

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни "Матеріали для нанесення покриттів"
для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство"
за освітньою програмою "Композиційні та порошкові матеріали,
покриття" денної форми навчання"

Конспект лекцій з дисципліни "Матеріали для нанесення покриттів" для студентів спеціальності 132 – "Матеріалознавство" за освітньою програмою "Композиційні та порошкові матеріали, покриття" денної форми навчання / Укл.: О.А. Мітяєв, О.С. Петрашов. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – с. 106

Укладачі: О.А. Мітяєв, професор, д.т.н.
О.С. Петрашов, ст. викладач

Рецензент: І.В. Акімов, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: Т.В. Кавурко, пров. фох.
І.М. Сохрякова, зав. лаб.

Затверджено
на засіданні
НМК ФБАД
Протокол № 4
від "06" лютого 2025 р.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Композиційні матеріали, хімія
та технології"
Протокол №7
від "05" лютого 2025 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Загальна класифікація матеріалів для нанесення покриттів. Види металевих покриттів, області застосування.....	5
Тема 2. Матеріали для нанесення покриттів методами наплавлення та напилення.....	10
Тема 3. Перспективні матеріали для багатофункціональних покриттів, які отримані осадженням у вакуумі або із газової фази.....	19
Тема 4. Матеріали для нанесення зносостійких, жаростійких, корозійностійких покриттів.....	26
Тема 5. Матеріали для нанесення електропровідних, електроізоляційних, ущільнювальних, оптичних і декоративних покриттів	34
Тема 6. Матеріали для електрохімічного захисту.....	43
Тема 7. Матеріали для нанесення неметалевих неорганічних покриттів (емалі, скло, цемент).....	48
Тема 8. Матеріали для нанесення неметалевих органічних полімерних покриттів.....	52
Тема 9. Загальна характеристика лакофарбових матеріалів (ЛФМ). Основні види та компоненти ЛФМ. Маркування ЛФМ	58
Тема 10. Порошкові та водоемульсійні лакофарбові матеріали	64
Тема 11. Алкідна емаль.....	71
Тема 12. Автомобільні ґрунтовки та силіконове покриття	77
Тема 13. Лакофарбові матеріали на основі природних смол і бітумів.....	84
Тема 14. Матеріали для отримання покриттів на препаратах медичного призначення (пігулки, капсули).....	94
Література	106

ВСТУП

Конспект лекцій з дисципліни "Матеріали для нанесення покриттів" для студентів спеціальності 132 – «Матеріалознавство» за освітньою програмою «Композиційні та порошкові матеріали, покриття» спрямовані на підготовку фахівців, що здатні ефективно виконувати професійну діяльність, та набуття ними компетентностей, що дозволяють розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі.

Матеріали, що наведено у конспекті лекцій, не є науковою працею, а являють собою відомі факти з відкритих джерел, що викладено укладачами у певній послідовності з метою формування у пошукачів вищої освіти уявлень, знань та практичних навичок, що стосуються питань нанесення покриттів; прогнозування властивостей та хімічного складу, як матеріалів так і покриттів.

При складанні конспекту лекцій авторський колектив використовував технічну інформацію, що викладено у джерелах [1-15].

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ. ВИДИ МЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ, ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ

Залежно від вимог, які висуваються до експлуатаційних характеристик деталей, розрізняють три види покриттів:

- захисні покриття, призначенням яких є захист від корозії деталей в різних агресивних середовищах, а також при високих температурах;

- захисно-декоративні покриття, які служать для декоративного оздоблення деталей з одночасним захистом їх від корозії;

- спеціальні покриття, що застосовуються з метою надання поверхні спеціальних властивостей (зносостійкості, твердості, електроізоляційних, магнітних властивостей та ін.), а також відновлення зношених деталей.

Для встановлення опору покриття корозії проводять випробування, при яких корозійне навантаження на деталь близьке до умов її експлуатації. Ефективність опору корозії визначається за швидкістю розчинення покриття та за втратою ваги (зважуванням).

Класифікація процесів нанесення металевих покриттів наведена на рисунку 1.1.

Гаряче занурення до розплаву – один із найстаріших методів нанесення покриттів. Метали ванни мають низьку температуру плавлення – це цинк, олово, алюміній. Вони забезпечують захист основного метала від корозії.

Напилення проводиться дрібними частинками матеріалу, які утворюються при проходженні дроту або порошку крізь газове полум'я або електричну дугу, з наступним осадженням на холодну основу. При застосуванні електродугового чи плазмового нагрівання покращуються адгезія та знижується пористість покриття.

Наплавлення реалізується за рахунок сплавлення поверхневого шару основи з матеріалом, який наноситься. Наплавлення широко застосовується для ремонту окремих деталей, які вийшли з ладу або піддалися зношуванню в процесі експлуатації. Для нанесення покриттів методом наплавлення використовують всі основні зварювальні процеси: газополуменевий, електродуговий, плазмовий, електроннопроменевий та ін.

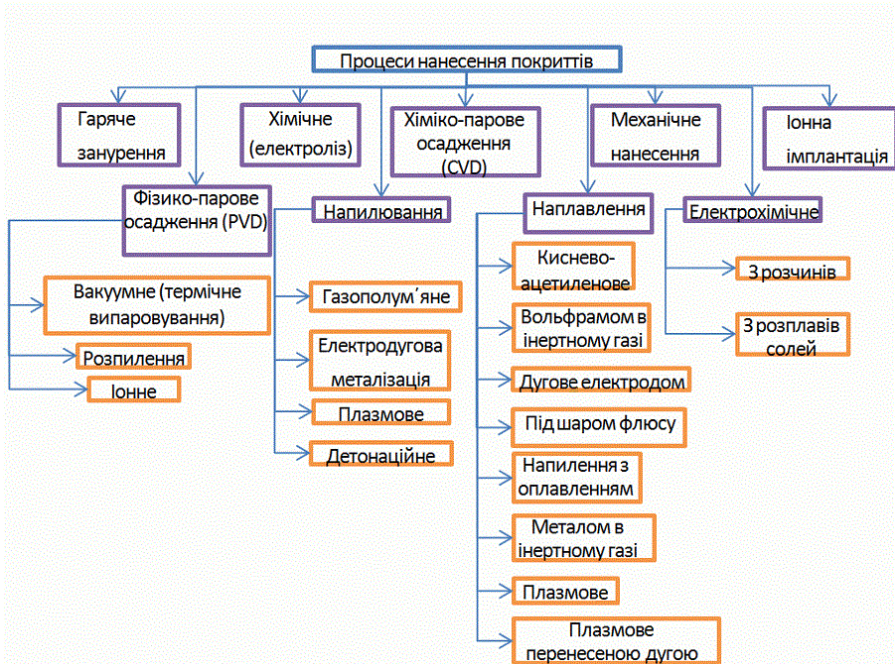


Рисунок 1.1 – Класифікація процесів нанесення покриттів

Електрохімічне осадження металів із розчинів солей використовують з метою отримання гальванічних покриттів, найчастіше з хрому і нікелю товщиною 0,12...0,60 мм.

Електролітичне нанесення покриттів із сплавів *Ni-P* та *Ni-B* проводиться за рахунок хімічної взаємодії. У цьому разі покриття формуються на всій поверхні деталей з однаковою швидкістю товщиною до 0,12 мм, тоді як гальванічні покриття, перед усім, формуються на місцях, що виступають – кромках, ребрах, гранях.

Хіміко-парове осадження (процес CDV – chemical vapour deposition), є процесом, при якому стійкі продукти реакції зароджуються і зростають на основі (подложці) в середовищі, де протікають хімічні реакції (дисоціація, відновлення та ін.). Завдяки високій температурі на поверхні утворюються дуже тонкі шари, наприклад, карбіду або нітриду титана. CDV – процес застосовують для нанесення покриттів на інструмент та штампи.

Фізичне осадження із парової фази (процес PVD – physical vapour deposition) проходить у декілька стадій:

- 1) нагрівання матеріалу у вакуумі до випаровування;
- 2) перенесення парів від джерела до підкладки;
- 3) конденсація парів на основі – підкладці.

Метод PVD характеризується високою універсальністю, з його допомогою можна наносити всілякі метали, сплави, оксиди, карбіди та нітриди. Наприклад, його з успіхом застосовують для нанесення зносостійкої плівки *TiN* на сталевий інструмент. Перевагою метода PVD є висока чистота поверхні та відмінний зв'язок з основою.

Механічне нанесення покриттів використовують для отримання цинкових, кадмієвих, олово-кадмієвих покриттів. Деталі перемішують в ємностях з відповідними тонкими металевими порошками, активаторами та скляними кульками.

Іонна імплантація (рис. 1.2) передбачає іонізацію атомів з наступним прискоренням іонів в електричному полі у вакуумі. Іони гальмуються при зустрічі з мішенню і розподіляються за її глибиною. Хоча глибина проникнення іонів, зазвичай, не перевищує 0,1...0,2 мкм, властивості металу змінюються суттєво.

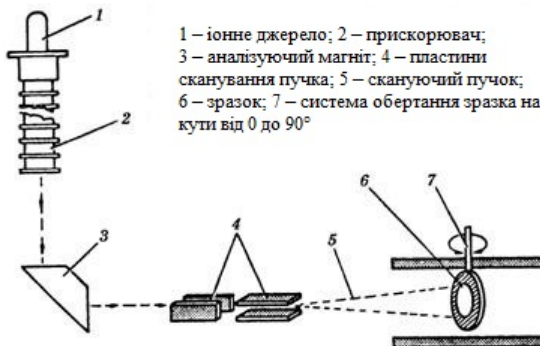


Рисунок 1.2 – Схема застосування 400 кВ прискорювача Ван-де-Грааф для іонної імплантації

Матеріали для нанесення покриттів

Порошки. Отримують наступними основними способами:

- розпиленням розплаву в захисній атмосфері;
- розпиленням водою високого тиску;

- кальційгідридним відновленням в атмосфері водню;
- плавленням з наступним подрібненням;
- саморозповсюджувальним високотемпературним синтезом з наступним подрібненням;
- конгломерацією на органічних зв'язувальних речовинах;
- плакуванням (наприклад, електрохімічним або водневим відновленням у автоклавах);
- механічним перемішуванням;
- водневим або алюмотермічним відновленням і дифузійним легуванням;
- відновленням з наступною фільтрацією і термічним обробленням.

За своїм складом і структурою частинок порошки поділяються на наступні класи:

- метали (*Ni, Al, Mo, Ti, Cr, Cu*);
- сплави (леговані сталі та чавуни, нікелеві, мідні, кобальтові, титанові сплави; самофлюсувальні сплави *Ni-Cr-B-Si; Ni-B-Si; Co-Ni-Cr-B-Si; Ni-Cu-B-Si*);
- оксиди (*Al₂O₃, TiO₂, Cr₂O₃* та ін., а також їх композиції);
- безкисневі тугоплавкі з'єднання і тверді сплави (карбіди *Cr, Ti, W* та ін., а також їх композиції з *Cu* та *Ni*);
- композиційні порошки, у тому числі плаковані *Ni*-графіт, *Ni-Al* та ін., конгломеровані *Ni-Al, NiCrBSi-Al* та ін.;
- механічні суміші (*Cr₃C₂ + NiCr; NiCrBSi + WC* та ін.).

Порошки, які застосовують, не повинні розкладатися або возгорятися в процесі напилення, повинні мати достатню різницю між температурами плавлення і кипіння (не менше 200 °С).

Дроти. Найчастіше при напиленні застосовують дроти $\varnothing 1,5 \dots 5,0$ мм для газополуменевої металізації, $\varnothing 1,2 \dots 3,0$ мм при електродуговій металізації та $\varnothing 0,8 \dots 1,2$ мм для плазмового напилення. Поверхня дроту не повинна мати дефектів і забруднень.

Для антикорозійних покриттів в основному застосовують цинковий дріт Ц1 (ГОСТ 13073-77), дроти із алюмінію і алюмінієвих сплавів АД1, АМц, АМг (ГОСТ 7871-75), а також дріт із корозійностійкої легованої сталі 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72).

Для нанесення зносостійких покриттів і відновлення розмірів зношених деталей застосовують зварювальні дроти суцільного перетину типу Св-08, Св-08Г2С, Св-12ГС, Св-06Х19Н9Т та ін. (ГОСТ

2246-70) і наплавочні марок НП-40Г, НП- 65Г та ін. (ГОСТ 10543-75), а також із сталей 30ХГСА (ГОСТ 4543-71), 65Г (ГОСТ 1050-74).

Антифрикційні покриття отримують із бронзових дротів марок БрОЦ 4-3, БрА10 та ін. (ГОСТ 5017-74).

Гнучкі шнури. Вони являють собою оболонку із малозольного органічного матеріалу, яка заповнена порошками металів, сплавів, оксидів. Діаметр шнура становить $\varnothing 1,5 \dots 6,35$ мм. Призначення шнура визначається складом наповнювача. Шнури ПГ-10К-01, ПТ12Н-01, ПТНА-01 містять металеві матеріали; ПСК-99А, ПСК-97А, ПСК-95АК і ПСК-87АТ – з керамічними наповнювачами; КМ-70 – з заповненням карбідними частками.

Мішені. При вакуумних методах напилення покриттів шляхом розпилення вихідні матеріали використовують як мішені. Мішень являє собою компактний виріб, форма і розмір якого залежить від розмірів робочої камери та схеми робочого процесу. За своєю структурою мішені поділяються на суцільні, багатошарові та складні. Суцільні мішені застосовують в основному для нанесення чисто металевих покриттів; багатошарові – при розпиленні діелектриків; складні – для отримання багатокомплексних покриттів.

Типовими матеріалами для виготовлення мішеней є алюміній, хром, мідь, тантал, титан, ніхром, нітрид кремнію, діоксид кремнію, алюміній-кремній, титан-вольфрам і ін.

Сплави для нанесення жаростійких покриттів електронно-променевим способом наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Сплави для отримання покриттів електронно-променевим способом

Марка покриття за ГОСТ9.310-86	Хімічний склад сплаву, %					
	Ni	Co	Fe	Cr	Al	V
ГЖК- 2	6...10	основа	-	22...25	11...13	0,2...0,5
ГЖК- 4	основа	-	-	18...22	10...13	0,2...0,6
ГЖК- 5	основа	-	8...12	25...30	-	0,1
ГЖК-7	-	20...25	основа	23...25	4...6	0,3
ГЖК- 8	-	основа	-	18...22	11...13	0,2...0,6
ГЖК-9	18...20	основа	-	18...22	11...13	0,2...0,6
ГЖК- 10	основа	6...10	-	18...22	11...13	0,2...0,6
ГЖК- 12	основа	6...10	-	18...22	5...10	0,2...0,6

ТЕМА 2. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ МЕТОДАМИ НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ

Порошковий дріт – це безперервний електрод, який складається з металевої оболонки та порошкового наповнювача у середині (рис. 2.1). Оболонкою для більшості дротів, що призначені для зварювання і наплавлення сталей, сплавів і чавунів, служить холоднокатана стрічка товщиною 0,2...0,8 мм із низьковуглецевої сталі, яка має високу пластичність, необхідну для формовання і волочіння. При виготовленні порошкових дротів для зварювання та наплавлення кольорових металів застосовують стрічку із металу відповідного складу.

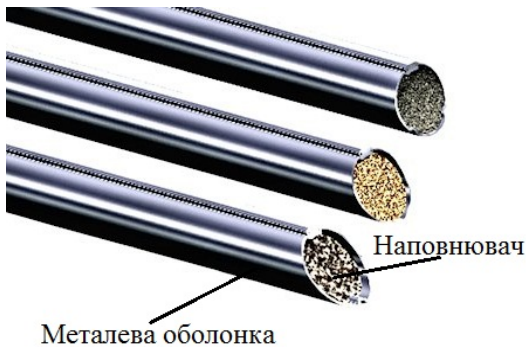


Рисунок 2.1 – Порошковий дріт

Серцевина порошкового дроту являє собою суміш порошків мінералів, руд, металів, феросплавів, інших речовин, які забезпечують стабільне та стійке ведення процесу зварювання і отримання зварних з'єднань з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Компоненти порошкового наповнювача серцевини дроту за своїм основним функціональним призначенням поділяють на газо- та шлакоутворювальні, стабілізуючі і легувальні матеріали, розкислювальні та спеціальні добавки. Багато матеріалів виконують в процесі зварювання або наплавлення декілька функцій.

За своїм складом серцевина порошкових дротів відноситься до п'яти видів: рутил-органічного, карбонатно-флюоритного (основного), флюоритного, рутилового і рутил-флюоритного.

При виготовленні порошкового дроту не тільки визначають композицію його серцевини, але й обирають раціональну конструкцію перетину (рис.2.2). Для наплавочних порошкових дротів переважно використовують просту конструкцію оболонки – трубчатую або трубчатую з напуском.

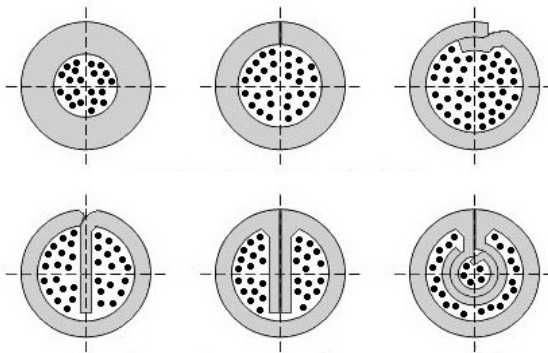


Рисунок 2.2 – Конструкція оболонок порошкових дротів

Порошкові дроти застосовують для зварювання та наплавлення без захисту або із додатковим захистом газом або флюсом. Дроти, які не потребують додаткового захисту, називають самозахисними, при цьому газовий і шлаковий захист металу реалізується за рахунок дисоціації і розплавлення газо- та шлакоутворювальних матеріалів, що містяться у дроті. Обов'язково перед початком зварювальних або наплавочних робіт порошковий дріт необхідно прожарити за режимами, які вказані у нормативній або технологічній документації. Застосування порошкових дротів підвищує продуктивність зварювальних і наплавочних робіт у 1,5...4,0 рази у порівнянні з ручним процесом наплавлення.

Наплавочні порошкові дроти класифікують за хімічним складом наплавеного металу та призначенню наплавки. Одним з основних показників якості виготовлення порошкового дроту є величина та рівномірність заповнення оболонки шихтою (порошковим

наповнювачем). Значення коефіцієнта заповнення (K_z) порошкових дротів для зварювання – 15...45 %.

Порошковий дріт повинен задовольняти ряд технічних вимог, які визначають можливість і доцільність його промислового застосування. Загальні технічні вимоги наступні:

- легке запалення дуги і стійке горіння;
- плавлення дроту без надмірного розбризкування електродного металу;
- добрий захист поверхні металу шлаком та його легке відокремлення після охолодження;
- добре формування наплавленого металу без дефектів;
- надійне і без ускладнень переміщення спеціальними механізмами.

Поверхня дроту повинна бути гладкою, без вм'ятин, надривів, слідів корозії, мастил і інших забруднень. Допускаються повздовжні риси та залишки волоочильної змазки. Для зняття волоочильної змазки з поверхні порошкового дроту застосовують термообробку при температурі 150...250 °С впродовж 2...4 год.

Порошковий дріт постачається у мотках, розміри яких обмежені внутрішнім і зовнішнім діаметрами, маса не повинна перевищувати 80 кг. Кожна бухта повинна становити один відрізок дроту. Бухти укладають в металеві закатані бочки, до яких додатково завантажують силікогель у кількості 0,5...1,0 % від маси дроту для попередження зволоження.

За умовами використання порошковий дріт поділяється на марки ПГ – для застосування у вуглекислому газі або газових сумішах та ПС – самозахисний, без додаткового захисту. Відповідно з допустимим просторовим положенням і умовами формування зварного шву дроти поділяються:

- для нижнього положення (Н);
- нижнього і горизонтального на вертикальній площині (Г);
- нижнього, горизонтального на вертикальній площині та вертикального (В);
- для усіх положень (У);
- горизонтального на вертикальній площині з примусовим формуванням шву (ГП);
- вертикального з примусовим формуванням шву (ВП);
- усіх положень з примусовим формуванням шву (УП).

В таблиці 2.1 наведено наплавочні матеріали – порошкові дроти та стрічки, котрі розроблені в Інституті електрозварювання ім. Е.О. Патона.

Таблиця 2.1. Порошкові дроти та стрічки.

№ з/п	Марка	Призначення
1	2	3
Порошковий дріт		
1	ПП – АН 106	для наплавлення відкритою дугою деталей нафтохімічної арматури, насосів, валів і ін. деталей, де необхідний шар нержавіючої сталі типу 20X14ГТ. Твердість наплавленого металу HRC40...48, після термообробки HRC27-34
2	ПП – АН 133	для наплавлення під флюсом і в середовищі захисних газів деталей, які працюють в умовах корозії та тертя металу о метал при температурі до 540°C і високих питомих тисках. Об'єкти наплавлення: деталі арматури теплових і атомних електростанцій, нафтохімічне обладнання, волочильні барабани і ін. Твердість HRC28-35
3	ПП – ИЦП 1	для наплавлення кранових колес, катків, валів, посадочних місць, колес вагонеток, які працюють в умовах тертя-коливання й тертя-ковзання. Твердість HRC 30-36
4	ПП – АН 157	для зносостійкого наплавлення арматури теплових і атомних електростанцій, робочих колес, валів та ін. деталей нафтодобувної галузі, має відмінну зносостійкість при температурі до 565°C. Заміняє електроди ЦН – 12М. Твердість HRC 38-48
	ПП – АН 188	для наплавлення нержавіючого шару типу 15X14C2MГТ, який має гарну зносостійкість. Об'єкти наплавлення: нафтохімічна арматура, насоси, валки обладнання для безперервного розливу сталі. Твердість HRC 26-32

1	2	3
5	ПП – АН 177	для зносостійкого наплавлення деталей, які працюють при високих температурах і тисках в умовах корозійного та адгезійного зношування. Наплавлений метал зміцнюється термообробкою. Твердість підвищується з HRC 28-35 до HRC 46-52
	ПП – АН 177А	для зносостійкого наплавлення металу при високих питомих навантаженнях і температурах (штампи, бойки, матриці і ін.). Твердість HRC 26-32, після відпуску HRC 50-56
6	ПП – ИЦП 1	для наплавлення сталевих колінвалів автомобільних і тракторних двигунів. Твердість після термообробки HRC 50-54
	ПП – ИЦП 2	для наплавлення металу системи С-Fe-Сr-В-Ті, що має високу зносостійкість проти абразивного і гідроабразивного зношування. Твердість HRC 50-56
Порошкова стрічка		
1	ПЛ – АН 150	для наплавлення під флюсом деталей енергетичної та нафтохімічної арматури діаметром 300...1000 мм. Твердість HRC 28-34
2	ПЛ – АН 151	для наплавлення сплаву типу ЦН-12М на деталі обладнання атомних і теплових електростанцій. Твердість HRC 38-44, після термообробки HRC 50-56
3	ПЛ – АН 152	для наплавлення крупно габаритної арматури. Наплавлений метал добре працює при терті з поверхнею, яка наплавлена стрічкою ПЛ-АН150. Твердість HRC 34-40

Відповідно до марки сталі, з якої виготовлені деталі, що підлягають наплавленню, застосовують різні наплавочні матеріали, які забезпечують належні характеристики твердості, температурного режиму та ін. В таблиці 2.2 наведено вміст легувальних компонентів для різних сплавів.

Таблиця 2.2 – Матеріали для наплавлення ущільнювальних поверхонь трубопровідної арматури

Склад деталей арматури, які наплавляються	Вміст легувальних елементів наплавочного дроту, стрічки, %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Co	Mo	Fe	Інші	HRC
Хромисті сталі	0,16-0,25	0,5-0,8	0,5-0,8	13,0-17,0	0,6-2,0	-	0,0-0,1	залиш.	-	35-48
Хромо-нікелеві сталі	до 0,15	4,5-6,0	0,5-6,0	16,0-30,0	7,0-10,0	-	1,0-8,0	залиш.	Ti-0,5 Nb-1,2 B-0,5	27-45
Нікелеві сталі	0,08-1,4	0,5	1,0-11,5	15,5-26,0	залиш.	-	15,0	1,0-20,0	W, Al, V, Cu, B	24-56
Кобальтові сталі	1,2	0,5	0,2-1,0	27,0-30,0	-	залиш.	6,0	1,0-4,0	W- 4,0-4,5	40-52
Інші	Склад наплавочного дроту або стрічки з заданими параметрами для любого виду сталейних деталей підбирається за вимогами Замовника									

Примітка: залиш. – залишковий вміст матеріалу, який наплавляється (додається до 100%)

Стрічки мають однозамкову конструкцію і складаються із сталеві оболонки та порошку-наповнювача, який забезпечує визначений хімічний склад наплавленого металу. Розміри поперечного перерізу стрічок: ширина – $16,5 \pm 1$ мм, товщина – $3,8 \pm 0,4$ мм.

Стрічки виготовляються в рулонах, що намотані на касету. Кожен рулон складається з одного відрізка стрічки масою від 45 до 175 кг. Внутрішній діаметр рулону 440...480 мм, ширина 120...160 мм. За погодженими побажаннями замовника можуть бути поставлені стрічки масою до 25 кг.

Для дугового механізованого наплавлення зносостійких покриттів застосовуються наступні порошкові наплавочні стрічки:

- ПЛ-Нп – 300X25C4H2Г2-Б-У (ПЛ-АН 101)
- ПЛ-Нп – 500X40H40C2ГРЦ-Б-С (ПЛ-АН 111)
- ПЛ-Нп – 450X20Б7М7В2Ф-Б-У (ПЛ-АН 179-1)
- ПЛ-Нп – 450X31М-Б-У.

Стрічка порошкова наплавочна марки ПЛ-Нп-300X25C4H2Г2-Б-У (ПЛ-АН 101)

Контрольований хімічний склад наплавленого металу

Масова доля елементів, %							
Fe	C	Cr	Ni	Si	Mn	S	P
основа	2,3-3,1	22,0-28,0	1,3-3,6	2,5-5,0	0,5-2,5	не більше 0,04	не більше 0,04

Твердість наплавленого металу у другому шарі 50...56 HRC.

Застосування

Механізоване наплавлення зносостійких покриттів відкритою дугою або під шаром флюсу.

Універсальна стрічка для відновлення і захисту сталевих деталей металургійного, гірничорудного, сільськогосподарського, дорожньо-будівного та іншого обладнання і деталей машин від абразивного та газоабразивного видів зношування при помірних ударних навантаженнях, нормальних та підвищених температурах: деталі засипних апаратів доменних печей, валки коксових подрібнювачів, ударні біла, футеровка конусних подрібнювачів,

решітки транспортерів, плити скипів, ножі бульдозерів, гільзи шнекових насосів і ін.

Відносна витрата стрічки не перевершує 1,15 кг на 1 кг наплавленого металу.

**Стрічка порошкова наплавочна марки
ПЛ-Нп-500Х40Н40С2ГРЦ-Б-С (ПЛ-АН 111)**

Контрольований хімічний склад наплавленого металу

Масова доля елементів, %						
C	Cr	Ni	Si	Mn	B	Zr
4,4-6,0	32,0-46,0	32,0-46,0	1,5-3,5	до 1,5	0,1-0,5	0,2-1,0

Тип наплавленого металу – сплав Ni-Cr₃C₂. Твердість наплавленого металу у другому шарі не менше 45HRC (48...55 HRC – довідкові дані).

Застосування

Механізоване наплавлення відкритою дугою або флюсом АН-20, АН-15М зносостійких покриттів.

Захист поверхонь деталей машин і обладнання від інтенсивного абразивного та газоабразивного зношування при нормальних та підвищених температурах, наприклад, контактних та проміжних поясів конусів і чаш пристроїв для завантаження доменних печей, які працюють на форсованих режимах.

Відносна витрата стрічки не перевершує 1,2 кг на 1 кг наплавленого металу.

**Стрічка порошкова наплавочна марки
ПЛ-Нп-450Х20Б7М7В2Ф-Б-У (ПЛ-АН 179-1)**

Контрольований хімічний склад наплавленого металу

Масова доля елементів, %									
Fe	C	Cr	Nb	Mo	W	V	Si	B	S, P
основ а	4,0-5,2	18,0-23,0	5,0-7,5	5,2-7,0	1,0-2,0	0,4-1,0	1,0-2,5	до 0,5	не більше 0,04 кожний

Стрічка відноситься до універсальних наплавочних матеріалів, які мають флюсувальні компоненти.

Твердість наплавленого металу у другому шарі не менше 60 HRC.

Застосування

Механізоване наплавлення відкритою дугою або під флюсом зносостійких покриттів підвищеної твердості, стійких до абразивного та газоабразивного зношування при нормальних та підвищених температурах.

Відносна витрата стрічки не перевершує 1,2 кг на 1 кг наплавленого металу.

Стрічка порошкова наплавочна марки
ПЛ-Нп-450Х31М-Б-У

Контрольований хімічний склад наплавленого металу

Fe	C	Cr	Mo	S	P
основа	4,0-5,2	26,5-35,5	0,5-1,5	не більше 0,04	не більше 0,04

За узгодженими побажаннями споживача можуть бути встановлені змінені вимоги до хімічного складу наплавленого металу. Твердість наплавленого металу у другому шарі не менше 58HRC.

Застосування

Механізоване наплавлення відкритою дугою зносостійких покриттів підвищеної твердості.

Захист поверхонь деталей машин і обладнання від інтенсивного абразивного та газоабразивного зношування при нормальних та підвищених температурах.

ТЕМА 3. ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ, ЯКІ ОТРИМАНІ ОСАДЖЕННЯМ У ВАКУУМІ АБО ІЗ ГАЗОВОЇ ФАЗИ

Сучасні матеріали для нанесення зміцнювальних покриттів методами вакуумного фізичного осадження (PVD-процес) орієнтовані на синтез багатофункціональних покриттів, які мають надвисоку твердість, низький коефіцієнт тертя, високу в'язкість, термостійкість, опір окисненню, хімічну інертність до робочого матеріалу, високу стійкість до пластичного деформування та абразивного зношування.

Переваги матеріалів для зміцнювальних покриттів:

- повна відповідність сучасним тенденціям створення багатофункціональних покриттів у металообробці, авіаційній промисловості та енергетичному будівництві;

- дозволяють багатократно підвищити стійкість різального та штампового інструменту, проводити високошвидкісну обробку металу без мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), підвищити ерозійну стійкість і втомну міцність деталей машин;

- дозволяють керувати хімічним складом і структурою покриттів, синтезувати ефективні багатошарові нітридні, градієнтні, наноструктуровані покриття, в тому числі для умов дії циклічних термомеханічних напружень;

- дизайн і форма мішеней, що розпилюють, і катодів, які випаровують, орієнтовані на різні типи вакуумних установок і різні види іонного осадження покриттів.

Мішені та катоди виготовляють з різних композицій систем Al-Ti, Al-Ti-Si, Cr і Al-Cr (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Марки та склади мішеней та катодів.

Марка, номінальний склад, мас. %	Склад, ат. %	Хімічний склад, мас. % максимум								Густина, г/см ³ , не менше
		C	N	O	S	Mg	Fe	Ni	Si	
T37Ю63 – МП	Ti/Al 25/75	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,11
T43Ю57 – МП	Ti/Al 30/70	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,20
T47Ю53 – МП	Ti/Al 33/67	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,26
T54Ю46 – МП	Ti/Al 40/60	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,38
T59Ю41 – МП	Ti/Al 45/55	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,46
T64Ю36 – МП	Ti/Al 50/50	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,12	0,1	0,1	3,55
T43Ю49К8 – МП	Ti/Al/Si 30/60/10	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,15	0,1	8±1	3,14

Примітка: Т-титан; Ю-алюміній; К-кремній; Х-хром.

Форми мішеней і катодів наведені на рисунку 3.1, а розміри у таблиці 3.2.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд мішеней, що розпилюють, та катодів, які випаровують.

Таблиця 3.2 – Характеристики форм і розмірів виробів

Форма виробів	Розміри, мм			
	Діаметр	Товщина	Ширина	Довжина
Пластина	-	6...20	до 250	до 1700
Диск, циліндр, конус	60...200	15...35	-	-
Мішені, що розпилюють, та катоди, які випаровують, із хрому ЭРХ 99,9-МП (Cr 99,9%min), ЭРХ 99,95-МП (Cr 99,95%min), ЭРХ 99,97-МП (Cr 99,97%min), ЭРХ 99,99-МП (Cr 99,99%min)				
Пластина	-	5...50	до 1400	до 1700
Диск, кільце, конус	50...400	5...50	-	-
Пруток, циліндр	5...65	-	-	до 600

Області застосування мішеней і катодів із різних матеріалів наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Області застосування мішеней, що розпилюють, і катодів, які випаровують.

Матеріал	Області застосування
1	2
Алюміній-титан, алюміній-титан-кремній композити	1. Машинобудування та інструментальне виробництво. Зміцнювальні багатофазні та нанокompозитні 2D, 3D нітридні покриття на деталях машин, різальному та формоутворювальному інструменті. 2. Декоративні покриття.
Вольфрам В99,95 - МП	1. Машинобудування та інструментальне виробництво. Зміцнювальні однофазні та багаточарові нітридні та карбідні покриття типу WC,WN. 2. Рентгенівська оптика, прилади. Створення захисту проти випромінювання.
Хром ЭРХ – 1	Мікроселектроніка, машинобудування. Тонкоплівкові шари в мікросхемах, захисні та зміцнювальні шари, легування поверхні імплантацією хрому методами термічного, електронно-променевого або лазерного випаровування у вакуумі.
Хром ЭРХ – 0	Мікроселектроніка, машинобудування. Тонкоплівкові шари в мікросхемах, локальне легування поверхні імплантацією надчистого хрому методами термічного, електронно-променевого або лазерного випаровування у вакуумі.
Хром ЭРХ99,9 –МП	Будівельна галузь, виробництво товарів народного споживання. Захисні та декоративні покриття на фурнітурі для меблів і будівництва, біжутерії, які створюють магнетронним розпиленням або дуговим іонним осадженням.

1	2
Хром ЭРХ99,95 –МП, Хром ЭРХ99,99 –МП	<p>1. Машинобудування та інструментальне виробництво. Зміцнювальні металеві та нітридні нанокompозитні покриття на деталях машин, обладнанні, різальному та формоутворювальному інструменті. Іонна імплантація методами магнетронного розпилення і дугового іонного осадження.</p> <p>2. Мікроелектроніка, виробництво дисплеїв. Матеріал для нанесення резистивних плівок і комутаційних структур у мікросхемах; нанесення тонкопліткових електродів із хрому в матрицях великопанельних рідкокристалевих і плазмових дисплеїв.</p> <p>3. Автомобільна промисловість, побутова техніка, виробництво годинників і ін. галузі. Захисні та декоративні покриття дисків, колес, ковпаків, автомобільної фурнітури, арматури для сантехніки. Дзеркала з антивідблисковим покриттям. Хромування у вакуумі гідроциліндрів, штоків, побутової техніки, корпусів годинників, медичного інструменту і ін.</p> <p>4. Плівки, що тонують і відбивають, на архітектурному склі та скляній упаковці.</p>
Молибден М99,95 - МП	<p>1. Машинобудування та інструментальне виробництво. Зміцнювальні однофазні та нанокompозитні нітридні та карбідні покриття типу МоС, МоN, (Мо₂С)N на деталях машин, різальному та формоутворювальному інструменті. Іонна імплантація методами магнетронного розпилення і дугового іонного осадження.</p> <p>2. Мікроелектроніка, виробництво наноструктурованих сонячних елементів, рідкокристалевих дисплеїв, цифрових камер.</p>
Молибден- вольфрамовий сплав МВ10 - МП	Машинобудування та інструментальне виробництво. Зміцнювальні багатофазні покриття з карбідів на деталях машин, різальному та формоутворювальному інструменті.
Нікель Н1 - МП	Машинобудування, електроніка. Захисні покриття на деталях машин і обладнання.
Ніхром Х20Н80 - МП	<p>1. Мікроелектроніка. Резистивні плівки гібридних інтегральних схем.</p> <p>2. Виробництво скла з низькою здатністю до випромінювання. Багатошарові плівки типу Ni-Cr/Ag/ Ni-Cr на склі.</p>
Оксид цинка-галій TCO (A-GZO)	Створення електропровідних, прозорих шарів у виробництві сонячних батарей, РК-дисплеїв, низькоемісійного архітектурного скла.

Зміцнювальні покриття на інструмент Сучасні матеріали для покриттів.

За даними держкорпорації РОСНАНО споживання металорізального інструменту в Росії за 2007 рік склало 444 млн. дол., у той час як світовий показник за цей період досяг 14 млрд. дол. З метою задоволення потреби у різальному інструменті зі зміцнювальними покриттями, в першу чергу, для оброблення деталей авіадвигунів, РОСНАНО 1 вересня 2008 року затверджено проект по створенню виробництва тврдосплавного металорізального інструменту з наноструктурованими покриттями. Актуальне це питання і для України, особливо для Запорізького регіону, завдяки стабільній роботі АТ «Мотор Січ» – підприємства з виготовлення сучасних авіадвигунів, а також ДП ЗМКБ «Прогрес» імені академіка А.Г.Івченка – основного розробника надсучасних авіадвигунів.

Мішені, які розпилюють із хрому, молібдену, вольфрам, композити з титаном виробляють спіканням або статичним пресуванням (ГП) із металевих порошків. Всі спечені напівфабрикати піддають обробленню тиском (куванню, штампуванню, прокатуванню або екструзії) для надання виробам заданої мікроструктури, переважно з дрібним і середнім зерном, і відносної щільності не нижче 99 %. На всіх стадіях технологічного процесу контролюється хімічний склад, мікроструктура, густина вихідних матеріалів, полуфабрикатів і кінцевих продуктів, що забезпечує повторюваність фізико-хімічних характеристик серійних виробів.

Хімічний склад, однорідність, густина та структура – основні параметри, що характеризують властивості мішеней, які розпилюють, та джерел, які випаровують. Хімічний склад, домішки впровадження (C,O,N) і хімічна однорідність матеріалу, який випаровують або розпилюють, впливає на однорідність потоку атомів і іонів, що рухаються до підкладки, на властивості покриттів, що осаджуються, та їх повторюваність. Мішені та катоди для технологій тонких плівок виготовляють із матеріалів чистотою не нижче 99,95 % за основним елементом.

Хром ЭРХ99,95 – 99,99. Випускається у вигляді луски (пластинок) і різних за дизайном пластин, дисків, кілець, катодів, прутків, які оброблені механічно. Вміст металевих домішок: не більше 500 ppm в марці ЭРХ99,95–МП і не більше 100 ppm в марці

ЭРХ99,99–МП. Вміст газоутворювальних домішок O,N,C і S близько 200 ppm у сумі. Щільність (густина) не менш 99 % від теоретичної (7,19 г/см³). Мікроструктура однорідна не текстурована із середнім розміром зерна до 150 мкм.

Зовнішній вигляд виробів представлено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Вироби із ЭРХ99,95- 99,99 %.

Молибден М99,95-МП. Випускають за вимогами замовників у вигляді різних за дизайном пластин, дисків, прутків, які проходять механічне оброблення. Типовий хімічний склад наведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Хімічний склад М99,95–МП

Mo	Домішки, мкг/г (ppm)									
99,98%	Fe	Na	Ni	K	Cu	Al	Si	C	O	N
	60	5	10	10	10	10	10	30	50	10

Щільність (густина) мішеней не менш 99,5% від теоретичної (10,2 г/см³). Мікроструктура однорідна з середнім розміром зерна 30...80 мкм. Зовнішній вигляд мішеней наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Мішень, що розпилюють, із молибдену М99,95–МП.

Вольфрам В99,95-МП. Випускається за кресленнями замовників у вигляді різних за дизайном дисків, пластин, прутків, які проходять механічне оброблення. У хімічному складі вміст основного компоненту 99,98% (без урахування газотворювальних домішок), газотворювальних домішок O, N, C і S близько 110 ppm у сумі. Щільність мішеней не менш 99,5% від теоретичної (19,3 г/см³). Мікроструктура – однорідна, текстурована.

Al-Ti, Al-Ti-Si, Al-Cr композити. Матеріали мають видатні технічні характеристики і дозволяють створювати на інструменті нітридні одношарові та багатофазні нанокompозитні структури, які мають високі показники теплостійкості та зносостійкості. Також вони можуть створювати комбінації з іншими матеріалами, наприклад, хромом. Вироби виготовляють за кресленнями замовника з різним дизайном та механічно обробляють. Відносна густина виробів більше 99 % від теоретичної. Мікроструктура характеризується як однорідна не текстурована з рівномірним розподілом компонентів.

Хімічні склади деяких композицій наведені у таблиці 3.5 та таблиці 3.1.

Таблиця 3.5 – Марка та хімічний склад стандартних композицій Al-Ti- Si

Марка	Склад, ат %	Хімічний склад, мас. % макс.						
		C	N	O	S	Ng	Fe	Ni
T43Ю49K8-МП	Al/Ti/Si 61/30/9	0,1	0,1	0,5	0,01	0,005	0,15	0,1

ТЕМА 4. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ, ЖАРОСТІЙКИХ, КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Гнучкі шнури. Окрему групу матеріалів для газополуменевого напилення покриттів складають гнучкі шнури «Сфекорд». Вони розроблені та створені французькою фірмою «Сфек» (70-і роки ХХ століття).

При виробництві шнурів порошок змішують з мінімальною необхідною кількістю органічної зв'язувальної речовини, формують шнур, а потім покривають його тонкою оболонкою із органічної плівки. Ця плівка забезпечує достатню гнучкість і механічну міцність шнура. Вона миттєво згорає у полум'ї та не залишає на поверхні виробу осаджень із продуктів розкладання. Завдяки пластичній оболонці відсутній контакт деталей механізму подачі з абразивним матеріалом, а відповідно, їх зношування.

Застосування для напилення гнучких шнурів діаметрами 1,5...6,35 мм, довжиною близько 15 м, які намотані на бобіни, забезпечує при газополуменовому напиленні покриттів наступні переваги:

- високу чистоту покриттів;
- виключення недоліків стрижневого методу (дефекти на початку та у кінці стрижня);
- задану точність діаметра шнура;
- високий коефіцієнт використання матеріалу;
- повну автоматизацію процесу напилення з припиненням і відновленням подачі шнура;
- відсутність зношування деталей обладнання для напилення;
- широкі перспективи в галузі напилення нових неорганічних матеріалів.

Для холодного напилення покриттів без наступної термічної обробки застосовують шнури серій «Сфекорд – кераміка» та «Сфекорд – екзо» (із порошкових сплавів на основі нікелю, заліза, міді, інтерметалідів і терморегулювальних матеріалів), для напилення з наступним оплавленням – «Рокдюр» (із самофлюсувальних сплавів на основі нікелю, кобальту та їх сумішей з карбідом вольфраму).

Характеристики матеріалів

1. Оксид алюмінію білий з твердістю покриття 1195 HV, температура плавлення матеріалу 2320 К. Оброблюють шліфуванням кругами із карбіду кремнію або алмазу. Покриття є чудовим діелектриком, стійке до корозії.

2. Оксид алюмінію блакитний з твердістю покриття декілька нижчою, ніж у білого корунду, температура плавлення 2320 К. Покриття стійке до корозії та абразивного впливу, а також до зношування в умовах тертя при високих температурах.

3. Шнур із оксиду хрому забезпечує в покритті дві фази з твердістю 1000:1770 HV. Температура плавлення 2708 К. Покриття оброблюють шліфуванням алмазними кругами. Воно має високу стійкість до абразивного впливу, а також високий коефіцієнт тертя.

4. Гнучкий шнур із оксиду титану забезпечує твердість покриття 803 HV, температура плавлення 2180 К. Покриття оброблюють шліфуванням кругами із карбіду кремнію. Воно має високий коефіцієнт тертя і високий рівень електропровідності.

5. Гнучкий шнур із чорного корунду (оксид алюмінію + 40% оксиду титану) застосовують для напилення покриттів з високою стійкістю до зношування і більшості кислот, а також низькою пористістю. Покриття має твердість 1010HV і температуру плавлення 2110 К. Добре оброблюється кругами із карбіду кремнію.

6. Покриття із гнучкого шнура «мулит», що складається із оксидів алюмінію та кремнію, мають твердість 770 HV і температуру плавлення 2093 К. Ці покриття оброблюють кругами із карбіду кремнію. Покриття характеризуються високими діелектричними властивостями, стійкі до рідких металів і високих температур.

7. Гнучкий шнур, що складається із механічної суміші оксидів і шпінелей складного хімічного складу, застосовують для газополуменевого напилення електроізоляційних покриттів, які забезпечують високу стійкість до абразивного впливу. Твердість покриттів 1000 HV, температура плавлення матеріалу 2373 К. Покриття оброблюють шліфуванням кругами із карбіду кремнію.

8. Для газополуменевого напилення покриттів, які виконують функції теплового бар'єру, виробляють гнучкі шнури із цирконату кальцію та оксиду цирконію. Твердість їх становить відповідно

750:900HV, а температура плавлення – 2600:2923К. Покрыття оброблюють шліфуванням кругами із карбіду кремнію.

9. «Ніалід – екзо бонд». Композиційний гнучкий шнуровий матеріал на основі нікель-алюмінію, компоненти якого екзотермічно реагують в процесі напилення. Матеріал забезпечує отримання щільних покриттів з високою міцністю зчеплення з основами із кольорових і чорних металів, за виключенням чистої міді.

Основне застосування матеріалу – напилення проміжного шару (підшару) для наступного нанесення інших зносостійких матеріалів. Може бути використано для захисту виробів від окислення та отримання на деталях пар тертя відновлювальних м'яких покриттів, які легко оброблюються лезовим різальним інструментом. Товщина покриття, що рекомендується, для підшару 0,05...0,15 мм, дистанція напилення – 150...200 мм.

10. «Сфекорд – екзо № 20». Матеріал виготовлено на основі нікель-хромового сплаву, наноситься на вироби через підшар із матеріалу «Ніалід – екзо бонд». Напилене покриття характеризується високою стійкістю до тертя металу о метал, до окиснення та дії високої температури. Легко оброблюється стандартним різальним інструментом. Наноситься на всі чорні метали, мідні та алюмінієві сплави при низькій температурі (розігрівання основного металу не перевищує 523 К). Це забезпечує відсутність деформацій та структурних змін в основному металі.

Матеріал застосовують при відновленні поршнів гідравлічних циліндрів і домкратів, поверхонь сальників і підшипників. Дистанція напилення – 120...150 мм, товщина покриття, що рекомендується – до 2,5 мм.

11. «Сфекорд – екзо № 30». Шнуровий матеріал на основі нікелевого самофлюсувального сплаву і нікель-алюмінієвого композиту. Призначений виключно для напилення покриттів «холодним» способом. Забезпечує отримання твердого, щільного і самооплавлювального покриття, яке характеризується високими антифрикційними властивостями, стійке до окиснення та корозії. Абразивна стійкість низька. Багатократна ударна дія на покриття не допускається. Наноситься через підшар із матеріалу «Ніалід – екзо бонд» на всі чорні метали, мідні та алюмінієві сплави. Можливо застосування без проміжних шарів при товщині покриттів до 0,07 мм і в якості підшару шнурового матеріалу «Ніалід».

Шнуровий матеріал застосовують для відновлення шпинделів верстатів, поршнів гідравлічних домкратів, поверхонь підшипників, сальників і кулачкових валів, кришок пресів для екструзії та ін. Твердість покриття до 33 HRC. Дистанція напилення становить 120...150 мм. Оброблення шару проводять різальним інструментом, однак підвищену якість робочої поверхні досягають тільки після шліфування.

12. «Сфекорд – екзо № 40». Композиційний шнуровий матеріал на основі нікелевого самофлюсувального сплаву, нікель-алюмінієвого композиту і спеціального твердого сплаву. Призначений для напилення покриттів «холодним» способом (температура основного металу не перевищує 523 К). Матеріал забезпечує отримання твердого, щільного і самооплавлювального покриття. В процесі напилення формується неоднорідна структура, яка забезпечує виробам після зміцнення підвищені антифрикційні властивості та зносостійкість при терті металу о метал. Абразивна стійкість задовільна, але ударний вплив на покриття не допускається. Оброблення покриття шліфувальним кругом забезпечує високу якість робочої поверхні. При цьому отриманий шар характеризується ефектом самозмащування за рахунок мікропористості, що контролюється.

Шнуровий матеріал наноситься тільки через підшар із матеріалу «Ніалід – екзо бонд» на всі чорні метали, мідні та алюмінієві сплави. Застосовувати його без підшару заборонено. Основне призначення матеріалу – напилення різних валів автомобілів, шпинделів верстатів, посадкових місць під підшипники, захисних втулок і муфт валів та ін. Твердість покриття 28...42 HRC. Дистанція напилення 120...150 мм, оптимальна товщина покриття 0,5...1,0 мм, а максимальна – до 1,5 мм.

13. «Сфекорд – екзо № 50». Композиційний шнуровий матеріал на основі спеціального твердого сплаву і нікель-алюмінієвого композиту. Забезпечує отримання захисних покриттів високої твердості та абразивної зносостійкості у сполученні з відмінними антифрикційними властивостями. Механічна обробка покриття допускається тільки шліфуванням.

Рекомендується застосовувати для зміцнення валів холодильного обладнання та автомобілів, для захисту від абразивного зношування крупногабаритних деталей машин і агрегатів, відновлення та зміцнення яких відомими способами наплавки та напилення

неможливо. Застосовувати рекомендується тільки з підшаром із шнурового матеріалу «Ніалід – екзо бонд» або «Ніалід». Твердість покриття не менше 40 HRC, дистанція напилення 120...150 мм, оптимальна товщина 0,3...0,75 мм.

14. *«Сфекорд – бронза № 1»*. Шнуровий матеріал на основі алюмінієвої бронзи. Наноситься на всі чорні метали, мідні та алюмінієві сплави через підшар «Ніалід – екзо бонд». Покриття характеризується низьким коефіцієнтом тертя та високими антифрикційними властивостями. Опір ударам задовільний. Матеріал відмінно піддається обробленню стандартним різальним інструментом. Застосовують для напилення компресорних поршнів, цапф, шківів, кожухів поршнів, деталей механізмів переключення швидкостей та ін. Дистанція напилення 120...180 мм. Товщина покриття, що рекомендується, до 3,0 мм.

15. *«Сфекорд – бронза № 2»*. Матеріал на основі олов'яно-цинко-свинцевої бронзи. Призначений для напилення вкладишів підшипників ковзання.

16. *«Рокдюр 47»*. Порошковий самофлюсувальний нікелевий сплав у полімерній оболонці. Покриття із нього мають твердість 35...40 HRC, оброблюють їх різцями з карбідних твердих сплавів. Мають високі зносостійкість та стійкість до корозії при підвищеній температурі (до 927К).

17. *«Рокдюр 67»*. Гнучкий шнур із самофлюсувального нікелевого сплаву, який має дуже високу твердість (55...60 HRC), температуру плавлення 1273 К. Покриття стійке до корозії та абразивного впливу. Оброблюють кругами із карбіду кремнію або алмазів. Застосовують у вузлах тертя при важкому навантаженні та при роботі у абразивно-корозійних середовищах.

18. *«Рокдюр-кобальт 45»*, *«Рокдюр-кобальт»*. Гнучкі шнури із самофлюсувальних сплавів на кобальтовій основі, які призначені для отримання покриттів з наступним оплавленням, котрі стійкі до корозії та абразивного впливу при високих температурах і динамічному впливі. Покриття має невисоку твердість (42...50 HRC) і підвищену температуру плавлення (1473 К). Оброблюють покриття кругами із карбіду кремнію.

19. *«Рокдюр 6750»*. Гнучкий шнур із нікелевого самофлюсувального твердого сплаву з 50 % карбіду вольфраму, має дві тверді фази з твердістю 57 HRC:2200 HV. Температура плавлення

1273 К. Покриття мають дуже високу стійкість до абразивного впливу. Оброблюють їх тільки алмазними кругами.

20. «Кермети». У вигляді шнурів застосовують також інші сплави, наприклад, титан-нікель або їх суміші з керамічними порошками, карбідами та ін. Такі суміші відомі під назвою «кермети». Вони дозволяють поєднати властивості пластичності та механічної міцності металів з твердістю і високою температурою плавлення оксидів. Цей процес дуже важко запровадити методом порошкового напилення за рахунок сегрегації порошоків. За допомогою шнура забезпечують однорідність складових і їх повне плавлення.

Для отримання твердих покриттів з низьким коефіцієнтом тертя, які складаються із твердої матриці та твердого мастильного компоненту, можна виготовляти гнучкі шнури, що містять метали (Ni) чи оксиди (TiO_2 - Al_2O_3 - Cr_2O_3) з графітом або MoS_2 .

За допомогою шнурів можна створити у полум'ї композиції спеціальних сплавів або поєднання таких елементів, як бор, кремній, титан, молібден, що дозволяють отримати тверді покриття, дисперговані фазами боридів, силіцидів та інших речовин.

Загальна інформація про шнурові матеріали для напилення наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Шнурові матеріали для напилення

Матеріал	Хімічний склад порошкового наповнювача, %	Розмір зерен порошкового наповнювача, мкм	Твердість
1	2	3	4
Серія «Сфекорд-кераміка»			
Ніалід	Ni – 95,0 Al – 5,0	40...125	–
Оксид хрому	$Cr_2O_3 > 50,0$ $Al_2O_3 – 32,0$ $SiO_2 – 10,0$ $TiO_2 – 6,0$	16...63	60* HRC
Алюмін	$Al_2O_3 > 99,5$	16...63	55* HRC
Голубий корунд	$Al_2O_3 > 96,5$ $TiO_2 – 3,0$	16...63	55* HRC
Чорний корунд	$Al_2O_3 – 87,0$ $TiO_2 – 13,0$	16...63	55* HRC

1	2	3	4
Ніхробонд-20	Ni – 80,0 Cr – 20,0	40...125	–
Серія «Сфекорд-рокдюр»			
Рокдюр 47	Ni – Cr – B – Si Cr – 9,0	40...125	35...40 HRC
Рокдюр 57	Ni – Cr – B – Si Cr – 12,0	40...125	45...50 HRC
Рокдюр 67	Ni – Cr – B – Si Cr – 16,0	40...100	55...62 HRC
Рокдюр 6740 (композиції матеріал з карбідом вольфраму)	Ni – Cr – B – Si + 40% WC (композит)	40...100	57...63 HRC
Рокдюр 6740 (композиції матеріал з карбідом вольфраму)	Ni – Cr – B – Si + 40% WC – W ₂ C	40...100	55...62 HRC
Рокдюр кобальт - 45	Co – Cr – Mo – B – Si	16...125	42...48 HRC
Рокдюр кобальт	Co – Cr – W – B – Si	16...125	45...50 HRC
Серія «Сфекорд-екзо»			
Сфекорд-екзо № 101	Ni, Mo, Al	40...100	100 HRC
Ніалід-екзо	Ni, Al	40...125	–
Сфекорд-екзо № 10	Cu, Ni, Cr, Al	40...140	Не менш 95 HRB
Сфекорд-екзо № 15	Ni, Cr, B, Si, Al	16...125	Не менш 15 HRC
Сфекорд-екзо № 150	Ni, Cr, B, Si	16...125	Не менш 15 HRC
Сфекорд-екзо № 20 (Рокдюр 48-А)	Ni, Cr, B, Si, Al	40...100	Не менш 20 HRC (63...67 HRA)
Сфекорд-екзо № 250	Ni, Cr, B, Si, Al	16...100	Не менш 25 HRC
Сфекорд-екзо № 30	Ni, Cr, B, Si, Al	40...100	Не менш 30 HRC (65...70 HRA)

1	2	3	4
Сфекорд-екзо № 300	Ni, Cr, B, Si	16...100	Не менш 30 HRC
Сфекорд-екзо № 35	Ni, Cr, Fe, Mo, B, Si, Al	40...100	Не менш 35 HRC (68...72 HRA)
Сфекорд-екзо № 40 (Рокдюор 48-AM)	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al	40...100	28...42 HRC (65...72 HRA)
Сфекорд-екзо № 400	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al	16...100	Не менш 40 HRC
Сфекорд-екзо № 50	WC, Ni, Cr, B, Si, Al	16...100	Не менш 40 HRC
Сфекорд-ніхром	Ni, Cr, Mn	40...125	Не менш 95 HRB
Сфекорд-ніхром 2 (інконель)	Ni, Cr, Fe, Si	40...125	Не менш 90 HRB
Сфекорд-бронза № 1	Cu, Al, Fe	40...140	Не менш 75 HRB
Сфекорд-бронза № 2	Cu, Pb, Zn, Sn	40...125	–
Сфекорд-бропза № 3	Cu, Al, Fe, Ni	40...140	Не менш 80 HRB

Примітка. Матеріали спеціального призначення: на основі оксидів металів $Al_2O_3 - SiO_2$ (мулит), $Al_2O_3 - MgO$ (шпинель), $ZrO_2 - CaO$, $ZrO_2 - MgO$, $ZrO_2 - SiO_2$; на основі бронзи $Cu - Pb - Sn - Zn$, $Cu - Sn$, $Cu - Al + Ni - C$; на основі нікелю $Ni - C$, $Ni - Cu - Nb - C$; на основі алюмінію $Al - Nb$; на основі хромонікелевих сталей типу 302, 304, 316, 410, 420 та ін.; на основі типу $Al_2O_3(ZrO_2) + Ni$ ($Ni - Cr$, $Ni - Al$) будь-якого хімічного складу; на основі металокераміки типу $Cr_2O_3 + Ni$ ($Ni - Cr$, $Ni - Al$) будь-якого хімічного складу. Перераховані матеріали виготовляють з сировини та за технічними вимогами замовника (для стран СНД).

*Оціночна твердість (для вибору покриттів).

ТЕМА 5. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ, ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНИХ, УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ, ОПТИЧНИХ І ДЕКОРАТИВНИХ ПОКРИТТІВ

Усі провідникові матеріали поділяються на три групи за величиною забороненої зони, яка обумовлена питомим електричним опором: провідники, напівпровідники та діелектрики.

Провідниками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір $10^{-8} \dots 10^{-5}$ Ом·м і при нагріванні збільшують лінійні розміри.

Напівпровідниками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір $10^{-5} \dots 10^{-8}$ Ом·м і при нагріванні зменшують лінійні розміри.

Діелектриками називаються матеріали, які мають питомий електричний опір $10^8 \dots 10^{16}$ Ом·м і використовуються як ізолятори.

Провідники. Провідність провідників визначається електронною будовою металів. Кращу провідність мають: Cu, Ag, Au, Al, Na. Найвища провідність у Na, у якого енергія початку руху електронів дорівнює 10^{-9} еВ. Трохи менша електропровідність у Fe, Ni та Cr.

Основним недоліком провідників є вплив температури на електричний опір. Для технічних металів та їх сплавів вплив температури нагрівання на електричний опір визначається за формулою:

$$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha_p T),$$

де ρ_T – питомий опір при температурі за Кельвіном,

ρ_0 – питомий опір при 0°K ,

T – температура за Кельвіном;

α_p – температурний коефіцієнт електричного опору, що визначається як

$$\alpha_p = (\Delta \rho_T / \Delta T) 1/\rho_0.$$

Температурний коефіцієнт електричного опору α_p для всіх металів, за винятком феромагнітних, дорівнює $0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$, а для

ферромагнетиків, наприклад заліза, $\alpha_p = 0,006 \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

До металів високої провідності відносяться: Cu, Al, Fe. Тому при великих перерізах дротів застосовуються біметалічні дроти, у яких сталевий дріт покритий міддю.

До надпровідників відносяться метали, які мають найвищу за Кельвіном температуру переходу. Одним із найкращих елементів є *ніобій* (Nb), який має температуру переходу $9,17 \text{ }^\circ\text{K}$. Тому основними надпровідниковими матеріалами є сплави на основі ніобію (Nb). Найбільш розповсюдженим є сплав 65БТ (ГОСТ 10994-84), який складається з 22,0...26,0 % Ti, 63,0...68,0 % Nb, 8,5...11,5 % Zr і має критичну температуру переходу $9,7 \text{ }^\circ\text{K}$ (або сплав 35БТ).

Напівпровідники. До простих напівпровідникових матеріалів відносяться 12 елементів таблиці Д.І. Менделєєва: бор, вуглець (алмаз), кремній, германій, олово, фосфор, миш'як, сурма; сірка, селен, телур, йод.

Найбільше поширення одержали: метал германій (Ge) і металоїд (Si), які мають ґратки алмазу, а також алмаз у вигляді монокристалів, селен та тверді розчини кремнію і германію у вигляді полікристалів.

Питомий електричний опір напівпровідникових матеріалів залежить від ширини забороненої зони, тобто рухливості носіїв і складає (при $20 \text{ }^\circ\text{C}$) у германію – $0,6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, у кремнію – $2,4 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а в алмазу – $10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Напівпровідникові матеріали бувають прості і складні, *n-типу* та *p-типу*. Тип провідності визначається відхиленням від стехіометричного складу. Так, при надлишку металу буде електронна провідність, де переважають донорні домішки (або *n-типу*), а при надлишку металоїду – дірочна провідність, з перевагою акцепторних домішок (або *p-типу*).

До складних напівпровідникових матеріалів відносяться з'єднання, які утворені елементами III и V груп ($A^{III}B^V$): фосфід і арсенід галію та індію, антимонід індію та ін., а також їх тверді розчини. Кристалічні ґратки таких напівпровідникових матеріалів – типу *сфалериту*. Перспективними є напівпровідникові з'єднання з широкою зоною: нітриди алюмінію і галію (Al, Ga).

Широко поширені напівпровідникові матеріали, які утворюються при взаємодії елементів другої групи – цинку, кадмію і ртуті з *халькогенами* – сіркою, селеном та телуrom ($A^{II}B^{VI}$). Ширина забороненої зони таких з'єднань: від $3,6 \text{ eV}$ для Zn до нуля – для HgTe,

які мають напівметалеві властивості.

Гарні термо- та фотоелектричні властивості мають з'єднання $A^{IV}B^{VI}$, халькогеніди свинцю, телуриди германію та олова, які є надпровідниковими матеріалами при низьких температурах. Застосовується також карбід кремнію (Si) з широкою забороненою зоною і пов'язаною з цим високою межею робочої температури. Карбід кремнію кристалізується в декількох модифікаціях: у кубічній типу *сфалериту* (β SiC) або гексагональній типу *вюрцити* (α SiC), які відрізняються кількістю шарів і упакуванням.

Великий клас складають потрібні напівпровідникові матеріали. Це повновалентні з'єднання зі структурою сфалериту і *халькопіриту*, у яких число електронів на один атом дорівнює 4, наприклад $ZnSi_2$, $CdGaAs_2$, $CuAl_2$, $AgGaSe_2$ та ін. Застосування: з монокристалів германію, кремнію, арсеніду галію, фосфідів індію і галію виготовляють діоди, транзистори, тиристори, тензодатчики, інтегральні схеми та ін. З карбіду кремнію, арсеніду галію та ін. виготовляють світлодіоди для оптичної електроніки.

ФотоЕРС (електрорушійна сила), що з'являється в п-р-переходах при освітлюванні, використовується у сонячних батареях (кремній, арсенід галію, антимонід алюмінію та ін.).

Зміну провідності напівпровідників при освітлюванні використовують у фоторезисторах, фотоприймачах іонізуючого випромінювання. Стимульована струмом генерація світла на п-р-переходах у напівпровідниках використовується в оптичних квантових генераторах, які працюють на арсенідах галію, індію, або на фосфіді галію.

Напівпровідникові матеріали поширені в техніці прямого перетворення теплової енергії в електричну. До таких напівпровідникових матеріалів відносяться телуриди і селеніди вісмуту та сурми.

Діелектричні матеріали – це матеріали, які мають питомий електричний опір $10^8 \dots 10^{16}$ Ом·м. До них відносяться: пластмаси, кераміка, скло, гума, клеї та герметики.

Пластмаси. Пластичними масами (або пластмасами) називаються композиційні матеріали на основі полімерів. До складу пластмас входять: полімери, наповнювачі, слабелізатори, пластифікатори, отверджувачі та барвники. Усі пластмаси за способом вторинної переробки поділяються, на термопластичні (термопласти) і

термореактивні (реактопласти).

Термопластичні полімери і пластмаси. До них відносяться: поліетилен, поліаміди, фторопласти, полістирол, полівінілхлорид та органічне скло (акрилопласт). Їх міцність становить 10...100 МПа. До недоліків цих полімерів можна віднести: невисоку теплостійкість, нестабільність властивостей та схильність до повзучості.

Поліетилен – неполярний кристалічний полімер, який працює при температурах ($-60...+60$) °С та має високі діелектричні властивості. Застосовується як ізолятор провідів, кабелів, які мають напругу до 10 кВ.

Поліаміди полярний кристалічний полімер, який працює, при температурах ($-45...+150$) °С (критична температура становить 180...250 °С), мають велику міцність, твердість та в'язкість, низький коефіцієнт тертя, тобто антифрикційні властивості та зносостійкість. Мають тільки один недолік – поглинання води. Серед них: капрон, нейлон, перлон, тетарон, неон. Застосовуються як антифрикційні матеріали.

Фторопласти – вуглецево-фтористі полімери. Серед них є тверді полімери та каучуки. Найбільш розповсюдженим є фторопласт 4 – неполярний кристалічний полімер з робочою температурою ($-250...+250$) °С (із критичною температурою 327 °С). Це гарний антифрикційний матеріал. Одним з представників фторопластів є тефлон.

Полістирол – неполярний аморфний полімер з робочою температурою ($-60...+60$) °С. Буває технічним або харчовим. Він прозорий та безбарвний. Є гарним високочастотним діелектриком.

Полівінілхлорид – полярний аморфний полімер з робочою температурою (0...+40) °С у чистому виді або з пластифікатором ($-40...+60$) °С. Без пластифікатора він називається вініпластом, а з пластифікатором – пластиком. Він непрозорий, дешевий, хімічно стійкий, міцний та зносостійкий; не горить, добре зварюється, має електричну міцність. Це – штучна шкіра, ізоляційна стрічка і т.п.

Органічне скло – полярний аморфний полімер з робочою температурою ($-180...+80$) °С, безбарвний і прозорий. Добре розчиняється в діхлоретані.

Термореактивні полімери. До термореактивних полімерів відносяться: фенолформальдегідні, епоксидні, поліефірні і кремнійорганічні.

Фенолформальдегідні полімери бувають резольні та наволачні. Резольні твердіють тільки при нагріванні, а наволачні – при нагріванні у наявності отверджувача. Температура твердіння становить 160...200 °С при тиску 130...1300 кгс/см². Випускаються у виді прес-порошків (наприклад: фенопласт 03-010-02). Вони стабільні за розмірами, хімічно стійки. До недоліків відносяться: крихкість, непрозорість, темний колір. Наповнені реактопласти поділяються на прес-порошки і компаунди, волокніти та шаруваті пластики (бавовняна тканина, просочена фенолформальдегідною смолою називається текстолітом; папір просочений фенолформальдегідною смолою – зветься гетинаксом; азбестова тканина, просочена фенолформальдегідною смолою – азботекстоліт).

Епоксидні полімери бувають рідкі та тверді. Найбільш розповсюдженими є рідкі епоксиди марки ЕД-5. Отверджувачами є аміни та луѓи. Епоксидні полімери і суміші (компаунди) застосовуються для герметизації електронної апаратури, заливання ізоляції, покриттів на металах, клеїв.

Поліефірні полімери – рідкі речовини, що твердіють без тиску при 60 °С; прозорі, добре зчіплюються, зі скловолоконном, однак, добре горять і мають низьку теплостійкість.

Кремнійорганічні полімери (силікони) виробляються у виді розчинів; рідких сумішей і твердих гранул з температурою твердіння 200...250 °С. Застосовуються як лаки, клеї, склопластики та ін.

Кераміка. Керамікою називаються матеріали, які одержують спіканням порошоків мінеральних речовин. Спікання робиться при відпалюванні кераміки.

Кераміка ізотропна, має гарні електричні властивості, але дуже крихка. У залежності від призначення кераміку поділяють на установочну, конденсаторну, п'єзоелектричну, вакуумну та феромагнітну.

Установочна кераміка має гарні ізоляційні властивості та міцність. Вона йде на виготовлення ізоляторів, колодкових плат, котушок і інших виробів, задача яких надати каркасну ізоляцію. Для нормальних частот струму установочна кераміка застосовується у вигляді електрофарфору (30 % Al₂O₃), корундо-мулітової кераміки КМ-1 (63 % Al₂O₃), ультрафарфору (80 % Al₂O₃), алюмінію оксиду (99 % Al₂O₃). Для високих частот струму ізолятори виготовляються зі стеатиту (на основі тальку).

Конденсаторна кераміка, призначена для виготовлення конденсаторів високої і низької напруги. Основні матеріали: ультрафарфор, стеатит, стаїнатна кераміка (на основі Al_2O_3). Але кращою є кераміка на основі Ti_2O . Це – тїконїди (Т-60, Т-80, Т-150) та термоконди (Т-20, Т-40) з добавками соди і ZnO_2 . Цифри показують, діелектричну проникність. Прогресивною конденсаторною керамікою є сегнетокераміка та вариконди.

П'єзоелектрична кераміка (або п'єзоелектрики) – це матеріали, в яких під дією механїчної енергїї виникає поляризація – так званий прямиї п'єзо ефект. П'єзоелектрична кераміка, являє собою поляризовані матеріали (сегнетоелектрики).

У залежності від хїмічного складу промислові п'єзокерамічні матеріали подїляють на типи А, Б, В. До першого типу (тип А) відносяться матеріали на основі титанату барїю ($BaTiO_3$) – марки ТБ-1. Відомий ряд твердих розчинів титанату барїю-кальцію (Ba, Ca) TiO_3 . Одним з оптимальних матеріалів цього типу є матеріал марки ТБК-3, що містить титанат барїю, титанат кальцію і карбонат кобальту. Добавки карбонату кобальту зменшують діелектричні втрати в електричних полях великої напруженості, однак знижують температуру фазового переходу (T_k) і, як наслідок, мають низькі робочі температури, що обмежує галузь їх застосування. До другого типу п'єзокерамічних матеріалів (типу Б) відносяться тверді розчини титанату-цирконату свинцю (марок ЦТС). Вони одержали широке поширення через високі робочі температури – 180...250 °С. Збільшення концентрації титанату свинцю підвищує робочу температуру до 410 °С (у ЦТС-21), але погіршує п'єзоелектричні властивості. До третього типу (тип В) відносяться тверді розчини ніобата свинцю-барїю (НБС-1).

За призначенням п'єзоелектрична кераміка подїляється на чотири класи:

1 клас – матеріали для виготовлення високочутливих випромїнювачів та приймачів різних температурних категорїї;

2 клас – матеріали для виготовлення п'єзоелементів, які експлуатуються у режимі прийому та випромїнювання сильних електричних і магнітних полів;

3 клас – матеріали для виготовлення п'єзоелементів з підвищеною стабільністю частотних характеристик у заданому інтервалі температур;

4 клас – матеріали з високими робочими температурами (понад 250 °C).

Найбільш поширено п'єзокераміку використовують для пристроїв генерації та прийому ультразвуку, датчиків тиску, прискорення та вібрації.

Вакуумна кераміка має велику щільність, малі діелектричні втрати, гарні термомеханічні властивості. У вакуумній техніці використовують вироби з корунду, стеатиту та форстериту.

Феромагнітна (феритова) кераміка являє собою з'єднання подвійних окислів заліза з двовалентними металами типу $Me_2O \cdot Fe_2O_3$ або $MeO \cdot Fe_2O_3$. Феромагнітна кераміка має високу магнітну проникність, гарні діелектричні властивості. Виготовляються різноманітні сполуки феритової кераміки у залежності від її призначення, які містять NiO, CaO, MnO, MgO, CaO і інші двовалентні метали. Магнітні властивості виявляються в керамічних виробках лише до визначеної температури (точки Кюрі).

Феритова кераміка застосовується для виготовлення різноманітних виробів: контурних котушок, магнітних екранів, ізоляторів, які застосовуються усередині вакуумних приладів, п'єзоелектричних перетворювачів та конденсаторів низької частоти. Ферити магній-марганцевого складу (з робочою частотою 500...20000 МГц) використовують для запам'ятовувальних пристроїв електронно-розрахункових машин. Магнітотверді ферити (барієвий ферит – $Ba \cdot 6Fe_2O_3$) застосовують для виготовлення постійних магнітів.

Скло. *Скло* – макроскопічно однорідна аморфна речовина, яку одержують при твердінні сплаву оксидів. Склоутворювальними оксидами є SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 . Електричне скло характеризується низькими діелектричними втратами через добавки CaO, PbO, BaO.

У залежності від основних склоутворювальних компонентів розрізняють такі види скла: *оксидні* – силікатні (SiO_2), алюмосилікатні (Al_2O_3 , SiO_2), боросилікатні (B_2O_5 , SiO_2), фосфорованатні (P_2O_5 , V_2O_5), силікотитанатні (SiO_2 , TiO_2), силікоцирконатні (SiO_2 , ZrO_2); *халькогенідні* – халькогеніди миш'яку, сурми, талію та ін. (As_2S_2 , As_2Se_3 , As_2Te_3 , Sb_2Se_3 , Tl_2Se); *галогенідні* – фторберилатні (BeF_2). Халькогенідне скло та скло, яке містить V_2O_5 може бути як діелектриком, так і напівпровідником з електронною або змішаною провідністю.

Ситали – це склокристалічні матеріали, отримані за допомогою контрольованої кристалізації. Найважливішими кристалами – сирцями для одержання ситалів є: β – сподумен ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$), рутил (αTiO_2), β – евкриптіт ($\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), кордиеріт ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$). Застосовуються в основному у виді емалей для металів. Серед різноманіття ситалів виділяються фотоситали, які застосовуються для плат друкованих схем, сітчастих екранів і запам'ятовувальних електронних трубок. Особлива властивість ситалів (пропускати ультрафіолетові промені) дозволила застосовувати їх для вікон астрофізичних приладів замість кварцового оптичного скла.

Плівкове та лускате скло. Це високоякісні конструкційні матеріали, які мають високу механічну, міцність (до 1000 МПа), велику пластичність, гарні електричні і термічні властивості. Плівкове скло одержують розтягуванням звичайного, листового скла до товщини від 5 до 100 мкм. Лускате скло одержують розламуванням – здрібнюванням найтоншого плівкового скла на невеликі, лусочки товщиною 1...5 мкм і менш із подальшим спіканням. Плівкове скло використовують як електроізоляційний папір для високочастотних конденсаторів.

Гумові матеріали. Гумовими матеріалами називають продукти переробки натурального каучуку (НК, високомолекулярної хімічної сполуки вуглецю і водню лінійної структури) або штучного синтетичного каучуку (СК, отриманого зі спирту і нафти) з вулканізатором.

У результаті перероблення цих матеріалів між молекулами утворює поперечні зв'язки, що забезпечують еластичність, міцність і інші властивості. Суміш каучуку з вулканізатором утворюють сиру гуму, а після закінчення вулканізації – гуму. Вулканізаторами є сірка і металевий натрій. У м'яких сортах гуми утримується до 3 % сірки від ваги каучуку, а у твердих (ебоніт) – 25...35 % сірки. Прискорювачами вулканізації є органічні речовини: каптакс, окис свинцю або свинцевий глет. Наповнювачі – крейда, тальк, барій – які знижують вартість гуми. Використовуються в електротехніці як матеріали з гарними діелектричними властивостями.

Клеї та герметики. Найбільш широке застосування одержали клеї типу БФ і епоксидні. Клеї типу БФ представляють собою спиртові розчини фенолформальдегіднополівинилбутиральних смол, є універсальними і застосовуються для склеювання різних матеріалів

(металів, пластмас, кераміки, скла, деревини та ін.).

Епоксидні смоли також забезпечують високу міцність з'єднань різних матеріалів при склеюванні – до 65МПа (650 кг/см²) при зрушенні.

ТЕМА 6. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ

Електрохімічний захист – ефективний спосіб захисту готових виробів від електрохімічної корозії. В деяких випадках неможливо поновити лакофарбові покриття або захисний обертовий матеріал, тоді доцільно застосувати електрохімічний захист. Покриття підземного трубопроводу або днища морського судна дуже трудомістке та коштовне, а іноді просто неможливе. Електрохімічний захист надійно захищає вироби та попереджує руйнування.

Застосовують електрохімічний захист у випадках, коли потенціал вільної корозії знаходиться в області інтенсивного розчинення основного металу або перепасивації, тобто коли йде інтенсивне руйнування металокопструкції.

Сутність електрохімічного захисту полягає в тому, що до металевого виробу зовні підключають постійний струм. Електричний струм на поверхні виробу, який підлягає захисту, створює катодну поляризацію електродів мікрогальванічних пар. Результатом цього є те, що анодні ділянки на поверхні металу стають катодними, тому внаслідок впливу корозійного середовища йде руйнування не металокопструкції, а аноду.

Залежно від того, у який бік (позитивний або негативний) зміщується потенціал металу, електрохімічний захист поділяють на анодний та катодний.

Катодний захист від корозії.

Катодний електрохімічний захист від корозії застосовують тоді, коли метал, що захищають, не має нахилу до пасивації. Це один із основних видів захисту металів від корозії. При катодному захисту до виробу прикладають зовнішній струм від негативного полюсу, який поляризує катодні ділянки та наближує значення потенціалу до анодного. Позитивний полюс джерела струму приєднується до аноду. Такі дії призводять до того, що корозія копструкції майже дорівнює нулю. Анод поступово руйнується і його потрібно періодично змінювати.

Розрізняють декілька варіантів катодного захисту:

- поляризація від зовнішнього джерела електричного струму;

- зменшення швидкості протікання катодного процесу (наприклад, деаерація електроліту);
- контакт з металом, у якого потенціал вільної корозії у даному середовищі більш електронегативний (протекторний захист).

Поляризація від зовнішнього джерела електричного струму застосовується дуже часто для захисту споруд, що знаходяться у ґрунті, воді та ін. Крім того, даний вид корозійного захисту застосовують для цинку, міді та її сплавів, свинцю, а також високохромистих, вуглецевих та легованих сталей. Зовнішнім джерелом струму слугують станції катодного захисту, котрі складаються з випрямляча (перетворювача), струмовідводу до споруди, яку захищають, анодних заземлювачів, електроду порівняння та анодного кабелю. Катодний захист застосовують як самостійний, так і додатковий вид корозійного захисту.

Головним критерієм, за яким судять про ефективність катодного захисту, є *потенціал захисту* – це потенціал, при якому швидкість корозії металу у визначених умовах навколишнього середовища приймає саме низьке (на скільки це можливо) значення.

При використанні катодного захисту є *недоліки*. Одним з них є небезпека перезахисту. Перезахист спостерігається при високому переміщенні потенціалу об'єкту, що захищається, у негативний бік. В цьому разі спостерігається руйнування захисних покриттів, водневе окрихчування металу, корозійне розтріскування.

Протекторний захист.

Різновидом катодного захисту є протекторний. При його застосуванні до об'єкту, що захищається, під'єднують метал з більш електронегативним потенціалом. При цьому йде руйнування не конструкції, а протектору. З часом протектор за рахунок корозії руйнується і його необхідно міняти на новий. Протекторний захист ефективний у випадках, коли між протектором і навколишнім середовищем невеликий перехідний опір.

Кожен протектор має свій радіус захисної дії, який визначається максимально можливою відстанню, на який його можна видалити без витрати захисного ефекту. Застосовують протекторний захист частіше за все тоді, коли неможливо або важко і дорого підвести до конструкції струм. Протектори застосовують для захисту споруд у нейтральних середовищах (морська або річкова вода, повітря, ґрунт та

ін.) Для виготовлення протекторів застосовують такі матеріали: магній, цинк, залізо, алюміній. Чисті метали не виконують у повній мірі своїх захисних функцій, тому при виготовленні протекторів їх додатково легують. Залізні протектори виготовляють із вуглецевих сталей або чистого заліза.

Протектор цинковий. Цинкові протектори містять близько 0,001...0,05 % свинцю, міді та заліза, 0,1...0,5 % алюмінію та 0,025...0,15 % кадмію. Цинкові протектори застосовують для захисту виробів від морської корозії. Якщо цинковий протектор експлуатувати у малосолоній, прісній воді або ґрунтах – він достатньо швидко покривається товстим шаром оксидів і гідроксидів.

Протектор магнієвий. Сплави для виготовлення магнієвих протекторів легують 2...5 % цинку і 5...7 % алюмінію. Кількість у сплавах міді, свинцю, заліза, кремнію, нікелю не повинна перевищувати десятих і сотих часток відсотку.

Протектор магнієвий застосовують у малосолоних і прісних водах, ґрунтах. Протектор використовують у середовищах, де цинкові і алюмінієві протектори малоефективні. Важливим аспектом є те, що протектори із магнію повинні експлуатуватися у середовищі з рН 9,5 – 10,5. Це пояснюється високою швидкістю розчинення магнію і утворенням на його поверхні важкорозчинних з'єднань. Магнієвий протектор небезпечний, тому, що є причиною водневого окрихчування та корозійного розтріскування конструкцій.

Алюмінієві протектори. Алюмінієві протектори містять присадки, які попереджають утворення оксидів алюмінію. В такі протектори вводять до 8 % цинку, до 5 % магнію і десяті або соті частки відсотку таких елементів: кремнію, кадмію, індію, талію. Алюмінієві протектори експлуатують у прибережному шельфі та проточній морській воді.

Анодний захист від корозії

Анодний електрохімічний захист застосовують для конструкцій, які виготовлені з титану, низьколегованих неіржавних, вуглецевих сталей, різномірних металів, що мають нахил до пасивації. Анодний захист застосовують у корозійних середовищах, які добре проводять електричний струм.

При анодному захисті потенціал металу, який захищають, переміщується у більш позитивну сторону до досягнення пасивного

стійкого стану системи. Перевагами анодного електрохімічного захисту є дуже значне уповільнення швидкості корозії, а також відсутність потрапляння до навколишнього середовища продуктів корозії.

Анодний захист реалізується наступними способами:

- збільшивши потенціал у позитивну сторону за допомогою зовнішнього джерела електричного струму;
- введенням у корозійне середовище окислювальних речовин (або елементів до сплаву), які підвищують ефективність катодного процесу на поверхні металу.

Анодний захист із застосуванням речовин-окислювачів за механізмом захисту близький до анодної поляризації. Якщо використовувати пасивувальні інгібітори з окислювальними властивостями, то поверхня, яку захищають, переходить до пасивного стану під дією струму, що виникає. До них належать біхромати, нітрати та ін., однак, вони достатньо сильно забруднюють навколишнє технологічне середовище.

При додаванні до сплаву легувальних елементів (в основному благородних металів) реакція відновлення деполіаризаторів, що протікає на катоді, проходить з меншою перенапругою, ніж на металі, який захищають. Якщо через конструкцію, що захищають, пропустити електричний струм, відбувається зсув потенціалу в позитивну сторону.

Установка для анодного електрохімічного захисту від корозії складається з зовнішнього джерела електричного струму, електроду порівняння, катоду та самого об'єкту, який захищають. Для визначення можливості застосування анодного електрохімічного захисту конкретного об'єкту, знімають анодні поляризаційні криві, за допомогою яких визначають потенціал корозії конструкції у визначеному корозійному середовищі, область стійкої пасивності та щільність струму в цій області.

Для виготовлення катодів використовують високолеговані неіржавні сталі, титан, нікель, свинець, платину. Щоб анодний електрохімічний захист у визначеному середовищі був ефективним, необхідно застосовувати легкопасивувальні метали і сплави; електрод порівняння та катод повинні весь час знаходитись у розчині; з'єднувальні елементи повинні бути якісно виконаними. Для кожного

випадку анодного захисту схема знаходження катодів проектується індивідуально.

Щоб анодний захист був ефективним, необхідне виконання наступних вимог:

- всі зварні шви повинні бути якісними;
- в технологічному середовищі матеріал, із якого виготовлений об'єкт, що захищають, повинен переходити у пасивний стан;
- кількість повітряних карманів і щілин повинна бути мінімальною;
- на конструкції не повинно бути клепаних з'єднань;
- в конструкції, яка захищається, електрод порівняння та катод повинні завжди знаходитися у розчині.

ТЕМА 7. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ НЕОРГАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ (ЕМАЛІ, СКЛО, ЦЕМЕНТ)

До неорганічних неметалевих матеріалів, що застосовують для захисту від корозії металевих поверхонь, відносяться емалі, скло та цемент.

Емаллю називають скловидну масу, що затверділа, яка отримана в результаті повного або часткового розплавлення і котра, в основному, складається із кварцу та інших оксидів. На виріб емаль наносять одним або декількома шарами.

Розрізняють два основних способи нанесення емалі:

1. Одношарове пряме емалювання, при якому шар емалі (0,2...0,3 мм) наноситься на виріб, який перед цим покривається ґрунтовкою, а потім два рази обпалюється.

2. Спеціальне емалювання – застосовують в хімічному та харчовому машинобудуванні, де наносять багатшарові покриття.

Перед нанесенням емалі поверхня сталеві деталі повинна бути знежирена та протравлена. При цьому видаляється деяка кількість металу і поверхня листа стає шорсткою, що забезпечує адгезію покриття із емалі.

З метою зниження пористості при обпалюванні, за рахунок утворення CO_2 , для емалювання застосовують низьковуглецеві сталі. Склоемалеве покриття має не тільки високу хімічну стійкість, зносостійкість, але і забезпечує незначне налипання залишків продукту, завдяки чому апаратура легко очищується за допомогою миття. Покриття має високу адгезію до металу. Загальна товщина покриття із емалі 0,8...1,0 мм.

При експлуатації емальованої апаратури не допускається перевищувати тиск або різко підвищувати його навіть у межах робочого тиску; різко нагрівати та заповнювати переохолодженим продуктом або водою; виконувати місцеві термічні та механічні впливи; залишати апарати відкритими; використовувати лужні розчини в якості речовин для миття та дезінфекції.

Недоліки склоемалевих покриттів: чутливість до ударів, різкої зміни температури, місцевим перегрівам, впливу лугів.

Цементні покриття. Для захисту сталевих і чавунних труб призначених в основному для підземних комунікацій широко використовуються цементні антикорозійні покриття, які наносять як зовні, так і з середини.

Оскільки коефіцієнт теплового розширення сталі є дуже близьким за своїм значенням до портландцементу, а вартість цементу набагато нижче вартості сталі, то його досить широко застосовують для захисту сталевих поверхонь.

Цементне захисне покриття має істотний *недолік* – цементна поверхня є дуже чутливою до механічних ударів, під впливом яких на ній з'являються тріщини і відколи. Крім того, цементно-піщані покриття мають підвищену шорсткість і відчутно зменшують площу поперечного перерізу труб, що призводить до збільшення гідравлічного опору і зниження пропускну здатності трубопроводів.

Захисні властивості цементних покриттів забезпечуються двома властивостями цементу. Перше - це хімічна лужна реакція цементу і друге – це поступове зменшення обсягу води, що знаходиться в контакт з чавуном. При заповненні водою труби з цементно-піщаним покриттям, вода проникає в пори покриття, вивільняючи значну кількість гідрату кальцію. Гідрат кальцію вступає в реакцію з бікарбонатом кальцію, що містяться у воді з випаданням в осад карбонату кальцію, що призводить до закупорювання пір в розчині і запобігає подальше проникнення води. Вода, що проникла через покриття і вступила в контакт із залізом, розчиняє частину заліза, але вільна вапно викликає випадання заліза у вигляді гідроксиду, що також забиває пори в цементі. Аналогічним чином, сульфати випадають у вигляді сульфату кальцію. Завдяки цим реакціям, покриття забезпечує як фізичний, так і хімічний бар'єри для агресивної води.

Особлива властивість покриття на основі цементу полягає в наявності пасивного і активного ефектів. Пасивний досягається за рахунок механічної ізоляції поверхні труб міцним захисним шаром, а активний ефект обумовлений утворенням на поверхні розділу цементного покриття та матеріалу труб насиченого розчину гідроксиду кальцію з $\text{pH} = 12,6$. При цих умовах низьколегована сталь не піддається корозії.

Нанесення внутрішніх цементно-піщаних покриттів знаходить розповсюдження для сталевих (іноді чавунних) трубопроводних

систем водозабезпечення зовнішнім діаметром 76...2020 мм. Роботи з нанесення цементно-піщаних покриттів виконують методом центрифугування або відцентрового набризкування. Вони включають проведення підготовчих технічних заходів, а також підготовку та приготування компонентів суміші. Створені на внутрішній поверхні трубопроводу цементно-піщані покриття є надійним засобом ліквідації різного роду дефектів, а також антикорозійним матеріалом. У той же час, такі покриття не можуть бути застосовані для відновлення сильно зруйнованих трубопроводів.

Контроль за процесом нанесення полягає у вимірюванні товщини захисного шару та перевірці якості шліфування. Після нанесення захисного покриття на внутрішню поверхню металевого трубопроводу, останній може розглядатися у якості багат шарової труби, внутрішня поверхня якої виконана із гладкого тонкостінного бетону з належними йому показниками міцності та гідравлічними характеристиками потоку. Впродовж визначеного часу, після інтенсивної експлуатації трубопроводу, може відбуватися механічне, хімічне або змішане руйнування захисного шару.

Захисні властивості цементного покриття по відношенню до металу відомі вже більш 150 років. У 1836 році на підставі досліджень французької Академії наук було рекомендовано застосування цементу у якості дешевого та простого засобу для захисту сталі від корозії. У США з 1931 року облицювання чавунних і сталевих труб цементним розчином почало бути загально визначеною практикою. У нашій країні ця практика своїм початком відноситься до 40-х років ХХ сторіччя. Одними з перших захисних матеріалів трубопроводів були лакофарбові покриття і бітумна ізоляція, які дозволяли подовжити термін експлуатації трубопроводів на декілька років. Однак практика експлуатації засвідчила, що після 10...12 років роботи трубопроводів такі покриття руйнувались, перетворювалися у крихку пористу масу, а через 20 років пористість вже становила до 60 %, що надалі не забезпечувало збереження стінок труби.

В 50...60-х роках ХХ сторіччя зроблено спроби застосування у якості ремонтних покриттів пластмасової крихти, яку напиляли на внутрішню поверхню підземних трубопроводів, однак цей метод завдяки складності технології не знайшов широкого розповсюдження, не дивлячись на чималий спектр захисних матеріалів.

У той же період для захисту підземних трубопроводів почали застосовувати азбестоцементні покриття, що наносять механізованим способом, котрі забезпечують високу щільність та гарне зчеплення з металом на внутрішній поверхні труб. Для зменшення шорсткості покриття одночасно з нанесенням розчину проводили загладжування його обертовими лопатями. Даний метод і технологія нанесення розчину послугували розробці більш ефективного, удосконаленого та екологічного цементно-піщаного покриття.

ТЕМА 8. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Застосування органічних покриттів є важливим засобом боротьби з корозією, іноді більш дешевим і ефективним, ніж розглянуті раніше методи.

Полімерні покриття не тільки захищають метали від впливу агресивних середовищ, але і підвищують їх зносостійкість, знижують налипання різних речовин до робочих поверхонь, дозволяють економити кольорові метали та інші дефіцитні речовини.

В різних галузях промисловості для захисту внутрішніх поверхонь апаратів, трубопроводів і арматури застосовують вінілхлоридні, фторопластові, пентапластові, поліолефінові, поліуретанові, феноло-формальдегідні, кремнійорганічні, каучукові, епоксидні та інші покриття.

Поліолефінові покриття. До найбільш розповсюджених поліолефінів відносяться поліетилен, поліпропілен та їх сополімери.

Покриття із поліолефінів відрізняються високою хімічною стійкістю до дії багатьох агресивних середовищ. Поліетилен застосовують у якості пакувального матеріалу для зберігання продуктів і отримання антикорозійних покриттів. Властивості поліетилену та поліпропілену практично не змінюються під впливом концентрованих соляної та сірчаної кислот при 20 °С, а також розчинів лугів. Однак при кімнатній температурі органічні розчинники визивають деяке набрякання, а при температурах вище 100...120 °С розчиняють поліолефіни.

Поліолефіни мають низьку проникність по відношенню до рідких і газоподібних агресивних середовищ. Поліолефіни використовують для нанесення покриттів усіма відомими методами, а також напиленням порошкоподібних полімерів, плакуванням плівками та листами, футеровкою литтям під тиском, формуванням покриттів із дисперсій у водоорганічних середовищах.

Поліаміди. До поліамідів належать капрон і капролон. Покриття із поліамідів мають високі антифрикційні характеристики. За зносостійкістю при сухому та рідинному терті поліаміди перевищують не тільки інші класи полімерів, а також багато металів, які

використовують з антифрикційною метою. Низький коефіцієнт тертя при високих навантаженнях дозволяє використовувати поліаміди у важконавантажених вузлах тертя. При цьому значення коефіцієнтів тертя покриттів із поліамідів менші, ніж у вузлах тертя з мастилом по сталі. *Недоліками* поліамідних покриттів є нахил до старіння та значне вологовбирання. З підвищенням температури гігроскопічність зростає. Поліаміди мають низьку стійкість до окислення, що є припоною для тривалої експлуатації поліамідних покриттів на повітрі при температурах вище 60...100 °С. З метою підвищення термостабільності поліамідів використовують різні стабілізуювальні добавки органічного або мінерального походження. Для покращення адгезійних і когезійних властивостей, підвищення експлуатаційних характеристик у покриття з поліамідів вводять різні наповнювачі. Введення незначної кількості оксидів титану, міді, заліза, свинцю і алюмінію забезпечує зростання міцності та твердості, несучої здатності та зносостійкості покриттів при незначній зміні коефіцієнта тертя. Підвищення теплостійкості та несучої здатності підшипників з поліамідними покриттями досягається введенням порошків металів (алюмінію, свинцю, міді, бронзи та ін.). Зниженню коефіцієнта тертя також сприяє додавання «фторопласта – 4», дісульфіду молібдену, графіту. Поліамідні покриття наносять на поверхню виробів напиленням порошків, литтям під тиском, а також із розчинів.

Модифіковані покриття на основі поліамідних шарів використовують для виготовлення таких деталей, як шестерні, підшипники та ін. Поліамідні смоли використовують для отримання захисних покриттів, а поліамідні порошки – для нанесення тонкого антифрикційного зносостійкого покриття.

Полівінілхлорид (ПВХ). Завдяки низькій вартості сировини, високій хімічній стійкості, добрим фізико-механічним і задовільним електричним властивостям ПВХ є найбільш розповсюдженим матеріалом, який використовують для створення захисних і декоративних, хімічностійких і електроізоляційних покриттів.

До складу ПВХ композицій, що призначені для покриттів, окрім пластифікаторів, входять стабілізатори, наповнювачі, мастила, пігменти та інші добавки, концентрація і природа яких суттєво впливають на властивості покриттів.

Матеріалом для покриттів слугує пластифікований ПВХ, рідше використовують неластифікований ПВХ, представником якого є

вінілпласт. Листовий і плівковий вінілпласт застосовують в хімічній промисловості для футеровки металевої апаратури і трубопроводів, які експлуатують в агресивних середовищах.

Пластифікований ПВХ зазвичай наносять на поверхню деталей у вигляді порошку або плівки. Висока хімічна стійкість ПВХ дозволяє з успіхом використовувати покриття на його основі в агресивних середовищах. ПВХ є основним компонентом для виготовлення лакофарбових матеріалів. Шляхом оброблення ПВХ отримують вінілпласт, який легко піддається механічному обробленню і добре зварюється. Це дозволяє використовувати його для нанесення суцільного покриття на фундаменти, цокольні та інші конструкції. ПВХ пластикат використовують як матеріал для обкладання та захисту апаратури від корозії, благоустрою підлог у приміщеннях, де необхідна герметичність. Для устрою хімічностійких підлог, а також для гідроізоляції використовують ПВХ плівку.

Пентапласт має високу водостійкість, міцність, низький коефіцієнт тертя по сталі. Він має достатньо добру стійкість до впливу грибкової плісняви, розчинів лугів, кислот і солей. Пентапласт наносять на поверхню виробів, які захищають, в порошкоподібному вигляді, а також із дисперсій в органічних середовищах. Крім того, застосовують захист виробів футерувальними листами та готовими вкладишами з пентапласту.

Фторопласти. Для виготовлення різних деталей та захисту покриттями застосовують «фторопласт – 4» і «фторопласт – 3». Фторопластові покриття виключно стійкі до агресивних середовищ і в цьому відношенні перевищують навіть благородні метали і сплави. На покриття з «фторопласту – 4» не діють окислювальні середовища (навіть царська водка), кип'ячі луги, розчини солей. Фторопластові покриття достатньо стійкі по відношенню до жирів, мастил, вологи, кислот та ін. Покриття з фторопластів застосовують для захисту різних технологічних ємностей.

Кремнійорганічні полімери відрізняються багатьма цінними властивостями, із яких найбільш характерними є термостійкість, а також стійкість до дії цілого ряду хімічних агентів і розчинників. За термостійкістю вони значно перевищують органічні полімери.

Кремнійорганічні полімери порівняно інертні по відношенню до більшості реагентів за включенням досить сильних лугів і концентрованих кислот. Слабкі кислоти та луги, а також розведені

сильні кислоти та луги, на кремнійорганічні полімери виявляють незначну дію.

До недоліків кремнійорганічних полімерів слід віднести їх невисоку хімічну стійкість до дії органічних розчинників і окислювальних середовищ.

Епоксидні смоли у своєму складі мають реакційноздатні епоксидні та гідроксильні групи, які здатні до хімічних реакцій з різними речовинами з утворенням більш складних з'єднань. При додаванні до них речовин, що сприяють холодному або гарячому твердінню, такі смоли здатні переходити в неплавкий стан. У якості стверджувальних речовин застосовуються органічні та неорганічні кислоти, ангідриди кислот, аміни та аміди, а також синтетичні смоли.

Свої цінні фізико-механічні властивості епоксидні смоли набувають при взаємодії з речовинами, що сприяють твердінню. Стверджувальні речовини амінного типу виконують функції поєднувальних за допомогою зшивання реагентів. Реакційноздатні групи стверджувальних речовин взаємодіють з епоксидними групами смоли. Швидкість процесу твердіння залежить від температури. Деякі стверджувальні речовини реагують зі смолою при кімнатній температурі, інші – тільки при нагріванні. Найбільш повне та швидке твердіння поліамінами досягається при температурі вище 100 °С. Довговічність матеріалів, які отримані твердінням при кімнатній температурі, обмежена. Матеріали, що отримані в умовах твердіння епоксидної смоли при нагріванні, більш довговічні. На основі епоксидних смол виготовляють лакофарбові матеріали, які використовують для захисту поверхонь, деталей, конструкцій. Покриття на основі епоксидних смол з такими наповнювачами, як вугілля, графіт, кремнезем, кварцове борошно, помелений мармур, у харчовій промисловості використовувати не можна за санітарними нормами.

Для захисту сепараторів перспективні комплексні покриття, які складаються з одного шару ґрунту, двох шарів емалі та одного шару лаку на основі епоксидної смоли. Затверділе покриття промивають розчином оцтової (етанової) кислоти, потім розчином соди та на закінчення водою. Полімерні покриття на основі вінілових, каучукових і епоксидних смол застосовують для захисту сепараторів, у яких технологічні процеси проходять під надлишковим тиском.

Для захисту деяких залізобетонних внутрішніх поверхонь стаціонарних ємностей використовують епоксидне покриття, що містить 82% смоли, 13% етилового спирту і 5% поліетиламіну. Покриття твердіє при кімнатній температурі, але для прискорення процесу температуру підвищують до 70 °С. Перед нанесенням покриття залізобетонна поверхня обов'язково повинна бути добре очищена, просушена та підігріта електрообігрівачем. Покриття не менш, ніж у чотири шари, загальною товщиною до 0,6...0,8 мм. Епоксидні смоли також застосовують для захисту внутрішньої поверхні залізних чанів і цистерн.

Для захисту залізобетонних ємностей, які використовують для зберігання харчових продуктів, застосовують епоксидне покриття у три шари: перший шар ґрунту та два покривних шари. Сушіння кожного шару проводять у повітряно-сухих умовах впродовж 24 годин з наступним сушінням всіх трьох шарів протягом 28 діб. Після сушіння покриття промивають розчином соди з наступним промиванням водою.

Гумові покриття. В якості матеріалів для покриттів використовують гуми на основі натурального або синтетичного каучуків. До складу композицій входять наповнювачі, агенти-вулканізатори та інші добавки. В процесі вулканізації утворюється трьохвимірна структура, що забезпечує покриттям добрі механічні властивості.

Для футеровки виробів простої форми застосовують листові матеріали із сирової гуми з наступною вулканізацією на підкладці. Захист виробів складної конфігурації виконують рідкими матеріалами у вигляді дисперсій або розчинів.

Високою еластичністю та добрими адгезійними властивостями характеризуються покриття із гум на основі натурального каучуку, які застосовуються для захисту від мінеральних кислот і лугів. М'які гуми в основному застосовують для покриття різних апаратів, цистерн, труб та ін. М'які гуми являють собою полімерні композиції складного складу на основі еластомерів лінійного або розгалуженого устрою у вигляді латексів або клеїв. Наприклад, для футеровки ємностей внутрішню поверхню піддають обробці шротом і покривають листовою сумішшю гуми з фенолоформальдегідною смолою. Після цього поверхню облицьовують кислотостійкою плиткою на діабазовій замазці.

Розробку теплостійких гум проводять з урахуванням специфіки властивостей агресивних середовищ. Найширше застосування отримали рідкі силоксанові каучуки, які мають високу теплостійкість (до 250 °С) і нетоксичні. Завдяки високому опору до зношування тертям, гуми використовують для створення покриттів у апаратах, що працюють з рідинами, які містять взважені речовини (насоси, трубопроводи). Іноді застосовують тверді гуми – ебоніти. Ебоніти у порівнянні з іншими гумами мають більш високу хімічну стійкість.

ТЕМА 9. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ЛФМ). ОСНОВНІ ВИДИ ТА КОМПОНЕНТИ ЛФМ. МАРКУВАННЯ ЛФМ

Лакофарбові матеріали (ЛФМ) – багатокомпонентні системи певного складу, які наносять у рідкому або порошкоподібному стані на попередньо підготовану поверхню тонкими шарами, що після висихання та твердіння утворюють міцну, тверду, щільну і добре зчеплену з поверхнею плівку. Цю плівку називають лакофарбовими покриттями.

Властивості ЛФМ поділяються на фізико-хімічні, хімічні та малярно-технічні. До фізико-хімічних властивостей ЛФМ відносять в'язкість, щільність, швидкість твердіння (висихання), здатність до покривання. До хімічних властивостей ЛФМ відносять відсоткове співвідношення складових речовин, кількість наповнювачів, розчинників, водорозчинних солей, плівкоутворювальних речовин та ін. Малярно-технічні властивості характеризують здатність до стікання, спроможність до наношування, ступінь перетирання, густину.

Плівкоутворення при формуванні лакофарбового покриття відбувається наступними способами: випаровуванням розчинників (наприклад, полівінілхлоридні покриття); взаємодією з агентами, що сприяють твердінню (епоксидні покриття); окисненням (покриття, що містять олії та мастила); розплавленням і напиленням (поліетилен).

Залежно від призначення та складу ЛФМ поділяють на лаки, фарби, емалі, ґрунтовки, шпатльовки.

Лаки – це розчини плівкоутворювальних речовин у розчинниках (або воді), які після висихання утворюють однорідне, тверде, прозоре (окрім бітумного лаку) покриття. До їх складу не входять пігменти та наповнювачі.

Фарби – це суспензії пігментів у плівкоутворювальних речовинах, які після висихання утворюють непрозоре однорідне покриття.

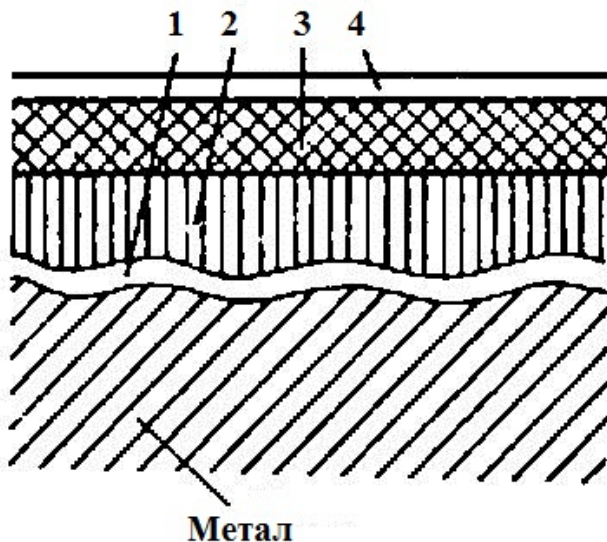
Емалі (покривні шари) – це пігментовані та наповнені лаки, що призначені для забезпечення захисту металу від корозії разом з ґрунтовками та придання об'єкту визначеного декоративного вигляду.

Зазвичай це непрозоре тверде покриття різних кольорів, структури та блиску.

Грунтовки – це пігментовані розчини плівкоутворювальних речовин в органічних розчинниках, які після висихання утворюють однорідну непрозору плівку. Їх призначення – утворення на поверхні антикорозійного шару та забезпечення високої міцності зчеплення як з поверхнею, так і з наступними покривними шарами. У системі «поверхня – грунтовка – покривний шар (емаль)» грунтовка виконує роль «хімічного зв’язувальника».

Шпатлівки – суміші наповнювачів, пігментів і плівкоутворювальних речовин; пастоподібна в’язка маса, яка призначена для заповнення дефектів поверхонь та надання їй рівномірної фактури.

Системою лакофарбового покриття називають поєднання шарів лакофарбових матеріалів, що послідовно нанесені на поверхню, яку захищають (рис. 9.1)



1 – ґрунт; 2 – шпатлівка; 3 – емаль; 4 – покривний лак
Рисунок 9.1 – Схема системи лакофарбового покриття.

Лакофарбові матеріали складаються з основних матеріалів (зв'язувальні та плівкоутворювальні речовини, пігменти, наповнювачі) та допоміжних (пластифікатори, розчинники, затверджувальні речовини та ін.).

Плівкоутворювальні речовини ЛФМ – багатокомпонентна система, після нанесення якої на поверхню в результаті фізико-хімічних процесів утворюється суцільна, міцно зчеплена з основою плівка. Плівкоутворювальні речовини повинні зв'язувати наповнювачі з пігментами у ЛФМ, розчинятися органічними розчинниками, забезпечувати добру адгезію лакофарбового покриття з основою, а після висихання утворювати тверду захисну плівку. До плівкоутворювальних речовин відносять: полімеризаційні смоли (на основі акрилатів, метакрилатів, хлористого вінілу та ін.), поліконденсаційні смоли (алкідні, поліуретанові, епоксидні, кремнійорганічні, формальдегідні), природні смоли (каніфоль, бітуми, асфальти, копали), рослинні олії, талова олія, жирні кислоти та ефіри целюлози.

Пігменти – це тонкоподрібнені кольорові та синтетичні неорганічні оксиди, солі металів, органічні або металеві речовини (порошки), які не розчиняються у дисперсних середовищах і воді та здатні створювати з плівкоутворювальним матеріалом захисні покриття. Вони призначені для отримання кольорових покриттів, забезпечують твердість, високі антикорозійні властивості; знижують набрякання плівки у воді.

Наповнювачі – це дисперсні неорганічні природні або синтетичні речовини, які не розчиняються у розчинниках, воді та дисперсних середовищах. Вони призначені для підвищення адгезії, модуля пружності, твердості, міцності; тепло-, вогне-, кислото-, луго- та атмосферостійкості покриттів; зниження вартості покриття і надання необхідної теплопровідності, зниження температурного коефіцієнту розширення покриттів до значень, що характерні для матеріалу основи. Їх додають до 25% від кількості пігментів.

Пластифікатори – це низьколетючі розчинники, що змінюють в'язкість системи та підвищують еластичність, які призначені для полегшення умов плівкоутворення, підвищення стійкості до розтріскування в умовах циклу «нагрівання-охолодження», регулювання таких фізико-механічних властивостей, як крихкість,

опір ударам; застосовують фталати, фосфати, касторову олію, совол, себацінати та ін.

Розчинники – летючі органічні рідини або їх суміші, які застосовують для розчинення плівкоутворювальної речовини, надання ЛФМ необхідної консистенції. До них відносяться: ефіри, спирти, кетони, вуглеводні.

Сикативи – мильні з'єднання деяких металів у розчинниках або з'єднання у вигляді оксидів. Сикативи застосовують для прискорення процесу висихання ЛФМ. До сикативів відносяться: кобальтові, марганцеві, свинцеві оксиди, а також ліномати, нафтенати, гумати та ін.

Затверджувальні речовини – це хімічні з'єднання, які додають до складу тільки визначених ЛФМ (епоксидних, уретанових та ін.) для їх твердіння. У якості додаткових складових застосовують емульгатори, стабілізатори, ініціатори, прискорювальні реагенти та ін.

Класифікація ЛФМ.

Всі ЛФМ поділяються на основні, проміжні та інші. Основні – лаки, емалі, фарби, шпатлівки, ґрунтовки. Проміжні – розчинники, розріджувальні речовини, смоли, та їх розчини, сикативи, оліфи. Інші – додаткові підсобні матеріали (мастики, пасти, затверджувальні та порозаповнювальні речовини).

За типом плівкоутворювальних речовин ЛФМ поділяють на:

а) ЛФМ на поліконденсаційних смолах: алкідно-уретанові (АУ), гліфталеві (ГФ), кремнійорганічні (КО), карбамідні або мочевинні (МЧ), мелаїнові або мелаїноформальдегідні (МЛ), поліуретанові (УР), пентафталеві (ПФ), поліефірні насичені (ПЭ), фенольні (ФЛ), фенолоалкідні (ФА), циклогексанові (ЦГ), епоксіефірні (ЭФ), епоксидні (ЭП), етрифталеві (ЭТ).

б) ЛФМ на полімеризаційних смолах: нафтополімерні (НП), каучукові (КЧ), перхлорвінілові або полівінілхлоридні (ХВ), алкідно-стирольні та мастильно-стирольні (МС), поліакрилові або поліакрилатні (АК), полівінілацетатні (ВА), полівінілацетальні (ВЛ), фторопластові (ФП), хлорировані поліетиленові (ХП), сополімеро-вінілхлоридні (ХС), сополімеро-вінілацетатні (ВС);

в) ЛФМ на природних смолах: бітумні (БТ), каніфольні (КФ), бурштинові (ЯН), мастильні (олійні) (МА), шелпачні (ШЛ).

г) ЛФМ на ефірах целюлози: етилцелюлозні (ЕЦ), нітроцелюлозні (НЦ), ацетилцелюлозні (АЦ), ацетобутиратцелюлозні (АБ).

За призначенням (умовам експлуатації) ЛФМ поділяють на:

1 – атмосферостійкі (ЛФМ, що експлуатуються на відкритому повітрі в різних кліматичних умовах);

2 – обмежено атмосферостійкі (ЛФМ, що експлуатуються під навісами та для внутрішніх робіт);

3 – захисні або консерваційні (використовують для тимчасового захисту виробів при транспортуванні та зберіганні);

4 – водостійкі (4/1 – стійкі у прісній воді, 4/2 – стійкі у морській воді);

5 – спеціальні ЛФМ, що стійкі до впливу визначених факторів, наприклад, стійкі до рентгенівського, радіаційного випромінювання, флуоресцентні, ЛФМ для шкіряних виробів, тканин, гуми);

6 – мастилобензостійкі ЛФМ (6/1 – стійкі по відношенню до мінеральних мастил, 6/2 – стійкі до впливу гасу, бензину, нафтопродуктів);

7 – стійкі до впливу хімічних речовин (7/1 – для атмосфери агресивних парів і газів, 7/2 – для розчинів і концентрованих лугів);

8 – термостійкі ЛФМ (експлуатуються при температурах від 50 до 500°C);

9 – електроізоляційні;

0 – ґрунтовки;

00 – шпатльовки.

У кожного ЛФМ є свої «ім'я» та позначення. Воно складається з слів, літер та цифр.

Маркування ЛФМ.

Силікатні фарби (ЖС) виготовляють на основі силікатів лужних металів (рідке скло). Якщо фарба виготовлена на водоемульсійній основі, то перед літерами, які визначають вид плівкоутворювальної речовини, є позначення ВД, наприклад, ВД АК.

Позначення пігментованих ЛФМ складається з п'яти груп знаків, для непігментованих (лаків) – чотирьох.

1 група. За записом спочатку вказується вид ЛФМ – лак, фарба, шпатльовка, емаль або ґрунтовка. Якщо до складу фарби входить лише один пігмент, то записують найменування пігменту (білила цинкові, охра).

2 група. Надалі коротке позначення основи (дві літери) – зазначається тип плівкоутворювальної речовини. Якщо до складу ЛФМ входить суміш плівкоутворювальних речовин – при маркуванні вказують основний (той, що визначає властивості ЛФМ).

3 група. Після позначення основи літерою вказують умови експлуатації ЛФМ (цифрою).

4 група. У кожного ЛФМ є свій порядковий номер, який присвоюється при виготовленні. Він може складатися з однієї, двох або трьох цифр.

5 група. Вказується колір ЛФМ.

Для водоемульсійних ЛФМ, які не містять летючого розчинника; порошкових, що піддаються розбавленню водою, між першою та другою групами знаків ставиться позначення: В – підлягають розбавленню за допомогою води, Э – водоемульсійні, П – порошкові фарби, ОД – органодисперсійні (пластизольні, органозольні), Б – ті, що не містять летючого розчинника.

Між другою та третьою групами знаків завжди ставиться тире.

Для алкідних і олійних (мастильних) фарб ставлять цифру, що позначає вид оліфи: 1 – натуральна, 2 – «Оксоль» оліфа, 3 – оліфа гліфталева, 4 – оліфа пентафталева, 5 – комбінована. Іноді для уточнення специфічних властивостей ЛФМ після порядкового номеру ставлять позначення: ПМ – напівматові, ПГ – з низькою здатністю до горіння, Г – глянцеві.

Приклади маркування:

- емаль ПФ - 218ХС – емаль на основі пентафталевої смоли, яка призначена для внутрішніх робіт, № 18, холодного сушіння.

- білила цинкові МА-22Н - білила цинкові, що виготовлені на основі оліфи «Оксоль» (мастильні), № 2, для внутрішніх робіт;

- фарба ВД-ВА-біла – фарба водоемульсійна на полівінілацетатній дисперсії, яка призначена для виконання зовнішніх робіт, № 7, біла;

- шпатльовка ЭП – 0010 сіра – шпатльовка епоксидна, № 10, сіра.

ТЕМА 10. ПОРОШКОВІ ТА ВОДОЕМУЛЬСІЙНІ ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ

Порошкові фарби – це дисперсійні багатокомпонентні системи, у яких роль плівкоутворювальної основи виконують самі тверді часточки, що розділені повітрям. Порошкові ЛФМ найчастіше додатково містять пігменти для надання певного кольору. У порошкових ЛФМ дисперсним середовищем є повітря, а не розчинник або вода, тому даний вид ЛФМ економічно, технічно та екологічно вважається більш доцільним. Якщо у фарбах на основі розчинників або води вміст основного компонента становить близько 50 %, то у порошкових матеріалах це число сягає 100 %, однак для їх нанесення на поверхню необхідно застосовувати спеціальні методи фарбування.

Розрізняють два види порошкових фарб:

- на основі термореактивних полімерів (олігомерів);
- на основі термопластичних полімерів.

Частка ЛФМ на основі олігомерів становить 65...70 %. Залежно від полімеру, який застосовується для виготовлення порошкової фарби, їх також поділяють на епоксидні, полівінілхлоридні, поліефірні та ін.

Склад порошкових фарб. До складу входять: олігомери (полімери), наповнювачі, пігменти, прискорювачі твердіння, затверджувальні речовини, пластифікатори, модифікатори та різні допоміжні речовини.

Олігомери (полімери) – це основа будь-якої порошкової фарби, яка визначає кінцеві властивості продукту. Вони застосовуються у вигляді дисперсних порошоків, рідких олігомерів (наприклад, у якості модифікаторів) або плівкоутворювальних речовин у твердому вигляді, котрі при певних умовах переходять до в'язкотекучого стану.

Вимоги до плівкоутворювальних речовин: достатньо низька в'язкість розплавів, оптимальне поверхневе натягіння; молекулярна маса повинна бути від 1500 до 3000; також необхідна визначена температура плинності, плавлення, скловання, ступінь кристалічності; оптимальне число функціональних груп та ін.

Наповнювачі та пігменти у порошкових фарбах відіграють ту ж роль, що і в рідинних (надають визначений колір, змінюють механічні та експлуатаційні властивості фарб і покриттів, покращують захисні

властивості, впливають на здатність наноситися на поверхню, нахил до електризації та ін.)

У готовій фарбі кількість всіх наповнювачів і пігментів коливається від 5 до 60 %. Кількість значно коливається від призначення фарби, її кольору та природи олігомера (полімера), що використовується. Щоб здатність до покривання була високою, широко використовують органічні пігменти у поєднанні з неорганічними. Найчастіше при виготовленні порошкових фарб застосовують наступні наповнювачі: каолін, молоту слюду, бланкфікс (барит), кварц, кремнезем, тальк та ін.

Модифікатори за типом відрізняються від основних плівкоутворювальних речовин. Їх застосовують для покращення властивостей фарбувальних складів і покриттів на їх основі. В якості модифікаторів у порошкових фарбах виступають олігомери, мономери або полімери.

Пластифікатори забезпечують отримання із порошкової маси якісного покриття з високими захисними та декоративними властивостями; сприяють скороченню терміну висихання порошкових ЛФМ, знижують температуру формування покриттів, регулюють фізико-механічні властивості затверділого шару. У якості пластифікаторів застосовуються тверді або рідинні з'єднання. До твердих відносяться: дифенілфталат, саліцилова кислота, β – нафтол, трифенілфосфат та ін. До рідинних пластифікаторів належать: діоктилфталат, пентаерітритовий ефір синтетичних кислот, дібутилфталат і ін.

Отверджувачі застосовують у виробництві порошкових ЛФМ на основі поліуретанових, епоксидних, поліакрілатних, поліефірних та деяких інших олігомерів.

Прискорювачі твердіння застосовують разом з отверджувачами з урахуванням виду плівкоутворювальної речовини. До них належать комплекси амінів (наприклад, Cd, Zn, Hg та ін.). Якщо використовують епоксидну основу, часто застосовують ароматичні аміни, ціанаміди, багатоосновні кислоти та їх ангідриди.

Застосування порошкових ЛФМ у промисловості.

Випускають порошкові фарби хімічностійкі, атмосферостійкі; для формування електроізоляційних покриттів і ін. За ГОСТом перед маркуванням порошкового ЛФМ ставиться літера «П».

П-ЭП-971 – порошкова епоксидна фарба. Випускають тільки у двох кольорах – червоно-коричневому та сірому. Склад: гідратована суміш деяких компонентів (епоксидна смола, пігменти, наповнювачі, отверджувачі, спеціальні добавки).

Сіра та червоно-коричнева порошкові фарби П-ЭП-971 мають однакову густину – 450...600 кг/м³, а кут їх природного відхилення не перевищує 30°. Після висихання густина готового покриття становить 1200...1400 кг/м³. За технологією виготовлення епоксидної порошкової фарби П-ЭП-971 спочатку готують смолу, далі перемішують її з іншими складовими компонентами. Заключною стадією приготування даного ЛФМ є перемішування в розплаві у реакторі-змішувачі та подрібнення (перетирання в тонкодисперсний порошок). Фарба широко використовується для зовнішньої ізоляції трубопроводів (магістралей) у якості електроізоляційного захисту. Випускається П-ЭП-971 у двох варіантах для кожного кольору: **А** та **В**. Марка **А** наноситься на вироби з гострими кромками, а марка **В** – на конструкції без гострих кромки. На поверхні дана порошкова фарба наноситься із застосуванням вібровихрового методу з електростатичним полем або електростатичним методом.

П-ЭП-45 – тонкодисперсний порошок сірого кольору, який являє собою гомогенізовану суміш отверджувача, епоксидної смоли, наповнювачів і пігментів.

При температурі 180°C тривалість процесу висихання (твердіння) порошкової фарби П-ЭП-45 становить приблизно 30 хвилин, а при підвищенні температури до 200°C час висихання скорочується до 20 хвилин. Кут природного відхилення – до 25°, насипна щільність без утрусання – 520...530 кг/м³. При розтягуванні значення подовження не менше 7 мм, а адгезійна міцність приблизно 500 Па.

Найчастіше порошкову фарбу П-ЭП-45 застосовують для покриття дисків колес та інших деталей автомобілів, а також металевих деталей різноманітного за призначенням устаткування. На поверхню порошкова фарба П-ЭП-45 наноситься електростатичними способами (вібровихрового з накладенням електростатичного поля, в іонізованій хмарі, фарборозпилювачем та ін.) Якщо нанести склад П-ЭП-45 на попередньо фосфатовану поверхню, захисний шар, що утворюється, має високу стійкість до впливу вологої атмосфери у

гідростаті (близько 200 годин), а також 3-% розчині NaCl у коморі сольового туману.

Водоемульсійні ЛФМ – це суспензії наповнювачів і пігментів з додаванням диспергаторів, емульгаторів та інших допоміжних речовин у водних дисперсіях плівкоутворювачів. ЛФМ на водній основі називаються: водоемульсійними, емульсійними, латексними, вододисперсними.

Основні переваги водоемульсійних ЛФМ:

- нешкідливість складів;
- можливість фарбування при підвищеній вологості або вологій поверхні;
- полегшений процес видалення при очищенні обладнання;
- можливість нанесення покриття спеціфічним способом – електроосадженням.

На даний час значно підвищилися вимоги до охорони навколишнього середовища та контролю за викидами промислових підприємств. Також багато інших факторів обумовили розширення випуску водоемульсійних ЛФМ. У загальній кількості лакофарбової продукції частка систем на основі водяних емульсій становить 30...35 %.

До складу традиційних ЛФМ входять приблизно 50 % розчинників органічного походження. Ці матеріали пожежо- та вибухонебезпечні, а також доволі токсичні та летючі. Все це призводить до необхідності встановлення потужних систем вентиляції та систем очищення викидів, вентиляційних пристроїв; на робочих місцях.

Класифікація водоемульсійних ЛФМ.

Всі ЛФМ на водяній основі поділяються на дві групи:

- водорозчинна плівкоутворювальна система (це водяний розчин плівкоутворювальної речовини);
- плівкоутворювальна вододисперсна система (емульсія плівкоутворювальної речовини у воді).

За призначенням:

- для внутрішніх робіт;
- для зовнішніх фарбувальних робіт;
- спеціального призначення.

За типом плівкоутворювальної речовини:

- АК – акрилатні (виготовлені на основі акрилатної сополімерної дисперсії);
- ВА – полівінілацетатні водоемульсійні склади (на основі полівінілацетатної дисперсії);
- КЧ – бутадієн – стирольні (сopolімер бутадієну зі стиролом);
- ХВ – сополімеровінілхлоридні (суміш сополімеру вінілхлориду, бутадієн - стирольного латексу та вініліденхлориду);
- ВС – сополімеровінілацетатні (водяна дисперсія етилену або дібутилмалеінату з сополімерами вінілацетату).

Склад водоемульсійних ЛФМ: плівкоутворювальні речовини, пігменти, вода, наповнювачі, стабілізатори, емульгатори, диспергатори, піногасники, інгібітори корозії, антисептики, спеціальні речовини (гідрофобні, структурувальні та ін.).

Плівкоутворювальні речовини: синтетичний і натуральний латекс, серед яких бутадієн-стирольний, етиленовий та стирольний. Також застосовують синтетичні водяні дисперсії полімерів, які отримують у процесі емульгування олігомерів при підвищеній температурі або розчинів полімерів (олігомерів). В дисперсіях даного типу в якості плівкоутворювальних речовин виступають бітуми, епоксиди, алкідні, поліуретани, мастила та олії, що висихають.

Вода. До складу водоемульсійних ЛФМ входить до 50 % води, з яких половина доводить водоемульсійну фарбу до необхідної консистенції, а друга половина входить до складу плівкоутворювальної водяної дисперсії. Якості води приділяється особлива увага. Необхідно використовувати демінералізовану (пом'ягшену) дистильовану воду або конденсат.

Допоміжні функціональні речовини.

Стабілізатори – це ПАР (поверхнево-активні речовини), які додають до складу водоемульсійних ЛФМ для забезпечення стабільності їх технологічних і експлуатаційних властивостей. В якості стабілізатора широко застосовується натрієва сіль продукту конденсації формальдегіду і нафтилсульфофосфокислоти – лейканол.

Емульгатори необхідні для надання стійкості водяним дисперсіям плівкоутворювальних речовин та полегшення процесу їх утворення. Емульгаторами виступають деякі ПАР, що до свого складу включають солі жирних (вищих) кислот.

Речовини, що сприяють підвищенню в'язкості (загущенню) ЛФМ додають у вигляді мінеральних добавок (прокалені глини, бентоніт, Na-карбоксиметилцелюлоза та ін.).

Піногасники – це спеціальні добавки, які під час виробничого процесу та при нанесенні не дають ЛФМ пінитися. Найбільш активними є гідрофобні розчинники (скипидар, уайт-спиріт) і поліорганосилоксани типу ГЖК.

Антифризи – це речовини, які додають у ЛФМ для попередження та виключення їх заморожування при зниженні температури. До таких речовин відносяться діетиленгліколь та ін.

Захисні колоїди використовують для збереження дисперсними системами агрегативної стійкості. Полівініловий спирт, наприклад, підвищує водостійкість покриттів на основі полівінілацетату за рахунок утворення нерозчинного у воді продукту.

Інгібітори корозії додаються у водоемульсійні ЛФМ для того, щоб металева основа, на яку наносять шар фарби, у процесі формування захисного покриття та його твердіння не піддавалася корозії. При виробництві водоемульсійних ЛФМ застосовують нітрит натрію і бензоат натрію.

МБМ-5С – водяна дисперсія акрилового сополімеру. Дану речовину отримують шляхом емульсійної сополімеризації суміші, яка складається з трьох мономерів – бутилакрилату, метилметакрилату та метакрилової кислоти. Покриття, що утворюється при використанні МБМ-5С, характеризується високою атмосферостійкістю, має добру адгезію, високу міцність при згинанні та стійкість до впливу світла. Завдяки високим експлуатаційним характеристикам такі фарби використовують для фарбування зовнішніх стін будівель.

Полімеровінілацетатна гомополімерна дисперсія. Цю речовину отримують в результаті полімеризації вінілацетату у водяному середовищі в присутності ініціатору та захисного колоїду. За зовнішнім видом – це біла в'язка рідина, яка випускається в пластифікованому вигляді та нараховує близько 20 марок. Також використовується полівінілацетатна гомополімерна дисперсія в неластифікованому вигляді, яка широко застосовується у різних галузях промисловості. До них належать марки Д50В (високов'язка), Д50С (середньов'язка), Д50Н (низьков'язка), вміст полімеру у яких становить приблизно 50 %.

До складу пластифікованих дисперсій входять 47 % полімеру та 5...9 % пластифікатору (марка ДБ 47/7С) або 48 % полімеру та 10...14 % пластифікатору (марка ДБ 47/14С). Розмір частинок в дисперсії становить від 1 до 3 мкм. Полімеровінілацетатна гомополімерна дисперсія утворює покриття із задовільною адгезією до основи та рівномірною і гладкою поверхнею.

ТЕМА 11. АЛКІДНА ЕМАЛЬ

Алкідна емаль належить до особливого виду лакофарбових матеріалів. Дані фарби є універсальними для використання. Їх застосовують при проведенні зовнішніх і внутрішніх робіт – такою багатофункціональністю фарби зобов'язані високій стійкості, вони відмінно протистоять зношуванню при терті; у порівнянні з іншими фарбами, значно довший час тримають колір, якість, насиченість; таким фарбам не погрожують прямі сонячні промені, агресивні миючі засоби, мінеральні мастила.

Сфера використання алкідних емалей доволі широка завдяки типу фарби. Емалі бувають *гляцевими, матовими, а також напівматовими*, тому вони отримали дуже широке застосування в будівництві. Матова алкідна фарба найчастіше застосовується при внутрішньому оздобленні, вона не залишає блиску на сонці, тому придатна для фарбування дитячих кімнат. Подвійний шар такої емалі, нанесений на поверхню, яка була попередньо підготована і заґрунтована, не втрачає своїх властивостей впродовж 4 років. Плівка, що утворюється фарбою на поверхні, з успіхом протистоїть змінам температури від -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$ без втрати свого блиску. Завдяки цьому, при виборі фарб для зовнішнього оздоблення, надають перевагу алкідним, за рахунок відмінної протидії атмосферним впливам.

Різноманіття таких емалей вражає, наприклад, відомі фарби для бетону – вони створюють стійке, довговічне і міцне захисне покриття на будівельному матеріалі та поліпшують зовнішній вигляд. Застосовують алкідні емалі при фарбуванні виробів з металу з метою захисту від корозії та подовження строку експлуатації виробу.

Склад, види та властивості алкідних фарб.

Алкідна емаль – це продукт синтезу алкідного лаку, розчинників різного типу та відповідного наповнювача. Однак до складу фарб входять ще визначені групи добавок, які надають фарбі визначений колір – ці групи називають фарбувальними пігментами. Якщо потребується, окрім надання фарбі визначеного кольору, зробити її антисептичною, яка протистоїть різним грибковим ураженням і попереджує розвиток плісняви, тоді до її складу виробник включає інші добавки, що називаються антисептиками.

Якщо емаль тривалий час не використовується, вона змінює свою консистенцію на більш густу. Щоб повернути фарбі первинну густину, застосовують розчинник – уайт-спирит. Даний розчинник відмінно розчиняє багато видів мастил, нафтові з'єднання, жири рослинного походження, органічні з'єднання таких газів, як азот і кисень. Наповнювачами у даному випадку є сипучі дрібнодисперсні матеріали: мрамур або граніт, пісок, керамзит, які дрібно помелені до стану борошна.

Основним компонентом алкідних емалей є алкідний лак, який поділяється на два види: *пентафталевий* та *глифталевий*. Пентафталевий лак застосовують набагато частіше при виробництві емалей, ніж глифталевий. Перший тип лаку – це розчин із густої смоли, яка міститься у розчиннику, до якого додають гліцерин, рослинні олії та каніфоль. Потім всю цю суміш перемішують з розчинником до отримання однорідної маси, що на виході утворює алкідну емаль.

Позитивною відміною пентафталевих лаків від глифталевих є більш швидке отвердіння в умовах холодного сушіння, внаслідок якого утворюються найбільш водостійкі покриття з урахуванням того, що ступінь жирності та вид модифікатора мастила ідентичні. Відповідно до типу лаку, фарби також поділяють на пентафталеві та глифталеві. Вони мають всі переваги вищезазначених лаків.

Пентафталеві фарби більш розповсюджені в побуті та виробництві: ними фарбують як підлоги у приміщеннях, завдяки високій стійкості до зношування тертям, а також громадський транспорт – трамваї, тролейбуси, вагони, автобуси, загальнометалеві причіпи та інші вироби з металу. Цей тип емалей довго зберігає захисні властивості: впродовж 4...6 років за умов зовнішнього застосування і не менше 15 років при використанні в середині приміщень.

Глифталеві емалі мають свої переваги – вони дуже швидко висихають у порівнянні з пентафталевими (усього за 24 години). Однак на даний момент випускають надшвидкосохнущі емалі – час висихання таких емалей варіюється впродовж 6 годин.

Алкідні смоли залежно від типу жирності, сегментують на 2 види: ті, що сохнуть, і ті, котрі не висихають. Самостійними плівкоутворювальними компонентами для алкідних лаків і красок є алкідні смоли, що сохнуть, внаслідок як гарячого, так і холодного сушіння.

Дані типи алкідів також приймають активну участь у ролі компонентів для інших смол, в результаті яких отримують перхлорвінілові, карбамідні, фенольні та інші види лакофарбової продукції.

Смоли алкідів, що не висихають, використовують у розчинах карбамідних смол з додаванням нітратів целюлози, що дозволяє підвищити адгезію з поверхнею та досягти високої еластичності даного покриття.

Жирність алкідних смол – це важливий фактор в'язкості розчину. В першу чергу, від жирності розчину залежить сумісність емалей і лаків з мастилами, твердість покриттів, швидкість сушіння, якість нанесення покриття на поверхню, блиск пофарбованої ділянки, стійкість до застосування різних хімічних реагентів і багато інших менш важливих властивостей, що характеризують профарбовану поверхню.

Іноді для уповільнення старіння лакофарбової продукції алкідні модифікують – до їх складу додають мастила, що здатні висихати наполовину, які в цілому уповільнюють процес деградації фарб але призводять до деякого зменшення твердості та зносостійкості покриття.

Основні переваги алкідних емалей:

- довговічність;
- еластичність.

До переваг алкідних фарб відноситься відсутність усадки, що часто спостерігається на других видах фарб, а також вона не втрачає свій колір і не жовтіє на сонці, швидко сохне. Емалі даного типу відмінно підходять для зовнішніх робіт, витримують значні коливання температури (від -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$), мають підвищену атмосферостійкість (добре переносять сніг, дощ, іній, туман). Захисна плівка, яку створюють алкідні емалі, відмінно протистоїть вологому чищенню з агресивними миючими засобами (білизна або хлорка), тому застосовується при фарбуванні саун, басейнів і ванних кімнат.

Маркування. Алкідні емалі класифікують відповідно різним властивостям, областям та способам застосування. Кожна марка фарби має свій код, який складається з літер і цифр. Ці дані дозволяють віднести емаль до визначеної категорії.

Наприклад, емаль під кодовим позначенням ПФ – 115 розшифровується наступним чином:

ПФ – пентафталева (вказується речовина, що виступає основою фарби);

1 – перша цифра позначає область використання алкідної емалі, у даному випадку це вуличні роботи;

15 – наступне число є номером фарби в каталозі.

Епоксидна фарба (емаль)

Епоксидна фарба ґрунтується на епоксидних смолах. Слово «апоксид» бере початок з Греції, де перша частина слова *epi* позначає та перекладається як «над», а друга частина слова – *oxy* – трактується «кислий / їдкий», тобто окислювач.

Перші фарби, подібні до епоксидних, з'явилися у 30-х роках ХХ сторіччя, а сам тип епоксидної смоли був прийнятий у виробництво у 1947 році. На даний момент епоксидна емаль (фарба) є однією з найміцніших фарб, які відмінно опираються зношуванню тертям. Завдяки своїй довговічності та відмінному зовнішньому вигляду, стійкості кольору, вона широко застосовується при будівельних та відновлювальних роботах.

Епоксидна фарба відмінно витримує навантаження, тертя, навіть те, яке відбувається багаторазово та циклічно; вплив агресивних і абразивних матеріалів, тому така фарба використовується в суворих умовах експлуатації для фарбування підлоги, наприклад, в автотайстернях, виробничих цехах, на автомобільних паркінгах, на переходах з великим потоком людей. Окрім підлоги, даний тип емалі відмінно підходить для фарбування стін і дахів з боку вулиці, тому, що вона не піддається впливу атмосферних явищ.

Властивості та склад епоксидних емалей.

Епоксидні емалі мають властивості епоксидних смол. Дані смоли являють собою синтетичний олігомер, який на сьогодні використовується в усіх галузях промисловості. Самі по собі епоксидні смоли у чистому вигляді ніде не використовують, вони набувають цінних і унікальних властивостей після процесу поєднання з затверджувачем і повного завершення процесу полімеризації. Залежно від комбінації та пропорції різних типів смол з затверджувачами, отримують матеріали з різними властивостями, від жорстких, як метал, до гнучких, губкоподібних, каучукових матеріалів. Залежно від температури та виду затверджувача, що використовують, епоксидні смоли поділяються на смоли гарячого та холодного твердіння.

Лакофарбові покриття, що ґрунтуються на епоксидних смолах, мають відмінну адгезію з металевими, дерев'яними, бетонними та іншими видами поверхонь. Епоксидні фарби характеризуються підвищеною твердістю, хімічною стійкістю та високою еластичністю. Даний тип фарб відмінно протистоїть таким хімічним речовинам, як кислоти, луги, розчини солей, паливно-мастильні матеріали, а також має гідроізоляційні властивості.

Переваги гідроізоляційних фарб:

1. Самовідновлення – тобто при механічному тиску на фарбу вона деформується, але не руйнується. Така можливість реалізується за рахунок наявності фурилових, перхлорвінілових, епоксидних і подібних смол, що складаються з синтетичних з'єднань;

2. Поверхня, що покрита емаллю, «дихає», тобто в приміщеннях з високим вмістом вологи, не буде створюватися конденсат.

3. Простота застосування. Для нанесення гідроізоляції на поверхню достатньо використовувати звичайні валики, мулярні пензлі.

4. Захист від корозії.

Види епоксидних фарб.

1. Епоксидні порошкові фарби.

Порошкова епоксидка – це сполука епоксидної смоли та пигментувального компонента з модифікатором і затверджувачем. Основні її переваги – відмінне поєднання високих фізико-механічних, електроізоляційних і антикорозійних характеристик. Покриття на основі таких фарб відрізняються значною адгезією та міцністю, а також високою механічною та хімічною стійкістю (до рідкого палива, кислот, лугів, ароматичних і аліфатичних вуглеводнів). Щоб підвищити строк служби покритого такою фарбою виробу із металу, його перед фарбуванням рекомендується фосфатувати або хромувати.

Головним недоліком епоксидних порошкових лакофарбових матеріалів є нахил до набування жовтого кольору у разі перегріву в полімеризаційній печі, особливо у газових камерах.

2. Поліефірні порошкові фарби – це сучасні фарби, що мають всі переваги поліефірних фарб і при цьому є менш токсичними. Використовуються для захисту поверхонь, які піддаються тертю, зношуванню за допомогою абразивних частинок, впливу небезпечних хімічних речовин. Також їх застосовують у якості ґрунтовки перед нанесенням інших порошкових лакофарбових матеріалів.

3. Епоксидно-поліефірні порошкові фарби.

Даний тип фарб має низьку ціну і не забезпечує високі антикорозійні властивості та стійкість до хімічної дії розчинників. У той же час, окрім низької ціни, ці фарби достатньо тверді та стійкі до перегріву в процесі твердіння, у них низька чутливість до ультрафіолету і хіміко-механічних впливів. Ці фарби ідеально підходять для фарбування домашніх побутових виробів, меблів для офісу, школи, медичних меблів, обладнання для супермаркетів, електро- та освітлювального обладнання. Епоксі-поліефіри широко застосовуються завдяки реалістичності покриття та можливості створювати багатообразні декоративні елементи та розписи. Наприклад, такий вид порошкової фарби використовують для фарбування тонкою плівкою благородних металів або покриття скляного посуду в парфумерній галузі.

Розчинник для епоксидної фарби. Бажано не застосовувати розчинники для епоксидних фарб, так як це призводить до зниження якості фарби та наносить втрати самому виробу. Після внесення до фарби розчинника її в'язкість різко знижується, фарба стає більш текучою, її легко наносити валиком або пензлем на поверхню. Однак при додаванні розчинника змінюються вологостійкість та показники міцності фарби, вона втрачає у гнучкості, що після висихання може спричинити її крихке руйнування. Щоб мінімізувати такі негативні наслідки, співвідношення фарби і розчинника ретельно підбирають, а склад, який отримано внаслідок цих дій, перемішують і тестують, якщо якість не задовольняє вимогам, проводять повторну процедуру.

ТЕМА 12. АВТОМОБІЛЬНІ ГРУНТОВКИ ТА СИЛІКОНОВЕ ПОКРИТТЯ

Автомобільні ґрунтовки.

При фарбуванні автомобіля дуже важливо вірно підібрати не тільки фарбу, але й ґрунтовку. Автомобільна ґрунтовка є проміжним шаром між основним металом кузова та фінішним лакофарбовим покриттям. Якісний ґрунт не повинен давати усадку, повинен сприяти оздобленню поверхні (маскувати та виправляти дрібні дефекти), мати підвищену адгезію з нею. Товщина шару ґрунту найчастіше становить 15...20 мкм і контролюється вимірювачем товщини.

Класифікація автомобільних ґрунтовок.

За механізмом захисної дії автомобільні ґрунтовки поділяють на наступні категорії:

1. *Пасивувальні* автомобільні ґрунтовки містять хромати деяких металів або інші речовини, які переводять поверхню у пасивний стан при взаємодії з вологою. До пасивувальних ґрунтовок відносяться ГФ-031, ГФ-017, а для захисту від корозії крил та днища автомобіля застосовують свинцево-суричну ґрунтовку.

2. *Протекторні* автомобільні ґрунтовки виступають по відношенню до металу в якості протектора. Вони містять у складі пил металу, потенціал якого нижчий, ніж у заліза (наприклад, цинку, свинцю, алюмінію або їх сплавів). У разі пошкодження поверхневого шару лакофарбового покриття цинк, який містить ґрунт, першим приймає на себе удар агресивного корозійного середовища, забезпечивши тим самим захист основного металу. До протекторних ґрунтовок, які часто застосовують при ремонті автомобілів, відносяться ЕП-057, котра являє собою суспензію порошку цинку в епоксидній смолі Е-41, що піддається примусовому твердінню за допомогою поліамідного затверджувача № 3 та стабілізована бентонітом.

3. *Автомобільні ґрунтовки з інертними частинками* не оказують захисної дії на поверхню металу та не взаємодіють з плівкоутворювальними речовинами. Вони є механічною перепорою на шляху проникнення вологи і до них належать ФЛ-03К, ГФ-21, які застосовують при дрібному ремонті кузова.

4. *Автомобільні ґрунтовки фосфатувальної дії* у складі містять фосфатну кислоту, яка при взаємодії з поверхнею металу утворює міцний шар важкорозчинних фосфатів, що характеризується гарною адгезією. Оптимальна товщина шару становить 8...12 мкм, що менше, ніж у інших видів ґрунтовок. До фосфатувальних ґрунтовок належать ВЛ-023 і ВЛ-02. Ґрунтовки, до складу яких входить кислота, мають властивість проникнення до основного металу на глибину приблизно 0,05 мкм, що забезпечує підвищення адгезії захисного шару. Після нанесення фосфатувальних ґрунтовок ВЛ-025, ВЛ-08 і ВЛ-02 можна наносити вторинний шар ґрунтовками ФЛ-03К, ГФ-020.

5. *Автомобільна ґрунтовка-модифікатор іржі* (перетворювач продуктів корозії). Перетворювач іржі «перетворює» продукти корозії в сукупності з іншими складовими ґрунту в міцну захисну плівку. Найчастіше ґрунтовки-перетворювачі продуктів корозії наносять в один-два шари за допомогою пензлів або розпиленням. Температура оброблення – не нижче 15°C.

Також всі автомобільні ґрунтовки поділяють на декілька видів:

- однокомпонентні ґрунти (не містять затверджувача, процес висихання триває декілька діб, застосовується рідко);
- двокомпонентні автомобільні ґрунтовки застосовують найчастіше; до складу входять затверджувачі і оброблена поверхня висихає впродовж доби;
- спиртові ґрунти сохнуть за годину і використовуються для оброблення проблемних місць, де звичайні ґрунтовки застосовувати недоцільно.

Двокомпонентні автомобільні ґрунтовки поділяють на 2 види: тверді та м'які. Серед них найбільш якісними є склади, які в результаті забезпечують твердий захисний шар, котрий достатньо важко шліфувати. М'які автомобільні ґрунтовки легко обробляються але з часом усаджуються.

Нанесення автомобільних ґрунтовок. На поверхню автомобілю ґрунтовки наносять різними способами: зануренням, пензлем, електроосадженням. Деякі методи застосовують виключно при серійному виробництві автомобілів (наприклад, занурення). Це пов'язано з великими витратами ЛФМ. Інші методи використовують тільки при частковому ремонті кузова. Спочатку метал покривають фосфатувальною або кислотною ґрунтовкою, яка забезпечує добру адгезію. Первинний ґрунт наносять на добре підготовану, очищену та

обезжирену поверхню металу. При роботі з кислотними або фосфатувальними автомобільними грунтовками необхідно бути дуже обережними і акуратними, працювати в приміщеннях з гарною вентиляцією для запобігання важких хімічних отруень.

Після первинного грунтувального шару накладають вторинний. Вторинна автомобільна грунтовка наноситься в 2...3 шари і добре маскує дрібні недоліки поверхні (заповнює невеликі нерівності, пори, подряпини та ін.). Шари наносять з періодичністю 5...10 хвилин. Найчастіше вторинний грунтувальний шар накладається у разі необхідності маскування видимих дефектів поверхонь. Фінішне лакофарбове покриття наноситься мінімум через 15...20 хвилин після грунтування.

ЭП-083 – автомобільна грунтовка, яка має пасивувальний вплив на метал. До складу входять наступні пігменти: цинкові та титанові білила, хромат барію, мікробарит, мікротальк. Також застосовується у промисловості, так як процес твердіння при температурі близько 150 °С триває не більше 20 хвилин. Застосовується для захисту кузова та інших деталей машин, попередньо підданих фосфатуванню.

ГФ-089 – пасивувальна грунтовка (чорна), що містить у своєму складі технічний вуглець, триоксихромат цинку, мікротальк. При кімнатній температурі 18...22 °С процес твердіння займає добу, а при температурі 120 °С – не більше 10 хвилин. Наноситься на карданні вали та інші деталі автомобілів.

ГФ-020 – ізолювальна грунтовка (коричнева) розріджується за допомогою ксилолу або сольвенту. Застосовується як основний грунт при виробництві автомобілів. При температурах 15...25 °С повністю твердіє впродовж 48 годин, а при температурі близько 110 °С – усього за 30 хвилин.

ГФ-017 – пасивувальна автомобільна грунтовка (темно-коричнева). У якості пасивувальної речовини використовують хромат цинку. Грунтовку розчиняють сольвентом, процес твердіння проходить впродовж 30 хвилин при температурі 125 °С.

ГФ-021 – ізолювальна грунтовка, що наноситься на дерев'яну або металеву поверхню під емаль. Висихає при кімнатній температурі (18...22 °С) впродовж доби. При її виробництві застосовують цинкові білила, кальцит, мікротальк і червоний залізоокисний пігмент.

ГФ-073 – пасивувальна автомобільна грунтовка (жовта), до складу якої входять наступні пігменти: мікротальк, триоксихромат

цинку, червоний залізоокисний пігмент. Висихання при кімнатній температурі триває впродовж доби. Розчинником є ксилол.

ФЛ-03К – коричнева пасивувальна ґрунтовка, термін висихання якої становить 30 хвилин при температурі 110 °С. Використовують для обробки чорних металів. Доводиться до робочої в'язкості за допомогою ксилолу або сольвенту та їх суміші 1:1 з уайт-спіритом. При її виробництві застосовують наступні пігменти: цинкові білила, залізний сурик, тальк і тетраоксихромат цинку.

ВЛ-02 – фосфатувальна автомобільна ґрунтовка, яка дуже швидко сохне (приблизно 15 хвилин при кімнатній температурі). Пігментну частину становить тетраоксихромат цинку. Ґрунтовка часто застосовується при міжопераційному захисті від електрохімічної корозії металевих деталей впродовж декількох місяців, а також у якості звичайного ґрунтувального шару.

В-МЛ-0143 – пасивувальна водоемульсійна ґрунтовка, що використовується для оброблення поверхонь чорних металів та термін висихання якої становить 30 хвилин при температурі 180 °С. Пігментну частину пасивувальної ґрунтовки становлять: вуглець, мікротальк, хромат стронцію та мікробарит.

Силіконові покриття.

Силіконові покриття – це захисні вологовідбивальні плівки, які формуються у результаті нанесення на поверхню, що захищається, спеціальних складів на основі силіконових еластомерів.

Існує багато видів силіконових покриттів, кожен з яких, завдяки хімічному складу та технології виробництва, характеризується конкретним набором властивостей, які визначають сферу їх застосування. Деякі силіконові покриття використовують для захисту лакофарбового шару автомобілю від механічних пошкоджень, інші склади застосовують для захисту від вологи та попередження корозії металоконструкцій, електротехнічних плат. Захисні силіконові покриття з високими діелектричними властивостями, задіяні в електротехніці.

Характеристики та переваги силіконових покриттів.

Основні переваги:

- висока еластичність (подовження при розтязі може досягати 400 %);

- відсутність у плівках внутрішніх напружень (внаслідок високої еластичності);

- гідрофобність (відмінний захист від впливу вологи);
- широкий інтервал робочих температур (морозостійкість до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, термостійкість до $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$, силіконові покриття зберігають вихідні характеристики після багаторазових переходів через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- діелектричні властивості;
- стійкість до впливу УФ-випромінювання;
- висока паропроникність;
- швидке висихання захисної силіконової плівки;
- висока стійкість до біооброщування;
- добра технологічність (легкість та спідручність нанесення, самовирівнювання силіконового покриття);
- легкість ремонту (навіть у процесі експлуатації).

При нормальній температурі міцність силіконової плівки нижча за міцність органічних еластомерів, однак при підвищенні температури різниця зменшується.

Захисні покриття на основі силікону не горять, якщо не мають безпосереднього контакту з джерелом вогню. Температура займання вище $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, продуктом згоряння є двоокис кремнію (SiO_2) – з'єднання, що є діелектриком і вогнетривом. Вуглець в результаті реакції згоряння не утворюється та не виділяється.

В результаті окиснення при температурах вище $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ радикали метилу поступово відщеплюються, а при температурі більш $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбувається повільне перетворення полімеру в мономер – спостерігається процес деполімеризації. Впродовж 2 діб впливу таких температур, втрати покриття у вазі становлять не більше 3%, тому в подібних умовах захисне силіконове покриття можна ефективно використовувати ще впродовж 2 місяців. Допускається короткочасовий вплив більш високої температури – до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Силіконові покриття, окрім стійкості до багатьох факторів зовнішнього середовища, характеризуються високою стійкістю до впливу озону. Також, як і всі відомі полімери, силіконові фарби піддаються процесу старіння під впливом атмосферних факторів, однак швидкість даного процесу дуже повільна. В хлорованих і ароматичних розчинниках силіконові еластомери набухають, однак, після випаровування розчинника, повертають вихідну форму, при цьому матеріал не піддається старінню. Силіконові покриття попереджують налипання на них різних морських біоорганізмів.

Нанесення та твердіння силіконових покриттів відбувається при кімнатній температурі за рахунок вологи повітря або при підвищених температурах (прискорена полімеризація). Наносять на поверхню силіконові покриття кількома способами: зануренням, поливанням або розпиленням. При виборі способу слід враховувати швидкість висихання складу. Найбільш часто застосовують метод розпилення під дією високого тиску. Занурення доцільно застосовувати при фарбуванні великих партій виробів.

Перед нанесенням силіконового захисного шару обов'язково ретельно знежирити поверхню, очистити від пилу та різного роду забруднень. Від якості підготовки поверхні залежить адгезія силіконового покриття до основи та його довговічність.

Силіконові покриття використовують у якості захисних шарів у військовій, автомобільній, промисловій електроніці та багатьох інших галузях. Склади на основі силіконів широко використовують при консервуванні обладнання або для формування вологозахисного, електроізоляційного шару при тривалому зберіганні. Силіконові покриття широко використовують для захисту трансформаторів, електродвигунів різної потужності, електричних контактів і контактних груп, зовнішніх і статорних оболонок електричних двигунів, електроприводів насосів та іншого устаткування.

Для захисту радіоелектронної апаратури, металевих, дерев'яних, бетонних конструкцій широко використовують силіконові захисні покриття «Силант-11», «Силант-12» і «Силант-21».

«Силант-11» – високоякісний склад на основі рідкої силіконової гуми. Використовується для тривалого захисту вузлів, різних металевих поверхонь від агресивного впливу навколишнього середовища. Відмінно протистоїть високим температурам, вібрації, терморударам, високій вологості, характеризується високими діелектричними властивостями.

«Силант-12» – застосовується для захисту дерев'яних, бетонних і металевих конструкцій від високої вологості, опадів, сонячної радіації, розчину солей та ін. Силіконовий шар забезпечує збільшення строку служби виробів при впливі високих і низьких температур, багаторазових переходів через 0 °С.

«Силант-21» – на відміну від захисних покриттів «Силант-11» та «Силант-12», формує прозорий шар, завдяки чому широко застосовується для захисту від вологи, екстремальних температур і

агресивного впливу навколишнього середовища декоративних елементів (пам'ятники, монументи, огорожі та ін.).

ТЕМА 13. ЛАКОФАРБОВІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ СМОЛ І БІТУМІВ

Природні та штучні бітуми знайшли доволі широке використання у лакофарбовій промисловості. На їх основі виготовляють лаки та емалі, які характеризуються високою водостійкістю, добрими ізоляційними властивостями та широко використовуються для захисту від корозії.

При виробництві лакофарбових матеріалів на основі природних смол і бітумів у якості природної сировини застосовують: похідні каніфолі (цинковий і кальцієвий гумати, ефір гарпіусу, спеціальні нафтові бітуми, природні асфальти, пеки), рослинні олії (тунгове, льняне, соняшникове та ін.), різні розчинники (ксилол, уайт-спірит, сольвент; сикативи, наприклад, марки НФ-1 та ін.). На основі плавленого бурштину виготовляють бурштинові лаки.

На сьогодні випускають більше 40 марок лакофарбових матеріалів, що виготовлені на основі природних смол і бітумів.

Лакофарбові матеріали на основі природних смол. Серед усіх лакофарбових матеріалів, які виготовляють із природних смол, найбільш широке використання отримали ЛФМ на основі ефіру гарпіусу (гліцериновий ефір каніфолі або просто ефір каніфолі). До масляно-каніфольних лаків і емалей на основі ефіру каніфолі належать: емалі КФ-252, КФ-248 та ін., лаки КФ-965, КФ-274, КФ-574, МА-594, МА-592 та ін. Грунтовка КФ-030 і емаль КФ-751 випускаються на основі гуматів каніфолі (наприклад, цинкового).

Лак ЯН-153 випускається на основі природного бурштину і об'єм випуску обмежений. Існують лакофарбові матеріали, що являють собою розчини полімеризованих мастил і олій, які добре сохнуть і не містять у складі смоли, наприклад, емаль МА-952.

Мастильно-каніфольні лаки виготовляють холодним або гарячим способами. Під холодним способом розуміють змішування попередньо підготовлених напівфабрикатів у визначених пропорціях (ефіру гарпіусу або іншої смоли, розчини оксидованого або полімеризованого мастил). Гарячий спосіб передбачає сплавлення при температурі 200...280 °С смоли і мастила. Сплав, який при цьому отримують, деякий час витримують при заданій температурі (доки не буде досягнута визначена в'язкість).

Промислові марки лакофарбових матеріалів на основі природних смол.

Лак КФ-5106 являє собою розчин ефіру гарпіусу та жирних (вищих) кислот тунгової (ойтисикової) олії в органічних розчинниках з додаванням сикативу. Спочатку змішують ефір гарпіусу з розчинами жирних кислот, далі суміш, що утворилася, типизують і центрифугують. З дня виготовлення гарантійний строк зберігання лаку КФ-5106 складає шість місяців. При гарячому сушінні утворюється глянцева поверхня. Лак часто застосовують для покриття білої літографічальної поверхні.

Фарба КФ-513 – це розчин каніфольно-гліфталевої смоли в органічному розчиннику, додатково пігментований індулином. Колір від синього до синьо-фіолетового. Фарба КФ-513 має гарні маркувальні властивості, тому часто застосовується для маркування магнієвих і алюмінієвих сплавів і виробів з них. Строк придатності – 6 місяців з дати виготовлення.

Лак КФ-574 – це розчин суміші оксидованих і полімеризованих мастил (олій), натуральної оліфи, ефіру гарпіусу в уайт-спіриті. Рідина має коричневий колір. Для виготовлення лаку використовують змішувачі, до яких завантажують напівфабрикати: ЛО-300 (розчин оксидованої льняної олії), ЛУ-430 (розчин ущільненої льняної олії), розчин ефіру гарпіусу в уайт-спіриті. Після ретельного перемішування до суміші додають розчинник або сикатив і при температурі не вище 40°C проводять центрифугування. Строк придатності лаку КФ-574 становить 6 місяців. Найчастіше застосовують для ґрунтування виробів.

Лак ЯН-153 (стара назва ЯК-1) являє собою розчин бурштинової павленої смоли, котра модифікована оліями на рослинній основі з додаванням сикативів. За зовнішнім виглядом лак ЯН-153 є темно-коричневою рідиною. Виготовлення лаку проводять у реакторі з підігрівом, де сплавають по одній частині наступних компонентів: полімеризована льняна олія (напівфабрикат ЛУ-12), бурштинова смола (бурштин плавлений), полімеризована тунгова олія (напівфабрикат ТУ-18). Потім отриману суміш розчиняють уайт-спіритом, типизують та очищують. Бурштиновий лак ЯН-153 використовують при виготовленні шліфувального вологостійкого паперу, але основним його призначенням є покриття білої консервної жерсті. Після сушіння при температурі 180°C впродовж 40 хвилин лак

утворює еластичне, міцне, водостійке, стійке до механічних пошкоджень декоративне покриття золотистого кольору (крім того, глянцеве). Лак наносять за допомогою занурення, пензлів, валиками, наливанням або розпиленням. За необхідністю лак розчиняють уайт-спіритом. Строк зберігання - 6 місяців.

Лак КФ-274 (стара назва 331 «Мороз») являє собою розчин ефіру гарпіусу у суміші льняної та тунгової олії з додаванням розчинника та сикативів. Для отримання лаку необхідно змішати: розчин ефіру гарпіусу в уайт-спіриті у співвідношенні 3:2 (напівфабрикат 7673), розчин полімеризованої льняної олії в уайт-спіриті у співвідношенні 2:1 (напівфабрикатний лак ЛУ-430), крім того, додають свіжі льняну та тунгову олії. Отриману суміш очищують, проводять типизацію лаку за вмістом нелетючих речовин, в'язкості, кольором. У лаці КФ-274 повинно міститися не менше 42% олій (мастил). Даний склад наносять на поверхню фарборозпилювачем або пензлем. Застосовують лак КФ-274 для покриття дерев'яних і металевих поверхонь, які попередньо пофарбовані алкідними емаллями (бажано підсушені при підвищених температурах).

Сушити виріб, який покрито лаком КФ-274, слід в спеціальних камерах, де через 25 хвилин на поверхні лаку з'являється малюнок, що ідентифікується з памороззю (звідсіля і стара назва лаку «Мороз»). Якщо малюнок з'явився не повністю, то поверхня залишається глянцевою, у разі, коли повністю – матовою. Покриття не відрізняється високою міцністю, а гарантія лакофарбового матеріалу – 3 місяці.

Лак КФ-965 (раніше 302) – коричнева рідина, до складу якої входять: ефір гарпіусу, сикатив і суміш суцільних рослинних олій, які розчинені в органічному розчиннику. На поверхню, яку захищають, лак КФ-965 наносять за допомогою пензлів, наливанням, зануренням, пневморозпиленням. Покриття, що нанесене на електротехнічну сталь і піддане гарячому сушінню, характеризується підвищеною електричною міцністю, стійкістю до дії мастил і олій, а також високих температур. Строк придатності лаку КФ-965 складає 6 місяців з дня виготовлення. За температури 130°C і вище у трансформаторному мастилі (олії) покриття працює близько 8 років.

Лак МА-592 (раніше 92-а) – це розчин в уайт-спіриті ефіру гарпіусу і суміші полімеризованих тунгової з соняшниковою або

бавовняною оліями з додаванням сикативу. Основою лаку є суміш олій (тунгової 4 частини, 1 частина соняшникової або бавовняної). Лак МА-592, після гарячого сушіння, використовують для захисту від корозії металевих виробів. Строк придатності лаку на основі природних смол становить 6 місяців з дати виготовлення.

Емаль КФ-248 (відома як 2013) – це суспензія в напівфабрикатному алкідному або мастильно-каніфольному лаці цинкових білил з додаванням сикативу та розчинника. Процес виготовлення емалі КФ-248 доволі трудомісткий і проходить у 4 стадії. Спочатку у кульовому млині з цинкових білил виготовляють пасту на напівфабрикатному лаці. Кульовий млин з середини футерований сталлю, кулі, що мелють, також сталеві. Подрібнення відбувається до розміру частинок не більше, ніж 45 мкм, після чого отримана паста фільтрується. Наступним етапом є перемішування у змішувачі напівфабрикатного лаку, уайт-спіриту і білої пасти, що була отримана на попередніх етапах та типізація практично готової емалі. Заключним етапом є очищення емалі та розлив у тару. Після нанесення тривалість висихання емалі становить 4 години при температурі 60...65°C, в результаті отримуємо біле матове покриття. Емаль КФ-248 застосовують для захисту вимірювального обладнання, циферблатів годинників та інших металевих виробів, які попередньо оброблені ґрунтовкою ПФ-020 або іншою. Строк зберігання з дня виготовлення – 6 місяців.

Ґрунтовка КФ-030 випускається у 2-х кольорах: сіро-зеленому та жовтому. Ґрунтовка являє собою суспензію в мастильно-каніфольному напівфабрикатному лаці пігментів. Сіро-зелену ґрунтовку застосовують для ґрунтування сталевих виробів, а жовту – магнієвих і алюмінієвих сплавів, а також сталі. Жовта ґрунтовка виготовляється у декілька етапів. Спочатку речовина цинковий крон перетирається у пасту в спеціальній машині. Потім готується суміш, до складу якої входять: паста, лак, розчинник і сикатив. Отриману суміш перемішують у змішувальній установці, потім типізують та фільтрують. На поверхню ґрунтовку наносять пензлем або фарборозпилювачем, попередньо розвівши сумішню уайт-спіриту та ксилолу у співвідношенні 1:1 або чистим ксилолом. З дня виробництва ґрунтовка придатна до використання впродовж 12 місяців.

Лак МА-594 (стара назва «Мордан») – розчин суміші полімеризованих олій (тунгової та льону), що добре сохнуть, ефіру гарпіусу з додаванням розчинника та сикативу. До гвинтового змішувача завантажують наступні компоненти: розчин в уайт-спіриті ефіру гарпіусу, полімеризовані тунгову (ТУ-18) і льняну (ЛУ-430) олії у співвідношенні мас 1:3, кобальтовий сикатив. Лак МА-594 часто застосовують для приклеювання золотої фольги. Він має підвищену клеювальну здатність, високу еластичність, термостійкість. Після нанесення висихає впродовж 2 діб; строк придатності – 6 місяців.

Емаль КФ-252 сіра (відома як антикислотна фарба № 1) являє собою суспензію в мастильно-каніфольному лаці пігментів. Готують емаль дотримуючись наступних схем:

1) На кульових млинах. Спочатку до змішувальної машини засипають технічний вуглець, лак № 358, літопон і ретельно перемішують впродовж години, доки не отримують однорідну суміш. Далі отриману суміш завантажують до кульового млина (футеровка – сталь і для охолодження водяна сорочка) та ще раз перетирають до значень, що не перевершують 30 мкм. Отриману масу перевантажують до змішувача, де вже є напівфабрикатний лак № 358, включають його і поступово додають пігментну пасту. Готову емаль типізують за кольором, в'язкістю, ступенем висихання, додають сикатив та уайт-спірит.

2) Змішування 2-х паст з наступною типізацією. У змішувальних та фарбоперетиральних машинах приготівляють чорну (на основі технічного вуглецю) та білу (на основі літопону) пасти з напівфабрикатним лаком № 308. Потім завантажують їх до змішувача та вводять сикатив, лак і розчинник. Отриману суміш ретельно перемішують і типізують за в'язкістю, кольором і ступенем висихання. Використовують емаль КФ-252 для покриття різного обладнання та виробів з деревини і металу, які експлуатуються у приміщеннях. Строк придатності емалі КФ-252 – 6 місяців.

Фарба МА-514 являє собою суспензію, що складається з мастила, лаку та пігментів. Фарбу МА-514 виготовляють без розчинників органічного походження. Фарби випускають у вигляді однорідних мас білого, синього, чорного, помаранчевого та інших кольорів. Фарби відрізняються дуже гарними друкарськими властивостями, тому застосовуються для маркування резисторів, конденсаторів та інших виробів у електротехніці. Висушування

відбитків відбувається впродовж 1,5 години при температурі 135...150 °С. Нанесений відбиток даної фарби стійкий в умовах тропіків. Строк придатності – 4 місяці.

Емаль КФ-751 – консерваційний лакофарбовий матеріал. До складу даної безолійної емалі входять токсичні речовини (наприклад, закис міді), пігменти, пластифікатори, які утворюють суспензію в розчині препаративної каніфолі. Спочатку в кульовому млині диспергують токсичні речовини та сухі цинкові білила у безолійному плівкоутворювачі (розчин у сольвенті цинкового гумату каніфолі). До отриманої суміші додають дибутилфталат і типизують. Далі емаль фільтрують і розливають до тари. Після висихання (при кімнатній температурі) впродовж 16 годин утворюється червоне глянцево покриття. Емаль КФ-751 широко використовують на флоті для захисту частин суден, які знаходяться під водою і на ватерлінії, проти біокорозії (обростання водоростями, молюсками та мікроорганізмами). Строк придатності – 1 рік.

Лакофарбові матеріали на основі бітумів

Бітумні лаки – це вид лакофарбових матеріалів, до складу яких входять бітум – тверда речовина, яка має властивість пом'якшуватись і плавиться при дії підвищеної температури. Бітуми розчиняються у розчинниках тільки органічного походження. До лакових бітумів належать: деревинний та кам'яновугільний пеки, природні бітуми (садкинський, гільсонит, сирійський, печорський асфальти та асфальтити), штучні нафтові бітуми. У якості плівкоутворювальних найбільш широке розповсюдження отримали спеціальні нафтові бітуми, які отримують шляхом перегону ухтинської нафти.

За хімічним складом всі бітумні лаки поділяють на мастильні (олійні) та безмастильні (безолійні). У свою чергу безмастильні лаки поділяються на бітумно-смоляні та бітумні. Бітумно-смоляні лаки – це розчини суміші смоли (каніфолі) та бітуму в органічному розчиннику. До складу бітумних лаків входить тільки розчинник і бітум. Мастильні лаки поділяються на мастильно-бітумно-смоляні (часто використовується каніфольна або гліфталева смола) та мастильно-бітумні. Кам'яновугільні лаки - це розчини в органічних розчинниках кам'яновугільного пеку та інших бітумів.

Бітумні емалі – це пігментовані бітумні лаки, тобто суспензії алюмінієвої пудри, а також пігментів (лазурі заліза, технічного вуглецю) в мастильно-бітумних лаках. Бітумні лаки, де у якості

пігменту використовують алюмінієву пудру, випускають під назвою «фарба», а не емаль. За властивостями бітумні емалі дуже схожі на бітумні лаки, але мають кращу покривну здатність. Вони відрізняються високими протикорозійними та діелектричними властивостями. Існують покривні та електроізоляційні бітумні емалі. Покривні бітумні емалі застосовують для фарбування дерев'яних поверхонь, для захисту від корозії деталей автомобілів та інших металевих поверхонь, які експлуатуються як усередині приміщень, так і відкритих атмосферних умовах. Електроізоляційні бітумні емалі знайшли широке розповсюдження в електротехнічній промисловості.

Промислові марки лакофарбових матеріалів на основі бітумів:

Лак БТ-566 – покривний безолійний бітумний лак чорного кольору. До складу входить рубракс і нафтовий бітум у співвідношенні 1:3, органічні розчинники (уайт-спірит, ксилол у пропорції 2,5:1). Спочатку в реакторі розплавляють при температурі 240 °С рубракс і нафтовий бітум. Коли суміш становиться однорідною її охолоджують до 170°С та додають уайт-спірит, потім доводять температуру до 130 °С і заливають ксилолом. Всі складові ретельно перемішують впродовж години. В умовах виробництва лак БТ-566 наносять на поверхню наливанням або зануренням. Покриття являє собою глянцева однорідну плівку. Основне призначення лаку БТ-566 – протикорозійний захист металевих виробів. Строк придатності бітумного лаку – 12 місяців.

Лак БТ-95 (раніше відомий як 441) – це мастильно-бітумний з клеючими властивостями електроізоляційний лак. До складу лаку входять органічні розчинники, рослинні олії та бітуми. Виготовляють даний лак у дві стадії. Спочатку готують основу для лаку шляхом уварювання у спеціальному реакторі нафтового бітуму, а потім його змішують з тунговою або льняною оліями (у співвідношенні 1:1).

Лак БТ-99 – це розчин спеціальних нафтових бітумів з рослинними оліями в органічних розчинниках з додаванням сикативу. Лак призначений для сушіння на повітрі та відносяться до покривних мастильно-бітумних. Виготовляють лак холодним способом: змішують спеціальний бітум з 50 %-м розчином ойтисикової або тунгової олії в уайт-спіриті, сикативом (НФ-1, не більш 8%) та сольвентом. Лак розріджують сольвентом, ксилолом або сумішшю в уайт-спіриті (1:1). Після висихання лак БТ-99 утворює однорідну

чорну плівку. Застосовують його для покриття обмоток електричних апаратів і установок. Гарантований строк зберігання – 1 рік з дня виготовлення.

Бітумні лаки БТ-987, БТ-988, БТ-980 являють собою просочувальні електроізоляційні матеріали. До їх складу входять розчини нафтових бітумів (або їх суміші з рослинними оліями та асфальтитами) у розчинниках органічного призначення, сикативи. Після висихання поверхня являє однорідну глянцеvu плівку чорного кольору. Відмінності між лаками: тривалість висихання та ступінь жирності основи лаку. БТ-980 відрізняється найбільш жирною основою і тривалим строком висихання (при температурі 150 °С – 12 годин). Лаком середньої жирності є склад БТ-987 (при температурі 150 °С строк висихання 8 годин). Найбільшу швидкість висихання (приблизно 3 години) має лак БТ-988. Бітумні лаки БТ-987, БТ-988, БТ-980 застосовують для просочування обмоток електроустановок. До робочої в'язкості даний лакофарбовий матеріал доводять сольвентом, толуолом, ксилолом або сумішшю любого з цих розчинників в уайт-спіриті (у співвідношенні 1:1). Строк придатності – 6 місяців.

Лак БТ-569 – це розчин природного асфальтиту або нафтового бітуму (їх суміші) в рослинних оліях і розчинниках з додаванням ефіру гарпіусу та сикативів. Лак має чорний колір. При виготовленні льняну олію сплавляють (стоплюють) з бітумом. Отриманий напівфабрикат змішують з окисненою льняною олією, розчином ефіру гарпіусу та уайт-спіритом. Готовий лак БТ-569 типізують, очищують і розливають до тари. Найчастіше лак наноситься на емаль та служить кінцевим оздобленням для деталей двигунів. Строк придатності – 1 рік з дня виробництва.

Лак БТ-5100 (раніше відомий як 67) є безолійним лаком, що швидко висихає. Після твердіння утворює міцну глянцеvu плівку чорного кольору. В змішувачі розчиняють спеціальний нафтовий бітум в органічних розчинниках (ксилол з бензином БР-1 або сольвентом). На поверхні лак наносять розпиленням, зануренням або наливанням. Лак БТ-5100 застосовують для створення захисних шарів на внутрішніх поверхнях деталей. При кімнатній температурі тривалість висихання лаку становить 2 години, а при 60 °С – 30 хвилин. Строк придатності – 1 рік.

Лак БТ-577 використовують при виготовленні алюмінієвої фарби БТ-177 та нетривалого консерваційного захисту при зберіганні та перевезенні. На металеву поверхню лак БТ-577 наносять зануренням, пензлем або розпиленням. До складу лаку входять: нафтовий бітум (або його суміш з асфальтитом у співвідношенні 4:1), органічні розчинники (суміш уайт-спіриту та сольвенту 1:2), близько 5 % льняної олії препарованої, сикативи. Спочатку в реакторі зі змішувачем і повітряним продуванням виготовляють лакову основу, яку потім розріджують у змішувачі до визначеної в'язкості, типізують, очищують у центрифугі та розливають до тари. Строк придатності бітумного лаку БТ-577 – 6 місяців.

Лак БТ-1501 (раніше 68) – це безолійний бітумний лак. В якості основи використовують розчин нафтового бітуму в розчинниках органічного походження. До змішувача завантажують суміш ксилолу або толуолу з уайт-спіритом, а потім – спеціальний нафтовий бітум. Після того, як бітум повністю розчинився при температурі 75...85 °С лак піддають типізації. Надалі отриманий бітумний лак відстоюють, очищують і розливають до тари. Лак БТ-1501 наносять на металеві поверхні. Він достатньо швидко твердіє на повітрі. Строк придатності – 6 місяців.

Емаль БТ-180 являє собою суспензію в мастильно-бітумно-смолянному напівфабрикатному лаці №125 технічного вуглецю. Після висихання емалі утворюється чорна напівглянцева плівка. Процес виготовлення емалі БТ-180 включає декілька стадій. Спочатку нафтовий технічний вуглець перетирають у спеціальній машині до отримання однорідної пасти. Далі – до змішувача завантажують лак, пасту та сикатив і ретельно перемішують. Наступні етапи – типізація емалі, очищення та розливання до тари. Найчастіше емаль на поверхню наносять зануренням або наливанням. Застосовують для захисту від атмосферної корозії деяких деталей автомобілів, шасі та інших металевих виробів. Бітумна емаль БТ-180 має добру стійкість до перепаду температур (від -40 до +60°С) та характеризується підвищеною атмосферостійкістю. На фосфатованій поверхні бітумне емалево покриття, в умовах помірного клімату, зберігає свої властивості протягом 2 років. Строк придатності – 6 місяців з дня виготовлення.

Емаль БТ – 538 являє собою суспензію в мастильно-бітумному лаці технічного вуглецю з додатковим введенням сикативу. Першою

стадією приготування емалі є перетирання технічного вуглецю і мастильного зв'язуючого. Далі мастильний лак №125 змішують у спеціальному змішувачі з отриманою пастою, додають до лакофарбової системи сикативи та проводять типізацію. Кінцевий процес – очищення від можливих домішок і розливання до тари. Емалеве покриття, що отримане за допомогою методу гарячого сушіння, відрізняється високою стійкістю до перепаду температур (від -60 до +100°C). Також емаль БТ-538 стійка до впливу мінеральних мастил, бензину, води та відрізняється термостійкістю. Застосовують бітумну емаль для фарбування сталевих виробів, просочування алюмінієвого та магнієвого лиття. Строк придатності – 6 місяців.

Фарба БТ-177 – бітумний лакофарбовий матеріал, який виготовляють на основі лаку БТ-577 та алюмінієвої пудри. Готують фарбу безпосередньо перед нанесенням на поверхню. У 80...85 % лаку (напівфабрикат БТ-577) розводять 15...20 % алюмінієвої пудри (напівфабрикат ПАП-2) та ретельно перемішують. Фарба БТ-177 широко застосовується для фарбування металевих поверхонь, що експлуатуються на відкритому повітрі. На поверхню наносять методом розпилення за допомогою фарборозпилювача в один-два шари. Отримане покриття зберігає захисні властивості в умовах помірного клімату впродовж 2...3 років (мінімум).

ТЕМА 14. МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ПОКРИТТІВ НА ПРЕПАРАТАХ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (ПІГУЛКИ, КАПСУЛИ)

Покриття пігулок оболонками має багатостороннє значення та переслідує наступне:

- захист пігулок від екстремальних факторів зовнішнього середовища (удари, тертя та ін.);
- захист від впливу навколишнього середовища (вологи, атмосфери, світла, променів);
- маскування неприємних смаку та запаху лікарських речовин, що містять пігулки;
- захист від здатності лікарських речовин, що містять пігулки, до фарбування (наприклад, активоване вугілля);
- захист лікарських речовин від кислотної реакції соку зі шлунку;
- захист порожнини рота, стравоходу та шлунку від подразнювальної дії лікарських речовин;
- локалізація терапевтичної дії лікарських речовин у визначеному відділі шлунково-кишкового тракту;
- попередження процесів порушення травлення у шлунку, які можливі при нейтралізації соку зі шлунку лікарськими речовинами основного характеру;
- лонгація терапевтичної дії лікарських речовин у пігулках;
- переборювання несумісності різних речовин, що знаходяться в одній пігулці шляхом введення їх до складу оболонки та окремо ядра;
- покращення товарного вигляду пігулок і зручності їх застосування.

При покритті пігулок оболонками використовують різні допоміжні речовини, що умовно поділяють на наступні групи:

- адгезиви, котрі забезпечують прилипання матеріалів покриття до ядра та один до одного (цукровий сироп та ін.);
- структурні речовини, які створюють каркаси (цукор, оксиди магнію та кальцію, тальк, основний карбонат магнію);
- пластифікатори, які надають покриттям вологостійкість (аеросил, шелак, поліакрилові смоли, зеїн);

- барвники – це речовини, що поліпшують зовнішній вигляд або позначають терапевтичну групу речовин (тропеолін ОО, тартазін, кислотний червоний 2С, індігокарлін та ін.);

- коригенти, які надають покриттю приємного смаку (цукор, лимонна кислота, какао, ванілін).

Застосовують більш 50 найменувань плівкоутворювальних речовин. Покриття пігулок залежно від їх складу та способу нанесення поділяють на наступні групи:

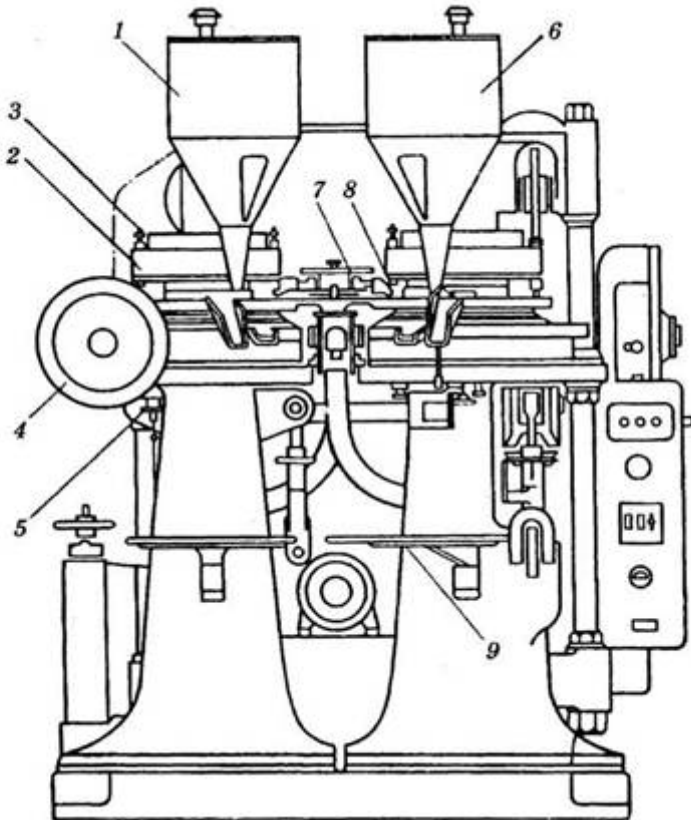
1. Пресовані (або «сухі») покриття.
2. Плівкові покриття.
3. Дращировані покриття (з нанесеною оболонкою із цукру).

Пресовані покриття. Нанесення оболонок пресуванням («сухі» покриття) проводять за допомогою машин для виробництва пігулок типу «Драйкота» англійської фірми «Манесті» або вітчизняної РТМ – 24Д. Машина являє собою агрегат, що складається з 2-х роторів (рис. 14.1).

На першому роторі пресують ядра випуклої з обох боків форми, які за допомогою спеціального транспортувального пристрою передаються на другий ротор, де відбувається нанесення покриття. Схема нанесення покриття виглядає наступним чином. Спочатку відбувається заповнення гнізда матриці порцією грануляту, що формує оболонку пігулки. Після фіксації пігулки по центру гнізда матриці зверху додають другу порцію грануляту. Після подачі цієї порції відбувається заключне формування покриття шляхом пресування, яке відбувається одночасно верхнім і нижнім пуансонами. На заключній стадії відбувається виштовхування пігулки з оформленою оболонкою. Продуктивність машини 10500 пігулок на годину.

До недоліків цього методу відносяться:

- значні витрати матеріалу для покриття;
- збільшення маси та розмірів пігулок;
- нерівномірність оболонки за товщиною;
- порушення центрування ядра;
- значна пористість покриттів, що призводить до збільшення об'єму у разі поглинання води із повітря (набрякання);
- можливість утворення тріщин у пресованій оболонці та її відшарування;
- складність перероблення продукції, що не відповідає вимогам.



1 – бункер з гранулятом; 2- ротор; 3 – пуансон; 4 – ролик;
 5 – регулювальний гвинт; 6 – бункер з масою для оболонок;
 7-8 – передавачі; 9 – ємність для готових пігулок.

Рисунок 14.1. – Машина для виробництва пігулок «Драйкота»

Головною перевагою даного методу є виключення із технологічного процесу розчинників. У зв'язку з цим пресовані покриття раціональні для гігроскопічних пігулок і чутливих до дії вологи речовин (антибіотики).

З метою пролонгації ефекту діючої речовини її додають до складу не тільки ядра, а і у покриття. Покриття швидко руйнується у

шлунку (початкова доза), а ядро пігулки поступово розчиняється, що підтримує визначену постійну концентрацію речовини в організмі. Цей метод дозволяє долати несумісність різних речовин, що містять одна пігулка, за рахунок їх введення до складу оболонки та ядра.

Плівкові покриття. Плівковим покриттям називається тонка оболонка (~0,05...0,2 мм), що утворюється на пігулках після висихання нанесеного на її поверхню розчину плівкоутворювальної речовини. Вони мають наступні *переваги*:

1. Можливість вибіркової розчинності пігулок у шлунку або кишечнику.

2. Регулювання швидкості адсорбції лікарських речовин.

3. Можливість сумісництва в одній лікарській формі несумісних лікарських речовин.

4. Збереження фізичних, хімічних та механічних властивостей ядер пігулок при нанесенні плівкових покриттів.

5. Збереження вихідних геометричних параметрів пігулок, їх форми, маркування, фірмових позначень.

6. Зменшення маси та об'єму плівкового покриття у порівнянні з дражувальним.

7. Можливість автоматизації процесу покриття, інтенсифікації виробництва та скорочення виробничих площ.

Залежно від розчинності, плівкові покриття поділяють на наступні групи:

а) водорозчинні покриття;

б) покриття, що розчиняються у шлунку;

в) покриття, які розчиняються у кишечнику;

г) нерозчинні покриття.

Водорозчинні покриття і покриття, що розчиняються у шлунку. Водорозчинні покриття покращують зовнішній вигляд пігулок, корегують їх смак і запах, захищають від механічних пошкоджень. Покриття, що розчиняються у шлунку, попереджують вплив на пігулки вологи повітря; вони руйнуються в організмі впродовж 10...30 хвилин.

Для отримання водорозчинних покриттів поліетиленоксид і полівінілпіролідон наносять на пігулки у вигляді 20...30% розчинів у 50...90% етиловому або ізопропіловому спиртах, метилцелюлозу та натрієву сіль карбоксиметилцелюлози – у вигляді 4...7% водних розчинів.

Покриття, що розчиняються у шлунку, складаються із: бензиламіно- та діетиламінобензилцелюлози, П-амінобензо-атомів, сахарози, глюкози, фруктози, маніту, вінілпіридону, зеїну та желатину.

Покриття, що розчиняються у кишечнику. Дані покриття захищають лікарську речовину, що міститься у пігулці, від дії кислої реакції шлункового соку, захищають слизову оболонку шлунку від подразнювальної дії деяких ліків, локалізують лікарську речовину у кишечнику та лонгують її дію. Ці покриття мають кращий вологозахисний ефект, ніж у розглянутих раніше. Процес розчинення оболонок в організмі обумовлений впливом на них комплексу ферментів і різних речовин, які містить кишковий сік.

Для отримання покриттів у якості плівкоутворювальних застосовують високомолекулярні з'єднання з властивостями поліелектролітів з великою кількістю карбоксильних груп. Вони дисоціюють у нейтральному або лужному середовищі з утворенням нерозчинних солей. Використовуються природні речовини: шепак, карнаузький віск, казеїн, кератин, парафін, церезин, спермацет, цетиловий спирт, а також синтетичні продукти, стеаринову кислоту у поєднанні з жирами та жовчними кислотами, бутилстеарат, фталати декстрину, моносукцинати ацетилцелюлози, метилфталілцелюлози.

Найчастіше для отримання таких покриттів використовують ацетилфталілцелюлозу як речовину, що найбільш стійка до дії шлункового соку. Перераховані плівкоутворювальні речовини наносять на пігулки у вигляді розчинів в етиловому, ізопропіловому спиртах, ацетоні або у суміші наведених розчинників. Для отримання кольорових оболонок до розчинників додають пігменти та фарбники. Такі покриття витримують дію шлункового соку впродовж 2...4 годин, а іноді і більше, що дозволяє таким пігулкам у незмінному вигляді пройти скрізь шлунок; у кишковому соку вони руйнуються впродовж 1 години, що забезпечує визволення лікарської речовини в кишечнику.

Нерозчинні покриття. Основне призначення покриттів даного типу – захист пігулки від механічного пошкодження та від впливу вологи із атмосфери, попередження неприємного запаху та смаку лікарської речовини, лонгація її дії. До них відносять: етилцелюлозу, монолазурат поліетилен сорбіту, поверхнево-активні речовини та ін. Механізм визволення лікарської речовини із пігулок з нерозчинними

оболонками полягає в наступному. Після потрапляння пігулки до шлунково-кишкового тракту соки, що травлять їжу, потрапляють до неї крізь мікропори оболонки та визивають розчинення вмісту пігулки або її набрякання. У першому випадку розчинені речовини дифундують крізь плівку у зовнішньому напрямі – у сторону шлунково-кишкового тракту під дією різниці концентрацій, у другому – відбувається розрив оболонки за рахунок збільшення об'єму пігулки, після чого лікарська речовина визволяється.

Вимоги до плівкоутворювальних речовин:

1. Повна безпека та нешкідливість для організму.
2. Добра розчинність у широко розповсюджених органічних розчинниках.
3. Добрі плівкоутворювальні властивості.
4. Хімічна індиферентність.
5. Стійкість до тривалого зберігання (збереження міцності, еластичності та розчинності).
6. Доступність.

Способи нанесення плівкових покриттів.

Існують 3 способи нанесення плівкових покриттів на пігулки:

1. Занурення у розчин плівкоутворювальної речовини.
2. Нашарування в дражеутворювальному котлі.
3. Отримання покриття у зваженому шарі.

Перший спосіб базується на зануренні пігулок по черзі кожною стороною у покривний розчин. Пігулки фіксуються за допомогою вакууму на металевому перфорованому листі спеціальної машини, продуктивність якої становить 5...8 тисяч пігулок на годину. Машини цього типу випускаються фірмою «Артур Колтон». Цей спосіб достатньо складний та застосовується тільки при нанесенні на пігулки в'язких, але не занадто клейких розчинів. У теперішній час у зв'язку з недостатньо високою продуктивністю він використовується рідко.

Найбільш широко використовується спосіб нанесення плівкових покриттів у дражирувальному котлі. Цей спосіб недорогий, може бути застосований для розчинів практично любой в'язкості, має високу продуктивність. Для нанесення покриття пігулки, які мають випуклу форму з обох сторін, завантажують до дражирувального котлу, який в період роботи обертається зі швидкістю 20...25 об/хв. Перед початком процесу з поверхні пігулок потужним повітряним струменем видаляють пил. Покривний розчин подають до котлу за допомогою

періодичного розбризкування крізь форсунки. Для сушіння оболонки пігулки обдувають у котлі повітряним струменем.

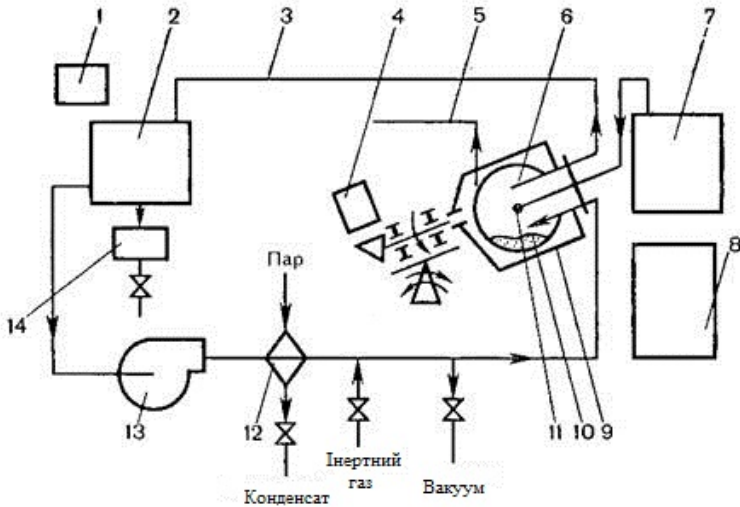
При нанесенні покриття у взваженому шарі визначену кількість пігулок подають до робочої камери, включають вентилятор (компресор) і під дією повітряного потоку об'єм пігулок переводиться до псевдорідинного стану. Безпосередньо після цього з визначеною швидкістю до камери подають покривний розчин. Швидкість подання розчину визначається його в'язкістю, швидкість руху повітря в апараті – розміром камери та кількістю пігулок. Тривалість процесу нанесення покриттів залежить від необхідної товщини оболонки та складає від 15 до 45 хвилин. Після закінчення пульверизації розчину швидкість руху повітря збільшують, що сприяє більш ефективному утворенню плівкової оболонки та значно скорочує процес сушіння покриття у порівнянні з іншими способами. Плівкове покриття незначно збільшує вагу пігулок. Завдяки використанню органічних розчинників з малим часом сушіння тривалість процесу нанесення, формування та сушіння плівкового покриття не перевищує 2...4 годин. За цією технологічною схемою плівкові покриття можна наносити не тільки на пігулки, а також на гранули та частинки порошкоподібного матеріалу.

Основним *недоліком* нанесення плівкових покриттів у промислових масштабах є значне підвищення концентрації отруйних та вогнебезпечних органічних розчинників у приміщеннях цехів, що потребує прийняття відповідних заходів протипожежної безпеки, встановленні потужної вентиляції та захисту органів дихання робітників, які знаходяться у цих приміщеннях.

Для нанесення плівкових покриттів на основі органічних розчинників використовують установки УПП-25 та УЗЦ-25 (рис.14.2)

Установка замкнутого циклу УЗЦ-25 здатна вловлювати випаровування розчинників, регенерувати їх і знову повертати у виробництво. На цій установці виготовляють пігулки ПАСК-На (натрієва сіль парааміносаліцилової кислоти) з плівковим кишковорозчинним покриттям.

Установка працює наступним чином. До дражировального котлу 6, який обертається від приводу 4, завантажують пігулки, на які слід наносити покриття. Система ізолюється. В блоці 7, що має два апарата зі змішувальним пристроєм, готується покривний розчин. Система



1 – водоохолоджувальна установка; 2 – конденсатор розчинника; 3 – система трубопроводів; 4 – привід дражирувального котлу; 5 – пристрій місцевого відсмоктування; 6 – дражирувальний котел; 7 – блок приготування покривного розчину; 8 – пульт управління; 9 – кожух дражирувального котлу; 10 – пігулки, що покриваються оболонкою; 11 – розпилювач; 12 – калорифер; 13 – вентилятор; 14 – збірник для розчинника

Рисунок 14.2 – Принципова схема установки для покриття пігулок типу УЗЦ-25.

трубопроводів 3 заповнюється азотом. На пульті керування 8 задаються параметри ведення процесу – температура повітря для сушіння; час розпилення розчину; витрати розчину. Вентилятором 13 азот подається до калориферу 12, де нагрівається до заданої температури, потім, при потраплянні до котлу 6, зволожує пігулки 10 покривним розчином за допомогою розпилювача 11. Азот з парами розчинника поступає до конденсатора у збірнику 14. За необхідністю до конденсатора підключають водоохолоджувальний пристрій 1. Азот, що пройшов висушування, знову потрапляє до вентилятора. Цей цикл повторюється багаторазово до повного покриття пігулок. По закінченню процесу нанесення покриття відбувається розгерметизація

кожуху дражировального котлу 9, для чого попередньо із системи за допомогою вакууму видаляють азот з парами розчинника. Котел відкривають і залишок парогазової суміші видаляється із нього відсмоктувачем 5. Пігулки з покриттям вивантажують шляхом перехилу котла.

Дражировані покриття. Дражироване (від французького *dragee* – нанесення цукрової оболонки) покриття – це найбільш старий тип оболонок пігулок, який застосовують з початку ХХ століття. Основним призначенням цих оболонок є захист пігулок від зовнішнього впливу, маскування неприємного смаку та запаху лікарської речовини, покращення зовнішнього вигляду пігулок. Іноді до складу оболонок додають речовини, що захищають пігулку від впливу шлункового соку.

Створення оболонок відбувається у обдукторах, які бувають трьох форм: кулеподібної, еліпсоїдної та грушоподібної. Найбільш розповсюджена еліпсоїдна форма, переваги якої складаються з можливості більшої завантаженості пігулками та створенні більшого тиску на них. Крім того, у котлах цього типу створюються оптимальні обертові рухи пігулок, які прискорюють і покращують умови нанесення оболонок. Форма котлу, ступінь його завантаження, швидкість обертання, нахил до горизонту, а також площа поверхні пігулок значною мірою впливають на якість покриття. Оптимальна швидкість котлу – 18...20 об/хв., кут нахилу до горизонту – 30...45°, оптимальне завантаження – 25...30 % від об'єму.

Дражирована пігулка складається з ядра, яке містить лікарську речовину, і покриття, що містить комплекс допоміжних речовин. Ядро повинно бути міцним. Це обумовлено тим, що на пігулку при нанесенні покриття діють чотири фактори:

1. Сумарна маса пігулок, що залежить від завантаження котлу (зі збільшенням завантаження та швидкості обертання котлу підвищується можливість руйнування пігулок);

2. Вільне падіння пігулок з верхньої точки котла, який обертається, на нижню (ця сила прямопропорційна масі пігулок і висоті, з якої вони падають);

3. Кінетична енергія пігулок, які обертаються разом з котлом (пігулка не тільки вільно падає, а ще створюється обертовий момент, сила якого залежить від маси пігулки та швидкості обертання котлу);

4. Руйнівний ефект рідин, які використовують у процесі дражування.

Пігулки, що піддають дражуванню, не повинні мати пласку форму, з метою запобігання їх можливого злипання. Для дражування рекомендуються два типи пігулок:

1. З середнім овалом поверхні, глибина викривлення становить ~15 % діаметру, висота по центру ~ 25...30 % діаметру ($R= 0,75d$).

2. Зі стандартним викривленням поверхні (малий овал), глибина викривлення становить 10 % діаметру, висота по центру перевищує 25 % діаметру пігулки ($R= 1,1d$).

Стадії технологічного процесу дражування:

1. Обволікання або ґрунтування.
2. Нашаровування або накатування.
3. Вигладжування або полірування.
4. Глянцювання.

Обволікання або ґрунтування складається з того, що пігулки, які рухаються у дражувальному котлі, зволожують цукровим сиропом 64...70 % концентрації та притрушуються пшеничним борошном або сумішшю борошна з карбонатом магнію основним. Після притрушування пігулки обертаються 25...30 хвилин, після чого їх сушать теплим повітрям (40...50 °С) впродовж наступних 30...40 хвилин. Операції зволоження пігулок, притрушування, вільного обертання та сушіння повторюють 2...3 рази.

За стадією обволікання проводять найважливішу стадію усього технологічного циклу дражування – нашаровування або накатування. При цьому застосовують тісто з цукру та борошна для нашаровування.

За стадією нашаровування йде стадія вигладжування або полірування, яку проводять за допомогою цукрового сиропу з додаванням невеликої кількості желатину (до 1 %) і фарбувальних пігментів. На цій стадії відбувається видалення нерівностей та зниження шорсткості.

Остання стадія процесу дражування – глянювання, тобто придання пігулкам блиску, гарного товарного вигляду. Цю стадію проводять двома способами.

За першим способом готують глянювальну мастику наступного складу, мас. %:

- вск бджолиний – 45;

- олія вазелінова – 45;
- тальк – 10.

Глянцювальну мастику у кількості 0,05...0,06 % руками наносять на теплі пігулки та надають пігулкам вільне обертання впродовж 30...40 хвилин. Потім пігулки притрушують незначною кількістю тальку з метою прискорення отримання глянцею.

Суть другого способу полягає в тому, що відполіровані пігулки завантажують до спеціального котлу, стінки якого вкриті воском. Після обертання котлу протягом 1,5...2 годин на пігулках отримують глянець.

Дражирування за допомогою цукру та борошна має ряд суттєвих *недоліків*. Дослідження показали, що в процесі зберігання в результаті окислювальних процесів і ензиматичного розщеплення білкових речовин у борошні утворюються вільні органічні кислоти з виділенням газоподібних речовин, що призводить до гіркнення. В результаті цього борошно, що входить до складу покриття, погіршує його фізико-механічні властивості та призводить до розтріскування покриття.

Тісто з цукру та борошна, що застосовують при дражируванні, за консистенцією не гомогенно, тому покриття не має однорідної поверхні. Використання тіста ускладнює можливість механізації та автоматизації процесу, який характеризується значною трудомісткістю та тривалістю.

Суспензійний метод дражирування. Розроблений проф. Пашневим П.Д. (м. Харків). До складу суспензії входять, мас. %:

- цукор – 58,00;
- вода – 24,85;
- полівінілпирролідон – 0,75;
- аеросил – 1,00;
- магнію карбонат основний – 13,40;
- титану двоокис – 2,00.

Сполучення цукру та води являє собою 70% цукровий сироп, який є носієм суспензії. Полівінілпирролідон (ПВП) є високомолекулярним з'єднанням вінілпирролідону. В розчині молекули ПВП з'єднуються одна з одною та утворюють просторову сітку. Молекули цукру, що розчинені у воді, пов'язуються комірками сітчастої структури. У процесі сушіння пігулок вода, що знаходиться в окремих комірках, кристалізується але не має змоги поєднуватись у

агломерати. При цьому утворюються дрібнодисперсні кристали, які характеризуються меншою крихкістю та більшою пластичністю.

Аеросил (аморфний двоокис кремнію) є стабілізуючою речовиною суспензії. Механізм стабілізації полягає в тому, що на поверхні частинок аеросилу є силанолові групи, які за допомогою водневих зв'язків з водою утворюють гель. Гель, що утворився, ставить перепону седиментації взважених частинок. Магнію карбонат основний – наповнювач. Титану діоксид – фарбувальний пігмент.

Стадії суспензійного методу дражирування пігулок:

1. Нанесення на пігулки покриття із суспензії без фарби (пігменту).
2. Нанесення на пігулки покриття із суспензії з фарбувальним пігментом.
3. Глянцювання пігулок.

Суспензійне дражирування пігулок проводять на звичайних дражирувальних котлах, а також на автоматичних лініях фірми «Штенберг» (Німеччина) та «Пеллегріні» (Італія).

Технологічний режим дражирування характеризується наступними етапами. До дражирувального котлу завантажують ядра пігулок у кількості 25...30 % від об'єму, які попередньо були обкатані та з яких видалено пил. Включають привід котлу і на пігулки, що обертаються, подають 2,0...2,5 % суспензії за допомогою розпилення крізь форсунки. Пігулкам дають можливість «розкататися» впродовж 4...5 хвилин. Кут нахилу котлу до горизонту становить 45 °С, швидкість обертання – 20...25 об/хв.. Потім пігулки сушать теплим повітрям 40...45 °С впродовж 3...4 хвилин. Операції подання суспензії, обкатування та сушіння повторюють багаторазово до отримання зазначеної маси пігулок.

Суспензійний метод покриття пігулок дозволив автоматизувати процес, знизити трудовитрати, підвищити продуктивність праці у 3...5 разів. Нова технологія покращила якість покритих пігулок: знизилася їх середня вага, покращився товарний вигляд, підвищилась стабільність покриття (строк придатності препаратів збільшився з 1 року до 4 років); виключено борошно, що призводило до розтріскування покриття.

Література

1. Дубовий О.М. Технологія газотермічного і вакуумно-конденсаційного нанесення покриттів: Підручник / О.М. Дубовий, А.А. Карпеченко, М.М. Бобров. – Миколаїв: видавець Торуба В.В., 2018. – 202 с.
2. Похмурський В.І. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгуник, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Національна академія наук України, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, 2005. – 192 + вклейка 8 с.
3. Дубовий О.М. Технологія напилення покриттів: Підручник / О.М. Дубовий, А.М. Степанчук. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.
4. Корж В.М. Нанесення покриття: Навч. посібник / В.М. Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко; за ред. К.А. Ющенка. – К.: Арістей, 2005. – 204 с.
5. Качан О.Я. Авіаційно-космічні матеріали та технології / О.Я. Качан та інші. – Запоріжжя: вид. ВАТ "Мотор Січ", 2009. – 383 с.
6. Збожна О.М. Основи технології: Навчальний посібник / О.М. Збожна. – Тернопіль: Карт-бланш, 2002. – 486 с.
7. <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/36387/1/Pokryttya-u-pryladobud.pdf>
8. <http://www.univer.kharkov.ua/images/redactor/news/2013-06-21/beresnev.pdf>
9. <http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/528-materialy-dlya-naneseniya-pokrytij>
10. <http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/530-vybor-materialov-dlya-naneseniya-pokrytij>
11. <http://www.informdom.com/metalloobrabotka/2012/3/pvd-pokrytiya-rezhuschih-kromok-instrumenta-vysokie-rezhimy-i-sokraschenie-vremeni-obrabotki.html>
12. <https://metallizator.com.ua/nanesenie-pokrytij>
13. <http://pminstitute.by/produce/materialy>
14. <https://metallizator.com.ua/articles/gazotermicheskie-pokrytiya.html>
15. https://studref.com/486792/tehnika/trebovaniya_materialam_na_neseniya_pokrytij_razlichnogo_funktsionalnogo_naznacheniya