

Інтегрована система контролю налаштувань в автоматичних лініях порошкового фарбування

дата публікації: 2025.11.20



Або як зменшити втрати та підвищити ефективність процесу порошкового фарбування.

Одним з інноваційних рішень в порошковому фарбуванні є інтегрована система контролю налаштувань фарбувальної лінії. У цій статті ми розповімо про її основні принципи функціонування. Для цього були проаналізовані стандартні лінії порошкового фарбування як автоматизовані системи управління і визначені ключові фактори, що призводять до неефективного використання витратних матеріалів. На цій основі була розроблена структура системи для моніторингу налаштувань обладнання на лінії, яка значно зменшує непродуктивні втрати та підвищує ефективність всього процесу. Запропоноване рішення може бути впроваджене в системах з різним ступенем автоматизації, та успішно інтегроване з системами управління виробництвом вищого рівня.

У процесі виробництва промислових товарів фарбування часто є одним з завершальних технологічних етапів. У випадку невеликих виробів, виготовлених з матеріалів, стійких до високих температур, порошкове фарбування є часто найбільш оптимальним і ефективним рішенням. Ця технологія полягає в нанесенні порошкового лакофарбового матеріалу на поверхню виробу, який потім потрапляє в полімеризаційну піч, де шар фарби піддається процесу полімеризації та затвердіння. Застосування порошкових лакофарбових матеріалів має істотні переваги: вони не вимагають використання розчинників, що виключає ризик пожежі або вибуху, а також забезпечують повторювані і стабільні результати. Цей метод, хоча і має багато переваг, але також пов'язаний з деякими обмеженнями – він вимагає, щоб фарбовані

елементи поміщалися в піч і були виготовлені з матеріалів, стійких до впливу високих температур.

У промисловості фарбування виконує як декоративні функції (наприклад, у випадку металевої побутової техніки), так і захисні та ідентифікаційні, особливо коли йдеться про такі вироби, як технологічне обладнання: радіатори, сталеві конструкції, фурнітура, компоненти систем опалення та водопостачання, захисні огорожі та освітлювальні прилади. Використання ручного фарбування, хоча і можливе, зазвичай призводить до нестабільної якості покриттів і генерує високі витрати, пов'язані як з робочою силою, так і з низькою продуктивністю процесу. В результаті все частіше віддають перевагу використанню автоматизованих ліній фарбування.

Сучасні промислові лінії порошкового фарбування характеризуються високою продуктивністю, що призводить до економічної рентабельності їх експлуатації.

Парадоксально, але саме ця висока продуктивність часто робить використання ліній для фарбування виключно одного, конкретного виду продукції неекономічним, оскільки їхня продуктивність значно перевищує темпи виробництва одного асортименту продукції. У випадку великих промислових підприємств, що виробляють широкий асортимент продукції, економічно виправданим є створення партій однорідних продуктів, які потім фарбуються серійно на даній лінії. Натомість для менших компаній оптимальним рішенням може бути використання послуг спеціалізованих підприємств, що займаються виключно фарбуванням. Необхідність зміни асортименту фарбованих виробів змушує персонал переналаштовувати роботу обладнання та параметри фарбувальної лінії. Якщо ці налаштування виконуються вручну, це часто призводить до значних простоїв, а отже, до значних економічних втрат. Щоб мінімізувати затримки та усунути простої, лінії запускаються з універсальними налаштуваннями, що враховують більшість можливих конфігурацій продуктів. Таке рішення, хоч і усуває простої, але призводить до невиправданого споживання фарби та незначного збільшення ваги продуктів через нанесення більш товстого шару фарби.



Впровадження автоматичної зміни налаштувань під час зміни продукції дозволить зменшити витрату дорогих матеріалів, значно знизити технологічні витрати і поліпшити кінцеву якість покриттів.

Типова лінія для порошкового фарбування складається з декількох ключових зон:

- зона хімічної підготовки та сушіння (підготовка поверхні до фарбування);
- зона фарбування (де відбувається нанесення фарби);
- порошковий центр, система рекуперації надлишку фарби;
- піч полімеризації.

У цій статті основна увага присвячена аналізу процесів, що відбуваються в зоні фарбування.

Вироби переміщуються конвеєром до зони фарбування, де покриваються порошковою фарбою. Пневматичні пістолети-розпилювачі забирають порошок із резервуара з псевдозрідженим шаром, а розпилення здійснюється за допомогою стисненого повітря. На етапі розпилення можна регулювати два ключові параметри: тиск повітря на вході фарби та тиск у точці розпилення. З метою збільшення коефіцієнта переносу, тобто співвідношення порошкової фарби, яка осіла на деталі, до кількості розпиленої фарби, частинкам порошку надається електричний заряд, а фарбований виріб отримує заряд протилежного знаку. Ключовим фактором, що впливає на ефективність цього процесу, є різниця електричних потенціалів між пістолетом і фарбованим виробом.

Фарбувальні пістолети можна встановлювати в горизонтальній, вертикальній або змішаній конфігурації. У горизонтальній конфігурації фарборозпилювачі розташовані в один горизонтальний ряд, який рухається вгору та вниз, рівномірно покриваючи поверхню виробу. Правильне калібрування напрямку зміни руху дозволяє точно покривати як верхній, так і нижній краї виробу. Під час фарбування виріб постійно переміщується на конвеєрі – неправильне регулювання руху пістолетів несе ризик виникнення дефектів, які потребують подальшого ручного виправлення. Параметри руху, такі як швидкість, прискорення та точки розвороту, можуть бути індивідуально налаштовані для досягнення оптимальних результатів.

У вертикальній конфігурації пістолети розташовані вертикально в ряду, і весь ряд рухається вгору та вниз, покриваючи виріб порошковою фарбою, однак амплітуда цього руху менша, ніж у горизонтальній конфігурації. Горизонтальне рішення, незважаючи на забезпечення високої якості покриття та економію фарби, вимагає більш складного обслуговування та сервісу.

Змішана конфігурація базується на двох вертикальних рядах пістолетів, які рухаються синхронно вгору та вниз, забезпечуючи ще кращий результат нанесення.

У всіх описаних конфігураціях пістолети працюють за одним і тим же принципом, а при необхідності деякі з них можуть бути автоматично вимкнені системою управління під час реконфігурації лінії. Важливо, що параметри конфігурації встановлюються на етапі прийняття замовлення і не підлягають зміні під час поточної зміни асортименту.

Не вся розпилена фарба потрапляє на виріб - частина переноситься потоком повітря в систему рекуперації. Теоретично такий матеріал можна використовувати повторно, однак на практиці переробка і підготовка вторинної фарби часто порушують її властивості, що призводить до зниження якості покриття і збільшення витрати матеріалу. Крім того, під час фарбування виробів нерегулярної форми невідповідне налаштування параметрів нанесення призводить до появи непрофарбованих поверхонь, які потім вимагають ручного підфарбовування.

Підсумовуючи, конфігурація фарбувальної лінії, включаючи відстань між пістолетами (як вертикальними, так і горизонтальними) та їх кількість, повинна бути визначена ще на етапі придбання та конфігурації лінії, з урахуванням характеристик продукції.

Під час керування лінією в режимі реального часу можна встановити такі змінні процесу:

- витрата повітря (опосередковано контролюється тиском у точці розпилення);
- витрата фарби (опосередковано контролюється тиском у точці забору фарби);
- різниця потенціалів між пістолетом і виробом (напруга, сила струму);
- амплітуда руху (висота зміни напрямку);
- швидкість і прискорення руху пістолетів;
- швидкість руху конвеєра.

Основними змінними в процесі фарбування вважаються:

- коефіцієнт переносу фарби (частка фарби, що залишається на виробі, порівняно із загальною кількістю розпиленої фарби; метою є мінімізації кількості фарби, що потрапляє до рекуператора, та втрат, що виникають у трубопроводах, камері або на фарбувальній ділянці);
- площа незафарбованих або недостатньо покритих ділянок (слід прагнути їх повного усунення);
- площа ділянок, покритих надмірно товстим шаром фарби.

Безпосереднє вимірювання частки фарби, що потрапляє в систему рекуперації, є можливим, але досить складне, а контроль якості незафарбованих або надмірно покритих поверхонь вимагає детального огляду готового виробу.



Рис. 1. Структура інтегрованої системи контролю налаштувань автоматичної лінії порошкового фарбування

Розглянемо інтегровану систему контролю налаштувань лінії порошкового фарбування, що складається з адаптивного блоку на основі геометрії продукту та головного регулятора.

Адаптивний блок виконує роль компенсатора в автоматизованих системах управління (АСУ) з передбачуваними збуреннями. Зміна геометрії виробу є передбачуваним фактором, що порушує технологічний процес, який можна врахувати вже на етапі планування.

Структура пропонованої системи представлена на рис. 1. Перед початком процесу фарбування 3D-модель виробу використовується в системі комп'ютерного моделювання для визначення найбільш відповідних параметрів нанесення порошкової фарби. На основі контрольних параметрів і результатів моделювання підбирається така конфігурація налаштувань, яка відповідає вимогам щодо мінімальних незафарбованих або надмірно пофарбованих поверхонь, та забезпечує найнижчий потік фарби до рекуператора. Попри те, що час моделювання є значним через велику обчислювальну складність і необхідність ітерації багатьох варіантів, цей процес може відбуватися паралельно з фарбуванням попередньої партії виробів, щоб уникнути простою. Встановлений набір параметрів потім використовується для налаштування фарбувальної лінії. Після завершення процесу фарбування пофарбований продукт фотографується, а система комп'ютерного зору оцінює поверхню, досліджуючи ділянки, які могли бути недостатньо покриті фарбою. Коли кількість дефектів перевищує прийнятний рівень, система рекомендацій генерує відповідні пропозиції щодо коригування налаштувань.



Широкий діапазон можливих налаштувань не дозволяє швидко досягти оптимальних результатів. Насправді конфігурація обладнання зазвичай передбачає виснажливий і трудомісткий процес проб і помилок, що призводить до непотрібного використання фарби, хімікатів, енергії та інших ресурсів.

Якісна порошкова фарба дозволяє частково пом'якшити економічні та технологічні наслідки можливих помилок у налаштуванні пістолетів завдяки таким властивостям:

- покривна здатність – потенційні недоліки, що виникають внаслідок нанесення занадто тонкого шару, не є критичними, оскільки навіть тонкий шар якісної фарби перекриє

попередній базовий шар.

- хороша зарядка – вищий коефіцієнт переносу фарби на поверхні виробу.
- Здатність рівномірного розподілення компенсує можливі нерівномірності нанесення, що виникають у роботі маніпуляторів на високій швидкості.

З огляду на вищезазначене, особливого значення набуває коефіцієнт переносу, який безпосередньо залежить від здатності фарби приймати електростатичний заряд.

Занадто низька напруга на електроді пістолета призводить до того, що значна кількість частинок фарби не отримує відповідного заряду, не досягає поверхні виробу, і витрата фарби різко зростає. У свою чергу, при надмірно високій напрузі більшість заряджених частинок, які вже осіли на виробі, починають відштовхувати наступні частинки фарби з таким самим зарядом - цей ефект також призводить до збільшення витрати матеріалу.

Здатність порошкового покриття поглинати заряд залежить, перш за все, від площі поверхні частинок, а отже, пропорційна квадрату діаметра окремої частинки. Загальна залежність описується рівнянням:

$$Q \text{ (заряд)} = f(t; E; a)$$

де:

t – час заряджання

E – напруженість електричного поля

a – розмір частинки (квадрат діаметра)

Недостатній заряд фарби призводить до гіршого осадження, нерівномірної товщини покриття та надмірної витрати матеріалу.. Оскільки заряд частинок залишається прямо пропорційний квадрату площі їх поверхні, використання фарб з більшими частинками, використання фарб частинками більшого розміру може компенсувати вплив низького заряду (що часто є наслідком зносу високовольтного обладнання). Таким чином можна обмежити негативні наслідки цього фактору та підтримувати високу якість покриття з меншою витратою матеріалу.

Джерело: