO_3)_2$	40;
NaF	10.

Температура розчину 18...25 °С; тривалість процесу 40 хв.

Плівки, що утворюються, мають відносно малу товщину і застосовуються як підшар перед фарбуванням.

### Чорне фосфатування

Плівки чорного кольору широко використовуються в оптичному приладобудуванні. Деталі послідовно обробляють у двох розчинах. У розчині №1 формується покриття чорного кольору, а у розчині №2 відбувається заповнення пор.

Склади розчинів такі.

**Розчин №1** містить (г/л):

$Fe_3(PO_4)_2$	23;
ZnO	8;
$H_3PO_4$	32;
$Na_2CO_3$	1.

Температура розчину 90...95 °С; тривалість процесу 5...10 хв.

**Розчин №2** містить (г/л):

$Zn(NO_3)_2$	150;
МАЖЕФ	30;
$Na_2CO_3$	3.

Температура розчину 60 °С; тривалість процесу 10...15 хв.

### 9.3. Електрохімічне фосфатування

Електрохімічне фосфатування проводиться *на катоді*. При катодній поляризації на поверхні деталі розряджаються іони водню, рН прикатодного шару збільшується (кислотність зменшується), і створюються умови для переходу монофосфатів у нерозчинні тризаміщені фосфати. Електрохімічним методом можна наносити плівки на такі метали, на які в звичайних умовах плівки не наносяться. Плівки використовуються як підшар перед фарбуванням. Розчин для електрохімічного фосфатування корозійностійких сталей (г/л):

ZnO	28;
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	50;
HNO <sub>3</sub>	28.

Катодна густина струму 2...3 А/дм<sup>2</sup>; температура розчину 67...75 °С;  
тривалість процесу 5...8 хв

або

MgNO <sub>3</sub>	50...70;
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	15...20.

Температура розчину 15...30 °С; катодна густина струму 0,35 А/дм<sup>2</sup>;  
тривалість процесу 3...5 хв.

Метод дозволяє підвищити продуктивність праці.

**Недоліки електрохімічного фосфатування:** складне обладнання, підвищене енергоспоживання, невелика рівномірність покриття.

### 9.4. Фосфатування кольорових та легких металів

Фосфатування виробів із цинку, кадмію, алюмінію, магнію, титану проводять хімічним способом. Утворені на цинку, кадмії та алюмінії плівки використовують як ґрунт перед фарбуванням. Вироби із магнію фосфатують



для захисту від корозії, а вироби із титану – для підвищення антифрикційних властивостей і зносостійкості.

***Розчини для фосфатування цинку і кадмію*** містить (г/л):

МАЖЕФ            60;

Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>        50;

NH<sub>4</sub>F                8;

ZnO                 15.

Температура розчину 15...30 °С; тривалість процесу 15...25 хв.

***Розчини для фосфатування магнію*** містить (г/л):

МАЖЕФ            32;

NaF                 0,3.

Температура розчину 96...98 °С.

***Розчини для фосфатування алюмінію*** містить (г/л):

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>            50;

CrO<sub>3</sub>                7;

NaF                 7;

Температура розчину 30 °С; тривалість процесу 20 хв.

***Розчини для фосфатування титану*** містить (г/л):

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>            10...100;

HF                  10...100;

Температура розчину 96...98 °С; тривалість процесу 30 хв.

## **9.5. Підвищення захисних властивостей фосфатних плівок**

З цією метою використовують такі види додаткової обробки:

1. Пасивування у розчинах, що містять K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:

а) 100 г/л K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>; температура розчину 70...80 °С; тривалість процесу 20 хв; з наступним промиванням та висушуванням;

б) 3...5 г/л  $K_2Cr_2O_7$ ; температура розчину 70...80 °С; тривалість процесу 3 хв; без промиванням з висушуванням;

2. Просочуванням авіаційним або веретенним маслом при температурі 100...110 °С;

3. Гідрофобізація здійснюється в 10 % розчині кремнійорганічної рідини ГФЖ у бензині.

## 9.6. Особливості будови обладнання для фосфатування

Використовують сталеві ванни без футерування. Біля бокових стінок розташовують вертикально латунні зміювики. Нові ванни проробляють з метою фосфатування їх корпусу. Дно ванни регулярно очищають від шламу. Деталі у ванни завантажують, закріпивши їх на сталеві підвіски. Дрібні деталі фосфатують у барабанах із сталі або у перфорованих корзинах. Деталі періодично струшують для забезпечення більшої рівномірності покриття. Ванни обладнують боковою вентиляцією. Ванни, які працюють за високої температури, закривають кришками.

## 9.7. Контроль якості фосфатних плівок

Здійснюють такі види контролю:

1. Контроль зовнішнього вигляду;
2. Контроль стійкості плівок проти корозії;

У залежності від стану плівок використовують два варіанти контролю:

1. Плівки не просочені мастилом. На знежирену поверхню наносять краплі розчину, що містить суміш (мл):

$CuSO_4$  (0,4 M) 40;

$NaCl$  (10 %) 20;

$HCl$  (0,1 M) 0,8.

Після чого визначають час зміни блакитного кольору розчину на жовтий або червоний. Коли проміжок часу менше 1 хв – стійкість низька; складає до 5 хв – стійкість нормальна; перевищує 5 хв – стійкість висока.

2. Плівки просочені мастилом. На поверхню наносять краплю розчину суміші NaCl і HCl, через 1 хв краплю знімають і на її місце наносять краплю розчину суміші: 40 мл CuSO<sub>4</sub> (0,1н), 20 мл NaCl (10 %), 0,8 мл HCl (0,1н). Через 3 хв цей розчин знімають фільтрувальним папером. Коли на тому місці, де були краплі, відсутні сліди металевої міді, то покриття витримало випробування.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Властивості та сфери застосування фосфатних плівок на сталі.
2. Механізм утворення фосфатних плівок на залізі.
3. Чинники, що впливають на якість фосфатних плівок на сталі.
4. Вплив способів попередньої підготовки поверхні на властивості фосфатних плівок на залізі.
5. Недоліки процесу фосфатування заліза у розчинах препарату МАЖЕФ.
6. Способи прискорення процесу фосфатування залізі, їх переваги та недоліки.
7. Переваги і недоліки розчинів холодного фосфатування чорних металів.
8. Переваги і недоліки процесу електрохімічного фосфатування чорних металів.
9. Способи підвищення захисних властивостей фосфатних покриттів.
10. Визначення корозійної стійкості фосфатних покриттів.
11. Особливості електрохімічного фосфатування чорних металів.

## РОЗДІЛ 10

# ЗАХИСТ МЕТАЛІВ ВІД КОРОЗІЇ ЛАКОФАРБОВИМИ ПОКРИТТЯМИ

### 10.1. Призначення, переваги та недоліки лакофарбових покриттів

Лакофарбові матеріали – це рідкі, пастоподібні чи порошкові композиції, які при нанесенні тонким шаром на поверхню висихають за визначеної температури з утворенням плівки, яка утримується на поверхні силами адгезії. Лакофарбові покриття (ЛФП) виконують функції захисних, декоративних або спеціальних покриттів. Близько 80 % усіх захисних і декоративних покриттів є ЛФП. Фактично це основний вид захисту виробів від руйнування і тому ЛФП використовуються дуже широко [21 – 23].

#### *Переваги ЛФП:*

1. Простота нанесення і можливість застосування для захисту великогабаритних конструкцій або ж виробів складної конфігурації.
2. Можливість ремонту покриття на місцях експлуатації.
3. Можливість поєднування ЛФП з іншими методами захисту.
4. Більш низька вартість.
5. Можливість отримувати покриття самих різних кольорів.

#### *Недоліки ЛФП:*

1. Парогазопроникність.
2. Недостатня термостійкість.
3. Обмежена механічна міцність.
4. Обмежений термін експлуатації.

#### *Основні вимоги, які ставлять до ЛФП:*

1. Можливість нанесення будь-яким із відомих способів.
2. Максимально спрощена підготовка поверхні перед фарбуванням.

3. Тривалий захист від корозії при мінімальній кількості шарів покриття.
4. Сумісність даного лакофарбового матеріалу з іншими матеріалами.
5. Мінімальна шкідливість для навколишнього середовища.
6. Висока механічна міцність та зносостійкість.
7. Висока хімічна стійкість до агресивних середовищ.
8. Стійкість до високих температур та термоударів (200...300 °С).
9. Стійкість до біопошкоджень та біокорозії.

## 10.2. Основні компоненти лакофарбових покриттів

Основними складниками ЛФП є такі основні компоненти: плівкоутворювачі, пігменти, наповнювачі, розчинники, розріджувачі, пластифікатори, сикативи, затверджувачі, стабілізатори та ін.

**Плівкоутворювачі.** Це нелеткі речовини, які здатні в тонкому шарі утворювати аморфну, відносно міцну плівку, яка суцільно закриває поверхню виробу. Плівкоутворювачі можуть бути природного походження і штучні (синтетичні високомолекулярні смоли).

**Природні плівкоутворювачі.** Це рослинні олії висихаючого типу: льняна, конопляна, тунгова олія та ін. До цієї групи також відносяться природні смоли: копали, шелак, каніфоль. Синтетичні високомолекулярні сполуки, які є штучними плівкоутворювачами, поділяються на дві групи:

а) конденсаційні полімери (сполучаються молекули різних речовин). Широке застосування знайшли алкіні, карбаміди, епоксидні, кремнійорганічні смоли та ін.;

б) полімеризайні смоли: перхлорвінілові смоли, ефіри целюлози та ін.

Від природи плівкоутворювачів залежать основні властивості покриттів: адгезія, еластичність, твердість, атмосферо- і світлостійкість.

**Пігменти.** Це речовини, які надають покриттю відповідний колір. За своїм походженням пігменти поділяються на дві групи: неорганічного та органічного походження. Від типу пігменту залежить: колір покриття, його

здатність робити непомітним колір фарбованої поверхні, стійкість до дії атмосферних чинників, хімічних реагентів, високих температур.

**Неорганічні пігменти.** Це забарвлені оксиди, гідроксиди металів, солі металів. Як пігмент застосовують також вуглець і металеві порошки.

У антикорозійних ЛФП в основному використовують неорганічні пігменти таких різновидів.

а) Хроматні пігменти:

Хромат кальцію  $\text{CaCrO}_4$  – має жовтий колір, терmostійкий. Застосовується як пасивуючий пігмент в антикорозійних та терmostійких ґрунтовках.

Хромат стронцію  $\text{SrCrO}_4$  – лимонно-жовтого кольору, терmostійкий. Використовується для терmostійких фарб і антикорозійних ґрунтовок.

Хромат цинку  $\text{ZnCrO}_4$  – світло лимонного кольору. Використовується як пасивуючий агент антикорозійних ґрунтовок.

Хромат барію-калію  $\text{BaKCrO}_4$  – жовто-зеленого кольору. Використовується як додаток до інших антикорозійних ґрунтовок.

Хромат свинцю  $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbO}$  – оранжевого кольору, світло-атмосферостійкий. Використовується в комбінації з іншими пігментами.

б) Фосфатні пігменти:

Фосфат хрому  $\text{CrPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – світло-зеленого кольору. Зміцнює покривні шари і перешкоджає адсорбції аніонів  $\text{Cl}^-$  і  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Фосфат цинку  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  – має білий колір. Під дією вологи продукти його гідролізу утворюють захисні гідратні комплекси. Використовують у складі ґрунтовок для підвищення адгезії та захисних властивостей.

в) Пігменти на базі сполук свинцю.

Свинцевий сурик  $\text{PbO} \cdot \text{PbO}_2$  – яскраво-червоного кольору, дуже ефективний антикорозійний пігмент. Однак, через сильну токсичність не рекомендується для застосування.

Основний силікохромат свинцю  $PbO \cdot SiO_3 \cdot PbCrO_4$  – помаранчевого кольору. Використовується як дуже ефективний антикорозійний пігмент.

г) Цинкове білило  $ZnO$  – аморфна сполука, нейтралізує кислоти і луги, які утворюються при руйнуванні ЛФП. Запобігає старінню покриттів. Сприяє висиханню нижніх шарів. Застосовують у швидковисихаючих ґрунтовках і емалях.

д) Залізо–оксидні пігменти:

Природного походження – залізний сурик (містить 75...80%  $Fe_2O_3$ ). Стійкий до дії світла, атмосфери, лугів і слабких кислот. Використовується в складі ґрунтівок.

е) Синтетичні:

Червоний залізооксидний пігмент  $Fe_2O_3$ ;

Чорний залізооксидний пігмент  $Fe_3O_4$ ;

Жовтий залізооксидний пігмент  $FeO(OH)$ .

Оксид хрому – має оливково–зелений колір, світло–, термо–, атмосферостійкий, стійкий до дії агресивних газів. Застосовується для виготовлення термостійких ґрунтовок і хімічно–стійких фарб та емалей.

Технічний вуглець – використовується для виготовлення лише фарб та емалей. У ґрунтовках не застосовується, так як може прискорювати корозію металів.

є) Металеві пігменти:

Алюмінієва пудра – використовується для виготовлення фарб та емалей з високою відбивною здатністю і підвищеною термостійкістю, які використовуються для фарбування бензосховищ, вагонів–холодильників, будівельних конструкцій.

Цинковий порошок (містить 95...97%  $Zn$  і 2...4,5%  $ZnO$ ). Використовують для виготовлення протекторних ґрунтівок на основі синтетичних смол, водних розчинів силікатів, вододисперсних плівкоутворюючих речовин. Застосовують для захисту заліза і сталі від корозії.

Бронзова пудра – має колір від червоного до золотисто–жовтого у залежності від складу. Використовують для надання декоративного виду і захисту від корозії.

**Наповнювачі.** Це білі або слабозабарвлені порошки. Використовують для надання ЛФП потрібних властивостей (твердість, хімічну стійкість та ін.), а також для здешевлення покриття. Як наповнювачі використовують такі природні матеріали:

Тальк  $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$  – надає структурну в'язкість, покращує адгезію покриття.

Кальцид  $\text{CaCO}_3$  – надає покриттю міцності та твердості.

Доломіт  $\text{CaCO}_3\cdot \text{MgCO}_3$  – надає атмосферостійкості.

Каолін  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – застосовується разом з тальком.

Слюда  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{SiO}_2\cdot \text{K}_2\text{O}$  – має пластинчасту форму. Використовують для ґрунтовок. Слюда надає атмосферостійкість, покращує адгезію, еластичність, запобігає утворенню щільних шарів осадів при зберіганні ЛФМ.

**Розчинники** – леткі рідини, які розчиняють плівкоутворювачі, випаровуються в процесі плівкоутворення і не викликають хімічних перетворень. Розчинники після випаровування не повинні залишати нелетких залишків і також повинні мати визначену швидкість випаровування. Коли швидкість випаровування зависока, то можливі дефекти покриття. Основне призначення розчинника – перевести плівкоутворювач у такий стан, яки дозволить нанести його тонким шаром на поверхню. Як розчинники використовують:

а) ароматичні вуглеводні – бензол, толуол, ксилол, сольвент та ін;

б) спирти – бутиловий, етиловий та ін;

в) ефіри, кетони та ін. сполуки.

**Розріджувачі** – це розчинники, які не розчиняють плівкоутворювачі. Мають більш низьку температуру кипіння, дешевші за розчинники, які розчиняють плівкоутворювачі. Використовують для здешевлення ЛФМ.



Однак, коли розріджувача забагато, то плівкоутворювач може випасти в осад. Через це в технології приготування ЛФМ використовують *число розведення* – відношення кількості розчинника до кількості розріджувача. Це число повинно бути оптимальним.

*Пластифікатори* – це рідкі органічні речовини, які уводять у ЛФП на основі полімеризаційних смол і ефірів целюлози для підвищення їх еластичності. Найбільш широко використовуваними пластифікаторами є дибутилфталат, діоктифталат, дибутилсебаціанат, трикрезилфосфат. Ці речовини мають високу температуру кипіння і малу леткість. У деяких випадках використовують невисихаючі рослинні олії, наприклад, рецинову олію.

*Сикативи* – це речовини, які викликають прискорення процесу висихання ЛФМ. Як сикативи використовують солі органічних кислот і свинцю, марганцю, кобальту. Наприклад, нафтенат свинцевий марганцевий, нафтенат свинцю, нафтенат марганцю, нафтенат кобальту. Однак, надмірне використання сикативів може викликати старіння плівки, зміну кольору покриття та інші дефекти.

*Затверджувачі* – це хімічні сполуки, які вводять у склад реакційно-здатних полімерів, наприклад, епоксидних і уретанових, для їх затвердіння. Як затверджувачі використовують гексаметилендіамін, поліетилендіамін та інші аліфатичні поліаміни.

### **10.3. Класифікація лакофарбових матеріалів**

Існує декілька класифікацій за різними ознаками.

#### **Класифікація за складом**

*Лаки* – розчини природних або синтетичних плівкоутворюючих речовин в органічних розчинниках. Після затвердіння утворюють прозорі плівки.

**Емалі** – суспензія пігментів і наповнювачів у плівкоутворюючих речовинах на основі лаків. Утворюють непрозорі забарвлені покриття.

**Фарби** – однорідна суспензія пігментів і наповнювачів у плівкоутворюючих речовинах на основі висихаючих масел та оліф. Утворюють непрозорі забарвлені покриття.

**Фарби порошкові** – нерозчинні порошкоподібні суміші пігментів плівкоутворюючих речовин і добавок, які після оплавлення створюють на поверхні непрозорі забарвлені покриття.

### **Класифікація за призначенням**

**Грунтовки** – матеріали, які утворюють нижній шар ЛФП. Створюють надійне зчеплення покриття з фарбованою поверхнею. Часто захищають метал від корозії.

**Шпаклівки** – ЛФМ, які застосовують для вирівнювання фарбованої поверхні перед нанесенням верхніх покривних шарів. Шпаклівки також збільшують товщину і непроникність покриття.

**Покривні фарби і емалі** – використовують для завершальної обробки поверхні. Їх мета – забезпечення необхідної товщини покриття, надання покриттю декоративних чи спеціальних властивостей (термостійкість, біостійкість та ін.).

**Класифікація за переважним використанням:** атмосферостійкі, обмежено атмосферостійкі, консерваційні, водостійкі, спеціальні, мастилостійкі, хімічно стійкі, термостійкі, електроізоляційні та електропровідні.

**Хімічна класифікація.** ЛФМ поділяються за природою плівкоутворюючих речовин: амідні, масляні, епоксидні, кремнійорганічні та ін.

## 10.4. Позначення лакофарбових покриттів в технічній документації

### Індексація лакофарбових покриттів

Використовується літерно–цифрова система індексація, яка складається з п'яти груп знаків.

1 2 3 4 5

*Група 1* – наводять вид лакофарбового матеріалу і позначають його відповідно «лак», «фарба», «емаль», «грунтовка», «шпаклівка».

Т – тропікостійкі;

ВД – вододисперсні;

ОД – органодисперсні;

В – водорозвідні;

П – порошкові.

*Група 2* – указують природу плівкоутворюючої речовини, яку умовно позначають двома великими літерами. Наприклад: МА – мастильні, АК – поліакрилові, ГФ – гліфталеві, ПФ – пентафталеві, БТ – бітумні, НЦ – нітроцелюлоза, КО – кремнійорганічні, КЧ – каучукові та ін. Для порошкових фарб попереду додатково наводять літеру П.

*Група 3* – за допомогою цифр позначають переважне призначення ЛФМ таким чином:

1 – атмосферостійкий; 2 – обмежено атмосферостійкий; 3 – консерваційний; 4 – водостійкий; 5 – спеціальний; 6 – маслостійкий; 7 – хімічно стійкий; 8 – термостійкий; 9 – електроізоляційний.

Також позначають: 0 – ґрунтівки; 00 – шпаклівки.

*Група 4* – наводять номер, присвоєний даному ЛФМ при реєстрації, за виключенням мастильних ЛФМ. Для мастильних ЛФМ за допомогою цифр позначають оліфу:

1 – оліфа натуральна; 2 – оліфа оксоль; 3 – оліфа гліфталева; 4 – оліфа пентафталева; 5 – оліфа комбінована.

**Група 5** – указують колір ЛФМ. Наприклад: лак БТ–783 – лак бітумний, хімічно стійкий, реєстраційний номер 83; лак ГФО.50; емаль ХФ113 голуба; фарба МА–025 зелена; шпаклівка ЕП–0010 червоно–коричнева.

**Позначення лакофарбових покриттів у нормативно–технічній документації.** Прийнята система позначення враховує природу ЛФМ, умови експлуатації та вимоги до зовнішнього вигляду.

1) Умови експлуатації покриттів поділяють на такі групи: помірно–континентальні (У); тропічні (Т); холодні (ХЛ).

Позначення груп покриттів у залежності від умов експлуатації:

- а) А; АН; АТ; АНТ; АХЛ; АНХЛ – атмосферостійкі, експлуатуються під навісом (Н, у різних кліматичних зонах).
- б) П; ПТ – стійкі в середовищі приміщень (у тропіках).
- в) Х; ХК; ХЩ – хімічно стійкі, стійкі в кислотах. у лугах.
- г) В; ВМ – водостійкі (М – у морській воді).
- д) Б – бензостійкі.
- е) М – мастилостійкі.
- ж) Т – термостійкі.
- з) Е – електроізоляційні.

2) Вимоги до зовнішнього вигляду (декоративного вигляду) поділяються на 7 класів і позначаються римськими цифрами. Приклад позначення ЛФП: емаль ХВ–110 червоно–коричнева IV–АТ; емаль НЦ–25 голуба III–П.

### **10.5. Захисна дія лакофарбових покриттів**

Протикорозійна дія ЛФП [19, 21] зумовлена гальмуванням корозійних процесів на межі поділу метал–плівка. Це гальмування може бути пов'язане з:

- 1) пониженням проникності плівок в наслідок обмеження швидкості надходження речовин, які викликають розвиток корозійного процесу;
- 2) підвищенням електричного опору ( $R_e$ ) матеріалу плівки;
- 3) специфічним впливом адсорбції компонентів ЛФП;
- 4) хімічний або електрохімічний вплив матеріалу плівки на метал.

Таким чином, захисна дія ЛФП визначається проникністю плівок, їх електричним опором, адгезивною взаємодією з підкладкою, ефектом інгібування.

### **Вплив проникності покриття**

Практика показує, що звичайні ЛФП проникні по відношенню до корозійних агентів, тобто до води та кисню. Так, за даними Й.Л. Розенфельда та інших, швидкість проникнення води складає  $1,15 \text{ г/см}^2 \cdot \text{рік}$ , а кисню –  $0,050 \text{ г/см}^2 \cdot \text{рік}$ . Необхідна кількість води і кисню для перебігу корозії із швидкістю  $0,07 \text{ г/см}^2 \cdot \text{рік}$  складає для води –  $0,011 \text{ г/см}^2 \cdot \text{рік}$ , для кисню –  $0,030 \text{ г/см}^2 \cdot \text{рік}$ . Таким чином, ЛФП не є серйозною перешкодою для дифузії корозійних агентів. Уже через рік експлуатації покриття кількість води і кисню буде в декілька раз більша, ніж це необхідно для розвитку корозійного процесу. Тобто, бар'єрний механізм захисту не є визначальним. Але бар'єрний ефект ЛФП проявляється по відношенню до продуктів корозії. Так, проникність іонів заліза на 1...2 порядки менша, ніж води, кисню та хлору. Таким чином, захисні властивості ЛФП у відношенні проникності пов'язані з гальмуванням відведення продуктів корозії з поверхні металу.

### **Роль електричних властивостей покриття**

Електричний опір покриття в середовищі електроліту є сумою двох складових: омичної та поляризаційної. Омична складова є основною і вона визначає захисну дію ЛФП. Коли омичний опір високий, то електрохімічний процес корозії може і не відбутися. Однак, у процесі експлуатації

електричний опір покриття неухильно знижується. Його величина буде залежати від наявності в покритті гідрофільних груп, особливо коли вони схильні до іонного обміну. Наприклад, у розчинах NaCl електричний опір мастильних та алкідних плівок зменшується на 4...5 порядків. Коли ж покриття гідрофобне, то його електричний опір при експлуатації зростає, але електрична провідність цього покриття може виникнути через наявність пор або дефектів, заповнених електролітом. Захисні властивості такого покриття також знижуються. Таким чином, електричні властивості плівки не є визначальними для забезпечення високих захисних властивостей покриття.

***Роль адгезії покриття.*** Протикорозійні властивості покриття в значній мірі залежать від його адгезії. Чим вища його адгезія, тим менша швидкість корозії. Це можна пояснити дією таких чинників:

а) Коли розглядати корозію як процес адсорбції корозійно-активної речовини на вільних ділянках поверхні металу, то очевидно, що чим вища адгезія, тим менше вакантних ділянок, тим менша можливість для розвитку корозійного процесу;

б) При високій міцності адгезивних зв'язків змінюється характер енергетичного стану поверхні металу під покриттям. Відбувається його пасивація, особливо коли плівкоутворювач хімічно взаємодіє з металом і утворює нерозчинні сполуки. Відбувається його пасивація;

в) За високої адгезії покриття уповільнюється відведення продуктів корозії, об'єм яких більший, ніж об'єм прокородованого металу;

І навпаки, низька адгезія покриття є однією із причин підплівкової корозії. Через це всі чинники, які сприяють отриманню покриттів з високою адгезивною міцністю в процесі експлуатації, підвищують захисні властивості покриттів.

## Вплив ефекту інгібування на захисні властивості покриттів

Забезпечується за рахунок уведення в їх склад протикорозійних пігментів та інгібіторів корозії. Інгібуючий ефект проявляється в електрохімічних процесах, які перебігають на межі поділу метал–плівка. Через це інгібовані покриття є ефективними в тому разі, коли вони нанесені безпосередньо на поверхню металу, тобто є ґрунтом. Оскільки корозійний електрохімічний процес перебігає лише за наявності електроліту, то ефективність багатьох протикорозійних пігментів та добавок залежить від їх здатності розчинятися, а тривалість захисної дії – від періоду, протягом якого вони здатні підтримувати метал у пасивному стані. Найбільш поширеним є застосування покриття притикорозійних пігментів. За механізмом дії розрізняють пігменти з анодним інгібуванням і пігменти з катодним інгібуванням.

Анодне інгібування – досягається за допомогою пігментів, які здатні або приймати електрони, або ж збільшувати рН і внаслідок окиснення або гідратації утворювати захисні плівки. У результаті цього електродний потенціал металу зміщується у позитивний бік аж до області пасивного стану, де корозія не відбувається. Найбільш ефективними анодними уповільнювачами корозії є хромат цинку, хромат стронцію, хромат калію–барію, свинцевий сурик, свинцеві і цинкові білила, фосфат хрому. Дуже ефективним є хромат цинку, оскільки має максимальну розчинність у водному середовищі.

### Механізм дії пігментів при анодному інгібуванні

**Хроматні пігменти:** відбувається абсорбція хромат–іонів на поверхні металу, відновлення  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$ , утворення нерозчинних складних комплексних сполук  $\text{Fe}^{3+}$  і  $\text{Cr}^{3+}$ . Пасивуюча здатність максимальна у чистій воді. В агресивних середовищах ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) пасивуюча здатність значно

зменшується. Недоліком цих пігментів є висока токсичність  $\text{Cr}^{6+}$ . Використовують переважно для захисту кольорових металів.

**Фосфатні пігменти** – це фосфатні сполуки хрому, цинку, марганцю. Застосовуються як самостійно, так і в суміші з хроматами, є менш токсичними. Механізм дії полягає в їх дисоціації, адсорбції аніонів на анодних ділянках поверхні, утворенні залізо–цинкфосфатних комплексів, які пасивують поверхню металу. Використовують переважно для захисту чорних металів.

**Пігменти з основними властивостями** ( $\text{ZnO}$ ) – у результаті їх перетворення утворюються групи  $\text{OH}^-$ , які сприяють пасивації поверхні заліза. Використовуються для захисту чорних металів.

**Свинцеві пігменти** ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) – гідролізують з утворенням  $\text{Pb}$ ,  $\text{Pb}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  та ін. При цьому  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  реагує з  $\text{SO}_4^{2-}$ , утворює нерозчинний  $\text{PbSO}_4$ , який відкладається на катодних ділянках поверхні і блокує їх.  $\text{Pb}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  на анодних ділянках утворює комплексні сполуки з іонами заліза, які екранують ці ділянки. Свинцеві пігменти високоефективні, але є дуже токсичними.

### **Катодне інгібування (протекторний захист)**

Для інгібування в нейтральних середовищах використовують порошок цинку або магнієвих сплавів, для лужних середовищ – порошок свинцю. Дія цих пігментів проявляється при високому ступені наповнення плівки порошком, коли досягається контакт поміж окремими частками порошку, і це забезпечує добру електропровідність плівки. Так, протекторні покриття містять  $\approx 95\text{...}96$  % мас. металевого порошку. Алюмінієва пудра для протекторного захисту не використовується, так як поверхня зерен покрита оксидною плівкою.



## Застосування інгібіторів корозії у лакофарбових покриттях

Часто у поєднанні із плівкоутворюючими речовинами застосовують інгібітори корозії – речовини непігментного характеру. Як правило, це *контактні інгібітори* неорганічного та органічного походження. Як *неорганічні інгібітори* використовують солі лужних металів та азотистої і хромової кислот. Їх захисну дію можна пояснити таким чином.  $\text{NO}_2^-$  адсорбуються на поверхні металу, окислюють його і зміщують стаціонарний потенціал в позитивний бік на  $\approx 0,7$  В. Дія аніонів хромової кислоти аналогічна дії хроматних пігментів. *Органічні інгібітори* адсорбуються на поверхні металу і викликають екрануючий ефект. Органічні інгібітори, які вводять в ЛФМ можуть бути маслорозчинними та водорозчинними.

### 10.6. Руйнування лакофарбових покриттів при їх експлуатації

У процесі експлуатації покриттів неминуче відбувається їх старіння, що призводить до руйнування. Це пов'язано з перебігом у плівках необоротних хімічних і фізичних процесів під дією зовнішніх та внутрішніх чинників. Покриття розтріскуються, відшаровуються, змінюють колір, знижуються їх протикорозійні властивості. На певному етапі покриття перестає виконувати свої функції і потребує заміни.

#### Чинники, які викликають руйнування ЛФП

*Руйнування покриттів при нагріванні.* При термічному впливі на полімерну плівку відбуваються необоротні процеси, які пов'язані із розривом хімічних зв'язків:

Тип зв'язку	Енергія зв'язку, кДж/моль
C–C	250...295
C–F	486
B–O	475
Si–O	445

Швидкість руйнування залежить від природи полімеру. Найбільшу термостійкість мають фторопласти, бор–кремній–органічні полімери. Швидкість руйнування залежить також від характеру використовуваних полімерів. Термостійкість збільшує застосування пігментів із лускуватою формою часток: алюмінієвої пудри, бронзи, слюди, графіту. Застосування пластифікаторів навпаки, підсилює деструкцію. Більшість ЛФП мають обмежену термостійкість. Найбільш термостійкими є кремній органічні, фторопластові, поліамідні, органосилікатні покриття. Витримують дію температури в межах 350...450 °С.

### **Руйнування покриттів під дією світла.**

УФ–промені виявляють сильну руйнівну дію на покриття. Під дією УФ–променів молекули полімерів переходять в активний стан. При цьому можлива трансформація світлової енергії в хімічну і можливе розривання міжмолекулярних зв'язків, що призводить до утворення низькомолекулярних продуктів деструкції. Стійкість покриттів до УФ–старіння залежить від їх складу таким чином:

а) найбільш стійкими є плівкоутворювачі, які не мають функціональних груп – фторопласт, полістирол, поліметакрилат. Швидко старіють масляні, бітумні, поліетиленові, НЦ – покриття;

б) пігменти, які є фотохімічно активними ( $ZnO$ ,  $TiO_2$ ), прискорюють деструкцію покриття;

в) пігменти, які екранують випромінювання – вуглець, алюмінієва пудра, бронзова пудра затримують старіння і продовжують термін служби покриття.

### **Руйнування покриттів під дією хімічних агентів**

Початковим етапом є дифузія та сорбція агресивних агентів. Хімічна стійкість покриття визначається природою плівкоутворювача та інших компонентів плівки.

У розчинах кислот найбільшу стійкість мають покриття на основі: поліфторолефінів, пентапласту, співполімери вінілхлориду, епоксидно-фенолформальдегідних і епоксидно-фторопластових плівкоутворювачів. Для захисту від дії лугів застосовують: епоксидні, епоксидно-фторопластові, вінілові полімери, хлорований каучук. Для захисту від гарячої води та пари використовують: фенолформальдегідні, фурилові, епоксидно-фторопластові, пентапластові покриття. Для захисту від дії нафтопродуктів застосовують: епоксидні, кремній органічні, алкідностирольні, поліуретанові, фенолформальдегідні покриття. Захист від дії органічних розчинників здійснюють за допомогою поліуретанових, фурилових, епоксидно-фурилових, фторопластових покриттів.

### **Руйнування покриттів під дією мікроорганізмів**

Такі види руйнування відбуваються під дією біологічних агентів – грибків і бактерій, зустрічаються в тропічному і субтропічному кліматі. У теплій морській воді може відбуватися обростання покриття мікроорганізмами. Швидкість біопошкодження залежить від водопоглинання покриття. Найбільш стійкими є полімери з низьким водопоглинанням: епоксидні, вінілові, кремнійорганічні, поліакрилатні. Достатньо стійкими є природні олігомери: бітум, каніфоль, шелак, так як вони мають кислотні властивості.

Для підвищення стійкості проти біопошкоджень у покривні шари вводять  $\leq 2\%$  фунгіцидів. Для попередження обростання у склад покриттів вводять токсини:  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{HgO}$ , органічні сполуки Sn, Pb.

## **10.7. Способи нанесення лакофарбових матеріалів**

Усі способи поділяються на дві групи:

1. для нанесення рідких ЛФМ.
2. для нанесення порошкових ЛФМ.

### **Способи нанесення рідких лакофарбових матеріалів**

Існує три групи таких способів [22 – 24]:

1. Засновані на перетворенні ЛФМ в аерозоль з наступним осадженням і коагуляцією в тонкому шарі. До цієї групи відносяться: пневматичне розпилювання, електростатичне розпилення, гідравлічне розпилення. ЛФМ попередньо диспергують і перетворюють на аерозоль.

2. Засновані на прямому контакті поверхні виробів з ЛФМ (змочування поверхні, адсорбція). Це методи занурювання, поливання, нанесення в барабанах і на валкових установках, нанесення за допомогою пензлів.

3. Осадження покриття з рідкої фази під дією електричного струму та інших чинників. До цієї групи відносяться методи електроосадження і хемоосадження.

Використання способів у промисловості:

- пневматичне розпилення (27%)
- гідравлічне розпилення (10%)
- електростатичне розпилення (25%)
- поливання, занурювання (12%)
- електроосадження (18%)
- ручні способи (0,4%)

Близько 75% усіх ЛФМ наносять з використанням аерозольних технологій так, як ЛФМ легко дозуються, розподіляються на поверхні тонким шаром.

### **Спосіб пневматичного розпилення**

**Сутність способу:** утворення аерозолі здійснюють шляхом роздрібнювання рідкого ЛФМ струменем стисненого повітря. Утворений аерозоль рухається в напрямку газового струменя в при зіткненні з поверхнею деталі коагулює, окремі краплини зливаються і утворюють тонку плівку покриття. Для отримання аерозолі використовують форсунки з кільцевим газовим каналом і зовнішнім змішуванням рідини і газу. Спосіб найпоширеніший в промисловості. Використовують установки з ручними розпилювачами, а також автоматизовані фарбувальні комплекси.

**Переваги способу:** універсальність, висока продуктивність, простота обладнання, добра якість покриття, можна наносити будь-які види ЛФМ на деталі різних розмірів та складності.

**Недоліки способу:** неекономічність (втрачається 25...55% ЛФМ), необхідна велика кількість розчинників, погані санітарно-гігієнічні умови праці, підвищена пожежна небезпечність.

### **Спосіб електростатичного розпилення**

За своїм значенням займає одне із провідних місць у промисловості.

**Сутність способу:** під час розпилення аерозольними частками ЛФМ одночасно надають електричний заряд, завдяки якому частки рівномірно осаджуються на поверхні протилежно зарядженого виробу. Для утворення аерозолі використовують відцентрове, пневматичне та гідравлічне розпилення ЛФМ.

Надання аерозольним часткам заряду здійснюють за допомогою коронувального електрода і постійного електричного поля високої напруги (50...140 КВ), при цьому вироби, які фарбують, заземляють. Застосовують два способи зарядки аерозольних часток, і це відбивається на апаратному оформленні процесів.

1. **Спосіб іонної зарядки (іонної адсорбції).** Джерело заряду коронний розряд у просторі поміж коронувальним електродом і заземленим виробом. Внаслідок високої напруги відбувається іонізація повітря. Частки аерозолі адсорбують заряджені іони і таким чином отримують заряд. Заряджені частки ЛФМ рухаються уздовж силових ліній поля в бік фарбованої поверхні.

2. **Спосіб контактної зарядки.** Заряд відбувається в результаті контакту ЛФМ з гострим краєм розпилювача, який виконує роль коронувального електрода. Цей електрод має витягнуту форму і утворює край у вигляді вістря. При підключенні високої напруги до коронувального електрода на вістрі краю виникає поверхневий заряд великої густини. Коли на таку поверхню попадає тонкий шар ЛФМ, то він буде заряджатися і під впливом сил електричного поля подрібнюватися на краплини і стікати з поверхні в напрямку заземленої деталі. Чим менший радіус заокруглення електрода, тим більша напруженість поля, тим легше виникає коронний розряд, який викликає розпилення. У цьому способі зарядження кількість аерозольних часток у 10...30 раз більша, ніж у способі іонної зарядки. Через ці переваги спосіб контактної зарядки використовується частіше. Як коронувальний електрод використовують щілинний розпилювач довжиною 500...700 мм.

#### ***Особливості способу електростатичного розпилення.***

1. На виробах складної конфігурації напруженість поля на різних ділянках може бути різною, що призведе до утворення покриття різної товщини. Вироби можуть екранувати один одного, що також призведе до утворення покриття різної товщини.

2. Висока пожежна небезпека у разі використання ЛФМ, що містять високолеткі розчинники (НЦ, ВЛ, АК). Через це установки обладнують іскрозапобіжними пристроями.

3. Складність при нанесенні ЛФМ, які містять металеві порошки–пігменти. При цьому можливий витік заряду по шару фарби, що небезпечно для обслуговуючого персоналу. Для таких ЛФМ розроблені розпилювачі спеціальної конструкції.

***Переваги способу:***

1. Малі втрати ЛФМ (до 10%);
2. Висока якість покриття;
3. Можливість автоматизації;
4. Висока продуктивність;
5. Можна використовувати для фарбування, як дрібних деталей, так і крупногабаритних: автомобілі, автобуси, вагони та ін.

***Недоліки способу:***

1. Не можна фарбувати деталі складної форми та внутрішні поверхні;
2. Підвищені вимоги до ЛФМ (їх електричний опір та діелектрична проникність);
3. Складне обладнання, яке працює під високою напругою;
4. Необхідність високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

**Спосіб гідравлічного розпилення (механічного розпилення, безповітряного розпилення)**

Спосіб базується на диспергуванні рідкого ЛФМ за допомогою гідравлічного тиску, який створюється за допомогою стисненого повітря або помпою. Робота апаратів гідравлічного розпилення заснована на перетворенні потенціальної енергії фарби, яка знаходиться під тиском, у кінетичну енергію при виході її із сопла розпилювача. Розпилювання є більш ефективним у тому разі, коли рідині перед виходом із сопла форсунки надають обертального руху. Гідравлічному розпиленню сприяє нагрівання ЛФМ, так як зменшується її в'язкість. При цьому можна зменшити тиск на ЛФМ.

Основним елементом фарборозпилювача є форсунка відцентрового типу. Такі форсунки можуть бути виготовлені у вигляді порожнистого циліндра або мати форму зрізаного конуса з гвинтоподібною укладкою.

У промисловості використовують обладнання з ручним обслуговуванням та автоматизоване обладнання. Все обладнання поділяється на установки низького тиску та установки високого тиску. Все обладнання є високопродуктивним.

***Переваги способу:***

1. Малі втрати ЛФМ (на 25 % менші ніж при пневморозпиленні);
2. Менші витрати розчинників ( $\approx$  на 25 %);
3. Менше забруднення довкілля;
4. Висока продуктивність;
5. Можна використовувати матеріали з високою в'язкістю.

***Недоліки способу:***

1. Зростання втрат ЛФМ для виробів складної конфігурації;
2. Неefективність застосування для невеликої виробничої програми.

### **Фарбування занурюванням**

Спосіб заснований на змочуванні фарбованої поверхні рідким ЛФМ і утриманні його тонким шаром за рахунок адгезії та в'язкості ЛФМ. Якість та товщина покриття визначається властивостями поверхні та властивостями ЛФМ. Для нанесення покриття вироби занурюють у ванну заповнену ЛФМ, потім їх виймають, витримують певний проміжок часу над ванною або лотком для стікання надлишку фарби [25, 26].

***Переваги способу:***

1. Просте обладнання та його обслуговування;
2. Повна механізація процесу;
3. Одночасно фарбуються зовнішня і внутрішня поверхня виробів.



### ***Недоліки способу:***

1. Нерівномірність покриття;
2. Не можна фарбувати вироби з внутрішніми порожнинами
3. Порівняно великі втрати ЛФМ.

Спосіб занурювання застосовується для нанесення ґрунтовок та одношарових покриттів на деталі невеликих та середніх розмірів.

### **Фарбування способом струминного поливання**

За цим способом ЛФМ на поверхню виробів наносять ламінарними струменями. Для отримання більш рівномірного покриття пофарбовані деталі витримують деякий час у парі розчинника.

### ***Переваги способу:***

1. Зменшення втрат ЛФМ на 10...15% в порівнянні з способом занурювання і на 30 % – у порівнянні з пневморозпиленням;
2. Кількість ЛФМ в установці зменшується у 8...10 раз у порівнянні із занурюванням, що більш безпечно відносно вимог пожежної безпеки;
3. Можливість повної автоматизації;
4. Висока продуктивність.

Спосіб в основному використовують для нанесення ґрунтовок.

### **Валковий спосіб нанесення лакофарбових матеріалів**

Сутність способу полягає в розподілі деякої кількості ЛФМ поміж обертовими валками і перенесенні її на рухому плоску деталь. Призначений для фарбування тільки плоских виробів. Валкова установка складається із корпусу, напрямленого та живильного валів, регулівного валу та вала для нанесення ЛФМ. Вал для нанесення ЛФМ покритого гумою, на інші вали нанесені хромові покриття. Спосіб широко використовується для фарбування рулонних матеріалів.

У промисловості застосовують установки прямої ротації та зворотної ротації. При прямій ротації рух валка, що наносить покриття і рух виробу співпадають. Наносять тонкі покриття. При зворотній ротації рух валка протилежний руху виробу. Наносять більш товсті покриття. Валкові установки працюють у складі автоматичних ліній, які також містять ванни для підготовки поверхні, установки для висушування, транспортні пристрої та ін.

***Переваги способу:***

1. Висока продуктивність.
2. Мінімальні втрати ЛФМ.
3. Малі витрати розчинника.
4. Рівномірність товщини покриття.
5. Можливість наносити порівняно товсті покриття.

*До недоліків* можна віднести те, що валковий спосіб можна застосовувати лише для фарбування плоских деталей.

**Нанесення лакофарбових покриттів електроосадженням**

Спосіб полягає в осадженні ЛФМ у вигляді концентрованого осаду на поверхні виробу під дією постійного електричного струму. Осадження покриття здійснюється за рахунок набування частками ЛФМ, які знаходяться в електропровідній рідині заряду, протилежного за знаком заряду виробу. Є одним із перспективних способів. Існує два різновиди цього способу.

***1. Електрофоретичний спосіб нанесення ЛФМ***

Спосіб пов'язаний із переносом заряджених часток до анода (анофорез), або до катода (катофорез). Необхідною умовою є наявність електропровідного рідкого середовища. Використовують або водні дисперсії полімерів, або органічні дисперсії полімерів у рідинах із високою діелектричною проникністю (спирти, кетони, амідни та їх суміші з водою). З частками не відбувається ніяких хімічних перетворень.

Заряд на частках зумовлений наявністю на їх поверхні подвійного електричного шару, який утворюється у результаті адсорбції іонів, ПАР,  $H_2O$ , молекул розчинника або ж у результаті іонізації поверхневих молекул плівкоутворюючої речовини. Коли ПАР є аніоноактивними, то буде анофорез, коли ПАР катіоноактивні – катофорез. За відсутності ПАР, коли частки набувають заряду внаслідок адсорбції розчинника – буде анофорез.

*Анофорез* є більш поширеним, але при цьому можливе підтравлювання металу. При катофорезі на поверхні металу виділяється водень, який негативно впливає на суцільність покриття, хоча водень перешкоджає окисленню полімерів.

*Вимоги до дисперсних композицій*: висока гомогенність, висока агрегативна стійкість (щоб попередити вибіркове осадження компонентів).

*Технологія нанесення ЛФМ*. Покриття наносять із водних та органічних дисперсій таких плівкоутворювачів: фторопласт, поліетилен, поліпропілен, ПВХ, каучук, бітум та ін. Як протиелектроди використовують пластини із сталі, міді або металевий корпус ванни. Використовують два способи нанесення покриття:

- а) при постійному значенні струму;
- б) при постійному значенні напруги на ванні (отримують більш тонкі покриття). Величина напруги складає 50...300 В, густина струму 10...40 А/дм<sup>2</sup>.

*Основною характеристикою процесу є умовний вихід* за струмом – відношення маси отриманого покриття до кількості пропущеної електрики. Умовний вихід за струмом зростає із збільшенням концентрації диспергованих часток і тривалості нанесення покриття. Великий вплив виявляє значення електрокінетичного потенціалу і величина напруги на ванні. Значно впливає також спосіб обробки поверхні, що покривається та її природа.

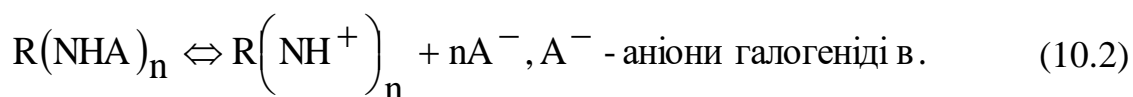
**Переваги способу:** невеликий вміст розчинника в осаді, малі втрати ЛФМ.

## 2. Електроосадження ЛФМ з водних розчинів.

Процес не пов'язаний з електрохімічним розрядом, а супроводжується хімічним перетворенням плівкоутворювачів на електроді або в приелектродному шарі. Для нанесення покриття за цим способом придатні тільки плівкоутворювачі, які у водному середовищі можуть утворювати: поліаніони

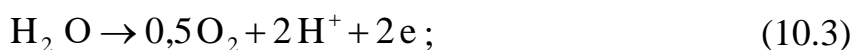


або полі катіони

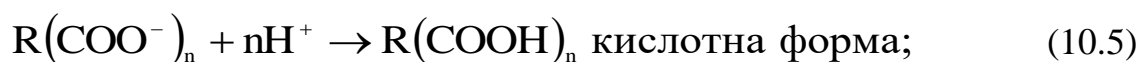


У залежності від природи плівкоутворювачів застосовують анодне або катодне осадження покриття.

**Анодне осадження.** На аноді перебігають такі реакції:



При зростанні анодної поляризації можливе окислення плівкоутворюючої речовини. У при анодному шарі накопичуються  $\text{H}^+$ , рН різко знижується, створюються умови для утворення кислотної або сольової форми плівкоутворювача:





Ступінь іонізації цих сполук невелика і вони осаджуються на поверхні анода у вигляді нерозчинних сполук і утворюють покриття.

Утворення кислотної чи сольової форми залежить від природи металу та характеру його поверхні. Розрізняють три групи металів:

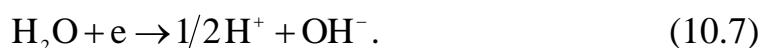
1. Нерозчинні та здатні пасивуватися (Al, Fe). На них осад формується із кислотної форми у вигляді полікислот.

2. Метали, схильні до анодного розчинення при використуванні потенціалів (Zn, Ni, Ag, Fe). на ці металах осад формується із кислотної і основної форми із переважанням кислотної.

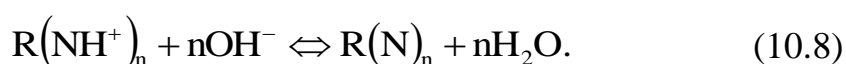
3. Метали, які сильно анодно розчиняються (сплави міді). На них осад формується із сольової форми у вигляді середніх та основних солей. Покриття із кислотної форми мають більш високі механічні та захисні властивості, ніж покриття із сольової форми.

При анодному осадженні покриття відбувається саморегуляція його товщини. Під час формування покриття відбувається ізоляція анода, що призводить до різкого зниження густини струму та швидкості осадження.

**Катодне осадження.** Використовують плівкоутворюючі речовини, які при дисоціації утворюють полікатиони. На катоді перебігає реакція:



У прикатодному шарі накопичується луг (pH=9...10). При таких значеннях pH із полікатионів утворюються олігомерні основні сполуки:



Ці олігомерні основні сполуки є нерозчинними у воді і осаджуються на катоді у вигляді покриття. На катоді також можлива реакція:

$\text{MeO} + 2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e = \text{Me} + 3\text{H}_2\text{O}$ , що призводить до відновлення оксидів деяких металів (Fe, Al, Ni). Однак, відновлення оксидних плівок не завжди сприятливо впливає на захисні властивості покриттів.

***Переваги катодного осадження:***

1. Не відбувається розчинення металу або його фосфату.
2. Виключається окислення плівки утворюючої речовини.

Так, на сталі катодні покриття у два рази більш стійкі, ніж анодні. На сплавах алюмінію катодні покриття не мають переваг, так як при їх нанесенні відбувається відновлення оксидної плівки.

Для нанесення електроосадженням використовують ЛФМ: В–ФЛ – мастильно–фенольні, В–МС – мастильн–стерольні, В–ЕП – епоксидні, В–АУ – алкідно–уретанові. Такі ЛФМ виготовляються у вигляді концентратів та паст.

Нанесення покриттів здійснюють у ванні із нержавіючої сталі, корпус ванни використовують як другий електрод.

Деталі розташовують на підвісках. Корпус підвіски ізолюють гідрофобним матеріалом. Температура складає 20...25 °С. Напруга на ванні 30...350 В. Густина струму 20...50 А/м<sup>2</sup>. Товщина покриття складає 15...30 мкм. Тривалість обробки 60...120 с. Після нанесення покриття обов'язково промивають демінералізованою водою шляхом розпилення з метою видалення залишків ЛФМ, що не перетворився в осад. Висушування покриття здійснюють обдуванням гарячим повітрям.

### **Хемоосадження лакофарбових матеріалів**

Цей спосіб інколи називають автоосадженням або автофоретичним осадженням. Останнім часом йому приділяється значна увага.

Метод заснований на приповерхневій коагуляції водних дисперсій плівкоутворюючих речовин шляхом створення градієнта концентрації

електроліту на межі поділу «поверхня деталі–середовище». Такі водні дисперсії отримали назву «латекс». Вони стабілізовані іоногенними ПАР.

**Механізм хемоосадження.** У водну дисперсію вводять кислоту в такій кількості, щоб вона не порушувала стабільності дисперсії. У таке середовище занурюють деталь, наприклад, сталеву. Кислота взаємодіє з металом, викликає його розчинення. При цьому утворюється висока концентрація гідратованих іонів металу поблизу його поверхні. Іони, що утворюються, викликають руйнування адсорбційно–гідратних шарів на частках латексу, які контактують з поверхнею, що призводить до відкладання полімеру на поверхні виробів. Коли деталі фосфатовані, то процес полегшується, так як фосфатна плівка розчиняється легше, ніж залізо. Коагулюючими при цьому будуть катіони, які входять у склад фосфатної плівки.

**Технологія нанесення.** Використовують латекси різних плівкоутворювачів. Як електроліти використовують  $H_3PO_4$ ,  $HF$  і органічні кислоти. Швидкість розчинення металу і стабільність дисперсії регулюють введенням ПАР, окислювачів та способом підготовки поверхні. При нанесенні покриття на фосфатовану поверхню розчиняється близько 25% товщини фосфатної плівки, але вона після цього зберігає свої захисні властивості. Захисні властивості покриттів, нанесених хемоосадженням, відповідають покриттям отриманим електроосадженням.

**Переваги способу:** рівномірність покриття та повна суцільність, можливість отримувати покриття на виробах будь-якої конфігурації, невеликі енергозатрати. Можна отримувати покриття з товщиною в межах 5...180 мкм.

### **Способи нанесення порошкових лакофарбових матеріалів**

Порошкові ЛФМ мають ряд технічних, екологічних та економічних переваг. Основні із них такі: понижена пожежна небезпечність, невелика токсичність, відсутність шкідливих викидів, високий коефіцієнт використання (98 %).

## **Нанесення порошкових матеріалів у псевдозрідженому шарі порошкового пігменту**

Вироби, нагріті вище температури плавлення порошкового матеріалу, занурюють у ванну, в якій порошковий матеріал знаходиться в псевдозрідженому стані. Частки ЛФМ контактують з поверхнею деталі, плавляться і осідають на поверхню виробу, утворюючи рівний шар. Наступне нагрівання виробу поза межами ванн покращує розтікання розплаву. Охолодження завершує процес отримання покриття.

Псевдозрідження порошкових матеріалів може бути здійснене за допомогою потоку газу, вібрації, або ж одночасною дією газу і вібрації.

Для нанесення в киплячому шарі придатні порошки з характерним розміром часток 50...350 мкм. Можна отримувати одношарові і багатшарові покриття товщиною 150...600 мкм. Втрати ЛФМ складають близько 5 %. Для нанесення покриттів використовують термопластичні порошкові фарби, наприклад: полівінілбутерольні, поліетиленові, полівінілхлоридні, фторопластові, пентапластові матеріали.

Перевагою способу є його простота. До недоліків можна віднести наявність попереднього і додаткового нагрівання, нерівномірність прогрівання виробів, що викликає зниження якості.

## **Нанесення порошкових матеріалів в електричному полі високої напруги**

За цим методом покриття наносять на вироби, які попередньо не нагрівають. Розрізняють два варіанти способів.

**1. *Осадження у хмарі заряджених часток.*** Холодні вироби занурюють у псевдозріджений шар порошку, який знаходиться під дією коронного розряду електричного поля високої напруги. Частки порошкового матеріалу заряджаються і під дією електричних сил осаджуються на виробах. після цього вироби нагрівають і покриття оплавляють.



**2. Напилення порошку в електричному полі.** Частиці порошку подають на розпилювальну головку, до якої одночасно підводять постійну напругу. Частиці заряджаються і рухаються до протилежно зарядженого виробу та осідають на його поверхні.

Для нанесенням цим способом придатні порошкові матеріали з характерним розміром часток 20...120 мкм.

### **Газополум'яне напилення порошкових матеріалів**

Струмінь повітря з частками порошку проходить через полум'я газового пальника. Частиці порошку розплавляються і осідають на попередньо підігріту поверхню виробу. Після цього покриття додатково оплавляють тим же пальником. Товщина покриття складає 0,5...3 мм. Цим способом наносять захисні покриття на хімічне обладнання.

До недоліків цього способу можна віднести малу продуктивність та низькі декоративні властивості покриттів.

## **10.8. Технологія фарбування металів**

Технологічний процес фарбування складається із таких стадій: підготовка поверхні, ґрунтування, шпаклювання, нанесення верхніх шарів, облагороджування поверхні.

### **Підготовка поверхні виробів**

Термін служби ЛФП у значній мірі залежить від якості підготовки поверхні.

**Мета підготовки** – видалення окалини, іржі, масляних та жирових забруднень, а також старих ЛФП при ремонтних роботах. Для підготовки поверхні використовується ряд способів:

**механічні способи підготовки** – струменево–абразивні та гідро–абразивні;

**термічний спосіб підготовка** – для видалення окалини, іржі, старої фарби, мастил. Розрізняють вогневу зачистку, повітряно–електродугову зачистку, відпалювання в печах із відновлювальної та окислювальною атмосферою. При цьому мастила сублімуються, а  $Fe_2O_3$  відновлюється. Термічний спосіб, з метою запобігання короблення і деформації, використовується для виробів з товщиною стінки більше 5 мм. Після термічної обробки застосовують механічну та хімічну обробку.

**Хімічні способи очищення поверхні.** Використовують знежирювання в органічних розчинниках, хімічне знежирювання у водних розчинах, електрохімічне знежирювання і травлення. Для обробки крупно габаритних виробів використовують травильні пасти.

**Видалення старих ЛФП.** Видалення засноване на набуханні, хімічному руйнуванні матеріалу плівки. Застосовують неорганічні та органічні змивні розчини на основі лугів, кислот, сумішей органічних розчинників та пасти.

**Неорганічні змивні розчини містять**  $NaOH$  (100...300 г/л) з додатком  $Na_2CO_3$  та  $CaO$ . Застосовують для видалення масляних, алкідних та інших покриттів, які містять компоненти, здатні гідролізуватися. Неможна видалити покриття з алюмінію та його сплавів. Після видалення покриття поверхню виробів промивають теплою водою.

**Органічні змивні композиції** містять суміш розчинників із додатком уповільнювачів випаровування, загущувачів, розпушувачів, ПАР та інгібіторів корозії. Сама проста змивна композиція містить: ацетон – 60%, бензол – 30%, парафін – 10%. Органічні змивні композиції видаляють всі типи ЛФП. Змивну композицію наносять шаром товщиною 1...2 мм на 10...30 хв. Покриття, які розбухають, потім видаляють механічно або змивають струменем води.

Покриття із порошкових матеріалів видаляють обробкою у розплаві лугу або лужних солей при температурі близько 400 °С.

**Нанесення конверсійних покриттів.** Такі покриття наносять за допомогою процесів фосфатування, оксидування, хроматування (різновид оксидування). Вони призначені для покращання адгезії ЛФП до поверхні. Застосовуються для обробки виробів, які будуть експлуатуватися в жорстких і особливо жорстких умовах.

1. Грунтування. Це нанесення шару, який безпосередньо контактує з поверхнею виробу. Наноситься з метою покращити адгезію основного покриття до металу і надати додатковий протикорозійний захист. До ґрунтовок висувають такі вимоги: висока адгезія до металу, добре зчеплення з поверхневими шарами, високі протикорозійні властивості. Ґрунтовку вибирають з урахуванням природи металу, який фарбують, і природи покривних шарів. Товщина шару ґрунтовки складає 20 мкм.

2. Шпаклювання. Нанесення шпаклювальних композицій здійснюють з метою вирівнювання поверхні. Ґрунтуванням цього не досягається в наслідок малої товщини шару ґрунтовки. Шпаклювання застосовують у тих випадках, коли поверхня виробу має дефекти, а до ЛФП ставлять підвищені вимоги із зовнішнього вигляду.

**Шпаклівки** – це високонаповнені системи, в яких вміст наповнювачів у 4...10 раз більший за вміст плівкоутворювача.

**Вимоги до шпаклівок:**

- а) мінімальна усадка при висиханні;
- б) здатність до шліфування;
- в) достатня механічна міцність;
- г) добре зчеплення з ґрунтом та верхніми шарами покриття.

Надзвичайно важлива властивість – усадка. Її величина залежить від природи плівко утворюючої речовини: епоксидна шпаклівка – 1%; алкідна – 2...4%; ПХВ – 4...6%; НЦ – 10...15%. Чим більша усадка, тим більша

схильність до розтріскування в наслідок внутрішніх напружень, тим тоншим шаром необхідно наносити шпаклівку. Наприклад, товщина шару для шпаклівки НЦ складає близько 0,1 мм, для алкідної – 0,5 мм, для епоксидної – близько 5 мм. Не рекомендується наносити більше трьох шарів шпаклівки. Застосовують *місцеве* шпаклювання та *загальне* шпаклювання. Кожний наступний шар наносять на висушений попередній шар, інколи попередньо відшліфований. Шпаклювальні шари не підвищують захисних властивостей покриття, так як вони схильні до розтріскування та відшаровування. Поверхню виробів за можливості краще вирівнювати на стадії механічної обробки.

1. ***Нанесення верхніх шарів покриття.*** Матеріал верхніх шарів обирають з урахуванням умов експлуатації, зовнішнього вигляду та матеріалу нижніх шарів. Кількість верхніх шарів покриття може змінюватися від 1 до 6. Кожний наступний шар наносять на добре висушений попередній. Для деяких матеріалів попередній шар може бути лише дещо підсушеним. Перший шар є виявлювальний, після його нанесення можливе додаткове шпаклювання.

2. ***Облагоджування поверхні.*** З цією метою використовують механічне шліфування та полірування. Шліфування використовують для вирівнювання поверхні та надання їй потрібної мікрошорсткості. Застосовують міжшарове шліфування та шліфування верхніх шарів.

Полірування використовують для надання поверхні дзеркального блиску.

### **Способи тверднення ЛФП**

***Тверднення*** – це процес перетворення ЛФП у твердий стан. При цьому відбувається випаровування розчинника та інших летких компонентів і хімічні перетворення у плівкоутворювачі – полімеризація, поліконденсація та

ін. У залежності від умов проведення розрізняють наступні способи тверднення.

1. **Тверднення у природних умовах.** Процес характеризується великою тривалістю, а отримувані покриття – недостатньою якістю. Такий процес є неприйнятним при поточному виробництві.

2. **Тверднення в штучно створених умовах** при енергетичному впливі на матеріал ЛФП. Такий процес широко застосовують у промисловості.

У залежності від способу енергетичного впливу розрізняють: теплове тверднення, радіаційне тверднення і тверднення під дією УФ–променів.

**Теплове тверднення** здійснюють з використанням конвекційних камер тупикового або прохідного типів. У цих камерах повітря, нагріте у спеціальних калориферах паро– або електронагрівачами, подається у нижню частину камери. При цьому забезпечується рівномірне обтікання виробів потоком нагрітого повітря.

**Тверднення у терморадіаційних камерах.** Джерелом променевої інфрачервоної енергії у таких камерах є рефлекторні чи панельні нагрівачі із температурою нагрівання 350...400 °С та кварцові лампи.

**Індукційне тверднення** – фарбовані вироби розташовують у полі високої частоти. Нагрів відбувається за рахунок вихрових струмів, які наводяться у фероматеріалі. Метод придатний тільки для обробки виробів із феромагнітних матеріалів.

**Тверднення під дією УФ–променів.** Метод придатний для ЛФМ на основі ненасичених полієфірів та поліакрилатів. Принцип тверднення заснований на здатності УФ–променів ініціювати реакцію полімеризації. Процес тверднення з прийнятною швидкістю відбувається за кімнатної температури, тривалість – 2...5 хв. Джерелом УФ–променів є кварцові лампи ультрафіолетового світла.

## Системи захисних ЛФП та їх вибір

Поєднання ґрунтовки, шпаклівки та верхніх шарів – це системи покриттів, що наводять у довідковій літературі і визначаються галузевою технічною документацією.

*Загальні правила вибору системи покриття.* Вибір ґрунтовки здійснюють з урахуванням природи металу, природи верхніх покривних шарів та умов експлуатації виробів.

– Для фарбування легких металів і сплавів застосовують ґрунтовки які містять хроматні пігменти, але не містять залізо–оксидних пігментів (ФЛ, ЕП).

– Для фарбування чорних металів рекомендується використовувати ЛФМ із залізо–оксидними пігментами у поєднанні хроматними чи фосфатними пігментами (ГФ).

– Коли вироби експлуатуються у морській воді чи морському кліматі, де корозія з катодним контролем, використовують ЛФМ, пігментовані цинковим порошком. При цьому додатково здійснюється електрохімічний захист виробів.

– В окислювальному середовищі, де корозія сталі перебігає з анодним контролем, використовують покриття з пасивуючими пігментами.

– При фарбуванні конструкцій не допускається, щоб на одній поверхні створювалися зони покриття з різними по характеру захисту пігментами.

– Для захисту великих металевих конструкцій доцільно використовувати один і той же вид покриття.

– При виборі системи ЛФП необхідно враховувати поєднуваність ґрунтовок і покривних шарів. Наприклад, епоксидні і поліуретанові ґрунтовки поєднуються з епоксидними та поліуретановими емалями. Акрилові і вінілхлоридні ґрунтовки поєднуються з перхлорвініловими і акриловими емалями. Алкіні і фенольно–масляні ґрунтовки поєднуються з

алкідними, карбамідно–формальжегідними, нітрогліфталеєими, перхлорвініловими емаєями.

Матеріал верхніх шарів вибирають також від умов експлуатації та вимог до зовнішнього вигляду покриття.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Основні компоненти лакофарбових матеріалів та їх призначення.
2. Основне призначення пігментів. Механізм дії пігментів–інгібіторів і пігментів–пасиваторів. Вимоги, які ставлять до пігментів.
3. Класифікація лакофарбових матеріалів. Механізм захисної дії лакофарбових матеріалів. Чинники, що впливають на захисні влаєивості лакофарбових покриттів.
4. Чинники, що спричиняють руйнування лакофарбових покриттів.
5. Класифікація способів нанесення лакофарбових покриттів.
6. Нанесення лакофарбових покриттів способом пневматичного розпилення. Переваги та недоліки способу.
7. Нанесення лакофарбових покриттів способом електростатичного розпилення. Переваги і недоліки способу.
8. Нанесення лакофарбових покриттів способом гідравлічного розпилення. Переваги способу.
9. Нанесення лакофарбових покриттів способом електрофоретичного нанесення. Переваги і недоліки способу.
10. Нанесення лакофарбових покриттів способом електрохімічного осадження. Переваги і недоліки способу.
11. Способи отверджування лакофарбових покриттів.
12. Методи неруйнівного контролю якості лакофарбових покриттів. Визначення твердості лакофарбових покриттів. Визначення елаєивності лакофарбових покриттів.

## РОЗДІЛ 11

### ГУМОВІ ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ

*Гумування* – один із найбільш надійних способів захисту хімічного обладнання від корозії, а також від кавітаційних та ерозійних руйнувань. Гумові покриття стійкі до дії більшості мінеральних та органічних кислот, солей, лугів. Покриття еластичні, теплостійкі, водо– і газонепроникні. Гумові покриття застосовують як самостійні захисні покриття або як підшар під футеровку для особливо жорстких умов експлуатації. У промисловості використовують два види гумових покриттів: на основі листових матеріалів; на основі рідких гумових і ебонітових сумішей [25, 26].

#### 11.1. Гумові покриття на основі листових матеріалів

Використовують листові матеріали виготовлені із невулканізованої гумової суміші методом каландрування. У склад гумової суміші входять: натуральний або синтетичний каучук, прискорювачі та активатори вулканізації, засоби проти старіння, пластифікатори наповнювачі. Основним *вулканізуючим агентом є сірка*. У залежності від вмісту сірки на 100 частин каучуку гумові суміші поділяються на три групи:

- 1) м'які гуми – містять 2...4 частини сірки;
- 2) напівебоніти – містять 12...30 частини сірки;
- 3) ебоніти – містять 35...50 частини сірки.

Листові матеріали мають розміри 20x0,8 м і товщину 0,5 мм. Їх накочують на дерев'яні валки, використовуючи прокладки із тканини. Термін зберігання складає 3...4 місяці.

*М'які гуми* використовують для гумування апаратів, у яких перемішують розчини і на стінки яких діють розтягувальні зусилля або ударні навантаження.



**Напівебоніти і ебоніти** застосовуються для гумування апаратів, які працюють при підвищеній температурі, під тиском або в умовах вакууму, в умовах тропічного клімату.

Для закріплювання листів гуми до металу і для склеювання листів між собою (дублювання) застосовують гумові клеї гарячого або холодного тверднення. Клей 2572; 4508 містить натуральний каучук, сірку, прискорювач вулканізації, наповнювач. Термопреновий клей 51–11–22 містить органічну сульфокислоту, сірчану кислоту, смоли і наповнювачі. Клей може готовим до вжитку або ж бути у вигляді напівфабрикатом – сухої гумової суміші, яку розчиняють у бензині БР–1 до необхідної концентрації.

**Технологічний процес гумування** складається з таких стадій: підготовка поверхні обладнання, готування клею, дублювання і розкроювання заготовок, обклеювання поверхні, вулканізація, контроль якості покриття, ремонт за необхідності.

Підготовка поверхні полягає в очищенні від окалини, іржі, зачистки зварювальних швів, видаленні задирок, знежирювання органічними розчинниками.

Готування клею здійснюють розчиняючи сухі гумові суміші в бензині БР у клеємішалках.

Дублювання. Листи гуми протирають бензином, змащують клеєм і через 15...30 хв склеюють один з одним. Дублюють 2...5 листів. Оптимальна кількість – 3 листи. Дубльовані листи розкроюють ножом по шаблонам, із кромки зрізають фаску шириною 15...20 мм під кутом 35...45 °.

Обклеювання. Металеву поверхню попередньо тричі промащують клеєм з наступним висушуванням кожного шару до 60 хв. Одночасно промащують клеєм заготовки, підсушують і прикочують до металевої поверхні роликми або ж спеціальними електропрасками.

Спочатку обклеюють внутрішню поверхню, потім штуцери, патрубки, кришку. У місцях зварних швів, у місцях сполучення дна з корпусом наклеюють смужки гуми шириною 30...40 см.

**Вулканізація.** призначена для надання покриттю хімічної стійкості, міцності та еластичності. У промисловості використовують два способи вулканізації: вулканізація в вулканізаційних казанах або гумувальних апаратах під тиском; вулканізація відкритим способом (без надлишкового тиску).

Як теплоносій використовують насичену водяну пару, температура конденсації якої залежить від тиску і витримується постійною протягом всього процесу вулканізації. Конкретний режим вулканізації вибирають у залежності від марки гуми, клею, товщини гумового покриття і габаритів обладнання. При вулканізації відкритим способом апарат заповнюють розчином  $\text{CaCl}_2$ , занурюють змішувачі, у які подають пару і витримують визначений час. Контроль суцільності покриття здійснюють за допомогою електричного дефектоскопа з робочою напругою 15...30 кВ. У дефектних місцях утворюються пульсуючі іскри.

## **11.2. Покриття на основі рідких гумових композицій**

Такі покриття безшовні, непроникні, мають високу міцність, стійкі у мінеральних кислотах середньої концентрації, лугах, солях. Їх застосовують як самостійні покриття або як підшар під футеровку. Такими покриттями можна захищати апарати складної конфігурації – центрифуги, мішалки, вентилятори, вироби з перфорованою поверхнею, труби з діаметром менше 27 мм.

**Використовують два види покриттів:**

- на основі рідких гумових сумішей, які тверднуть за звичайної температури;

- на основі рідких ебонітових сумішей, які тверднуть при температурі 100...150 °С. ці покриття мають більш високу міцність, адгезію, вони більш стійкі в агресивних середовищах.

До покриттів на основі рідких гумових сумішей відносяться: тіоколовий герметик У–30М; наїрит; герметик 51–Г–10.

Тіоколовий герметик У–30М – трикомпонентний пастоподібний матеріал на основі рідкого тіоколу (низькомолекулярний полісульфідний каучук), наповнений сажею. Склад герметика: герметизуючи паста, вулканізуючи паста, прискорювач вулканізації – дифеніл гуанідин (співвідношення компонентів 100:(5...7):(0,1...0,5)). Готують шляхом змішування у змішувачах у кількості, якої повинно вистачити на 2 години роботи. Після цього часу відбувається вулканізація герметика.

Технологія нанесення. Підготовлену поверхню грунтують двічі клеєм 88М або хлорнаїритовим грунтом. Після цього наносять декілька шарів герметика шпателем, валком або фарборозпилювачем. За необхідності герметик розбавляють розчинником Р–4 (етилацетат). Здійснюють проміжне висушування окремих шарів. Тривалість вулканізації складає одну добу. Потім обладнання витримують 8...10 діб і після цього починають експлуатацію.

Рідкий наїрит – однокомпонентний 50 % розчин гумової суміші на основі хлоропренового каучуку в суміші розчинників (76 % сольвент, 19 % скипидар, 5 % бутиловий спирт). Нанесення наїриту здійснюють таким чином. Підготовлену поверхню грунтують хлорнаїритовим грунтом. Наїрит наносять шпателем, щіткою, валком декількома шарами з проміжним висушуванням кожного із них. За необхідністю наїрит розбавляють розчинником Р–4 або сольвентом (до 40 %). Тривалість вулканізації складає: 15 діб при температурі розчину 18 °С, три доби при температурі 80 °С, одна доба при температурі розчину 100 °С. отримувані покриття є тріщиностійкими.

Герметик 51–Г–10 – однокомпонентний пастоподібний матеріал, який здатний до самовулканізації. Поусуть герметик – це 55%–й розчин дивінілстирольного термопласту ДСТ–30 у бутилацетаті. Містить наповнювачі – графіт, сажа, адгезив – аеросил, розчинник. Тверднення відбувається за рахунок випаровування розчинників за кімнатної температури. Має високу адгезію до сталі без застосування спеціальних ґрунтів.

Технологія нанесення. Підготовлену поверхню ґрунтують герметиком розбавленим розчинником Р–4 або бензином чи бутилацетатом, висушують протягом 60 хв за кімнатної температури. Після цього наносять основне покриття шпателем (2...3 шари) або пензлем (5...6 шарів). Кожний шар висушують близько 1,5 години за температура розчину 20 °С. Готове покриття витримують 7 діб і потім експлуатують.

Покриття на основі рідких ебонітових композицій – це в'язкі композиції на основі синтетичних низькомолекулярних олігодієнівих каучуків. Як вулканізуючи систему використовують сірку з прискорювачами та активаторами. Для забезпечення заданої товщини покриття в склад композиції вводять тексотропні наповнювачі. Так як для вулканізації потрібна порівняно висока температура, то це обмежує сфери використання таких покриттів. У промисловості використовуються однопакувальні і двопакувальні композиції.

Однопакувальні ебонітові композиції. Це однорідні низьковязкі композиції чорного кольору. Вони не містять органічних розчинників, безпечні у використанні, невулканізуються за кімнатної температури, термін їх зберігання необмежений. Перед використанням композицію гомогенізують у змішувачах (інакше в осад можуть випасти тверді інгредієнти).

### ***Технологія нанесення***

Перший шар наносять пензлем і здійснюють підвулканізацію у термокамерах гарячим повітрям при температурі температура розчину

100...150 °С і тривалістю 2...5 годин. Потім вироби охолоджують до температури розчину 25 °С і наносять пензлем наступний шар товщиною близько 0,3 мм із проміжною вулканізацією за режимом, наведеним нижче. Товщина готового покриття складає 1...2 мм (залежить від марки ебонітової композиції). Готове покриття вулканізують 25 годин при температурі 100 °С або 8 годин при температурі 150 °С. Вулканізацію здійснюють у термокамері.

Двопакувальні ебонітові композиції. Виготовляються і зберігаються у вигляді двох окремих компонентів – в'язкої гумувальної основи і вулканізуючої пасти. Дозування здійснюють за такою схемою – 15...20 частин вулканізуючої пасти на сто частин основи (за масою). Безпосередньо перед нанесенням компоненти змішують, за необхідності розбавляють уайт-спіритом. На підготовлену поверхню наносять 2...4 шари композиції шпателем або пензлем. Кожний шар витримують 1...2 доби за температури 20...25 °С. Товщина покриття складає 2 мм. Остаточну вулканізацію проводять у термокамері без тиску за температури 150 °С протягом 2 годин або за температури 120 °С протягом 20 годин. Деталі невеликих розмірів гумують методом занурювання. Операцію повторюю декілька раз. Внутрішні порожнини труб гумують заливаючи в труби рідкі композиції (при цьому отвори попередньо заглушують).

### **Завдання для самоконтролю**

1. Властивості і призначення захисних гумових покриттів.
2. Характеристики гумувальних матеріалів.
3. Нанесення гумових покриттів на основи листових матеріалів.
4. Нанесення гумових покриттів на основі рідких композицій.
5. Нанесення покриттів на основі рідких ебонітових складів.

## РОЗДІЛ 12

### ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

У залежності від поведінки при нагріванні полімери поділяються на дві групи: термопластичні та терморективні.

**Термопластичні** полімери при нагріванні розм'якшуються, а при охолодженні – тверднуть. При цьому не відбувається ніяких необоротних хімічних перетворень.

**Терморективні** полімери (реактопласти) при нагріванні зазнають необоротних хімічних перетворень, у результаті чого вони тверднуть, перестають розчинятися в різних середовищах і втрачають здатність до зміни форми. Відбувається зшивання полімерних ланцюгів (слабкі сили Ван-дер-Ваальса замінюються на сили внутрішньо молекулярної взаємодії).

#### 12.1. Термопластичні і терморективні полімерні матеріали

Для захисту обладнання використовуються такі полімерні матеріали.

##### Термопластичні матеріали

**Поліетилен** низького тиску. Стійкий у всіх середовищах, за виключенням сильних окислювачів –  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрована. Під дією ПАР – розтріскується. Теплостійкість поліетилену складає 60...75 °С.

**Поліпропілен** – більш міцний, більш теплостійкий, ніж поліетилен. Хімічна стійкість така ж, як у поліетилена.

**Полівінілхлорид** (ПВХ). У залежності від способу отримання може мати 2 форми:

твердий – вініпласт;

м'який – пластикат.

Матеріал добре склеюється і зварюється. Стійкий у більшості середовищ. Руйнується під дією олеуму, азотної кислоти та інших сильних окислювачів. Використовується для футеровки ванн.

**Пентапласт** – кристалічний хлорований поліефір. Властивості близькі до поліпропілену. Теплостійкість складає 120...130 °С. Стійкий у багатьох середовищах. Руйнується під дією олеуму та азотної кислоти.

**Політетрафторетилен** (фторопласт-4, тефлон) – хімічно дуже стійкий. Руйнується тільки під дією розплавів лужних металів, під дією фтору та інших фторвмісних сполук (за підвищених температури та тиску).

### **Термореактивні матеріали**

**Фіоліти** – фенолформальдегідні смоли, як наповнювачі використовують азбест, тальк, графіт. Можуть бути у вигляді листів, пресованої маси, замазки.

**Арзаміти** – епоксидні смоли, застосовуються із затверджувачами.

**Поліефірні смоли** використовуються як мастики.

## **12.2. Способи нанесення захисних полімерних покриттів**

У промисловості використовують три групи способів:

1. Приклеювання або механічне закріплення листів, плиток, об'ємних елементів.
2. Нанесення рідких композицій (мастик, паст, суспензій).
3. Нанесення порошкових полімерів з наступним їх опаленням.

### **Нанесення захисних покриттів із листів (футерування)**

Із листів полімеру формують окремі елементи, прикріплюють їх до стінок і зварюють листи один з одним. Кріплення до стінок здійснюють за

допомогою болтів, заклепок, або за допомогою клею. У разі використання клею листи попередньо дублюють тканиною, склотканиною або вугільною тканиною (листи нагрівають і під тиском тканину «укріплюють» у полімері).

Дубльовані листи приклеюють до стінок за допомогою клею 88Н, 88НП – клей три рази наносять на стінки, один раз на лист і через 10...30 хвилин приклеюють. Коли листи не дубльовані, то їх поверхню активують хімічно (протягом 1...10 хвилин обробляють розчином суміші  $K_2Cr_2O_7$  і  $H_2SO_4$ ) або ж здійснюють короткочасну газополум'яну обробку поверхні.

### **Зварювання листів і плівок термопластів**

Екструзійне зварювання здійснюється за допомогою пістолета–екструдера, через мундштук якого видавлюється розплавлений присаджувальний матеріал у зазор між з'єднуваними поверхнями. При цьому поверхні нагріваються і сплавляються між собою. Температура присаджувального матеріалу повинна бути на 30...60 °С вищою за температуру текучості полімеру. Екструзійне зварювання здійснюють на напівавтоматичних установках.

### **Зварювання нагрітим газом і присаджувальними прутками**

Метод ручний. Використовують зварювальний пістолет, у якому повітря нагрівається електрикою. Струмінь гарячого повітря одночасно нагріває зварювані краї і присаджувальний пруток. Температура зварювання складає 200...250 °С і залежить від природи полімеру. Поверхні листів сплавляються між собою.

### **Термоконтактне зварювання**

Зварювані поверхні доводять до в'язко–текучого стану від металевого інструменту. Цей же інструмент також створює необхідний тиск. Як



інструмент використовують обертові ролики, пластини, переносний прес. Довжина швів складає 0,4...3,75 м.

### **Нанесення покриттів з рідких композицій**

Використовують в'язкі рідкі композиції на основі епоксидних смол ЕД-16; ЕД-20 із наповнювачами, а також композиції на основі суміщених смол – фенольно-епоксидні замазки та ін..

Покриття наносять двома способами:

- а) розпиленням з окремою подачею суміші та затверджувача;
- б) за допомогою шпателів та пензля.

***Нанесення покриттів із розплавів.*** Деталі з підготовленою поверхнею попередньо розігрівають і занурюють у розплав ПВХ.

### **Нанесення покриттів із порошкоподібних полімерів**

Порошкоподібні полімери під час їх оплавлення на поверхні утворюють монолітну захисну плівку товщиною 0,2...1,5 мм. При цьому відбувається термоокислювальна деструкція полімеру, через що порошки термостабілізують добавками (до 0,5 % від маси). Захисні властивості полімерних плівок у значній мірі залежать від їх адгезії до поверхні. Для покращання адгезії рекомендують сталь попередньо фосфатувати, сплави алюмінію і магнію – оксидувати.

### **Методи нанесення порошкоподібних полімерів**

1. Нанесення в киплячому шарі (вихрове напилення, вібро-вихрове напилення).
2. Газополуменеве напилення.
3. Метод електростатичного напилення.
4. Метод струминного напилення.

Дрібно–дисперсний порошок через розпилювальну головку стисненим повітрям подається на попередньо розігріту поверхню деталі, де частки сплавляються в плівку. Подача повітряно–порошкової суміші автоматизована. Зазвичай наносять декілька шарів покриття. Після нанесення кожного шару його оплавлюють.

### **Метод термо-променевого напилення**

Порошок полімеру повітряним струменем подається у потужний потік теплових променів, під дією яких частки полімеру плавляться і з великою швидкістю спрямовуються до поверхні деталі. Ударяючи по цій поверхні, частки полімеру зчіплюються з нею і утворюють покриття. Як джерело тепла використовують кварцові лампи, установлені у фокусах параболічних відбивачів. Вони виготовлені із полірованого алюмінію і охолоджуються. У порівнянні із газополуменевим напиленням витрати порошку менші на 25...30 %, витрати енергії менші в 4 рази. Цим методом можна наносити покриття на крупно габаритні деталі без попереднього розігрівання виробів.

*Метод відцентрового напилення.* Застосовують для захисту внутрішніх поверхонь деталей, які мають вигляд тіл обертання.

Полімерний порошок через розпилювач подається всередину нагрітого виробу, який обертається із швидкістю 300 хв<sup>-1</sup>. Через 2...3 хв вироби піддають термообробці.

### **Контроль якості і ремонт полімерних покриттів**

Товщину покриття контролюють за допомогою електромагнітних товщиномірів. Суцільність покриття контролюють електроіскровими дефектоскопами з робочою напругою 4...6 кВ.

Невеликі дефекти ремонтують таким чином. Місця дефектів зачишають, стінку прогрівають зовні газовим пальником до температури

плавлення полімеру, на місце дефекту насипають порошок, утрамбовують його і оплавляють його, нагріваючи зовнішній бік стінки.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Характеристика полімерних матеріалів, які застосовуються для нанесення захисних покриттів.
2. Способи нанесення полімерних захисних покриттів та їх порівняльна характеристика.
3. Нанесення захисних полімерних покриттів із рідких композицій.
4. Нанесення захисних полімерних покриттів із порошкових матеріалів.

## РОЗДІЛ 13

### ЗАХИСНІ ЕМАЛЕВІ ПОКРИТТЯ

Одним із сучасних способів захисту хімічного обладнання від дії корозійного середовища є емалювання.

*Склоемалеві* покриття – це скло, наплавлене на метал з утворенням міцно зчепленого шару, стійкого до дії багатьох агресивних середовищ. Крім захисту від корозії, емалеві покриття надають металу декоративних властивостей.

Висока корозійна стійкість емалевих покриттів визначається хімічним складом вихідного матеріалу для емалювання (фріти) і високою міцністю зчеплення з металевою поверхнею. Висока міцність зчеплення формується шляхом проникнення розплавленої емалі в мікро нерівності металеві поверхні а також частковим розчиненням металу в склі (утворюються хімічні зв'язки).

Як складові матеріали для наплавлення покриття використовують ґрунтові емалі і покривні емалі.

*Ґрунтові емалі* використовують для наплавлення проміжного буферного шару, міцно щепленого з металевою поверхнею і компенсуючого градієнт температурного коефіцієнта лінійного розширення металу і шару покривної емалі.

*Покривні емалі* застосовують для наплавлення покривного (верхнього) шару, стійкого в агресивних середовищах в діапазоні температур від мінус 40 до плюс 300 °С.

За функціональним призначенням покривні емалі поділяють на три групи:

- 1) кисло стійкі – захищають метал в кислих розчинах за виключенням HF і F<sup>-</sup>;

2) кислотостійкі з підвищеної лужністю – для захисту металів від кислот і слабких розчинів лугів;

3) універсальні – захищають метал в кислих та лужних середовищах.

### **Технологія отримання ґрунтових і покривних емалей**

Складається з таких операцій: приготування шихти, варка (плавка) і вироблення емалі. Для виготовлення шихти емалей використовують: кварцовий пісок, буру, соду, селітру, карбонат стронцію, карбонат літію, плавиковий шпат, глинозем та інші компоненти. Шихту змішують у змішувачах, після перемішування завантажують у піч. Емаль варять в емалеплавильних печах. Піч має вигляд футерованого барабану, який з обох боків закінчується зрізаними конусними поверхнями. Барабан обертається. Через отвори в конічних поверхнях уводять пальники. Завантаження і вивантаження печі здійснюють люк у боковій поверхні. Перед завантаженням піч розігрівають до температури варки 1200...1300 °С. Тривалість процесу варіння складає 2...4 години.

Зварену емаль різко охолоджують шляхом зливання тонким струменем у бак з холодною водою, або ж на струмінь розплавленої емалі направляють струмінь води. Відбувається процес грануляції, утворюються дрібні *пластинки або луски емалі*. Емаль у такому стані отримала назву *Фріта*.

### **Технологія отримання пудри та шлікерів емалі**

Виготовлення пудри. Емаль (фріту) подрібнюють сухим способом у кульових футерованих млинах. Як футеровку використовують плитки із надтвердих матеріалів – корунд, кварцит, цирконієві маси. Кульки млина також виготовлені з цих матеріалів. Потім здійснюють мокрий розмол – додають воду і млинові добавки. Речовину, отриману за допомогою мокрого розмолу, називають шлікером. Основні компоненти шлікера емалі: гранулят

(фріта), глинисті компоненти (глина, бетоніт та ін.), кристалічні наповнювачі (пісок, оксид титану, оксид цирконію та ін.), електроліти (бура, сода, поташ в вода). Застосовують також спеціальні барвники та добавки для підвищення електропровідності.

**Емалевий шлікер** – це суспензія, дисперсною фазою якої є частки емалевої фріти, глини та інших речовин, а дисперсійною фазою є водний розчин електролітів. Поряд із грубими зернами фріти присутні частки колоїдного розчину, які обумовлені введенням глини. Глина відіграє вирішальну роль у процесі коагуляції. Після розмолу емалевий шлікер проціджують через сито вібраційного типу, а потім через магнітний сепаратор. Готовий шлікер витримують 24...48 год до початку використання. За цей час відбувається процес «старіння» – стабілізація властивостей. Продовжується процес руйнування поверхні зерен емалі (гідроліз, розчинення, іонний обмін), відбувається адсорбція іонів на поверхні часток глини. З часом ці процеси уповільнюються. Тривалість зберігання готового шлікера не перевищує 10 діб.

### **Нанесення шлікерів, сушка і наплавлення емалей**

Підготовка поверхні металевих виробів. Термічна обробка здійснюється при температурі 650...900 °С. При цьому відбувається випалювання жирів, окислення заліза, часткове зневуглицьовування поверхневого шару ( $\text{Fe}_3\text{C} + \text{H}_2\text{O} = 3\text{Fe} + \text{CO} + \text{H}_2$ ;  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ ). Одночасно усувається внутрішні напруження у металі, які виникають при виготовленні деталей. Після термічної обробки деталі механічно зачищають або здійснюють дробоструминну обробку сталевим або чавунним дробом (сталеві і чавунні вироби відповідно). Інколи додатково виконують абразивне шліфування. Відразу ж після підготовки поверхні здійснюють нанесення покриття.

Нанесення шлікерів металів методом пульверизації. Товщина одного шару складає 0,15...0,2 мм. Зазвичай товщина емалевого покриття має складати 0,8...1,5 мм. Через це на вироби наносять 2...3 шари шлікера ґрунтової емалі і 4...8 шарів покривної емалі. Кожний шар нанесеного шлікера висушують теплим повітрям при температурі 60...80 °С. У разі необхідності у великі вироби нагнітають гаряче повітря.

Наплавлення емалі здійснюють у електричних печах дзвонового типу. Печі мають нижнє рухоме дно. Дно печі піднімається або опускається механічно за допомогою гідроприводу. Піч працює в автоматичному режимі.

### **Завдання для самоконтролю**

1. Типи емалевих покриттів.
2. Технологія отримання фрити.
3. Технологія отримання шлікеру емалі.
4. Підготовка поверхні металевих виробів до нанесення емалі.
5. Способи нанесення шлікеру на поверхню металу.

## РОЗДІЛ 14

### ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

#### Практичне заняття 1. Будова друкованих плат різних типів

В залежності від призначення та можливостями виробництва, ДП можуть розрізнятися матеріалом основи, конструктивними особливостями та технологіями виготовлення (рис. 14.1) [8].

У залежності від кількості використовуваних шарів діелектрика друковані плати поділяють на одношарові і багатошарові.

Одношарові плати можуть бути однобічними і двобічними.

Однобічні друковані плати (ОДП) мають провідний рисунок з одного боку (рис. 14.2 а та б). Монтажні отвори в них, як правило, не металізуються. Такі плати прості за конструкцією, операції з їх виготовлення легко автоматизуються, що знижує собівартість. Однобічні плати широко використовуються для монтажу побутової радіоапаратури, блоків живлення та інших нескладних приладів.

Двобічні друковані плати (ДДП) мають провідний рисунок на обох боках діелектричної основи (рис. 14.2 в). Електричний зв'язок струмопровідного рисунка на обох боках плати здійснюється за допомогою металізації отворів (перехідних отворів). Двобічні друковані плати мають підвищену щільність монтажу і високу надійність з'єднань. Вони широко використовуються при виготовленні засобів вимірювальної техніки, систем керування і автоматичного регулювання. Розташування елементів друкованого монтажу на металевій основі із нанесеним





Рис. 14.1. Класифікація друкованих плат

зовнішнім електроізолюючим шаром дозволяє вирішити проблему тепловідведення у великопотужній і радіопередавальній апаратурі.

Багатошарові друковані плати (БДП) (рис. 14.3) складаються з розташованих поперемінно шарів ізоляційного матеріалу і провідного рисунка, з'єднаних клейовими прокладками в процесі пресування в монолітну структуру.

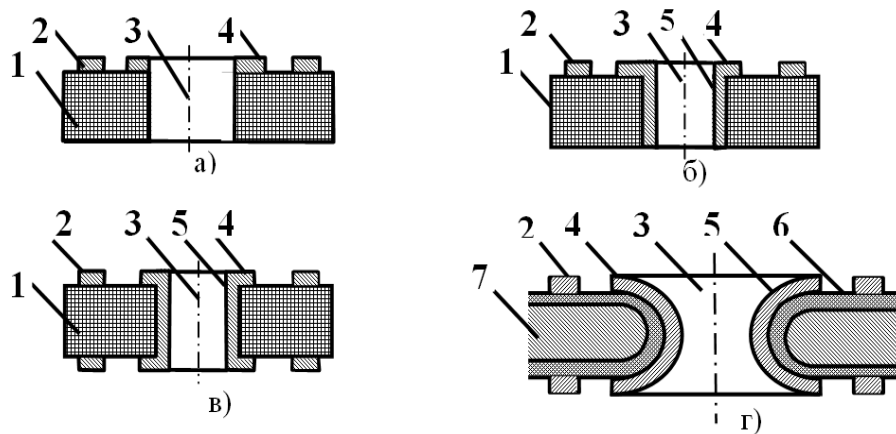


Рис. 14.2. Переріз друкованих плат: 1 – основа–діелектрик; 2 – металевий друкований провідник; 3 – монтажний отвір; 4 – контактна площинка; 5 – металізація отвору; 6 –сформований діелектрик, 7 – металева основа

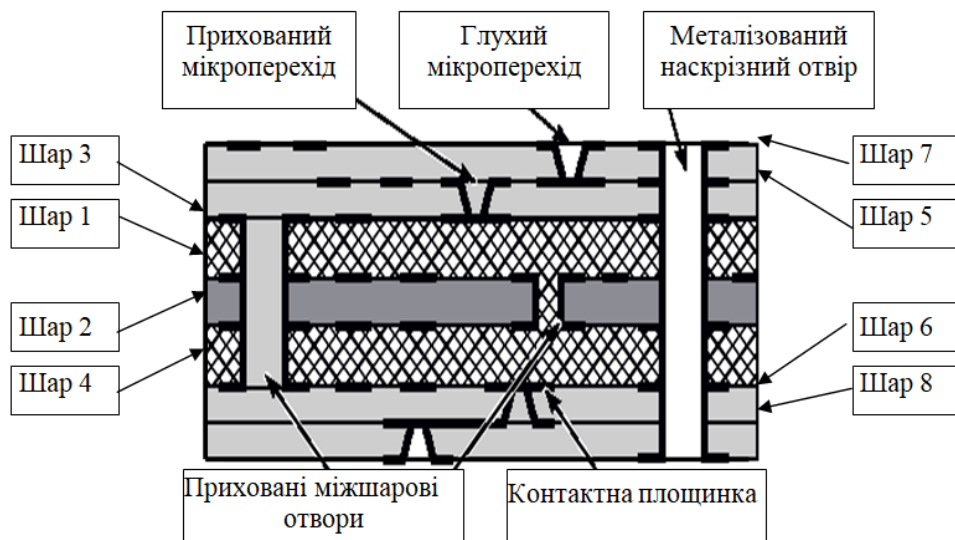


Рис. 14.3. Конструкція багатошарової друкованої плати для багатоінтегрованої елементної бази

Електричний зв'язок між окремими провідними шарами найчастіше виконується хіміко–гальванічною металізацією. У порівнянні з одношаровими платами багатошарові ДП характеризуються підвищеною надійністю і щільністю монтажу, стійкістю до механічних та кліматичних впливів, зменшенням розмірів і числа контактів. Проте велика трудомісткість виготовлення, необхідність ретельного контролю на всіх операціях, складність технологічного обладнання і висока вартість обумовлюють застосування БДП, в основному, при виробництві електронно–обчислювальної, авіаційної та космічної апаратури.

Друковані плати можуть бути виготовленими на твердій і на гнучкій основі.

Гнучкі друковані плати (ГДП) (рис. 14.2 г) за своєю конструкцією подібні до ОДП та ДДП, але виконані на еластичній діелектричній основі товщиною (0,1 – 0,5) мм. Використовують ГДП у тих випадках, коли вони працюють в умовах вібрації, багатократних згинань, або коли платі необхідно надати компакту вигнуту форму. Різновидом ГДП є гнучкі друковані кабелі, які містять один або декілька непровідних шарів з розташованими на них друкованими провідниками. Товщина ГДП знаходиться в межах від 0,06 до 0,3 мм. Їх використовують для з'єднання блоків і вузлів апаратури, оскільки вони займають менший об'єм і легші за круглі джгути і кабелі, а їх виробництво може проводитися безперервно з рулонного матеріалу.

### **Завдання для самоконтролю**

Підготувати доповіді з електронними презентаціями на наступні теми:

1. Міжнародні стандарти у виробництві друкованих плат. Класифікація друкованих плат відповідно стандартів. Міжнародні маркування матеріалів (склотекстолітів).
2. Способи виробництва багатошарових друкованих плат.

3. Пресування пакету БДП. Обладнання особливості технології
4. Позитивний комбінований спосіб виробництва друкованих плат. Апаратурне оформлення технологічні параметри.
5. Будова друкованих плат. Дефекти у мідних провідниках. Причини їх виникнення.
6. Механічна обробка друкованих плат за контуром та свердління матеріали і методи.
7. Тентінг метод як різновид негативного комбінованого способу.
8. Сучасні способи монтажу (паяння) радіоелементів (з штирьовими виводами, з планарними виводами, BGA спосіб монтажу). Можливі дефекти при паянні радіоелементів.
9. Паяльні маски, склад, зарубіжне маркування та способи нанесення (обладнання для нанесення). Дефекти при нанесенні паяльної маски.
10. Плівкові фоторезисти сучасні міжнародні маркування. Обладнання та способи для нанесення.
11. Технологія виробництва гнучких друкованих плат матеріали та обладнання для їх виготовлення.
12. Технологія та обладнання для нанесення імерсійних покриттів на контакти друкованих плат.
13. Способи виробництва друкованих плат у мікроелектроніці.

## **Практичне заняття 2. Розрахунок та вибір обладнання для електроосадження металів при виробництві друкованих плат**

Нанесення гальванічних покриттів на друковані плати, як правило, здійснюють в спеціалізованих автоматичних лініях для хіміко–гальванічної обробки друкованих плат, які відрізняються своєю конструкцією і продуктивністю. Гальванічні ванни у цих лініях мають різну конструкцію та відрізняються своїми розмірами. Наприклад, в автоматичній лінії АГ–44 М використовують двопозиційні гальванічні ванни, в яких гальванічні покриття

одночасно наносяться на двох паралельно розташованих катодних штангах, а в автоматичній лінії «Діна плюс 130» використовують – шестипозиційну і двопозиційні ванни. У лініях з невеликою продуктивністю використовують однопозиційні ванни, які відрізняються невеликими розмірами. У дипломному проекті вибирають гальванічну ванну із складу відповідного типу автоматичних ліній, розміри якої співпадають із розрахунковими в проекті розмірами ванни [8].

Для розрахунку конструктивних розмірів ванни необхідно знати:

- річну виробничу програму –  $P_p$ ;
- час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіска з платами) з урахуванням часу на завантаження і вивантаження  $\tau$ , хв;
- товщину покриття на платах,  $\delta_n$  мкм;
- габаритні розміри плати і її площу та коефіцієнт заповнення поверхні плат.

### **Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання**

Час роботи обладнання, яке буде використане в даному проекті, визначається режимом роботи підприємства, технологічною схемою процесу та особливостями технологічного обладнання.

**Номінальний річний фонд часу роботи** обладнання  $T_n$  (в годинах) при переривчастому виробництві розраховують виходячи із кількості робочих днів на рік  $T_{\text{раб}}$ , тривалості робочого дня в годинах ( $\tau_{\text{доб}}$ ), за виключенням кількості годин в передсвяткові дні ( $t_{\text{перед}}$ ), а також кількості робочих змін ( $n_{\text{змн}}$ ). Святкові дні, які співпадають із вихідними днями на враховуються, таких днів на рік приходить 2. В передсвяткові дні виключається 1 година, тоді кількість передсвяткових годин, що необхідно виключити складає:

$$t_{\text{перед}} = (T_{\text{свят}} - 2) \cdot 1 = (10 - 2) \cdot 1 = 8 \text{ годин.} \quad (14.1)$$

Таким чином номінальний річний фонд робочих годин дорівнює:

$$T_{\text{н}} = (T_{\text{роб}} \cdot \tau_{\text{доб}} - t_{\text{перед}}). \quad (14.2)$$

Кількість робочих днів на рік дорівнює кількості календарних днів у році ( $T_{\text{к}} = 365$ ) за відрахуванням вихідних ( $T_{\text{вих}} = 104$ ) і святкових ( $T_{\text{свя}} = 10$ ) днів:  $T_{\text{роб}} = T_{\text{к}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{свя}} = 365 - 104 - 10 = 251$  день.

При п'ятиденному робочому тижні ( $t_{\text{рб дн}} = 5$ ) тривалістю 41 годину ( $\tau_{\text{тиж}} = 41$  год.) і двозмінній роботі ( $n_{\text{змн}} = 2$ ) за відрахуванням передсвяткові години, **номінальний річний фонд часу роботи** обладнання  $T_{\text{н}}$  дорівнює, годин:

$$T_{\text{н}} = \left[ (T_{\text{к}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{свят}}) \cdot \frac{\tau_{\text{тиж}}}{t_{\text{рб дн}}} - t_{\text{перед}} \right] \cdot n_{\text{змн}} =$$

$$= \left[ (265 - 104 - 10) \cdot \frac{41}{5} - 8 \right] \cdot 2 = 4100,4.$$

**Дійсний річний фонд часу** роботи обладнання  $T_{\text{д}}$  (год) визначають, виходячи із  $T_{\text{н}}$  з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання ( $K_{\text{пр}}$ ), які в гальванічному виробництві можуть складати від 2 до 8 %, тобто:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{н}} - K_{\text{пр}} \cdot T_{\text{н}}. \quad (14.3)$$

При роботі неавтоматизованого, немеханізованого обладнання і стаціонарних ванн загальні витрати часу на простої обладнання, яке працює в одну зміну, складає 2 %, а у дві зміни – 3 % від  $T_{\text{н}}$ . При роботі автоматизованого обладнання у дві зміни – 8 % від  $T_{\text{н}}$ .

### Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної виробничої програми  $P_p$ , необхідно задану виробничу програму  $P_{звп}$  збільшити на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5...3 % ( $K_{бр} = 0,005...0,03$ ) від  $P_{зп}$  (Виробнича програма може бути задана в штуках плат на рік або в  $m^2$  на рік):

$$P_p = P_{звп} + K_{бр} \cdot P_{звп}. \quad (14.4)$$

*Добова виробнича програма*  $P_{доб}$  складає:

$$P_p = \frac{P}{T_{раб}}, \quad (14.5)$$

де  $T_{раб}$  – кількість робочих діб у календарному році.

*Годинна виробнича програма*  $P_{г}$  визначається як:

$$P_{г} = \frac{P}{T_{д}}. \quad (14.6)$$

Тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски з платами, кількість яких може вимірюватися в  $[m^2]$  або [шт.] ) – « $\tau$ » складається із двох величин технологічного часу електрохімічного катодного нанесення покриття на плати ( $\tau_{т}$ ) та часу технічного обслуговування ( $\tau_{об}$ ) ванни, хв:

$$\tau = \tau_{т} + \tau_{об}, \quad (14.7)$$

Технологічний час –  $\tau_{т}$  розраховують за формулою, хв:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_k}, \quad (14.8)$$

де  $\delta_n$  – товщина покриття, мкм;  $d_m$  – густина металу покриття, г/см<sup>3</sup>;  $B_c$  – катодний вихід за струмом (частка одиниці);  $K_e$  – електрохімічний еквівалент металу покриття, г/(А·год);  $i_k$  – середня катодна густина струму, А/дм<sup>2</sup>.

Величину  $\tau_{об}$  – часу технічного обслуговування, необхідного для завантаження підвіски з платами у ванну та її вивантаження, для розрахунків приймають 1...3 хвилини.

При нанесенні гальванічним способом сплавів, для яких відсутні табличні значення густини  $d_{спл}$  та його електрохімічного еквівалента  $K_{e\text{ спл}}$ , ці параметри можна вирахувати за такими формулами:

$$d_{спл} = \frac{100}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2} + \dots + \frac{P_n}{d_n}}, \text{ г/см}^3, \quad (14.9)$$

де  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – вміст окремих компонентів у сплаві, %;  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – щільність відповідних компонентів сплаву, г/см<sup>3</sup>.

Умовний електрохімічний еквівалент сплаву, г/(А·год) розраховується за формулою:

$$K_{e\text{ спл}} = \frac{I}{q_{спл}}, \quad (14.10)$$

де  $q_{спл}$  – кількість електрики, необхідної для осадження 1 г сплаву, (А·год)/г,

$$q_{спл} = \frac{P_1}{100 \cdot K_{eMe1}} + \frac{P_2}{100 \cdot K_{eMe2}} + \dots + \frac{P_n}{100 \cdot K_{eMen}}, \quad (14.11)$$



де  $K_{eMe1}, K_{eMe2}, \dots, K_{eMen}$  – електрохімічні еквіваленти окремих компонентів сплаву, г/А·год.

Затрати часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванни і на допоміжні операції враховуються за допомогою коефіцієнта  $K_{об}$ : для роботи в одну зміну  $K_{об} = 1,06 \dots 1,1$ ; у дві зміни –  $1,03 \dots 1,05$ ; у три зміни –  $K_{об} = 1,02 \dots 1,04$ .

На основі дійсного річного фонду часу роботи обладнання  $T_{дій}$  та тривалості обробки однієї завантажувальної одиниці ванни  $\tau$  визначають загальну кількість завантажень « $\Sigma N$ »:

$$\Sigma N = \frac{T_{д} \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} \quad (14.12)$$

Тоді разове одночасне завантаження усіх ванн « $N_{оз}$ », в одиницях (м<sup>2</sup> або шт.) дорівнює:

$$N_{оз} = \frac{P_P}{\Sigma N} \quad (14.13)$$

Після цього, у залежності від розмірів плат, які передбачається обробляти, і наявного гальванічного обладнання здійснюють перерахунок уже діючого обладнання, встановленого в цеху.

### **Розрахунок конструктивних розмірів ванни і коефіцієнту завантаження обладнання**

Метою цього розрахунку є встановлення можливості виконання річного виробничого завдання на існуючому обладнанні, визначення

величини одночасного завантаження у ванну та необхідної кількості ванн в автоматичній лінії.

Габаритні розміри вибраного типу ванн визначають, виходячи із габаритних розмірів ванн відповідних автоматичних гальванічних ліній, що використовуються для виробництва ДП.

Виходячи із габаритних розмірів вибраних ванн, якими обладнана автоматична автооператорна лінія, визначають довжину  $l_n$  підвісного пристрою та його висоту  $h_n$ :

$$l_n = l - 2l_1, \quad (14.14)$$

де  $l$  – внутрішня довжина ванни, м;  $l_1$  – відстань від краю підвіски до борта ванни (приймають у межах 0,10...0,15 м);

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3, \quad (14.15)$$

де  $h$  – внутрішня висота ванни, м;  $h_1$  – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски (0,15...0,20 м, більший розмір приймають за наявності на дні ванни барботера);  $h_2$  – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту (приймають 0,05 м);  $h_3$  – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни 0,10...0,15 м, більший розмір приймають за наявності перемішування електроліту, а при використанні бортових відсмоктувачів величину  $h_3$  збільшують до 0,15...0,30 м.

Визначивши габаритні розміри підвісного пристрою і знаючи габаритні розміри плат, встановлюють кількість плат  $N_p$ , яку можна закріпити на один підвісний пристрій (плати не повинні екранувати одна одну і між ними необхідно передбачити невеликі зазори 0,005...0,01 м). Наводять схему або ескіз розташування плат на підвісці.

Потім розраховують ширину ванни, виходячи із того, що відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з платами  $l_{a-k}$  повинна відповідати нормованому значенню, яке складе 0,15...0,25 м. Така відстань необхідна для

забезпечення максимальної рівномірності покриття при зворотно-поступальному руху підвіски між анодами. Для однопозиційних ванн  $l_{a-k}$  складає, м:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_l}{2}. \quad (14.16)$$

У разі використання багатопозиційної ванни, коли одночасно покриття наноситься на декілька, паралельно розташованих підвісках із платами  $l_{a-k}$  розраховують за формулою:

$$l_{a-k} = \frac{B - nB_n - 2nB_a - 2B_l}{2n}, \quad (14.17)$$

де  $B$  – внутрішня ширина ванни;  $B_n$  – товщина підвіски з платами (визначається із креслення підвіски з платами);  $B_a$  – товщина анодів;  $B_l$  – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, приймають 0,05...0,10 м;  $n$  – кількість технологічних позицій (катодних штанг) у ванні. У подальшому розрахована величина  $l_{a-k}$  використовується для визначення напруги на ванні.

Враховуючи габаритні розміри ванни розраховують кількість підвісок ( $n_{\text{під}}$ ), які одночасно можуть бути завантажені в одну ванну, а знаючи кількість плат на одній підвісці ( $N_n$ ) розраховують сумарну кількість плат (шт), що одноразово завантажуються у ванну  $N_{\text{озв}}$ .

$$N_{\text{озв}} = n_{\text{під}} \cdot N_n. \quad (14.18)$$

Використовуючи визначену величину одноразового завантаження всіх ванн « $N_{\text{оз}}$ » і однієї ванни « $N_{\text{озв}}$ », розраховують кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми,  $\Sigma n_b$ :

$$\Sigma n_B = \frac{N_{O3}}{N_{O3B}}, \quad (14.19)$$

де  $\Sigma n_B$  – дробове число, то його заокруглюють у більший бік до цілого числа  $\Sigma n_B$ .

Виходячи із визначеної кількості ванн, розраховують річну продуктивність вибраного обладнання,  $P_p'$ :

$$P_p' = \Sigma n_B^* \cdot N_{O3B} \cdot \frac{T_D \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}}, \quad (14.20)$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p'}. \quad (14.21)$$

При розрахунку обладнання рекомендується, щоб величина  $K_{зав}$  знаходилася в межах 0,75...0,85.

Вибір типу та виду ванн для інших технологічних операцій залежить від технологічного процесу і типу гальванічної лінії.

### **Практичне заняття 3. Розрахунок основних техніко–економічних показників процесу гальванічного міднення у виробництві друкованих плат**

*Баланс кількості електрики на гальванічній ванні.* Складання балансу електрики необхідно для оцінки енергетичної ефективності роботи ванни з урахуванням часток сили струму, які витрачаються на основний та

побічні гальванічні процеси. Крім того визначення сили струму на ванні необхідно для подальшого вибору джерела живлення постійним струмом [8].

У багатопозиційній гальванічній лінії живлення постійним струмом кожної технологічної позиції (ванни) здійснюється від окремого випрямляча. Силу катодного струму  $I$ , А на одній технологічній позиції (ванні) визначають як добуток вибраної величини технологічної густини струму на катоді  $i_k$ , А/м<sup>2</sup> на площу поверхні покриття на всіх платах для одноразового завантаження  $S_{03}$ , м<sup>2</sup>:

$$I = K_K \cdot i_k \cdot S_{03}^*, \quad (14.22)$$

де коефіцієнт  $K_K$ , який ураховує втрати електрики на осаджування металу на контактах підвісного пристрою, його вибирають у межах  $K = 1,03 \dots 1,15$ .

У разі розробки процесу попереднього гальванічного міднення, коли покриття наносять на всю поверхню заготовки плати, величину  $S_{03}$ , м<sup>2</sup> розраховують за формулою:

$$S_{03} = 2N_{03B} \cdot a \cdot b, \quad (14.23)$$

де  $N_{03B}$  – кількість плат на підвісці;  $a$  і  $b$  – довжина і ширина плати, м.

При нанесенні гальванічного покриття тільки на струмопровідний рисунок плат величину  $S_{03}^*$ , м<sup>2</sup> розраховують за формулою:

$$S_{03}^* = K_{3П} \cdot 2N_{03B} \cdot a \cdot b, \quad (14.24)$$

де  $K_{3П}$  – коефіцієнт заповнення поверхні плати, який у середньому складає 0,35...0,5.

Для розрахунків рекомендується вибирати верхнє допустиме за технологією значення катодної густини струму.

Для складання балансу кількості електрики для вибраного технологічного процесу записують рівняння основних і побічних реакцій, які перебігають на електродах і, на основі значень «Виходу за катодним струмом» для цих реакцій, визначають долю електрики, яка витрачається на основні та часткові (побічні) процеси. Кількість електрики визначають в ампер-годинах. Баланс електрики складають *на одну годину* роботи ванни, враховуючи тільки час електролізу. Результати розрахунків зводять у таблицю балансу електрики. Для деяких технологічних процесів, наприклад, міднення та олов'янування із сульфатних електролітів, приймають, що на катоді і аноді перебігають тільки основні процеси з виходом за струмом 100 %, відповідно.

**Приклад розрахунку.** Визначити силу струму та скласти баланс електрики для ванни олов'янування із сульфатного електроліту за такими даними:  $i_a = 1,5 \cdot 10^2$  А/м<sup>2</sup>;  $K_K = 1,03$ ; розміри плати (0,373 × 0,300) м; коефіцієнт заповнення поверхні плати  $K_{зп} = 0,3$ ; кількість плат на одній підвісці  $n_n = 6$ ; катодний вихід за струмом для реакції виділення олова  $B_C = 100$  %. Тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці  $\tau = 18,6$  хв, з них часу технічного обслуговування ванни –  $\tau_{об} = 1,8$  хв.

$$S_{03} = 2N_n \cdot a \cdot b \cdot K_{зп}, \quad (14.25)$$

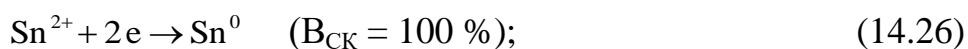
$$S_{03} = 2 \cdot 6 \cdot 0,373 \cdot 0,300 \cdot 0,3 = 0,403 \text{ м}^2.$$

Сила струму на клеммах ванни олов'янування:

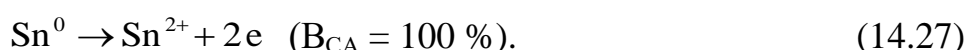
$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03} = 1,03 \cdot 1,5 \cdot 10^2 \cdot 0,403 = 62,3 \text{ А}.$$

При олов'януванні у сульфатному електроліті на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



За одну астрономічну годину можна обробити:  $60/18,6 = 3,23$  підвісок. Округляємо до 3 підвісок. Звідси дійсний час проведення електролізу в ванн складає  $(18,6 - 1,8) \times 3 = 50,4$  хв., або 0,84 години.

Кількість електрики, що витрачається на кожний електродний процес в продовж 0,84 години складає:

на катоді:

$$Q_{\text{к}} = \frac{I \cdot \tau \cdot B_{\text{СК}}}{100} = \frac{62,3 \cdot 0,84 \cdot 100}{100} = 52,33 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (14.28)$$

на аноді:

$$Q_{\text{А}} = \frac{I \cdot \tau \cdot B_{\text{СА}}}{100} = \frac{62,3 \cdot 0,84 \cdot 100}{100} = 52,33 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (14.29)$$

У разі гальванічного нанесення сплавів частка електрики, що витрачається на осадження його окремих компонентів, розраховується за рівнянням:

$$B_{\text{сп}} = \frac{1}{K_{\text{ен}}} \cdot P_{\text{н}} \cdot q_{\text{сп}} \cdot 100 \%, \quad (14.30)$$

де  $K_{en}$  – електрохімічний еквівалент  $n$ -компонента сплаву, г/(А·год);  $P_n$  – відсоток  $n$  – компонента в сплаві;  $q_{сп}$  – питомі витрати електрики для сплаву, (А·год)/г. Результати розрахунків заносять у таблицю 14.1.

Таблиця. 14.1. Баланс кількості електрики для ванни олов'янування на одну годину

Надходження	$Q$ , А·год;	%	Витрати	$Q$ , А·год	%
<b>На катоді:</b>					
Від зовнішнього джерела струму	52,33	100	На осадження олова	52,33	100
Разом	52,33	100	Разом	52,33	100
<b>На аноді:</b>					
Від зовнішнього джерела струму	52,33	100	На розчинення олова	52,33	100
Разом	52,33	100	Разом	52,33	100

**Приклад розрахунку.** Визначити частки електрики, які витрачаються на осадження окремих компонентів сплаву, що містить 65 % олова ( $P_{Sn} = 0.65$ ) і 35% нікелю ( $P_{Ni} = 0.35$ ), за умови, що катодний вихід сплаву за струмом складає 100%.

Питомі витрати електрики для сплаву:

$$q_{сп} = \frac{1}{K_{eSn}} \cdot P_{Sn} + \frac{1}{K_{eNi}} \cdot P_{Ni} = \frac{1}{2,21} \cdot 0,65 + \frac{1}{1,095} \cdot 0,35 = 0,614 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot \text{г}^{-1}. \quad (14.31)$$

Частка електрики, що витрачається для осадження нікелевого компонента сплаву:

$$B_{cNi} = \frac{\frac{1}{K_{eNi}} \cdot P_{Ni}}{q_{сп}} = \frac{\frac{1}{1,095} \cdot 0,35}{0,614} = 0,522 \text{ або } 52,2 \text{ \%}.$$



Частка електрики, що витрачається на осадження олов'яного компонента сплаву:

$$B_{\text{сSn}} = \frac{1}{K_{\text{eSn}}} \cdot P_{\text{Sn}} = \frac{1}{2.21} \cdot 0.65 = 0,478 \quad \text{або } 47,8 \% .$$

### Баланс напруги на гальванічній ванні

Робоча напруга при заданій густині струму « $U_i$ » є однією із основних енергетичних характеристик ванни. Вона визначає мінімальну величину напруги на джерелі струму  $U_{\text{дс}}$ , яке обслуговує ванну. Знаючи величину струму і напруги на джерелі струму, визначають електричну потужність, яка витрачається на електроліз.

Напруга на одній технологічній позиції ванни  $U_{\text{в}}$  складається із різниці електродних потенціалів анода і катода під струмом  $iE_{\text{а}} - iE_{\text{к}}$ , омичного падіння напруги в електроліті  $\Delta U_{\text{ОМ Ел-т}}$ , у провідниках першого роду (електродах і штангах)  $\Delta U_{\text{ОМ Ір}}$  та в контактах  $\Delta U_{\text{ОМ К}}$ :

$$U_{\text{в}} = iE_{\text{а}} - iE_{\text{к}} + \Delta U_{\text{ОМ Ел-т}} + \Delta U_{\text{ОМ Ір}} + \Delta U_{\text{ОМ К}} = \Delta E_i + \Sigma \Delta U_{\text{ОМ}} . \quad (14.32)$$

Величини потенціалів електродів під струмом в для вибраного електроліту визначають в результаті проведених досліджень залежності потенціалу відповідного металу від густини струму. Для найбільш поширених у промисловості електролітів, потенціали металів під струмом можна вибрати із довідників з гальванотехніки, або з таблиці 14.2.

Омічне падіння напруги в електроліті  $\Delta U_{\text{ОМ Ел-т}}$ , В розраховують за формулою:

$$\Delta U_{\text{ОМ Ел-т}} = \frac{i_{\text{ср}} \cdot l_{\text{а-к}}}{\chi} , \quad (14.33)$$

$$\Delta U_{\text{Ом}\cdot\text{Ел-т}} = i_{\text{ср}} \cdot l_{\text{а-к}} \cdot \rho_{\text{Ел-т}}, \quad (14.34)$$

де  $i_{\text{ср}}$  – середня густина струму в міжелектродному просторі,  $\text{А}/\text{м}^2$ , розраховується за формулою  $i_{\text{ср}} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$ ;  $l_{\text{а-к}}$  – відстань між анодом і краєм підвіски з платами,  $\chi$  – питома електропровідність електроліту,  $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{Ел-т}}$  – питомий електричний опір електроліту,  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ . Величини  $\chi$  можна розрахувати, або вибрати із довідникових даних.

Зменшення електроопору електроліту при підвищеній температурі можна приблизно розрахувати за формулою:

$${}^t\rho_{\text{Ел-т}} = {}_{18}\rho_{\text{Ел-т}} \frac{1}{1 + A(t - 18)}, \quad (14.35)$$

де  $A$  – температурний коефіцієнт електроліту.

Таблиця 14.2. Характеристика основних параметрів електролітів та електродів

№ з/п	Назва процесу	Параметри електролітів				Потенціали	
		Склад	Густина електроліту, $\text{кг}/\text{дм}^3$	Питомий опір, $\times 10^{-2}$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$	Питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	Катода, В	Анода, В
1.	Міднення	Ціанідний	1,13	6,5	3870	-1,3	+0,6
		Кислий	1,1	3,6	3980	+0,25	+0,35
2.	Нікелювання	Кислий	1,17	2,5	3060	-0,73	+0,3
3.	Сріблення	Ціанідний	1,1	6,6	3980	-0,7	+0,1
4.	Золотіння	Ціанідний	1,06	16	4070	-1,4	+0,8
5.	Сплав олово-свинець	Кислий	1,12	5	3870	-0,4	+0,15
6.	Лудіння	Кислий	1,12	8,0	4030	-0,5	+0,15
		Станатний	1,09	4,5	3940	-1,3	-0,8
7.	Знежирювання	Лужний	1,08	4,6	3885	-0,9	+0,8
8.	Анодування	Кислий	1,14	2,5	4050	-0,9	+13,5

Якщо в процесі електролізу на електродах утворюються гази, бульбашки яких заповнюють міжелектродний простір, то при визначенні

падіння напруги в електроліті необхідно урахувати вплив газонаповнення на омичний опір. У цьому разі  $\Delta U_{\text{ОМ Ел-т}}$  визначають за формулою:

$$\Delta U_{\text{ОМ Ел-т}} = K_{\text{ГН}} \frac{i_{\text{сп}} \cdot l_{\text{а-к}}}{\chi} = K_{\text{ГН}} \cdot i_{\text{сп}} \cdot l_{\text{а-к}} \cdot \rho_{\text{Ел-т}}, \quad (14.36)$$

де  $K_{\text{ГН}}$  – коефіцієнт, який урахує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величина « $K_{\text{ГН}}$ » знаходиться у межах 1,01...1,25.

Суму падіння напруги в електродах, провідниках першого роду та в контактах ванни « $\Sigma \Delta U_{\text{ОМ}}$ » приймають у межах величини, яка не перевищує 10 % загальної напруги на ванні  $U_{\text{В}}$ , В,:

$$\Sigma \Delta U_{\text{ОМ}} \leq 0,1 \cdot U_{\text{В}}. \quad (14.37)$$

Тоді напруга на ванні:

$$U_{\text{В}} \geq (i E_{\text{а}} - i E_{\text{к}} + \Delta U_{\text{ОМ Ел-т}}) / 0,9. \quad (14.38)$$

Мінімальна напруга на джерелі струму  $U_{\text{дс}}$  складається із суми напруги на ванні  $U_{\text{В}}$  та падіння напруги в шинах (струмопідводах до ванни) від джерела струму до ванни « $\Delta U_{\text{ОМШ}}$ », яке приймають не більшим 10 % від  $U_{\text{дс}}$ , тобто:

$$U_{\text{дс}} \geq 1,1(U_{\text{В}} + \Delta U_{\text{ОМШ}}). \quad (14.39)$$

**Приклад розрахунку.** Визначити напругу та скласти баланс напруги на ванні гальванічного олов'янування за такими вихідними даними:  $i_{\text{к}} = 150 \text{ А/м}^2$ ; анодна густина струму  $75 \text{ А/м}^2$ ;  $i E_{\text{а}} = +0,15 \text{ В}$ ;  $i E_{\text{к}} = -0,5 \text{ В}$ ;  $\rho_{\text{Ел-т}} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;  $l_{\text{а-к}} = 0,25 \text{ м}$ .

Баланс напруги процесу олов'янування розраховують за формулою:

$$U_B = {}_iE_a - {}_iE_k + \Delta U_{OM\text{Ел-т}} + \Delta U_{OM\text{Ір}} + \Delta U_{OMk} = \Delta E_i + \Sigma \Delta U_{OM},$$

де різниця потенціалів  $\Delta E_i$

$$\Delta E_i = {}_iE_a - {}_iE_k = 0,15 - (-0,5) = 0,65 \text{ В.}$$

При середній густині струму, яка проходить через електроліт

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{150 \cdot 75} = 106 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$$

падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{OM\text{Ел-т}} = K_{ГН} \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_{\text{Ел-т}} = 1,0 \cdot 106 \cdot 0,25 \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 2,12 \text{ В.}$$

Таблиця 14.3. Баланс напруги на ванні олов'янування

Надходження	Значення		Витрати	Значення	
	В	%		В	%
Напруга на ванні, $U_B$	3,08	100	Різниця потенціалів електродів під струмом, ${}_iE_a - {}_iE_k$	0,65	21
			Падіння напруги в електроліті, $\Delta U_{OM\text{Ел-т}}$	2,12	69
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Sigma \Delta U_{OM}$	0,31	10
Разом	3,08	100	Разом	3,08	100

Тоді напруга на ванні:

$$U_B = ({}_iE_a - {}_iE_k + \Delta U_{OM\text{Ел-т}}) / 0,9 = (0,65 + 2,12) / 0,9 = 3,08 \text{ В.}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Sigma \Delta U_{OM} \leq 0,1 \cdot U_B = 0,1 \cdot 3,08 \approx 0,31 \text{ В.}$$

Мінімальна напруга джерела струму для ванни олов'янування:

$$U_{dc} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 3,08 = 3,39 \text{ В.}$$

Результати розрахунків заносять до таблиці 14.3.

### Завдання для практичних занять 2 та 3

Обґрунтувати вибір товщини гальванічного покриття, складу розчину електроліту та здійснити розрахунок гальванічної ванни для нанесення

функціональних гальванічних покриттів на друковані плати, розміром 10x15 см, річна виробнича програма 10000 м<sup>2</sup>, товщина заготовки 500 мкм, для таких процесів:

1. Гальванічної зтяжки друкованих плат виконуваної у тентінг-методі;

2. Гальванічної зтяжки друкованих плат у позитивному комбінованому методі, площа провідних доріжок 50 % від площі плати;

3. Гальванічного міднення друкованої плати з сульфатного електроліту виконуваного у тентінг методі;

4. Гальванічного міднення друкованої плати з фторборатного електроліту у позитивному комбінованому методі, площа провідних доріжок 35 % від площі плати;

5. Гальванічного міднення друкованої плати з пірофосфатного електроліту у позитивному комбінованому методі, площа провідних доріжок 75 % від площі плати;

6. Гальванічного міднення друкованої плати з сульфатного електроліту з заповненням глухих отворів, виконуваного у тентінг методі, площа провідних доріжок 15 % від площі плати, площа отворів 5% від площі провідних доріжок, глибина отворів 150 мкм, швидкість осадження міді в отворі у 3 рази вища ніж на площині плати, розміри отворів однакові швидкість ходження однакова, наскрізні отвори відсутні;

7. Гальванічного міднення друкованої плати з пірофосфатного електроліту у позитивному комбінованому методі, площа провідних доріжок 75 % від площі плати, наявно 50 отворів діаметром 3 мм;

8. Гальванічного нікелювання контактів друкованої плати, площа провідних доріжок 35 % від площі плати, площа контактів 10 % від площі доріжок;

9. Гальванічного паладіювання контактів друкованої плати, площа контактів 10 % від площі доріжок;

10. Гальванічного олов'янування друкованої плати у позитивному комбінованому методі, площа контактних ділянок 10 % від площі плати, наявно 75 отворів діаметром 2 мм;

11. Гальванічного осадження сплаву ПОС–61 друкованої плати у позитивному комбінованому методі, площа контактних ділянок 5 % від площі плати, наявно 200 отворів діаметром 1,5 мм;

12. Процесу хімічного міднення плати у комбінованому позитивному методі, площа провідних доріжок 55 % від площі плати, наявно 30 отворів діаметром 2 мм;

13. Гальванічного золотіння контактів друкованої плати, площа контактів 25 % від площі доріжок;

14. Гальванічного сріблення контактів друкованої плати, площа контактів 15 % від площі доріжок;

Для вищевказаних процесів здійснити розрахунок основних технологічних параметрів (напруги та сили струму на гальванічній ванні).

#### **Практичне заняття 4. Особливості формування осадів металу при електроосадженні в отворах друкованих плат**

Для забезпечення металізації отворів в друкованих платах 6–7 класів точності хіміко–гальванічні лінії оснащуються особливими системами, які забезпечують переміщення розчину в отворах плат. Існують дві системи: перша забезпечує погойдування плат між катодом та анодом в напрямку перпендикулярному площині плати (рис. 14.4), а друга – сприяє прокачування через отвори розчину (рис. 14.5) [8].

Для регулювання частоти погойдування й забезпечення плавності ходу застосована частотна система керування електродвигуном. Для перемішування розчинів застосовуються повітряні й безповітряні системи. Повітряні використовуються при металізації друкованих плат до 5 класу.



Рис. 14.4. Гальванічна лінія для металізації друкованих плат з хитною катодною штангою



Рис. 14.5. Ванна з безповітряним переміщенням

Основною перевагою цих систем є простота й дешевизна. Для металізації отворів друкованих плат високого класу точності застосовується безповітряне переміщення з використанням форсунок (рис. 14.5) для переміщення електроліту, це дозволяє одержувати більше рівномірне розподіл міді по поверхні і в отворах плат, а також виключає накопичення пухирців в отворах.

В автоматичних лініях з горизонтальною обробкою плат використовується система примусового продавлювання робочих розчинів крізь отвори плат, що сприяє якісній металізації отворів діаметром до 0,1 мм. У лініях такої конструкції передбачено автоматичне дозування технологічних розчинів.

Для забезпечення переміщення електроліту в отворах та виключення накопичування пухирців газів з мікроотворів у хіміко-гальванічних лініях додатково до похитування плат використовують електричні вібратори (рис. 14.6 та 14.7), які можуть бути встановлені, як на борту ванни, так і на самій катодній штанзі.

Для підвищення ефективності їхньої роботи вони встановлюються безпосередньо на хитаючій катодній штанзі. Це забезпечує передачу вібрації

з найменшими втратами в порівнянні зі схемою, коли вібратори встановлюються на борті ванни (рис. 14.7 б).



Рис. 14.6. Малогабаритні вібратори:

а) встановлені на ванні;

б) встановлені на штанзі

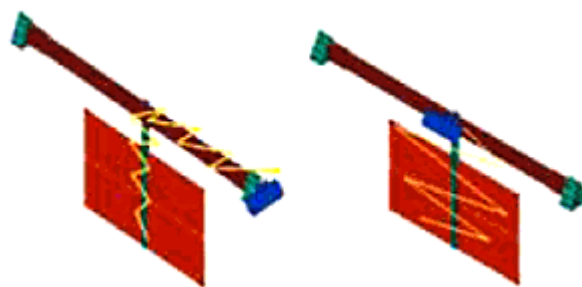


Рис.14.7. Ефективність передачі вібрації:

а) вібратор встановлений на ванні;

б) вібратор встановлений на штанзі.

Використання вібрації дозволяє збільшити катодну густину струму у декілька раз.

Керування вібраторами здійснюється від комп'ютера, у програмі якого можна встановити необхідні час включення й паузи.

Для забезпечення металізації отворів в друкованих платах 6–7 класів точності хіміко–гальванічні лінії оснащуються особливими системами, які забезпечують переміщення розчину в отворах плат. Існують дві системи: перша забезпечує погойдування плат між катодом та анодом в напрямку перпендикулярному площині плати, а друга – сприяє прокачування через отвори розчину.

Для регулювання частоти погойдування й забезпечення плавності ходу застосована частотна система керування електродвигуном. Для перемішування розчинів застосовуються повітряні й безповітряні системи. Повітряні використовуються при металізації друкованих плат до 5 класу.

Основною перевагою цих систем є простота й дешевизна. Для металізації отворів друкованих плат високого класу точності застосовується



безповітряне перемішування з використанням форсунок для переміщення електроліту, це дозволяє одержувати більше рівномірне розподіл міді по поверхні і в отворах плат, а також виключає накопичення пухирців в отворах.

В автоматичних лініях з горизонтальною обробкою плат використовується система примусового продавлювання робочих розчинів крізь отвори плат, що сприяє якісній металізації отворів діаметром до 0,1 мм. У лініях такої конструкції передбачено автоматичне дозування технологічних розчинів.

Для забезпечення переміщення електроліту в отворах та виключення накопичування пухирців газів з мікроотворів у хіміко–гальванічних лініях додатково до похитування плат використовують електричні вібратори, які можуть бути встановлені, як на борту ванни, так і на самій катодній штанзі. Для підвищення ефективності їхньої роботи вони встановлюються безпосередньо на хитаючій катодній штанзі. Це забезпечує передачу вібрації з найменшими втратами в порівнянні зі схемою, коли вібратори встановлюються на борті ванни (рис. 14.5).

Використання вібрації дозволяє збільшити катодну густину струму у декілька раз.

### **Приклад підбору та механізм дії добавок для заповнення глухих отворів**

Крім вищенаведених заходів для забезпечення рівності товщини мідного осаду на поверхні друкованої плати та у отворах, що підлягають металізації, та з метою покращення заповненням глухих отворів може використовуватись наступний прийом.

У розчини електроліти при електроосадженні мідних осадів здійснюється введенням спеціальних органічних поверхнево–активних добавок. Принцип підбору добавок та їх дія буде пояснено на прикладі електроліту фірми ATOTECH InPro A300 [27].

InPro A300 – сульфатний електроліт для осадження рівномірного шару міді як на поверхні плати, так і у глухих мікроотворах. Його склад і режим роботи наведено у таблиці 14.4.

**Таблиця 14.4. Склад та режим роботи сірчанокислового електроліту міднення InPro A300**

Параметр	Діапазон	Оптимум
Мідь у перерахунку на метал, г/л	40 – 60	40
Сульфатна кислота, г/л	140 – 200	160
Хлориди, мг/л	35 – 50	35
Inpro A300 Leveller, мг/л	15 – 25	
Inpro A300 Brightener, мг/л	1,5 – 2,5	
Inpro Correction, мг/л	7 – 13	
Густина струму, А/дм <sup>2</sup>	0,5 – 3	
Вихід за струмом, %	99	
Температура, °С	25 – 30	25

Основні технологічні параметри, що впливають на заповнення міддю глухих мікроотворів:

- вміст міді;
- вміст хлоридів;
- вміст органічних добавок (Brightener / Correction / Leveller) і їх співвідношення;
- обмін електроліту (забезпечується обладнанням);
- температура електроліту (активність Brightener, в'язкість Correction)

Кожна з добавок має певну специфічну дію на процес електроосадження міді в глухих отворах.

1. Хлориди:

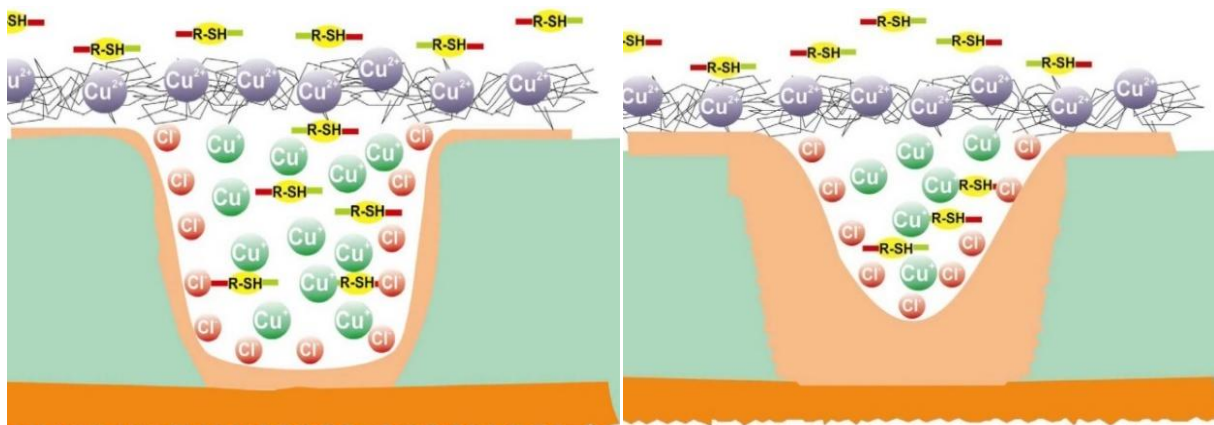
- прискорюють відновлення  $\text{Cu}^{2+}$  до  $\text{Cu}^+$
- сприяють роботі Brightener ( $\text{Cu}^+$ -комплекс)
- сприяє притяганню молекул Correction до поверхні

2. Inpro A300 Brightener: сульфовмісна органічна сполука, котра утворює комплекс з  $\text{Cu}^+$  і збільшує швидкість осадження міді.

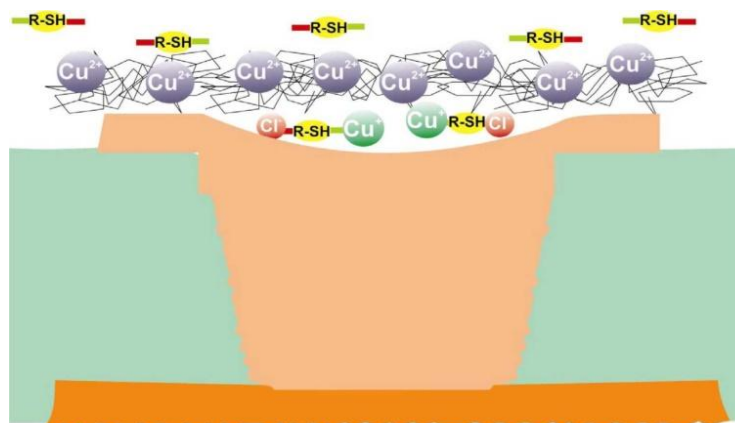
3. Inpro Correction високомолекулярна ПАР має довгий полімерний ланцюг; молекули не мають електричного заряду;. ПАР сприяє рівномірному осадження міді.

4. Inpro A300 Leveller: органічна речовина, що має довгий полімерна ланцюг – позитивно заряджений полімер (сіль третинного аміну), котра дозволяє уникнути надмірного осадження міді в зонах високої густини струму.

Механізм заповнення міддю глухого отвору можна умовно розділити на 2 стадії (рис. 14.8).



Перша стадія



Друга стадія

Рис. 14.8. Механізм заповнення міддю глухого отвору [27]

**Перша стадія** – це заповнення дна отвору. Переважне осадження міді на дні отвору забезпечується малою концентрацією вирівнювача і високою концентрацією блискоутворювача в об'ємі глухого отвору. Молекули блискоутворювача за рахунок своєї рухливості і маленького розміру розподіляються на стінках глухого отвору і витісняють молекули вирівнювача з об'єму глухого отвору на поверхню друкованої плати. Утворений надлишок вирівнювача уповільнює швидкість осадження міді на поверхні друкованої плати.

Тобто мідь осідає переважно на поверхні друкованої плати, яка є областю вищої густини струму порівняно з отворами. В даному випадку за рахунок правильно підібраних концентрацій органічних добавок, а головне, за рахунок співвідношення добавок, вдається домогтися зворотного ефекту.

Для отримання найкращих результатів вміст органічних добавок та їх співвідношення необхідно контролювати методом циклічної вольтамперометрії.

**Друга стадія** механізму заповнення глухого отвору – це вирівнювання верхньої площині заповненого отвору. У міру заповнення отвору його глибина зменшується, відповідно зменшується об'єм заповнюваного отвору. Все більше молекул вирівнювача потрапляють всередину отвору і швидкість осадження міді в отворі і на поверхні друкованої плати вирівнюються. Як приклад механізму заповнення глухого отвору наведено фото мікрошліфа з осадженими шарами міді (рис. 14.9). Над поверхнею фольги чітко видно 6 шарів практично однакової товщини 4–5 мкм.

### **Вплив конструктивних параметрів комірки на розподіл міді по поверхні катода**

Надалі пропонується розглянути вплив конструктивних параметрів гальванічної комірки на рівномірність розподілу міді по поверхні

профільного катода при електроосадженні, що дає схожі модельні уявлення з процесом формування міді в отворі друкованої плати.

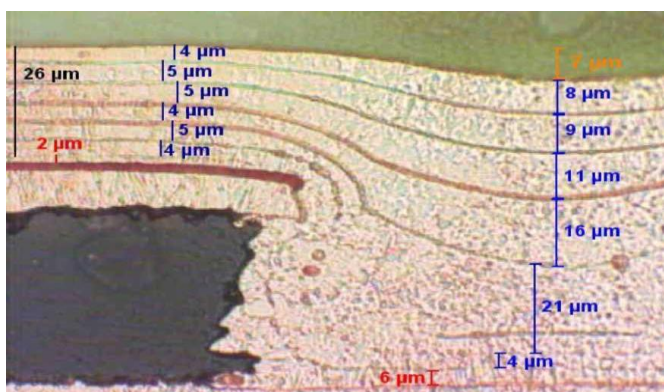


Рис. 14.9. Мікрошліф с осадженими шарами міді. Шари осадженої міді в глухому мікроотворі. Просторові параметри: діаметр мікроотворів 120 мкм, глибина 60 мкм. Густина струму осадження 1,5 А/дм<sup>2</sup> [27]

З метою подолання нерівномірності розподілу металу по поверхні катода можна використовувати кілька прийомів.

Розглянемо імпульсно–реверсний нестационарний струмовий режим електролізу. Шляхом підбору амплітуди та тривалості катодних і анодних імпульсів можна досягти перерозподілу та вирівнювання товщини металу на поверхні катода.

Подолати крайовий ефект можливо шляхом введення у розчин спеціальних поверхнево–активних добавок, що адсорбуватимуться на активних центрах – кутах і виступах катода та сприятимуть перерозподілу густини струму та металу по поверхні катода.

Одним з перспективних способів досягнення рівномірності розподілу густини струму та металу при електроосадженні є оптимізація конструктивних параметрів електрохімічної комірки [28]. Цей спосіб не потребує використання високовартісних програмованих джерел постійного струму та введення у розчин додаткових поверхнево–активних речовин, що можуть негативно вплинути на фізико–механічні властивості осадів металу. У процесі симулятивного дослідження впливу геометричних параметрів

системи на рівномірність розподілу густини струму та товщини осаду по поверхні катоду встановили таке (рис. 14.10).

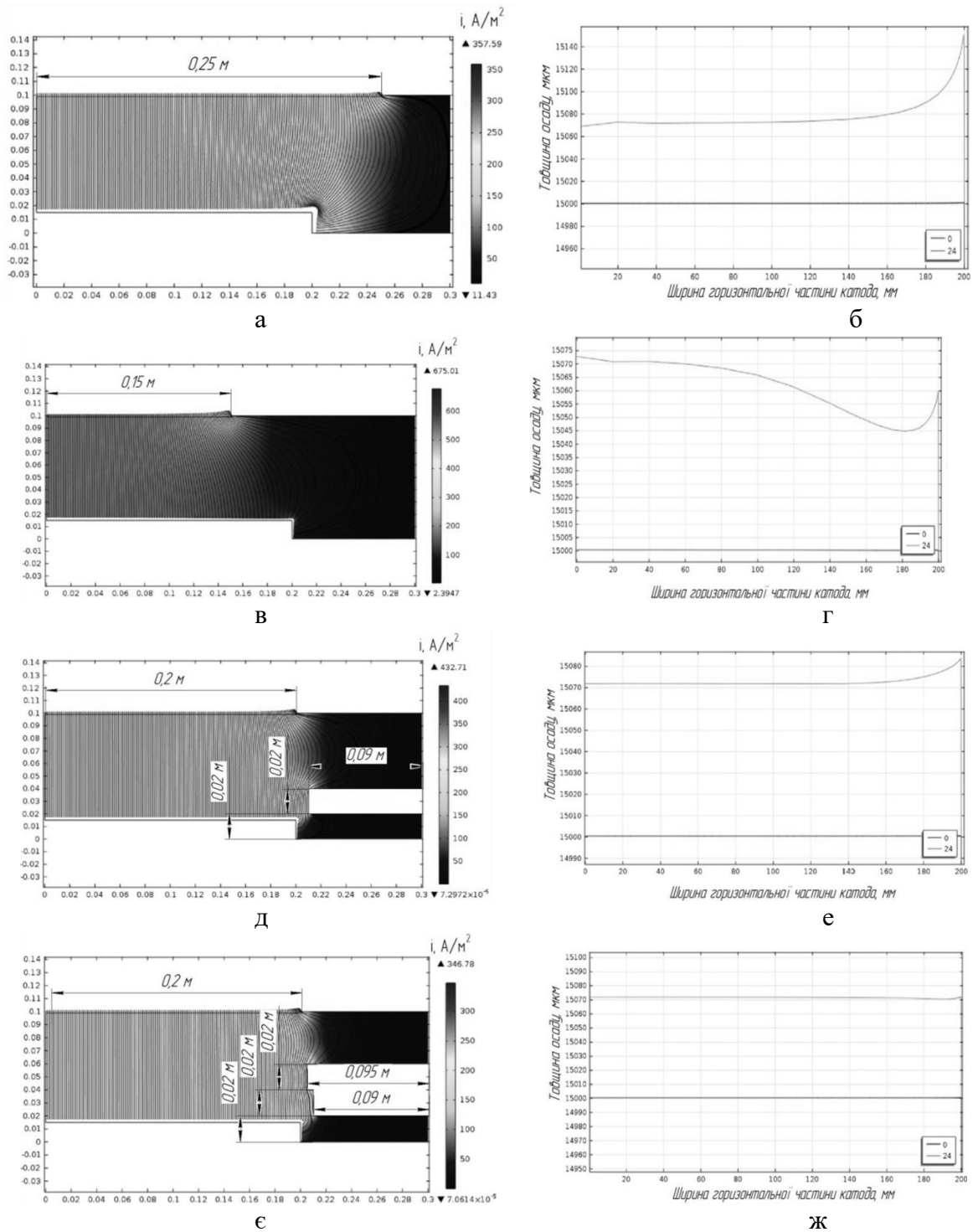


Рис. 14.10. 2D графіки розподілу густини струму в між електродному просторі (а, в, д, е) та профілі катодного осаду металу (б, г, е, ж) за 24 год електроформування [28]

Якщо ширина аноду перевищує ширину катоду на 50 мм (рис. 14.10 а, б), на виступаючому краю катоду значно згущуються силові лінії. При цьому майже вдвічі підвищується густина струму та товщина осаду металу порівняно із середніми на його горизонтальній площині. Перепад товщини осаду металу становить 70 мкм.

Якщо анод на 50 мм вужчий від катоду (рис. 14.10 в, г) силові лінії щільніше перерозподіляються до центру катоду. Проте отриманий профіль осаду (рис. 14.10 г) стає ще нерівномірнішим, ніж у випадку, показаному на (рис. 14.10 б). Незважаючи на зменшення перепаду товщини осаду до 15–40 мкм, отриманий профіль осаду неприпустимий для функціонального шару правлячого алмазного інструменту. У цьому випадку через свою форму осад стає непридатним для механічного виправлення.

Рівномірність розподілу густини струму по поверхні катоду можна значного поліпшити досягти при використанні струмонепроникного екрану (рис. 14.10 д, е). Це зумовлюється поліпшенням рівномірності розподілу силових ліній електричного поля, особливо біля краю катоду, при використанні співрозмірних за шириною електродів та розміщенні біля краю катоду струмонепроникного екрану. Перепад товщини між краєм та центральною частиною осаду металу не перевищує 12 мкм.

Майже ідеально рівномірний профіль осаду з перепадом товщини до 1 мкм можна отримати при використанні дворівневого екрану (рис. 14.10 є, ж).

Таким чином, метод екранування виступаючих ділянок поверхні інструменту при електроформуванні металкомпозиційного шару справді ефективний для досягнення рівномірності його профілю.

## **Практичне заняття 5. Організація маловідходних гальванохімічних операцій**

### **Пряма металізація діелектриків у виробництві друкованих плат**

За останні 12–15 років закордонні фірми при виробництві друкованих плат перейшли до процесу прямої металізації діелектрика. У цьому процесі паладій використовується безпосередньо для створення провідного шару на діелектрику без подальшого хімічного міднення та гальванічної зтяжки.

*Ідея прямої металізації* полягає в тому, щоб вже на стадії суміщеної активації діелектрика утворився шар дуже диспергованих часток паладію таким чином, щоб він утворив суцільну електропровідну плівку.

#### ***Переваги процесу прямої металізації:***

- 1) відсутнє хімічне міднення;
- 2) відсутня гальванічна зтяжка;
- 3) можна наносити якісне покриття в отворах малого діаметру (хімічним мідненням такі отвори обробляти складно через виділення водню, значну в'язкість розчину і т.інш.);
- 4) провідна плівка утворюється тільки на таких ділянках, де це потрібно.

Процес прямої металізації можна здійснити на серійній лінії хімічної металізації друкованих плат, але при цьому необхідно більш ретельно очистити отвори та створити в них розвинуту поверхню. З цією метою використовується обробка отворів друкованих плат перманганатними розчинами.

Відомі такі системи прямої металізації:

- 1) колоїдна система, яка містить паладій;
- 2) вуглецева або графітова система;
- 3) системи, пов'язані з осадженням струмопровідних полімерів.

Найбільш поширеними в промисловості є паладієві системи. Використовують такі різновиди паладієвих систем:



1. Паладієво–олов'яний активатор з наступною гальванічною зтяжкою.
2. Паладієво–олов'яний активатор з блискоутворювачем.
3. Олов'яно–паладієвий активатор з ваніліном. Ванілін вибудовує ланцюжок молекули паладію, орієнтує їх уздовж поверхні, за рахунок чого зменшується електричний опір та покращується адгезія плівки.
4. Переведення паладію у сульфід. Використовують тому, що плівка сульфиду паладію має кращу електропровідність. При цьому підсилюючий агент стабілізує провідну плівку для того, щоб вона була хімічно стійкою при наступних операціях фотохімічного друку.

Для прикладу розглянемо схему технологічного процесу прямої металізації друкованих плат, яка складається з двох основних стадій.

I. Підготовка отворів для металізації:

1. Обробка в розчині розпушувача.
2. Промивання в теплій воді.
3. Промивання в холодній проточній воді.
4. Підтравлювання діелектрика.
5. Обробка в розчині попередньої нейтралізації.
6. Обробка в розчині нейтралізації.
7. Промивання в холодній проточній воді.

II. Пряма металізація:

1. Очищення поверхні отворів.
2. Промивання в холодній проточній воді.
3. Обробка в розчині редактиватора.
4. Обробка в розчині активатора.
5. Промивання в холодній проточній воді.
6. Обробка в розчині прискорювача.
7. Промивання в холодній проточній воді.

8. Обробка в розчині стабілізатора.
9. Промивання в холодній проточній воді.

Якщо передбачається міжопераційне зберігання плат, додатково виконують такі операції:

10. Обробка в розчині антиокислювача.
11. Промивання в холодній проточній воді.
12. Висушування заготовок.

На теперішній час технологію прямої металізації діелектрика освоюють багато підприємств України.

### **Організація маловідходних і безвідходних технологій нанесення гальванічних покриттів**

Маловідходним вважається таке виробництво, у якому здійснюються заходи спрямовані на зменшення викидів в атмосферу та стічні води шкідливих речовин.

Для організації маловідходних гальванохімічних операцій можна рекомендувати такі заходи:

1. Зменшення кількості розчинів, які виносяться з платами з робочих ванн у ванни промивання. Це здійснюється шляхом витримки плат над основною ванною після вивантаження протягом 6...10 с. Це дозволяє за рахунок стікання з плат більшої частини розчину зменшити втрати компонентів, які виносяться у промивні води, на 60...80 %.

2. Застосування ванн збірників, заповнених непроточною водою. У таких ваннах здійснюють попереднє промивання плат.

3. Перегляд складів розчинів та електролітів з метою зниження вмісту компонентів, які становлять екологічну небезпеку. Наприклад, вміст сірчаної кислоти можна знизити із 220 г/л до 50...70 г/л і т. ін.

## Організація безвідходних гальванохімічних операцій

Безвідходними вважаються такі технологічні процеси у яких передбачені заходи із вилучення компонентів ванн хімічної та гальванічної металізації та повернення цих компонентів у виробництво. У першу чергу це стосується вилучення катіонів важких металів.

Найбільш простим і доступним може бути застосування електролізу у ваннах–збірниках, переобладнаних в електролізери. Розчин у таких ваннах – це розбавлений електроліт із вмістом іонів металів у межах 10...1000 мг/л. Для катодного осадження металів зі таких розчинів необхідно забезпечити виконання двох умов:

1. Створити максимально велику поверхню катода, щоб за малих густин струму 0,01...0,1 А/дм<sup>2</sup> осаджувати метал із швидкістю 10...50 г/год.
2. Забезпечити інтенсивне перемішування розчину, щоб усунути дифузійні обмеження при розряді іонів металу та створити умови для осадження його у вигляді компактного покриття.

Першу умову можна вирішити, коли використовувати як катод об'ємно–порувату металізовану пластмасу або вуглеволокно марки УУТ – 2.

Перемішування розчину здійснюють за допомогою барботування стисненого повітря.

Ванну–збірник переобладнують таким чином. Вздовж однієї із стінок ванни розташовують катод–рамку із натягнутою вуглетканиною, а вздовж протилежної стінки розташовують нерозчинний анод, матеріал якого залежить від природи електроліту. На дні ванни розташовують барботер. Живлення електролізера здійснюють від лабораторного випрямляча.

У міру накопичення металу катод вивантажують із ванни збірника і завішують на анодну штангу робочої ванни, де метал розчиняється. Після цього вуглетканина знову використовується як катод. Таким чином здійснюють повернення у робочу ванну основного компонента.

Розчин, що залишається у ванні–збірнику після електролізу, направляють на очистку реагентним методом.

## **Практичне заняття 6. Дефекти при виробництві та способи контролю якості друкованих плат**

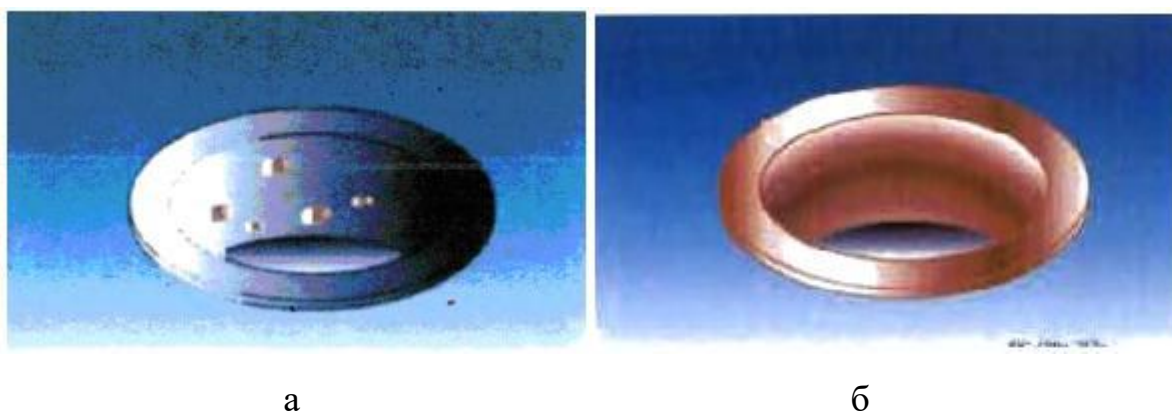
### **Дефектологія при виробництві друкованих плат**

#### **Порожнечі в мідному покритті**

Наскрізні отвори можуть металізуватись нерівномірно і містити пустоти та прогалини. Ці порожнечі можуть бути причиною поганого контакту двошарових та багат шарових друкованих плат [29].

На рис. 14.11 а, показано отвір з пустотами в покритті. Довжина прогалин не більше 5% довжини отвору; порожнечі займають не більше 90° окружності отвору. Таке покриття припустимо для класів точності ДП 1, 2, 3.

На рис.14.11 б, порожнечі в отворі відсутні. Для класів точності ДП вище ніж 3–й необхідні отвори, що не мають прогалин.



*Рис. 14.11. Металізований отвір: а – з порожнечами у покритті; б – без порожнин у покритті*

В отворі допустима наявність такої кількості пустот та прогалин:

- не більше однієї прогалин – для 3 класу ;

- не більше трьох прогалин – для 2 класу ;
- не більше п'яти прогалин – для 1 класу (при довжині прогалини до 10% довжини бічної поверхні отвору).

### Відшарування контактних площадок

Покриття контактних площадок, що мають низьку адгезію, можуть відшаровуватися, що призводить до відсутності контакту між друкованим елементом та схемою (рис. 14.12) [29].



Рис. 14.12. Контактні площадки: *а* – без відшарування; *б* – з відшаруванням покриття

### Задирки на краях контакту

При свердленні монтажних отворів та обробці плати з а контуром у наслідок недостатньої адгезії покриття, можуть виникати задирки на краях провідників. Вони можуть призвести до короткого замикання та відшарування провіднику від поверхні плати (рис. 14.13).

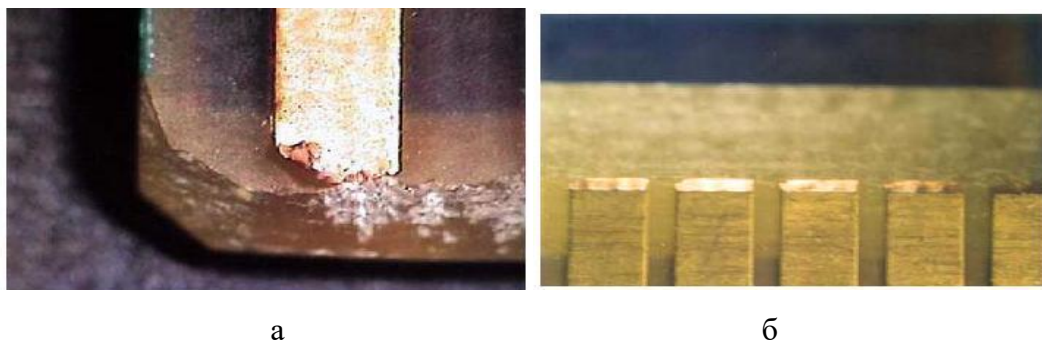


Рис. 14.13. Контакти ДП: *а* – із задирками; *б* – без задирок

### Розриви контактів та бризки припою на їх поверхні

Контакти друкованих плат мають бути вкриті припоєм, для уникнення окиснення та покращення паяємості. Однак, бризки припою на поверхні ДП, можуть призводити до закорочування сусідніх елементів мікросхем, тому припой має бути рівномірно нанесеним на поверхню покриття (рис. 14.14).

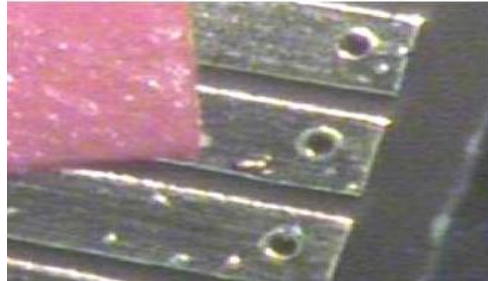


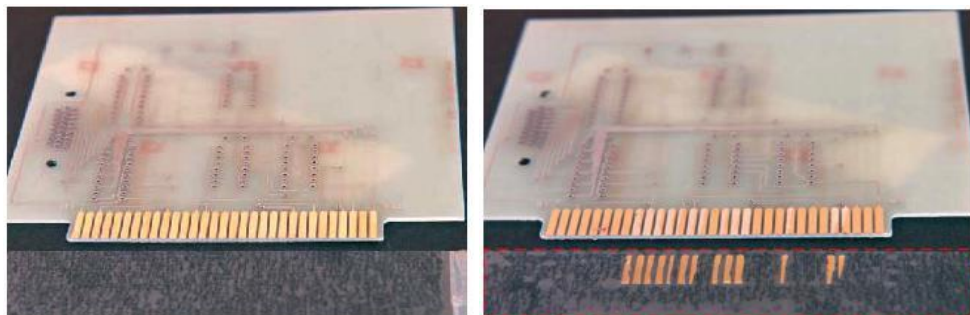
Рис. 14.14. Покриття з бризками припою та оголеним металом

Допустима наявність оголеної міді:

- для класу 3 – не більше 0,8 мм;
- для класу 2 – не більше 1,25 мм;
- для класу 1 не більше 2,5 мм.

### Погана адгезія металевих покриттів

Недостатня адгезія покриттів, може призвести до вішарування провідників від поверхні ДП (рис. 14.15).



а

б

Рис. 14.15. Контакти, що пройшли випробування на відрив клейкою стрічкою:

а – з хорошою адгезією, без вішарування металу; б – з поганою адгезією, з вішаруванням металу

### Не регламентовані відстані між контактами

Відстань між контактами ДП чітко регламентується і мусить відповідати рамкам застосовуваного класу точності.

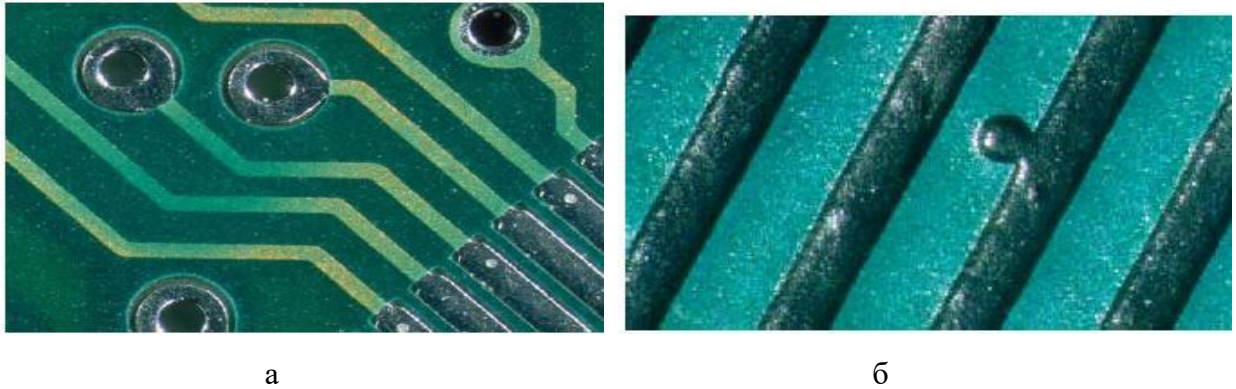


Рис. 14.16. Друкована плата: а – з регламентованою шириною та відстанню між контактами; б – із контактами, що не відповідають стандарту

### Тріщини в гальванічному покритті

Недопустимі тріщини в гальванічному покритті (рис. 14.17 а, б) [29].

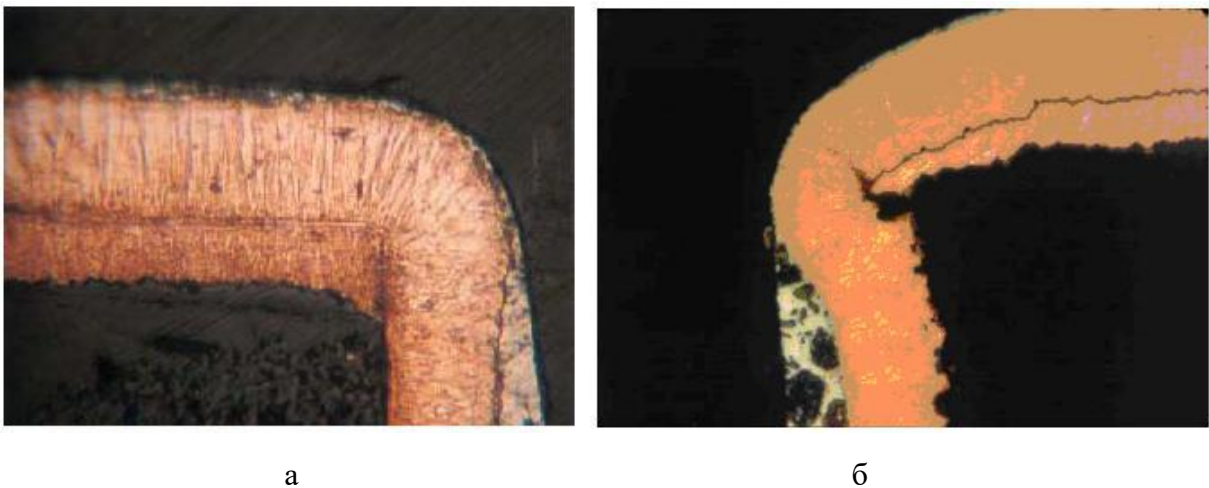
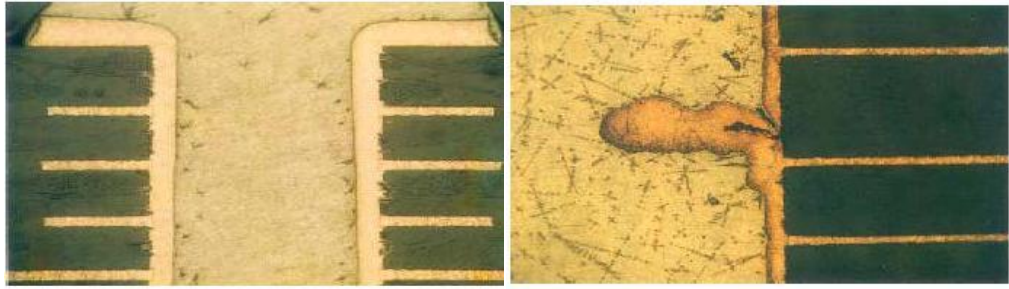


Рис. 14. 17. Гальванічне покриття (кут): а – без тріщин; б – з тріщинами

### Нарости на гальванічному покритті

Нарости (рис.14.18) на гальванічному покритті зменшують щільність розташування елементів мікросхеми і можуть призвести до короткого замикання.



а

б

*Рис. 14.18.* Контакти ДП: *а* – без наростів, з рівномірним, дрібнозернистим осадом; *б* – із наростами, нерівномірне

### **Відділення внутрішніх шарів від металізації отворів**

Отвори ДП металізують міддю та вкривають благородними металами. Внутрішні шари покриття не мусять відділятися, бо це може призвести до відлущування провідника.

На рис.14.19 а, показано безпосереднє з'єднання гальванічної міді з мідною фольгою, відсутність відділення внутрішніх контактних майданчиків від металізації стінки отвори або включень у внутрішні шари. Припустимо для 1, 2, 3 класів точності ДП.

На рис. 14.19 б, показано часткове відділення контактної площадки тільки з одного боку стінки отвору, але не більше, ніж на 20 % від кожної площадки. Припустимо для 1 класу точності.



а

б

*Рис.14.19.* З'єднання гальванічної міді з мідною фольгою: *а* – без відділення КМ; *б* – із відшаруванням КМ



## Контроль якості мідних покриттів

### *Здійснюють такі види контролю.*

1. Контроль наявності покриття на усіх ділянках плати та його зовнішнього виду. Здійснюють візуально за допомогою простих оптичних приладів. Контролюють наявність покриття та його колір, наявність дендритів, підгорілих ділянок.

2. Контроль товщини покриття в отворах друкованої плати.

Здійснюють двома способами:

а) За допомогою спеціальних приладів, які поділяються на дві групи:

– прилади, засновані на вимірюванні мікроопору шару міді в отворах з наступним перерахуванням його на товщині;

– прилади, засновані на вимірюванні вихрових струмів, які наводяться у шарі металізації ( наприклад «Інтромет» ).

Точність вимірювання товщини приладами обмежена і складає  $\pm 15...20\%$ .

б) За допомогою металографічних шліфів.

Плату розрізають по центру отворів, готують шліф за спеціальною методикою і за допомогою мікроскопа вимірюють товщину. Метод дозволяє отримувати об'єктивні данні, забезпечує високу точність вимірювання, але є дуже дорогим.

3. Визначення пластичності мідного покриття.

Відповідним чином підготовлену пластину із нержавіючої сталі завантажують разом із пластинами у ванну і наносять мідне покриття товщиною 30мкм. За допомогою скальпеля отриману мідну фольгу відшаровують, на її поверхні визначають голкою контрольні точки А і Б , за допомогою відлікового мікроскопа вимірюють відстань  $AB = l_0$  ( у межах 30 мм). Потім фольгу розтягають до початку руйнування у розривній машині, знову вимірюють відстань  $AB = l_k$ . Відносне видовження розраховують за формулою:

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

Виконують декілька вимірювань і усереднюють результати. За величиною відносного видовження роблять висновок про пластичність мідного покриття.

#### 4. Оцінка міцності покриття на відшаровування.

На технологічному полі друкованої плати за допомогою скальпеля вирізають та відокремлюють смужку з покриттям близько 50мм. Полоску перегинають 5 раз під кутом 180 °, і коли на величині виникають пухирці, вздуття, то адгезія мідного покриття не достатня.

### Контроль якості покриття сплавом ПОС–61

Контроль якості покриття сплавом ПОС–61 здійснюють за такими видами:

1. контроль зовнішнього вигляду покриття;
2. контроль складу покриття сплавом ПОС–61.

Для визначення складу сплаву використовують хімічний та кулонометричний способи.

**Хімічний спосіб.** З технологічного поля плати за допомогою скальпеля знімають (15...25) мг покриття, зважують на аналітичних терезах наважку 7...15 мг, поміщають у стакан і розчиняють у суміші 2,5 мл соляної кислоти ( $d = 1,19 \text{ кг/м}^3$ ) і 0,5 мл пероксиду водню ( $d = 20 \text{ кг/м}^3$ ). Потім визначають вміст свинцю за прийнятою методикою комплексонометричного титрування в лужному середовищі в присутності індикатору метилтимолового синього.

**Кулонометричний спосіб.** Масову частку олова в сплаві розраховують, знаючи кількість електрики  $Q$ , витраченої на осадження сплаву масою  $m$ , визначеною як доважок на пластині із мідної фольги, яка є катодом. Послідовно з електролізером під'єднують мідний кулонометр, в

якому по доважкy катода  $m_{Cu}$  і величині електрохімічного еквіваленту міді (1,186 г/(А·год) розраховують кількість пропущеної електрики в ампер–годинах :  $Q = m_{Cu}/1,186$  .

Якщо частка олова в сплаві “п», то доважок олова і свинцю складає  $n \cdot m$  і  $(1-n) \cdot m$ , відповідно.

Тоді кількість електрики, витрачену на осадження сплаву, можна виразити як суму електрик, необхідну для осадження олова і свинцю:

$$Q = \frac{n \cdot m}{2,214} + \frac{(1-n) \cdot m}{3,865}, \quad (14.40)$$

де 2,214 і 3,865 г/(А·год) – електрохімічні еквіваленти, відповідно, олова і свинцю,.

Звідси випливає, що частка олова в сплаві дорівнює:

$$n = 5,1829 \frac{Q}{m} - 1,3410. \quad (14.41)$$

**Контроль товщини покриття сплавом ПОС–61.** Використовують гравіметричний метод. За допомогою відлікового мікроскопа вимірюють ширину друкованого провідника, потім відокремлюють його від плати, вимірюють товщину провідника і стравлюють з нього мідь у травильному розчині. Шар сплаву, який залишився, промивають, висушують і зважують. Потім розраховують середню товщину покриття. Місцеву товщину покриття визначають краплинним методом з точністю  $\pm 20$  %.

**Контроль розсіювальної здатності електроліту.** Розсіювальну здатність електроліту визначають, співставляючи товщину покриття в отворах плати та на контактних площинках. Товщину покриття при цьому визначають за допомогою металографічних шліфів та мікроскопа.

## Практичне заняття 7. Складання технологічної схеми типового процесу електрохімічного оксидування алюмінію та його сплавів

*Підготовка поверхні деталей* із алюмінію та його сплавів перед анодуванням.

Кількість та вид технологічних операцій визначається початковим станом поверхні, потрібною шорсткістю поверхні, видом наявного обладнання [22 – 24].

Всі підготовчі операції поділяються на 4 групи:

1. попередня обробка;
2. основна обробка;
3. остаточна обробка;
4. очистка поверхні.

*Попередня обробка* – це груба очистка, грубе травлення, обдув кварцовим піском. Підлягають деталі, які виготовлені методом виливання, для видалення залишків формувальної суміші, ливарної кірки, грубих поверхневих дефектів. Часто використовують грубе травлення у розчині NaOH – 150 г/л, температура розчину 20...80 °С. Коли у сплаві є домішки заліза і міді, то поверхня після травлення має темний колір. Такі деталі освітлюють в 20...40 HNO<sub>3</sub>. Сплави з домішками кремнію травлять у розчині: HNO<sub>3</sub> – 350 г/л; HF – 15 г/л; температура розчину 10...30 °С. Для травлення характерне зменшення розмірів деталей. Глибина втравлювання пропорційна тривалості процесу травлення і температурі розчину. Підвищення температури інтенсифікує процес травлення. Попередня обробка використовується не завжди, а тільки за необхідності.

*Основна обробка* – це гідро-, дробоструминна обробка, крацювання, галтовка, віброгалтовка і шліфування поверхні. Гідро- і дробоструминна обробка виконується в камерах виготовлених із алюмінієвих листів, коли камера буде сталева, то поверхня алюмінієвих деталей буде насичуватися

залізом і набувати інших властивостей. Гідро струминна обробка *не рекомендується* для м'яких сплавів, так як частки абразивів будуть проникати у поверхневий шар. Галтовку і віброгалтовку використовують для обробки поверхні дрібних деталей. Шліфування поверхні здійснюють за допомогою шліфувальних кругів, здійснюючи 4...7 переходів для забезпечення високої чистоти, або за допомогою нескінченних шліфувальних стрічок. На стадії основної обробки деталі набувають розмірів які близькі до завданих.

**Остаточна обробка** – це та стадія на якій деталі набувають потрібного декоративного вигляду, а їх поверхня дзеркального блиску. На цій стадії використовують механічне полірування за допомогою полірувальних кругів та паст, полірування в барабанах для обробки дрібних деталей. Використовують також *електрохімічне полірування*, яке забезпечує високу якість поверхні. При цьому також видаляється тонкий поверхневий шар (декілька мікрон), який містить інородці включення і приховані дефекти. Електрохімічне полірування вимагає ретельної попередньої підготовки поверхні, так як значні подряпини потім не видаляються. Для електрохімічного полірування рекомендується електроліт:  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 1460 г/л,  $\text{CrO}_3$  – 160 г/л, катоди Al або нержаюча сталь. Для полірування деталей складної конфігурації або ж великого розміру використовують хімічне полірування, яке здійснюють у розчині:  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 1500 г/л,  $\text{HNO}_3$  – 60 г/л, температура розчину 65...75 °С. Розчин швидко виснажується і вимагає частого корегування.

**Очистка поверхні** – остання стадія підготовки поверхні, коли використовують хімічне знежирювання в розчинниках та лужних розчинах, електрохімічне знежирювання на катоді, ультразвукову очистку, яка особливо ефективна для деталей складної конфігурації.

### **Схема типового процесу анодування алюмінію:**

- 1) попередня механічна обробка поверхні;
- 2) очистка від залишків полірувальної пасти;
- 3) промивка гарячою проточною водою;
- 4) промивка холодною проточною водою;
- 5) знежирювання хімічне;
- 6) промивка гарячою водою;
- 7) промивка холодною проточною водою;
- 8) травлення в 40...60 г/л NaOH, температура розчину 40...60 °С;
- 9) промивка гарячою водою;
- 10) промивка холодною проточною водою;
- 11) освітлення в розчині нітратної кислоти;
- 12) електрохімічне полірування;
- 13) промивка гарячою водою;
- 14) промивка холодною проточною водою;
- 15) анодування;
- 16) промивка холодною водою двократна;
- 17) наповнення;
- 18) промивка холодною водою;
- 19) ущільнення
- 20) промивка гарячою водою;
- 21) висушування гарячим повітрям;
- 22) контроль якості анодної плівки.

### **Обладнання і пристрої для анодування алюмінію та його сплавів**

Для анодування алюмінієвого дроту та стрічки використовують безперервно діючі установки. Вони складаються із ряду послідовно розташованих ванн, через які безперервно протягається оброблювальний дріт

або стрічка. Після анодування, промивання та висушування дрiт або стрічка збираються у бухти на намотувальних барабанах.

Деталі середніх розмірів анують в автоматичних автооператорних лініях, де всі операції автоматизовані(за виключенням монтажу деталей на підвіски). Ванни виготовлені із сталі, футеровані вініпластом або свинцем. Для хромовоокислого електроліту використовують ванни із корозійно–стійкої сталі 12Х18Н10Т. Ванни обладнані бортовою вентиляцією. Для запобігання місцевого перегрівання обов'язково передбачають перемішування електроліту шляхом барботування повітря.

Охолодження електроліту здійснюють за допомогою занурюваних теплообмінників–змійовиків, виготовлених із титану, нержавіючої сталі або звичайної сталі і по свинцьованих. Для охолодження використовують артезіанську воду або спеціальні холодильні установки (особливо для товстошарового анодування).

Стромопровідні штанги у ваннах виготовленні з міді і розраховані на максимальний струм.

Підвісні пристрої виготовляють з дюралюмінію або титану. Площа поперечного перерізу підвіски повинна бути достатньою с тим, щоб підвіска не розігрівалася під дією струму. Підвіска обладнується пружинними контактами або затискними гвинтами для забезпечення надійного контакту деталей з підвіскою (з метою запобігання перегрівання та наступного розпушення плівки). Контакти систематично очищають механічним або хімічним способом. Неробоча частина підвіски ізолюється хімічно–стійким лаком або спеціальними речовинами.

*Анодування дрібних деталей* (болти, гвинти, гайки, заклепки та ін.) здійснюють у спеціальних перфорованих алюмінієвих стаканах. У середині стакана розташована перфорована вініпластова труба, через яку прокачують електроліт для охолодження деталей. Стакан закривається перфорованою

кришкою, яка одночасно є струму підводом. Зовнішня поверхня стакану ізолювана.

Для анодування внутрішньої поверхні труб застосовують додаткові католи із свинцевого чи алюмінієвого дроту. Труби великої довжини анують при безперервному прокачуванні електроліту.

### **Практичне заняття 8. Контроль якості анодних оксидних покриттів на алюмінії, чорних та кольорових металах**

Контроль якості анодних оксидних покриттів на алюмінії та його сплавах

Контроль може бути суцільним (цілковитим) і вибіркоким (2...5 % деталей від партії). Для крупно габаритних деталей контроль здійснюють за допомогою випробних зразків [16].

#### **Визначення товщини оксидних покриттів**

Використовують хімічні, фізичні та фізико-хімічні методи.

*Хімічний метод* – деталь зважують, видаляють покриття в знову зважують. Розраховують середню товщину покриття. Видалення покриття здійснюють у розчині:  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 85 % +  $\text{CrO}_3$  – 20 г/л, температура розчину 95 °С. Точність хімічного методу  $\pm 10$  %.

*Металографічний метод* – товщину покриття вимірюють за допомогою металографічного мікроскопа на шліфах, виготовлених за спеціальною методикою.

*Радіометричний метод* – вимірюють інтенсивність зворотного розсіювання  $\beta$ -випромінювання у залежності від товщини плівки.

*Оптичний метод* – за допомогою растрового мікроскопа вимірюють висоту виступу, який утворюється між основою і краєм покриття. Виступ отримують, видаляючи покриття на невеликій ділянці, або ізолюючи таку ділянку перед нанесенням покриття.



### **Визначення твердості оксидних покриттів**

Використовують мікротвердомір ПМТ–3 (або інший). Оцінка мікротвердості заснована на утискуванні чотиригранної алмазної пірамідки при відомому статичному навантаженні. Потім за допомогою мікроскопа вимірюють довжину діагоналі відбитка (при 500–кратному збільшенні). Знаючи статичне навантаження та довжину діагоналі відбитка, за спеціальною формулою вираховують мікротвердість. необхідно відзначити, що твердість оксидного покриття на алюмінії вища за твердість основного металу і це вносить похибки у вимірювання.

### **Контроль зносостійкості оксидних покриттів**

Методика заснована на вимірюванні тривалості стирання покриття визначеної товщини при визначеному навантаженні до появи основного металу. Оцінку отримують в умовних одиницях по відношенню до зносостійкості більш м'якого покриття. Для стирання оксидного покриття із досліджуваних зразків використовують пластинки або диски, виготовлені із твердого сплаву, або з металу із твердим покриттям. Навантаження вибирають у залежності від передбачуваної твердості контрольованих покриттів.

Використовують також метод вимірювання на машинах тертя. Суть дослідження полягає в тому, що зносостійкість оцінюють по глибині або об'єму ямки, яка утворюється від тертя диска з надтвердого сплаву по оксидному покриттю.

### **Контроль електричних характеристик оксидних покриттів**

*Визначення пробійної напруги оксидних покриттів.* Оцінюють за величиною електричної напруги, достатньої для пробією шару діелектрика. Вимірювання проводять на універсальній пробійній установці. Вимірювальні електроди цієї установки виготовлені з твердого сплаву. Досліджувані зразки

з покриттями попередньо знежирюють. Пробійну напругу вимірюють двома методами:

а) виконують місцеве видалення покриття на ділянці зразка і один з вимірювальних електродів притискають до чистого металу, а інший електрод – до плівки оксиду;

б) обидва вимірювальні електроди притискають до оксидної плівки на відстані 20...30 мм один від одного. У цьому разі пробійна напруга складає  $\frac{1}{2}$  від вимірюваної величини.

Пробійну напругу вимірюють не раніше, ніж через 1 годину після отримання покриття. Вимірювання проводять при температура розчину 18...30 °С і відносній вологості 45...75%.

**Визначення питомого опору оксидних плівок.** Питомий опір оксидних плівок визначають за допомогою за допомогою тераомметра з використанням кільцевих вимірювальних електродів.

### **Виявлення дефектів оксидних плівок**

Виявлення дефектів оксидних плівок застосовують оптичні, електронно-мікроскопічні, електрохімічні та хімічні методи. Часто дефекти виявляють електрохімічним методом за такою методикою.

У розчин КІ добавляють крохмаль і в цьому розчині анодно поляризують досліджуваний зразок з оксидним покриттям. У місцях дефектів відбувається окислення  $I^-$  до  $I_2$  і утворюються сині плями. За кількістю таких плям визначають кількість дефектів.

За іншою методикою досліджуваний зразок анодно поляризують у розчині, який містить барвник алізарин червоний-S. На місці дефектів, де виникають іони  $Al^{3+}$ , утворюються яскраво-червоні точки (кристали нерозчинного алізарату алюмінію). За кількістю таких точок визначають кількість дефектів.

## **Контроль поруватості оксидних плівок**

*Для контролю використовують дві методики:*

а) застосовують метод паст. Цей метод заснований на взаємодії основного металу з реагентом в порох з утворенням забарвлених сполук. Використовують пасту, яка складається з таких складників: алюмініон, пропілів спирт,  $TiO_2$  і  $H_2O_2$ . Термін придатності пасту складає 2...3 години після її приготування. Пасту наносять на поверхню деталей, витримують 5 хв. При цьому пори забарвлюються у бузковий колір. Підраховують кількість пор на  $1\text{см}^2$ ;

б) досліджувані зразки занурюють у розчин, який містить:  $CH_3COOH$  – 60 г/л;  $CuSO_4$  – 5 г/л;  $ZnCl_2$  – 15 г/л. Через декілька хвили на поверхні у місцях пор утворюється кристали міді. Визначають кількість пор на  $1\text{см}^2$ .

## **Визначення загальної поруватості**

Під загальною поруватістю розуміють загальний об'єм порожнин, який займають пори, тріщини, макропустоти. Визначення загальної поруватості здійснюють за такою методикою. Досліджуваний зразок зважують, занурюють на 20 хв у нагріте до  $105^\circ\text{C}$  авіаційне масло. Після стікання масла його витирають насухо фільтрувальним папером, зразок знову зважують. За масою масла та його питомою вагою визначають об'єм пор.

## **Контроль наповнення анодних плівок**

Використовують метод забарвлювання. Метод заснований на витримці зразка в розчині барвника, наступної його промивки та визначення зміни кольору покриття. На практиці використовують два способи забарвлювання:

1) спосіб занурювання. Зразок занурюють на 5 хв у розчин  $HNO_3$ , потім промивають і занурюють на 5 хв у спиртовий розчин барвника. Після цього зразок витягують, промивають і висушують. Наповнення плівки

вважають задовільним, коли покриття при цьому не пофарбується або пофарбується в незначній мірі;

2) метод краплі. На поверхню зразка наносять декілька крапель розчину  $\text{HNO}_3$ , витримують їх 5 хв і зразок промивають. потім поверхню зразка заповнюють спиртовим розчином барвника, витримують 5 хв. Зразок просушують фільтрувальним папером і аналізують стан його поверхні як і в попередньому методі.

### **Контроль корозійної стійкості плівок**

Такий контроль здійснюють шляхом випробовування досліджуваних зразків на корозійну стійкість у різних середовищах. Так як випробування на корозійну стійкість у природних умовах дуже тривалі то часто проводять прискорені випробовування у штучно створеному середовищі: кліматичні камери, камери сольового туману, попереми́нне занурення зразків у агресивний розчин. Визначають час появи першого корозійного вогнища, зміну маси зразків, зміну характеристик оксидного покриття.

### **Визначення захисних властивостей покриття**

Використовують метод краплі. На знежирену поверхню покриття наносять краплю розчину такого складу:  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  3г;  $\text{HCl}$  – 25 мл,  $\text{H}_2\text{O}$  до 100 мл. Цей розчин руйнує оксидну плівку, проникає до металу і реагує з ним. У результаті цього  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$ , колір розчину з оранжевого змінюється на зелений. Визначають час, який проходить від моменту нанесення розчину до зміни його кольору. Цей час характеризує захисні властивості, його величина повинна бути не менше, ніж вказана у відповідних нормативних документах.

## **Контроль міцності зчеплення оксидної плівки з основою**

Для контролю використовують декілька методів, але всі вони дають відносні результати.

- Метод вигину: досліджуваний зразок з покриттям вигинають декілька раз під кутом  $180^\circ$  ;
- Метод сітки подряпин. Застосовується для плівок товщиною менше 15 мкм і здійснюється за стандартною методикою;
- Метод навивання: використовується для контролю покриття на дроті. Дріт  $\varnothing < 1\text{мм}$  навивають на стержень діаметром 3мм, а дріт діаметром  $> 1\text{мм}$  навивають на дріт такого ж діаметра. Роблять 10...15 витків. Покриття при цьому не повинне відшаровуватися;
- Метод крацювання: поверхню виробів з покриттям крацюють сталевими або латунними щітками, які обертаються із швидкістю 1500...2800  $\text{хв}^{-1}$ . Тривалість обробки на менше 15 с. Покриття після обробки не повинне відшаровуватися;
- Метод полірування: покриття полірують повстяними кругами із застосуванням пасти на основі ( $\text{CrO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Лінійна швидкість полірування складає 30 м/с, тривалість 13 с. Покриття не повинне відшаровуватися;
- Метод нагрівання: деталь з покриттям нагрівають протягом 0,5...1 год до температури  $190^\circ\text{C}$  і охолоджують на повітрі. Покриття не повинне відшаровуватися.

## **Практичне заняття 9. Контроль якості оксидно-фосфатних і фосфатних покриттів**

### **Контроль якості оксидних плівок на чорних металах**

Оксидні покриття перевіряють на суцільність за такою методикою: На знежирену контрольовану поверхню наносять краплі 3%  $\text{CuSO}_4$ . У місцях пор утворюються кристали міді. Підраховують кількість пор на  $1\text{ см}^2$ .

## **Підвищення захисних властивостей фосфатних плівок**

З цією метою використовують такі види додаткової обробки:

- Пасивування у розчинах  $K_2Cr_2O_7$ 
  - а) 100 г/л  $K_2Cr_2O_7$ ; температура розчину 70...80 °С; тривалість процесу 20 хв; з наступним промиванням та висушуванням;
  - б) 3...5 г/л  $K_2Cr_2O_7$ ; температура розчину 70...80 °С; тривалість процесу 3 хв; без промиванням з висушуванням;
- Просочуванням авіаційним або веретенним маслом при температурі 100...110°С;
- Гідрофобізація в 10% розчині кремнійорганічної рідини ГФЖ у безині.

## **Особливості будови обладнання для фосфатування**

Використовують сталеві ванни без футерування. Біля бокових стінок розташовують вертикально латунні зміювики. Нові ванни проробляють з метою фосфатування їх корпусу. Дно ванни регулярно очищають від шламу. Деталі у ванни завантажують, закріпивши їх на сталеві підвіски. Дрібні деталі фосфатують у барабанах із сталі або у перфорованих корзинах. Деталі періодично струшують для забезпечення більшої рівномірності покриття. Ванни обладнують боковою вентиляцією. Ванни, які працюють за високої температури, закривають кришками.

## **Контроль якості фосфатних плівок**

*Здійснюють такі види контролю:*

1. Контроль зовнішнього вигляду;
2. Контроль стійкості плівок проти корозії;

У залежності від стану плівок використовують два наступні варіанти контролю.

1. *Плівки не просочені маслом.* На знежирену поверхню наносять краплі розчину, що містить суміш  $CuSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $HCl$  і визначають час

зміни голубого кольору розчину на жовтий або червоний. Коли проміжок часу менше 1хв – стійкість низька; складає 5хв – стійкість нормальна; перевищує 5хв – стійкість висока.

2. *Плівки просочені маслом.* На поверхню наносять краплю розчину суміші NaCl і HCl, через 1хв краплю знімають і на її місце наносять краплю розчину суміші CuSO<sub>4</sub>, NaCl, HCl. Через 3 хв цей розчин знімають фільтрувальним папером. Коли на тому місці, де були краплі, відсутні сліди металевої міді, то покриття витримало випробування.

## **Практичне заняття 10. Фактори, які визначають захисні властивості лакофарбових покриттів**

Протикорозійна дія ЛФП зумовлена гальмуванням корозійних процесів на межі поділу метал–плівка [23, 25, 26]. Це гальмування може бути пов'язане з дією таких чинників:

- обмеження швидкості надходження речовин, які викликають розвиток корозійного процесу;
- підвищення електричного опору ( $R_e$ ) матеріалу плівки;
- специфічний вплив адсорбції;
- хімічний або електрохімічний вплив матеріалу плівки на метал, який захищають.

Таким чином, захисна дія ЛФП визначається проникністю плівок, їх електричним опором, адгезивною взаємодією з підкладкою, ефектом інгібування.

### **Вплив проникності покриття**

Практика показує, що звичайні ЛФП проникні по відношенню до корозійних агентів, тобто до води та кисню. Так, за даними Розенфельда та інших, швидкість проникнення води складає 1,122...1,190 г/(см<sup>2</sup>·рік), а кисню

– 0,004...0,005 г/см<sup>2</sup>·рік. Необхідна кількість води і кисню для перебігу корозії із швидкістю 0,07 г/см<sup>2</sup>·рік складає для води – 0,011 г/см<sup>2</sup>·рік, для кисню – 0,030 г/см<sup>2</sup>·рік. Таким чином, ЛФП не є серйозною перешкодою для дифузії корозійних агентів. Уже через рік експлуатації покриття кількість води і кисню буде в декілька раз більша, ніж це необхідно для розвитку корозійного процесу. Тобто, бар'єрний механізм захисту не є визначальним. Але бар'єрний ефект ЛФП проявляється по відношенню до продуктів корозії. Так, проникність іонів заліза на 1...2 порядки менша, ніж води, кисню та хлору. Таким чином, захисні властивості ЛФП у відношенні проникності пов'язані з гальмуванням відведення продуктів корозії з поверхні металу.

### **Роль електричних властивостей покриття**

Електричний опір покриття в середовищі електроліту є сумою двох складових: омичної та поляризаційної. Омична складова є основною і вона визначає захисну дію ЛФП. Коли омичний опір високий, то електрохімічний процес корозії може і не відбутися. Однак, у процесі експлуатації електричний опір покриття неухильно знижується. Його величина буде залежати від наявності в покритті гідрофільних груп, особливо коли вони схильні до іонного обміну. Наприклад, у розчинах NaCl електричний опір масляних та алкідних плівок зменшується на 4...5 порядків. Коли ж покриття гідрофобне, то його електричний опір при експлуатації зростає, але електрична провідність цього покриття може виникнути через наявність пор або дефектів, заповнених електролітом. Захисні властивості такого покриття також знижуються. Таким чином, електричні властивості плівки не є визначальними для забезпечення високих захисних властивостей покриття.



## **Роль адгезії покриття**

Протикорозійні властивості покриття в значній мірі залежать від його адгезії. Чим вища його адгезія, тим менша швидкість корозії. Це можна пояснити дією таких чинників:

Коли розглядати корозію як процес адсорбції корозійно–активної речовини на вільних ділянках поверхні металу, то очевидно, що чим вища адгезія, тим менше вакантних ділянок, ти менша можливість для розвитку корозійного процесу.

При високій міцності адгезивних зв'язків змінюється характер енергетичного стану поверхні металу під покриттям. Відбувається його пасивація, особливо коли плівко утворювач хімічно взаємодіє з металом і утворює нерозчинні сполуки. Відбувається його пасивація.

За високої адгезії покриття уповільнюється відведення продуктів корозії, об'єм яких більший, ніж об'єм прокородованого металу.

І навпаки, низька адгезія покриття є однією із причин підплівкової корозії. Через це всі чинники, які сприяють отриманню покриттів з високою адгезивною міцністю в процесі експлуатації, підвищують захисні властивості покриттів.

## **Вплив ефекту інгібування на захисні властивості покриттів**

Забезпечується за рахунок уведення в їх склад протикорозійних пігментів та інгібіторів корозії. Інгібуючий ефект проявляється в електрохімічних процесах, які перебігають на межі поділу метал–плівка. Через це інгібовані покриття є ефективними в тому разі, коли вони нанесені безпосередньо на поверхню металу, тобто є ґрунтом. Так як корозійний електрохімічний процес перебігає лише за наявності електроліту, то ефективність багатьох протикорозійних пігментів та добавок залежить від їх здатності розчинятися, а тривалість захисної дії – від періоду, протягом якого вони здатні підтримувати метал у пасивному стані. Найбільш

поширеним є застосування покриття притикорозіних пігментів. За механізмом дії розрізняють пігменти з анодним інгібуванням і пігменти з катодним інгібуванням.

Анодне інгібування – досягається за допомогою пігментів які здатні або приймати електрони, або ж збільшувати рН і внаслідок окислення або гідратації утворювати захисні плівки. У результаті цього електродний потенціал металу зміщується у позитивний бік аж до області пасивного стану де корозія не відбувається. Найбільш ефективними анодними уповільнювачами корозії є хромат цинку, хромат стронцію, хромат калію–барію, свинцевий сурик, свинцеві і цинкові білила, фосфат хрому. Дуже ефективним є хромат цинку, так як має максимальну розчинність у водному середовищі.

## **Практичне заняття 11. Стадії технологічного процесу фарбування.**

### **Контроль якості лакофарбових покриттів**

#### **Технологія фарбування металів**

Технологія складається з таких стадій: підготовка поверхні, ґрунтування, шпаклювання, нанесення верхніх шарів, облагороджування поверхні.

#### ***Підготовка поверхні виробів.***

Термін служби ЛФП у значній мірі залежить від якості підготовки поверхні.

***Мета підготовки*** – видалення окалини, іржі, масляних та жирових забруднень, а також старих ЛФП при ремонтних роботах. Для підготовки поверхні використовується ряд способів:

***Механічні способи підготовки.*** Струменево–абразивні та гідро–абразивні;

**Термічний спосіб підготовка.** Для видалення окалини, іржі, старої фарби, мастил. Розрізняють вогневу зачистку, повітряно–електродугову зачистку, відпалювання в печах із відновлювальної та окислювальною атмосферою. При цьому мастила сублімуються а  $Fe_2O_3$  відновлюється. Термічний спосіб, з метою запобігання короблення і деформації, використовується для виробів з товщиною стінки більше 5 мм. Після термічної обробки застосовують механічну та хімічну обробку.

**Хімічні способи очистки поверхні.** Використовують знежирювання в органічних розчинниках, хімічне знежирювання у водних розчинах, електрохімічне знежирювання і травлення. Для обробки крупно габаритних виробів використовують травильні пасти.

**Видалення старих ЛФП.** Видалення засноване на набуханні, хімічному руйнуванні матеріалу плівки. Застосовують неорганічні та органічні змивні розчини на основі лугів, кислот, сумішей органічних розчинників та пасти.

**Неорганічні змивні розчини містять**  $NaOH$  (100...300 г/л) з додатком  $Na_2CO_3$  та  $CaO$ . Застосовують для видалення масляних, алкідних та інших покриттів, які містять компоненти, здатні гідролізуватися. Неможна видаляти покриття з алюмінію та його сплавів. Після видалення покриття поверхню виробів промивають теплою водою.

**Органічні змивні композиції** містять суміш розчинників із додатком уповільнювачів випаровування, загущувачів, розпушувачів, ПАР та інгібіторів корозії. Сама проста змивна композиція містить: ацетон – 60 %, бензол 30 %, парафін 10 %. Органічні змивні композиції видаляють всі типи ЛФП. Змивну композицію наносять шаром товщиною 1...2 мм на 10...30 хв. Покриття, які розбухають, потім видаляють механічно або змивають струменем води.

Покриття із **порошкових матеріалів** видаляють обробкою у розплаві лугу або лужних солей при температурі близько 400 °С.

**Нанесення конверсійних покриттів.** Такі покриття наносять за допомогою процесів фосфатування, оксидування, хроматування (різновид оксидування). Вони призначені для покращання адгезії ЛФП до поверхні. Застосовуються для обробки виробів які будуть експлуатуватися в жорстких і особливо жорстких умовах.

**Грунтування.** Це нанесення шару, який безпосередньо контактує з поверхнею виробу. Наноситься з метою покращити адгезію основного покриття до металу і надати додатковий протикорозійний захист. До ґрунтовок висувають такі вимоги: висока адгезія до металу, добре зчеплення з поверхневими шарами, високі протикорозійні властивості. Ґрунтовку вибирають з урахуванням природи металу, який фарбують, і природи покривних шарів. Товщина шару ґрунтовки складає 20 мкм.

**Шпаклювання.** Нанесення шпаклювальних композицій здійснюють з метою вирівнювання поверхні. Ґрунтуванням цього не досягається в наслідок малої товщини шару ґрунтовки. Шпаклювання застосовують у тих випадках, коли поверхня виробу має дефекти, а до ЛФП ставлять підвищені вимоги із зовнішнього вигляду.

Шпаклівки – це високо наповнені системи, в яких вміст наповнювачів у 4...10 раз більший за вміст плівкоутворювача.

Вимоги до шпаклівок:

- мінімальна усадка при висиханні;
- здатність до шліфування;
- достатня механічна міцність;
- добре зчеплення з ґрунтом та верхніми шарами покриття.

Надзвичайно важлива властивість – усадка. Її величина залежить від природи плівко утворюючої речовини: епоксидна шпаклівка – 1%; алкідна – 2...4%; ПХВ – 4...6%; НЦ – 10...15%. Чим більша усадка, тим більша схильність до розтріскування в наслідок внутрішніх напружень, тим тоншим шаром необхідно наносити шпаклівку. Наприклад, товщина шару для

шпаклівки НЦ складає близько 0,1 мм, для алкідної – 0,5 мм, для епоксидної – близько 5 мм. Не рекомендується наносити більше трьох шарів шпаклівки. Застосовують *місцеве* шпаклювання та *загальне* шпаклювання. Кожний наступний шар наносять на висушений попередній шар, інколи попередньо відшліфований. Шпаклювальні шари не підвищують захисних властивостей покриття, так як вони схильні до розтріскування та відшаровування. Поверхню виробів за можливості краще вирівнювати на стадії механічної обробки.

#### ***Нанесення верхніх шарів покриття.***

Матеріал верхніх шарів вибирають з урахуванням умов експлуатації, зовнішнього вигляду та матеріалу нижніх шарів. Кількість верхніх шарів покриття може змінюватися від 1 до 6. Кожний наступний шар наносять по добре висушеному попередньому. Для деяких матеріалів попередній шар може бути лише дещо підсушеним. Перший шар є виявлювальний, після його нанесення можливе додаткове шпаклювання.

#### ***Облагороджування поверхні.***

З цією метою використовують механічне шліфування та полірування.

Шліфування використовують для вирівнювання поверхні та надання їй потрібної мікро шорсткості. Застосовують між шарове шліфування та шліфування верхніх шарів.

Полірування використовують для надання поверхні дзеркального блиску.

### **Контроль якості лакофарбових покриттів**

Контролюють такі основні властивості покриття як товщина, суцільність, адгезія, еластичність, міцність при ударі, блиск та ін..

Властивості ЛФП визначають або безпосередньо на виробках, або на пластинках–супутниках, які пройшли всі стадії обробки разом з виробами.

**1. Визначення адгезії плівки ЛФП.** Використовують метод ґраткових надрізів, метод паралельних надрізів, метод відшарування.

**Метод ґраткових надрізів.** Гострим лезом наносять перпендикулярні надрізи (неменше 6 шт) до металу з кроком 1...3 мм. Надрізи очищають щіткою і оцінюють за чотирибальною шкалою. Один бал – хороша адгезія, краї надрізів рівні, немає відшарувань. Чотири бали – погана адгезія, повне або часткова (35% площі) відшарування покриття.

**Метод паралельних надрізів.** Роблять п'ять паралельних надрізів до металу з кроком 1...3 мм. Перпендикулярно до надрізів приклеюють липку стрічку і швидким рухом під прямим кутом до покриття стрічку відривають. Адгезію оцінюють у балах. Один бал – хороша адгезія, немає відшарувань. Три бали – погана адгезія, покриття відшаровується смужками.

**Метод відшарування.** на міну чи алюмінієву фольгу наносять ЛФП армовану склотканиною (товщина близько 70 мкм). Зразок розрізають на смужки розміром 10x60 мм. Відшаровують фольгу довжиною 30...35 мм, відгинають і за допомогою розривної машини відшаровують покриття, вимірюючи силу відривання. За величиною цієї сили оцінюють адгезію покриття.

## **2. Визначення твердості покриття.**

Визначають відносну твердість покриття. Вимірювання проводять за допомогою спеціальних маятникових приладів. Маятник установлюють на двох кульках спочатку на пластинку з покриттям і визначають час затухання маятника  $\tau$ , а потім визначають час затухання маятника у цих же межах на скляній пластинці  $\tau'$ . Величину твердості покриття визначають в умовних одиницях  $\chi = \tau / \tau'$ . Величина  $\tau'$  повинна складати  $440 \pm 6$  с і її попередньо налаштовують, пересуваючи вантаж на маятнику.

## **3. Визначення еластичності ЛФП.**

Еластичність покриття визначають на прес приладах. Зразок у вигляді фольги з нанесеним ЛФП затискають по периметру у прилад, натискають по

центру напівсферичним пуансоном з діаметром 10 мм до появи тріщини у покритті і вимірюють глибину прогину зразка. Появу тріщини виявляють шляхом вимірювання опору в колі: пуансон – зразок – комірка з електролітом. Глибину прогину вимірюють за допомогою індикатора годинникового типу.

#### ***4. Визначення міцності плівки ЛФП при ударі.***

Використовують прилади У-1 чи У-2. Досліджуваний зразок – сталева пластинка товщиною 1 мм або алюмінієва пластинка товщиною 1,5 мм з нанесеним покриттям. По поверхні ЛФП на пластині наносять удари за допомогою бойка з кулькою діаметром 8 мм при їх вільному падінні з визначеної висоти. Після кожного удару покриття розглядають у лупу. За відсутності дефекту висоту падіння бойка збільшують. Випробування проводять до тих пір, доки не буде виявлено ознаки руйнування плівки. Міцність плівки оцінюють в умовних одиницях за величиною висоти падіння бойка.

#### ***5. Визначення товщини ЛФП.***

На деталях з феромагнітних матеріалів товщину покриття визначають неруйнівним методом з використанням магнітного вимірювача товщини. Він являє собою пружинний динамометр з магнітом, шкалою, індивідуальною номограмою залежності сили притягання від товщини покриття. Вимірявши силу притягання, за номограмою визначають товщину покриття.

Для немагнітних матеріалів використовують руйнівний метод. Мікрометром вимірюють товщину пластинки-супутника з нанесеним покриттям. Потім механічно видаляють покриття, знову вимірюють товщину пластинки і розраховують товщину ЛФП.

#### ***6. Визначення протикорозійних властивостей ЛФП.***

Визначають в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Як зразки використовують металеві стержні діаметром 10 мм і довжиною 75 мм із заокругленими торцями. На стержні наносять ЛФП, підвішують їх у

посудинах, заповнених корозійним середовищем. Зразки регулярно оглядають (1 раз на добу), відзначають зміну зовнішнього вигляду, відшарування покриття, наявність пухирів, розчинення плівки. Проводять прискорені корозійні дослідження за прийнятими методиками.

#### **7. Визначення блиску ЛФП.**

Здійснюють за допомогою фотоелектричного блискоміра. Суть методу полягає у вимірюванні фотоструму, який виникає у фотоприймачі під дією пучка світла відбитого від досліджуваного покриття. Блиск визначають кількісно у відсотках у порівнянні з срібним дзеркалом.

#### **8. Контроль кольору покриття.**

Досліджувані зразки порівнюють з зразками із спеціальної картотеки кольорів.

### **Практичне заняття 12. Контроль якості гумових покриттів. Контроль якості полімерних покриттів**

Контроль суцільності покриття здійснюють за допомогою електричного дефектоскопа з робочою напругою 15...30 кВ. У дефектних місцях утворюються пульсуючі іскри.

Товщину полімерних покриттів контролюють за допомогою електромагнітних товщиномірів. Суцільність покриття контролюють електроіскровими дефектоскопами з робочою напругою 4...6 кВ.

Невеликі дефекти ремонтують таким чином. Місця дефектів зачишають, стінку прогрівають зовні газовим пальником до температури плавлення полімеру, на місце дефекту насипають порошок, утрамбовують його і оплавляють його, нагріваючи зовнішній бік стінки.



### **Практичне заняття 13. Контроль якості та виправлення дефектів емалевих покриттів**

Важливою характеристикою емалевого покриття є його міцність на удар. Через складність визначення напруженості, що виникає в точці контакту «металева основа – емалеве покриття», в момент удару, дані, отримані під час випробування на удар, порівняні тільки у випадку застосування однакових приладів і зразків та мають порівняльний характер. Внаслідок своєї простоти ці випробування широко застосовуються для контролю якості емалевого покриття. Ударна міцність суттєво залежить від форми поверхні. Наприклад, ударна міцність покриття на опуклій поверхні в 1,5...3 рази менша, ніж на пласкій та увігнутій.

Надійність та термін служби обладнання визначається якістю склоемалевих покриттів, які залежать від основних властивостей покриття:

- хімічна стійкість (корозійна стійкість) покриття – опір до втрати маси в агресивному середовищі з одиниці маси за одиницю часу;
- ударна міцність – опір покриття руйнуванню від удару без порушення суцільності;
- суцільність – здатність покриття блокувати витоки сталого струму впродовж 1,5...5 с або проникнення агресивної рідини крізь покриття;
- термостійкість – опір покриття до порушення суцільності під дією багаторазової зміни температури.

Дефекти покриття виправляють або в процесі емалювання шляхом шліфування та повторного емалювання, або ж встановлюючи герметичні укрупнені пристосування.

## РОЗДІЛ 15

### ПЕРЕЛІК ЗАВДАНЬ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ

#### Варіант № 1

1. Розробіть технологію нанесення захисного анодного оксидного покриття на деталі із алюмінієвих сплавів (Ан. окс. пор. нхр.), поверхня яких містить залишки ливарної кірки.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 на початковий запуск обладнання та виконання річної програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванни за таких умов:

річна виробнича програма – 45 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1120×630×900 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати електроліту – 0,4 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3900 год.

3. Нанесення захисного рельєфу методом фотохімічного друку.

4. Визначте тривалість нанесення срібного покриття товщиною 6 мкм на струмопровідний рисунок друкованої плати, коли густина струму складає 1 А/дм<sup>2</sup>, а вихід за струмом 97 %.

#### Варіант № 2

1. Розробіть технологічний процес анодування декоративного під золото (Ан. окс. пор.) деталей із алюмінію, поверхня яких містить залишки полірувальної пасти.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску

обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 55000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1120×800×1000 мм;

кількість ванн – 3;

питомі витрати електроліту – 0,42 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3880 год.

3. Нанесення захисного рельєфу методом трафаретного друку.

4. Визначте витрати срібних анодів для виконання річної програми гальванічної дільниці сріблення друкованих плат за таких умов: річна продуктивність 100000 двобічних плат розміром 210·190 мм, товщина срібного покриття 12 мкм, площа струмопровідного рисунка складає 35 % від загальної площі плати.

### Варіант № 3

1. Розробіть технологічний процес глибокого (твердого) анодування (Ан. окс. тв) деталей із алюмінію поверхня яких містить залишки змащувально–охолоджувальної рідини.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 50000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1600×1000×900 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати електроліту – 0,45 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3870 год.

3. Регенерація міді із тартратних розчинів хімічного міднення.

4. Визначте тривалість гальванічного нанесення металорезисту ПОС–61 товщиною 12 мкм, коли катодна густина струму складає  $2 \text{ А/дм}^2$ , а вихід за струмом 98 %.

#### Варіант № 4

1. Розробіть технологічний процес електроізоляційного анодування (Ан. окс. из. прп) деталей із алюмінієвих сплавів, поверхня яких містить залишки змащувально–охолоджувальної рідини.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води для приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма –  $40\,000 \text{ м}^2/\text{рік}$ ;

розмір ванн –  $1600 \times 1120 \times 1000 \text{ мм}$ ;

кількість ванн – 4;

питомі витрати розчину –  $0,38 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ ;

річний фонд часу роботи обладнання – 3880 год.

3. Регенерація паладію із відпрацьованих розчинів активування поверхні діелектрика.

4. Визначте річні витрати анодів ПОС–61 для металізації струмопровідного рисунка двобічних плат за таких умов: річна продуктивність 150000 плат розміром  $170 \cdot 150 \text{ мм}$ , товщина гальванічного покриття ПОС–61 10 мкм, площа струмопровідного рисунка складає 40 % від загальної площі плати.

#### Варіант № 5

1. Розробіть технологічний процес ематалювання деталей із алюмінієвих сплавів, поверхня яких містить залишки полірувальної пасти.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 35 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1120×630×900 мм;

кількість ванн – 3;

питомі витрати електроліту – 0,39 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3790 год.

3. Гальванічні покриття золотом у виробництві друкованих плат.

4. Визначте тривалість нанесення гальванічного підшару нікелю товщиною 6мкм на кінцеві друковані контакти плат при катодній густині струму 2 А/дм<sup>2</sup> і виході за струмом 96 %.

#### Варіант № 6

1. Розробіть технологічний процес електрохімічного нанесення оксидного підшару перед нанесенням гальванопокриття на алюмінієві деталі, поверхня яких містить залишки полірувальної пасти.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 38500 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1000×630×1000 мм;

кількість ванн – 5;

питомі витрати електроліту – 0,43 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3790 год.

3. Порівняльна характеристика електролітів гальванічного міднення друкованих плат.

4. Визначте річні витрати нікелевих анодів для гальванічного нанесення підшару нікелю товщиною бмкм за таких умов: річна продуктивність 300000 двобічних плат, на кожному боці плати розташовано по 12 друкованих роз'ємів розміром 35x12 мм.

#### Варіант №7

1. Розробіть технологічний процес анодування алюмінієвих деталей, які мають клепані шви і поверхню, забруднену мастилами.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 36500 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1000×710×1000 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати електроліту – 0,46 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3870 год.

3. Гальванічне сріблення у виробництві друкованих плат.

4. Визначте тривалість гальванічного нанесення золотого покриття товщиною 3мкм на друковані роз'єми плат при катодній густині струму 1,2 А/дм<sup>2</sup> і з виходом за струмом 92 %.

#### Варіант № 8

1. Розробіть технологічний процес фосфатування сталевих деталей, поверхня яких має термічну окалину.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води для приготування розчину для основного процесу з завдання 1 на початковий запуск обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 30 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1120×1000×1000 мм;

кількість ванн – 3;

питомі витрати розчину – 0,88 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3785 год.

3. Утилізація міді із міднохлоридних травильних розчинів.

4. Визначте річні витрати KAu(CN)<sub>2</sub> для гальванічного нанесення золотого покриття товщиною 3мкм з нерозчинними анодами за таких умов: річна продуктивність складає 175000 двобічних друкованих плат, які містять з кожного боку по 15 кінцевих друкованих контактів розміром 40х15мм.

#### Варіант № 9

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування сталевих деталей, поверхня яких містить шар іржі.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 30 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1600×1120×1000 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати розчину – 0,48 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3785 год.

3. Гальванічне нікелювання у виробництві друкованих плат.

4. Визначте тривалість гальванічного нанесення сплаву олово–вісмут (97,5 % Sn) товщиною 12мкм на друковані плати при катодній густині струму 1,2 А/дм<sup>2</sup> і з виходом за струмом 97 %.

### Варіант № 10

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування деталей із латуні, поверхня яких містить термічну окалину.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 70 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 2240×1120×1250 мм;

кількість ванн – 5;

питомі витрати розчину – 0,32 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3785 год.

3. Гальванічне нанесення блискучих покриттів сплавом олово–свинець.

4. Визначте річні витрати олов'яних анодів та Bi<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> для гальванічного нанесення сплаву олово–вісмут (97,5 % Sn) товщиною 12мкм за таких умов: річна продуктивність складає 250000 двобічних плат розміром 170x200 мм, площа струмопровідного рисунка складає 30 % від загальної площі плати.

### Варіант № 11

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування деталей із магнієвих сплавів, поверхня яких містить залишки мастила.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 48000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1120×1000×900 мм;

кількість ванн – 5;



питомі витрати розчину –  $0,42 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ ;

річний фонд часу роботи обладнання – 3895 год.

3. Травлення міді в розчинах на основі хлорного заліза.

4. Визначте тривалість гальванічного нанесення металорезисту сплаву олово–нікель (65 % Sn) товщиною 14мкм на друковані плати при катодній густині струму  $2 \text{ А}/\text{дм}^2$  і з виходом за струмом 96 %.

#### Варіант № 12

1. Розробіть технологічний процес електрохімічного оксидування деталей із магнієвих сплавів, поверхня яких містить залишки полірувальних паст.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма –  $52\,000 \text{ м}^2/\text{рік}$ ;

розмір ванн –  $1600 \times 1120 \times 900 \text{ мм}$ ;

кількість ванн – 4;

питомі витрати електроліту –  $0,38 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ ;

річний фонд часу роботи обладнання – 3925 год.

3. Травлення міді в кислому розчині на основі хлорної міді.

4. Визначте річні витрати анодів із нікелю та олова для гальванічного нанесення сплаву олово–нікель (65 % Sn) товщиною 14мкм за таких умов: річна продуктивність складає 255000 двобічних плат розміром  $170 \times 240 \text{ мм}$ , площа струмопровідного рисунка складає 35 % від загальної площі плати.

#### Варіант № 13

1. Розробіть технологічний процес анодного окислення мідних деталей, поверхня яких має термічну окалину.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма –  $37250 \text{ м}^2/\text{рік}$ ;

розмір ванн –  $1600 \times 800 \times 1250 \text{ мм}$ ;

кількість ванн – 4;

питомі витрати електроліту –  $0,43 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ ;

річний фонд часу роботи обладнання – 3815 год.

3. Вимоги, які ставлять до травильних розчинів.

4. Визначте силу струму на ванні попереднього гальванічного міднення друкованих плат та тривалість процесу міднення за умови, що у ванну одночасно завантажується 6 двобічних плат розміром  $170 \times 240 \text{ мм}$ , товщина мідного покриття складає  $7 \text{ мкм}$ , катодна густина струму  $3,5 \text{ А/дм}^2$ , вихід за струмом 100 %.

#### Варіант № 14

1. Розробіть технологічний процес анодного окислення деталей із титанового сплаву, поверхня яких забруднена мастилами.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування електроліту для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма –  $24\,000 \text{ м}^2/\text{рік}$ ;

розмір ванн –  $630 \times 500 \times 800 \text{ мм}$ ;

кількість ванн – 5;

питомі витрати електроліту –  $0,42 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ ;

річний фонд часу роботи обладнання – 3825 год.

3. Нанесення захисного рельєфу з використанням сухих плівкових фоторезистів.

4. Визначте річні витрати мідних анодів для попереднього гальванічного міднення друкованих плат товщиною 5мм при річній продуктивності 180000 двобічних плат розміром 250x300мм.

#### Варіант № 15

1. Розробіть технологічний процес фосфатування оцинкованих деталей, поверхня яких містить забруднення у вигляді залишків мастила.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 55 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 2240×630×1600 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати розчину – 0,72 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3835 год.

3. Оплавлення сплаву олово–свинець у виробництві друкованих плат.

4. Визначте річні витрати компонентів електроліту попереднього гальванічного міднення друкованих плат в електроліті складу: CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O – 120 г/л, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 120 г/л, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH – 30 г/л за таких умов: річна продуктивність 170000 двобічних плат розміром 250x320мм, норма винесення електроліту з платами 0,12 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

#### Варіант № 16

1. Розробіть технологічний процес фосфатування деталей із чавуну, поверхня яких містить залишки ливарної кірки.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 39500 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1600×800×1250 мм;

кількість ванн – 5;

питомі витрати розчину – 0,46 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3857 год.

3. Виготовлення друкованих плат на металевій основі.

4. Визначте тривалість гальванічного нанесення паладію товщиною 6мкм на кінцеві друковані контакти плат при катодній густині струму 1,2 А/дм<sup>2</sup> і з виходом за струмом 90 %.

#### Варіант № 17

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування деталей із срібла в чорний колір. Поверхня деталей містить залишки полірувальної пасти.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 12 000 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 630×630×800 мм;

кількість ванн – 3;

питомі витрати розчину – 0,45 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3845 год.

3. Фторборатні електроліти міднення друкованих плат.

4. Визначте річні витрати  $\text{PdCl}_2$  для гальванічного нанесення паладієвого покриття товщиною 6мкм з нерозчинними анодами на друковані роз'єми плат за таких умов: річна продуктивність 280000 двобічних плат, які містять з кожного боку по 18 кінцевих друкованих контактів розміром 42x13мм (виносом електроліту з платами знехтувати).

#### Варіант № 18

1. Розробіть технологічний процес хімічного безбарвного оксидування алюмінієвих деталей, поверхня яких містить залишки полірувальної пасти

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 41750 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1000×800×1000 мм;

кількість ванн – 4;

питомі витрати розчину – 0,52 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3915 год.

3. Устаткування для нанесення гальванічних покриттів у виробництві плат друкованого монтажу.

4. Визначте силу струму на ванні гальванічного міднення струмопровідного рисунка та тривалість процесу міднення за умови, що у ванну одночасно завантажують 4 двобічні плати розміром 250·350мм, площа струмопровідного рисунка складає 37 % від загальної площі плати, товщина мідного покриття складає 25 мкм, катодна густина струму 3 А/дм<sup>2</sup>, вихід за струмом 99 %.

### Варіант № 19

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування деталей із бронзи в чорний колір. Поверхня деталей містить окалину.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 51500 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1600×800×1250 мм;

кількість ванн – 5;

питомі витрати розчину – 0,48 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3890 год.

3. Контроль якості мідних покриттів.

4. Визначте річні витрати мідних анодів та CuSO<sub>4</sub> ·5H<sub>2</sub>O для гальванічного нанесення мідного покриття товщиною 25мкм на струмопровідний рисунок плат за таких умов: річна продуктивність 230000 двобічних плат розміром 250х350мм, площа струмопровідного рисунка складає 40 % від загальної площі плати, електроліт містить 120 г/л CuSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, норма виносу електроліту з платами 0,25дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

### Варіант № 20

1. Розробіть технологічний процес хімічного оксидування чавунних деталей, поверхня яких містить окалину.

2. Розрахуйте: витрати окремих компонентів та води на приготування розчину для основного процесу з завдання 1 для початкового запуску обладнання та виконання річної виробничої програми і витрати води, яка випаровується при цьому з поверхні ванн за таких умов:

річна виробнича програма – 53500 м<sup>2</sup>/рік;

розмір ванн – 1600×710×1000 мм;

кількість ванн – 6;

питомі витрати розчину – 0,53 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

річний фонд часу роботи обладнання – 3875 год.

3. Порівняльна характеристика електролітів для гальванічного нанесення сплаву олово–свинець на друковані плати.

4. Визначити, яку кількість двобічних плат розміром 250x300 мм можна протравити у ванні з розчином  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  за таких умов: об'єм розчину складає 400л, гранична концентрація міді, що переходить у розчин, складає 35 г/л, площа пробільних місць складає 70 % від загальної площі плати, товщина мідної фольги на платі 35 мкм (виносом розчину з плати знехтувати).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДК 004:2008.ЕЛЕКТРОНІКА. 31.180 Друковані схеми та плати. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/electronika-st100000545.html>. – Назва з екрана.
2. ДСТУ 2646-94. Плати друковані. Терміни та визначення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/drukovani-shemi-ta-plati-st100000573.htm>. – Назва з екрана.
3. Якименко Г. Я. Технологія виробництва друкованих плат: навч. посіб. / Г. Я. Якименко. – Харків : НТУ «ХП», 2001. – 152 с.
4. PCB Libraries. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pcblibraries.com>. – Назва з екрана.
5. Друковані схеми та плати ЦГНТ бібліотека ГМК України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://cgntb.dp.ua/menu\\_332.html](http://cgntb.dp.ua/menu_332.html). – Назва з екрана.
6. Медведєв А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы / А.М. Медведєв. – М. : Техносфера, 2005. – 304 с.
7. Медведєв А.М. Технология производства печатных плат / А.М. Медведєв. – М. : Техносфера, 2005. – 300 с.
8. Лінючева О.В. Гальванічні покриття у виробництві друкованих плат. Дипломне проектування: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Ю.Ф. Фатєєв, та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 145 с.
9. Ильин В. А. Технология изготовления печатных плат: монография / В. А. Ильин. – Л. : Машиностроение, 1984. – 77 с.
10. Федулова А. А. Химические процессы в технологии изготовления печатных плат : монография / А. А. Федулова, Е. П. Котов, Э. Р. Явич. – М. : Радио и связь, 1981. – 136 с.
11. Махмудов М. Механическая обработка печатных плат : монография / М. Махмудов. – М. : Радио и связь, 1986. – 72 с.



12. Федулова А. А. Технология многослойных печатных плат: монография / А. А. Федулова, Ю. А. Устинов, Е. П. Котов и др. – М. : Радио и связь, 1990. – 208 с.
13. ДСТУ 3334-96. Плати друковані. Загальні вимоги до технологічних процесів регенерації, знешкодження та утилізації розчинів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://document.ua/plati-drukovani\\_-zagalni-vimogi-do-tehnologichnih-procesiv-r-std1489.html](http://document.ua/plati-drukovani_-zagalni-vimogi-do-tehnologichnih-procesiv-r-std1489.html). – Назва з екрана.
14. Ильин В. А. Химические и электрохимические процессы в производстве печатных плат: Выпуск 2. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности / В. А. Ильин. – М. : Из-во ВИНТИ, 1994. – 142 с.
15. Якименко Г. Я. Технічна електрохімія. – Ч.3. Гальванічні виробництва: підруч. / Якименко Г. Я., Артеменко В. М. За ред. Б. І. Байрачного. – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – 272 с.
16. Аверьянов Е. Е. Справочник по анодированию / Е. Е. Аверьянов – М. : Машиностроение, 1988. – 224 с.
17. Гальванотехника : Справ. изд. / Ф.Ф. Ажогин, М. А. Беленький, И. Е. Галь и др. – М. : Металлургия, 1987. – 737 с.
18. Дасоян М. А. Технология электрохимических покрытий : учебник / М. А. Дасоян, И. Я. Пальмская, Е. В. Сахаров. – Л. : Машиностроение, 1989. – 391 с.
19. Богатиков Л. Г. Защита химического оборудования неметаллическими покрытиями : монография / Л. Г. Богатиков, А. С. Булатов, В.Б.Моисеев и др. – М. : Химия, 1989. – 288 с.
20. Григорян Н. С. Фосфатирование: учеб. пособие / Н. С. Григорян, Е. Ф. Акимова, Т. А. Ваграмян. – М. : Глобус, 2008. – 144 с.
21. Коррозия : справ. изд. / под ред. Л. Л. Шрайера. – М. : Металлургия, 1981. – 632 с.

22. Вольберг В. В. Устройство и эксплуатация оборудования для металлопокрытий и окрашивания : учеб. пособ. / В. В. Вольберг, А. Ю. Волков. – М. : Высш. шк, 1991. – 336 с.
23. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий : учеб. пособ. / А. Д. Яковлев. – Л. : Химия, 1989. – 384 с.
24. Коррозионная стойкость оборудования химических производств : Способы защиты оборудования от коррозии : справ. изд. / под ред. Б. В. Строканова, А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1987. – 286 с.
25. Фокин М. Н. Защитные покрытия в химической промышленности : монография / М. Н. Фокин, Ю. В. Емельянов. – М : Химия, 1981. – 304 с.
26. Рейбман А.И. Защитные лакокрасочные покрытия : монография / А. И. Рейбман. – Л.: Химия, 1982. – 320 с.
27. Опыт работы по металлизации сквозных и полному заполнению медью глухих микроотверстий в едином технологическом цикле. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – [http://pcb-forum.info/wp-content/uploads/-LSR\\_Elara\\_petrocom\\_2012.pdf](http://pcb-forum.info/wp-content/uploads/-LSR_Elara_petrocom_2012.pdf). – Назва з екрана.
28. Удосконалення технології виробництва алмазного інструменту на основі моделювання розподілу металу при електроформуванні метал-композиційних шарів / Д.Ю. Ущатовський, О.В. Лінючева, Р.М. Редько та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2017. – Вып. 20. – С.446 – 451.
29. ГОСТ Р 56251-2014. Платы печатные. Классификация дефектов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – <http://docs.cntd.ru/document/1200114718>. – Назва з екрана.

## **Abstract**

The main methods of manufacturing printed circuit boards are considered, the compositions of solutions of electrolytes and the technological modes of operations accompanying the process of creating a printed circuit board are given. The compositions of solutions and modes of operations for the application of non-metallic inorganic and varnish-and-paint coatings are given. Methods of calculating the design parameters of bathtubs when applying galvanic coatings to printed circuit boards are given.

The textbook is intended for students of the specialization "Electrochemical technologies of inorganic and organic materials" (speciality 161 Chemical technology and engineering), and can be useful in preparation for lecture classes, laboratory and practical works, and execution of course and diploma projects.