

Адгезія. Ключ до покриттів з високою довговічністю.

Частина 1 — технологія процесу

дата публікації: 2026.09.28



У фарбувальній галузі часто можна почути таке запитання: «Ми використовуємо найдорожчу та найякіснішу фарбу, маємо сучасну фарбувальну лінію передовими технологіями хімічної та механічної обробки, а покриття все одно відшаровується. Чому?».

Відповідь на це питання може бути складною і зумовленою багатьма причинами, що виникають на різних етапах технологічного процесу. Помилки можуть під час підготовки поверхні, нанесення лакофарбового матеріалу, процесу затвердіння чи безпосередньо під час експлуатації виробу. Проте незалежно від першоджерела проблеми, ключовим фактором, що визначає довговічність покриття, залишається адгезія — як між окремими шарами, так і між покриттям і основою.

Що таке адгезія?

Адгезія — це явище виникнення сил зв'язку між контактними поверхнями різних матеріалів. Джерелом цієї взаємодії є міжмолекулярні сили та хімічні зв'язки, що виникають на межі фаз. Мірою міцності адгезійного з'єднання є сила або робота, необхідна для його руйнування. У технології нанесення покриттів адгезія відповідає як за зчеплення покриття з основою, так і за взаємне з'єднання окремих шарів у багатошарових системах.

Неполярні полімери, такі як фторполімери або полісилоксани, характеризуються порівняно слабкою адгезією до металевих поверхонь. Щоб забезпечити належну адгезію таких матеріалів, необхідно використовувати спеціально підібрані адгезійні ґрунти та належним чином

підготувати поверхню. Натомість значно кращі адгезійні властивості мають полімери з полярними функціональними групами (гідроксильними, карбоксильними, амідними чи епоксидними). Ці групи формують міцніші зв'язки з поверхнею основи або окремими шарами, що забезпечує більшу довговічність з'єднання.

Завдяки цьому більшість плівкоутворювальних речовин, що використовуються в лакофарбовій промисловості, таких як алкідні, епоксидні, фенол-формальдегідні або сечовинні смоли, демонструють відмінну адгезію до металевих основ. Саме тому вони часто входять до складу первинних ґрунтів.

Більшість плівко утворювачів мають кращу адгезію до сплавів заліза (особливо до фосфатовано сталі), ніж до кольорових металів (алюмінію, міді тощо). Незважаючи на це, якісна підготовка поверхні будь-яких металів є вирішальною для отримання довговічного покриття. Адгезія полімерів значною мірою залежить від їхньої полярності: чим ближчі поверхневі властивості матеріалів, тим більша сила їхньої взаємодії. У разі недостатньої адгезії під дією механічних навантажень або агресивного довкілля відбувається розшарування на межі «покриття – основа», що призводить до передчасного руйнування захисного шару.

Вплив підготовки поверхні на адгезію покриттів

Навіть найдосконаліша лакофарбова система не забезпечить належну довговічність, якщо поверхню перед фарбуванням підготували неправильно. У промисловості вважається, що більшість проблем, пов'язаних із втратою адгезії, під плівковою корозією чи передчасним руйнуванням покриття виникають саме через помилки на етапі підготовки основи.

Головна мета підготовки — видалити всі забруднення та створити умови, сприятливі для утворення міцних адгезійних зв'язків між основою та лакофарбовим покриттям. Цей процес поєднує механічні та хімічні операції, які доповнюють одна одну.

Знежирення — перший крок до міцної адгезії

Одним із найважливіших етапів підготовки поверхні є видалення будь-яких речовин, що можуть створювати бар'єр між основою та нанесеним покриттям. До найпоширеніших забруднень належать оливи, мастила, жири, виробничий пил, залишки клейких стрічок або маркування крейдою/фарбою.

Під час лазерного різання крайки металу окислюються (за винятком різання в середовищі інертного газу, наприклад, азоту). Ці оксиди перед фарбуванням необхідно обов'язково видалити механічним шляхом (щітками, струминно-абразивною обробкою) або шляхом кислотного травлення. Наявність навіть тонкої масляної плівки суттєво знижує адгезію між основою та верхнім шаром. У результаті покриття не має безпосереднього контакту з основою, а адгезійні сили послаблюються. Наслідком цього можуть бути локальні відшарування, пухирі, кратери або повна втрата адгезії.

Залежно від умов виробництва та завдань використовують такі методи знежирення:

- лужне знежирення;
- кислотне знежирення;
- знежирення розчинниками;
- миття водними розчинами поверхнево-активних речовин (із застосуванням мийок високого тиску);
- ультразвукове очищення.

Ефективність процесу залежить не лише від виду застосованих хімічних препаратів, а й від

правильно підібраної температури, часу впливу та якості подальшого промивання після завершення процесу.



Механічна обробка — формування відповідної структури поверхні

Наступним етапом підготовки поверхні є механічна обробка, головним завданням якої є видалення окалини, продуктів корозії та надання основи відповідної шорсткості, що забезпечує механічне зачеплення лакофарбового покриття.

Однак слід пам'ятати, що ефективність механічної обробки значною мірою залежить від правильної послідовності технологічних процесів. Якщо поверхня забруднена оливами чи мастилами, абразивна обробка (дробоструминна обробка або шліфування) до знежирення призведе до втиснення мастила глибоко в структуру металу. Крім того, забруднюється й сам абразив, який потім переноситиме забруднення на наступні деталі. У результаті навіть правильно виконана механічна обробка не забезпечить належних умов для досягнення високої адгезії покриття. Тому в більшості промислових процесів механічній обробці передують етап ефективного знежирення, завданням якого є видалення речовин, що можуть негативно впливати на якість підготовки поверхні.

Найпоширеніші методи механічної обробки:

- Дробоструминна / піскоструминна обробка. Удари часточок абразиву ефективно видаляють іржу та окалину, збільшуючи площу контакту між металом і покриттям, що сприяє утворенню адгезійних з'єднань. Для металоконструкцій і деталей, що працюють в агресивному середовищі, це базовий етап антикорозійного захисту і основна умова забезпечення його високої довговічності. Для м'якого очищення та створення легкого матового мікрорельєфу без ризику надмірного пошкодження м'яких металів застосовують легку струминно-абразивну обробку (sweep blasting).
- Шліфування. Шліфування використовується при підготовці деталей з алюмінію, сталі, а також поверхонь, призначених для відновлення. Цей процес видаляє старі покриття,

продукти корозії та локальні нерівності. Однак важливо дотримуватися відповідної градації абразивних матеріалів: занадто гладка поверхня не дасть механічного зчеплення, а занадто глибока риска стане джерелом внутрішніх напружень та осередком розвитку корозії.

Хімічна обробка — основа сучасних фарбувальних процесів

Сучасні фарбувальні лінії все частіше використовують багатоетапну хімічну підготовку поверхні. Вона не лише очищає метал, а й створює конверсійний шар, який покращує адгезію та антикорозійний захист.

Найпоширенішими методами хімічної підготовки поверхні перед фарбуванням є фосфатування (для сталі та заліза) та цирконієва й хроматна конверсія/пасивація (для алюмінію та кольорових металів).

1. Фосфатування. Фосфатування — один із найпоширеніших процесів підготовки сталі до фарбування. З його допомогою на поверхні металу формується тонка кристалічна фосфатна плівка. Фосфатування збільшує площу контакту, покращує адгезію, стримує підплівкову корозію та підвищує довговічність усієї захисної системи. Особливо високі результати досягаються у разі цинкового фосфатування, яке застосовується в автомобільній та будівельній промисловості.

2. Хроматування. Хромування тривалий час було стандартом підготовки алюмінію та його сплавів. У результаті хімічних реакцій утворюється тонкий захисний шар, що забезпечує дуже хорошу адгезію фарб та високу корозійну стійкість. Утім, через наявність токсичних сполук шестивалентного хрому ця технологія наразі витісняється через екологічні та санітарні вимоги. Незважаючи на це, вона й досі залишається еталоном для багатьох сучасних конверсійних технологій.

3. Безхроматна пасивація. Зростаючі екологічні вимоги призвели до розвитку сучасних безхроматних технологій на основі сполук цирконію, титану чи кремнію. Вони забезпечують високу антикорозійну стійкість, покращують адгезію, зменшують витрату хімікатів, відповідають екологічним вимогам і стандартам якості. На багатьох сучасних виробничих підприємствах безхроматна пасивація є базовою під час підготовки до порошкового або рідкого фарбування.

Важливо! Усі методи хімічної обробки працюють ефективно лише за суворого дотримання регламенту виробника хімії. Крім того, кожну обробку поверхні слід виконувати на місці (виняток становлять замовлення на гаряче цинкування та нанесення електрофоретичного покриття).

Щоб отримати бажану адгезію, корозійну стійкість або декоративний вигляд, слід суворо дотримуватися вказівок виробника щодо:

- концентрації та pH розчинів;
- температури розчинів (наприклад, за допомогою промислових термометрів або нагрівальних елементів);
- час контакту хімікатів з металом (важливою є відповідна товщина утвореного конверсійного шару);
- якості промивання водою та сушіння;
- ретельного знежирення та очищення деталей перед нанесенням покриттів;
- умов навколишнього середовища (температури та вологості у приміщенні).

Правильна підготовка поверхні є основою довговічної лакофарбової системи, проте на адгезію також впливають спосіб нанесення матеріалу покриття, параметри полімеризації/сушіння, сумісність шарів та умови експлуатації готового виробу.

Чому ж покриття може відшаровуватися, навіть якщо підготовка була виконана правильно? Як знайти причини втрати адгезії та якими методами перевірити її міцність? Про це ми детально розповімо у другій частині нашої статті.

Джерело: