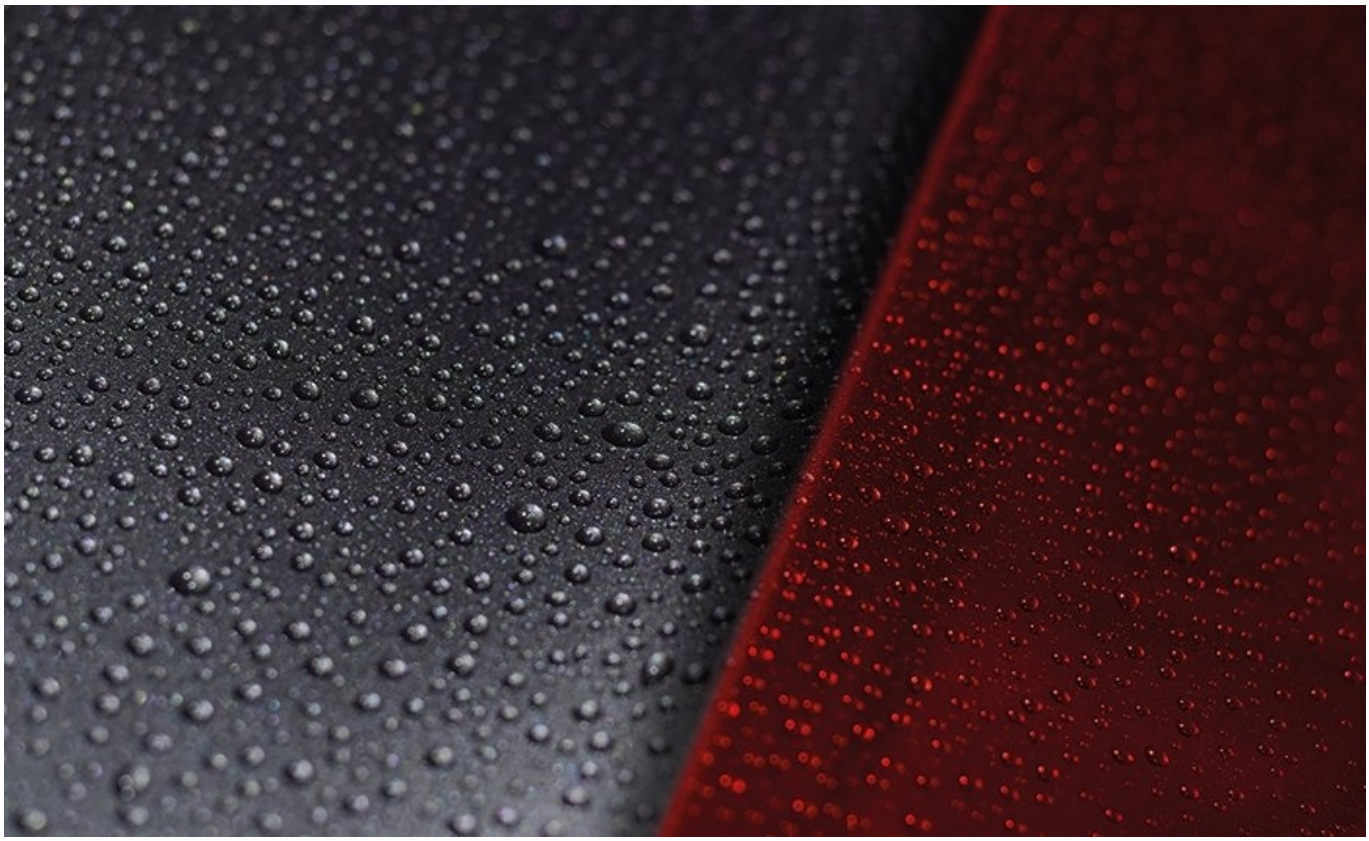
Адгезія. Ключ до покриттів з високою довговічністю. Частина 2. Чому покриття відшаровується - діагностика проблем з адгезією

дата публікації: 2026.11.23



У першій частині ми розглянули, як правильно підготувати поверхню. Тепер зосередимося на ситуаціях, коли, попри виконану підготовку, покриття все одно втрачає зчеплення з основою. У промисловій практиці проблеми з адгезією належать до найпоширеніших причин рекламацій і передчасного руйнування захисних та декоративних покриттів.

Важливо розуміти, що втрата адгезії рідко є наслідком однієї технологічної помилки. Найчастіше вона виникає через накладання кількох несприятливих чинників на різних етапах виробництва. Щоб точно визначити джерело проблеми, необхідно проаналізувати весь технологічний цикл - від підготовки поверхні й нанесення лакофарбового матеріалу до його затвердіння та умов експлуатації готового виробу.

Найпоширеніші причини втрати адгезії

Забруднення поверхні
Однією з головних причин втрати адгезії є різноманітні забруднення на поверхні основи. Навіть невидимі неозброєним оком залишки сторонніх речовин здатні ефективно заблокувати утворення міцного зв'язку між покриттям і матеріалом.

До найпоширеніших забруднень належать:

- технологічні оливи;
- мастила та антикорозійні засоби;
- залишки мастильно-охолоджувальних емульсій;
- виробничий пил;
- солі та мінеральні відкладення;
- відбитки пальців;
- залишки мийних і технологічних засобів.

Забруднення діють як розділювальний шар між основою та покриттям. Через це фарба не має прямого контакту з поверхнею матеріалу, що послаблює адгезійні зв'язки. Наслідком стають локальні відшарування, пухирі, лущення покриття або повна втрата адгезії. Особливу небезпеку становлять іонні забруднення - зокрема хлориди та сульфати. Їхня присутність провокує розвиток підплівкової корозії, навіть якщо спочатку покриття здається надійно закріпленим на основі.

Волога та конденсація водяної пари
Вода - одна з найбільших загроз для довговічності адгезійних з'єднань. Проблема може виникнути як до нанесення покриття, так і безпосередньо під час фарбування. Найбільшу небезпеку становить конденсація водяної пари на поверхні деталі. Це явище виникає тоді, коли температура основи опускається нижче точки роси. За таких умов на поверхні утворюється тонка, часто непомітна плівка вологи, яка критично знижує зчеплення лакофарбового матеріалу.

Можливі наслідки:

- осмотичні пухирі;
- локальні відшарування покриття;
- їпідплівкова корозія;
- погіршення механічних характеристик захисного шару.

Ризик конденсації суттєво зростає в осінньо-зимовий період, а також під час фарбування деталей, які зберігалися в неопалюваних виробничих приміщеннях. Тому в процесі нанесення покриттів необхідно постійно контролювати температуру основи, температуру навколишнього середовища та відносну вологість повітря. На практиці рекомендується, щоб температура поверхні, яка фарбується, була щонайменше на 3 °C вищою за температуру точки роси.

Неправильні параметри затвердіння
Навіть бездоганно нанесене покриття може втратити свої властивості, якщо процес полімеризації відбувається з порушенням рекомендацій виробника лакофарбового матеріалу. Саме полімеризація відповідає за формування просторової структури полімеру, яка визначає як механічну міцність, так і адгезію покриття. Будь-яке відхилення від заданих параметрів негативно позначається на якості адгезії.

Найчастіші помилки на цьому етапі:

- занадто низька температура затвердіння;
- занадто короткий час витримки в печі;
- нерівномірний розподіл температури в печі;
- порушення пропорцій змішування у двокомпонентних матеріалах;
- передчасне охолодження деталей.

Недостатнє затвердіння призводить до зниження механічної міцності, підвищеної вразливості

до вологи та поступової втрати адгезії під час експлуатації. Своєю чергою, перегрівання покриття спричиняє деградацію смоли, крихкість матеріалу та виникнення внутрішніх напружень, що згодом призводять до відшарування.

Несумісність лакофарбових систем
З огляду на постійне зростання матеріалів, що застосовуються в промисловості, критичного значення набуває сумісність окремих елементів лакофарбової системи. Проблеми можуть виникати як між основою і ґрунтом, так і між наступними шарами лакофарбової системи. Далеко не всі смоли, затверджувачі та добавки мають взаємну хімічну сумісність.

Типові причини несумісності:

- використання невідповідного ґрунту для конкретного типу основи;
- поєднання матеріалів із різних технологічних систем;
- нанесення органорозчинних покриттів на недостатньо затверділі водорозчинні шари;
- застосування матеріалів зі значно відмінними механічними властивостями;
- неправильний підбір промоторів адгезії.

Наслідком цього може бути зниження адгезії, розтріскування, зморщування покриття, а в крайніх випадках - повне розшарування системи. Саме тому виробники фарб радять використовувати комплектні, перевірені системи покриттів, усі елементи яких розроблені для спільної роботи в конкретних технологічних умовах.

Як перевірити адгезію?
Якість зчеплення лакофарбового покриття неможливо оцінити виключно візуально. Покриття, яке одразу після нанесення має ідеальний вигляд, може приховувати дефекти, що проявляться лише в процесі експлуатації. Тому в лакофарбовій галузі застосовують цілу низку методів випробувань для оцінки якості зв'язку між покриттям і основою, а також довговічності всієї системи. Залежно від типу виробу, вимог замовника та чинних стандартів використовують як прямі тести на адгезію, так і кліматичні випробування, що імітують прискорене старіння.

Тест решітчастих надрізів (Cross-Cut, ISO 2409)
Один із найпопулярніших методів оцінки адгезії, який виконується відповідно до стандарту ISO 2409. Випробування є простим, швидким і не потребує складного обладнання, завдяки чому його широко застосовують як у лабораторіях, так і для поточного контролю на виробництві.

Суть методу полягає в виконанні на поверхні покриття серії паралельних надрізів, які прорізають шар фарби до самої основи. Потім під прямим кутом роблять другу серію надрізів, утворюючи сітку з маленьких квадратів. На цю ділянку наклеюють спеціальну клейку стрічку, яку через певний час різко відривають. Після цього оцінюють ступінь відшарування покриття в межах сітки.

Результати класифікують за шкалою від 0 до 5:

- **Клас 0** - відшарувань немає, відмінна адгезія;
- **Клас 1** - мінімальні відшарування по краях надрізів;
- **Клас 2** - незначні поверхневі відшарування;
- **Клас 3** - помітні пошкодження покриття;
- **Клас 4** - значні відшарування;
- **Клас 5** - дуже слабка адгезія, значне відшарування покриття.

Цей тест дає змогу оперативно оцінити якість процесу фарбування та виявити помилки,

пов'язані з підготовкою поверхні або неправильним затвердінням.

Тест на відрив Pull-Off (ISO 4624)
Коли потрібна більш точніша оцінка адгезії, застосовують метод відриву Pull-Off згідно зі стандартом ISO 4624. На поверхню покриття приклеюють спеціальний металевий вимірювальний штамп (так званий «грибок»). Після затвердіння клею вимірювальний прилад поступово збільшує силу відриву, спрямовану перпендикулярно до поверхні. Значення сили, необхідної для руйнування з'єднання, зазвичай виражають у мегапаскалях (МПа) - воно є прямим показником адгезійної міцності лакофарбової системи.

Додаткова перевага методу - можливість визначити характер руйнування:

- адгезійне руйнування - відрив покриття безпосередньо від основи;
- міжшарове руйнування - розшарування між окремими шарами системи;
- когезійне руйнування в покритті - розрив самого матеріалу покриття;
- когезійне руйнування в основі - пошкодження матеріалу основи.

Аналіз місця розриву дає цінну інформацію про справжню причину проблем зі зчепленням. Метод Pull-Off активно використовують у будівельних конструкціях, офшорній галузі, енергетиці та всюди, де критично важлива тривала антикорозійна стійкість.

Випробування на стійкість до удару
Адгезія покриття має зберігатися не лише під статичними, а й під динамічними навантаженнями. Тому важливим елементом оцінки якості покриттів є випробування на ударостійкість.

Випробування полягає в контрольованому ударі сферичним тягарцем діаметром 20 мм, який падає в стандартизованих умовах. Процедуру регламентує стандарт ISO 6272-1. Для порошкових покриттів товщиною d≥60 мкм використовують кулю масою 1 кг, що падає з висоти 25 см. Після удару поверхню перевіряють на наявність:

- тріщин;
- сколів;
- відшарувань;
- деформацій покриття.

Тест показує здатність лакофарбової системи витримувати напруження, які виникають під час транспортування, монтажу та експлуатації. Це особливо важливо для деталей, схильних до механічних пошкоджень: сталевих конструкцій, алюмінієвих профілів, промислового обладнання та автомобільних компонентів. Якісне покриття не повинно відшаровуватися навіть у разі локальних деформацій основи.

Стійкість до сольового туману (NSS)
Хоча випробування в камері сольового туману не є безпосереднім тестом на адгезію, воно залишається одним із найважливіших інструментів оцінки стійкості зв'язку між покриттям і основою. Тест проводять згідно зі стандартом ISO 9227: зразки поміщають у спеціальну камеру, де вони тривалий час піддаються впливу сольового туману.

Під час випробування оцінюють:

- появу вогнищ корозії;
- розвиток корозії в місцях надрізів;
- утворення пухирів;

- відшарування захисного покриття;
- втрату адгезії після експозиції.

Для сучасних лакофарбових систем тривалість тесту може становити від кількох сотень до кількох тисяч годин залежно від галузевих вимог. Дедалі частіше, окрім класичної сольової камери, застосовують складніші циклічні випробування, які поєднують вплив вологи (за ISO 6270-2) та стійкість покриття до атмосферних чинників (за ISO 2810). Такі тести точніше відтворюють реальні умови експлуатації.

Адгезія та довговічність кінцевого виробу
Головним завданням більшості лакофарбових покриттів є не лише забезпечення естетичних якостей, а насамперед захист основи від агресивного впливу довкілля. Проблеми, пов'язані з втратою адгезії, належать до найдорожчих дефектів у лакофарбовій індустрії. На відміну від багатьох візуальних вад, адгезійні пошкодження часто проявляються вже після передачі продукції клієнту або через кілька місяців експлуатації.

Це призводить до серйозних витрат і ризиків:

- гарантійні ремонти;
- повторне фарбування деталей;
- повна заміна виробів;
- простої виробництва;
- витрати на логістику та сервісне обслуговування;
- втрата ділової репутації виробника.

У випадку великих сталевих конструкцій, архітектурних фасадів чи відповідальних промислових вузлів вартість усунення дефектів може в рази перевищувати ціну самого процесу фарбування. З економічної точки зору значно вигідніше запобігати проблемам завдяки якісній підготовці поверхні, контролю параметрів процесу та регулярним лабораторним тестам, ніж згодом ліквідовувати наслідки втрати адгезії.

Надійна адгезія - не випадковість. Це результат низки взаємопов'язаних технологічних операцій, які мають виконуватися стабільно й під суворим контролем. Сучасні підприємства дедалі активніше впроваджують системи моніторингу параметрів процесу та регулярний лабораторний контроль для раннього виявлення відхилень. Не менш важливу роль відіграє навчання персоналу: навіть найсучасніша лінія фарбування не гарантує належної якості, якщо процес не буде здійснюватися відповідно до технологічних вимог.

Аналіз причин руйнування покриттів показує, що більшість проблем мають спільний корінь. Саме від якості процесів, спрямованих на підвищення адгезії, залежить ефективність антикорозійного захисту, стійкість до механічних навантажень і тривала надійність виробу. Тому адгезію не варто розглядати лише як один із лабораторних показників - це ключовий чинник якості готового продукту, довговічності захисту та задоволеності кінцевого споживача. Можна впевнено стверджувати, що довговічність будь-якого покриття починається саме з адгезії - невидимого, але критично важливого фундаменту всієї лакофарбової системи.

К. Дашиковська

Джерело: