

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ
ПОРОШКОВОЇ ФАРБИ НА ДЕТАЛІ МЕТАЛЕВИХ
КОНСТРУКЦІЙ**

Виконав: студент 2 курсу, групи БАД-212м

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Композиційні та порошкові матеріали,
покриття»

РЕВУНОВ О.
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., проф. МІТЯЄВ О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент к.т.н., доц. КАПУСТЯН О.
(прізвище та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра «Композиційні матеріали, хімія та технології»
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Композиційні та порошкові матеріали, покриття»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр МІТЯЄВ

« 17 » 10 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

РЕВУНОВА Олександра Івановича

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Розробка технології нанесення порошкової фарби на деталі металевих конструкцій»

керівник проєкту (роботи) Олександр МІТЯЄВ, д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 17 » 10 2023 року № 391

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18 грудня 2023 р.


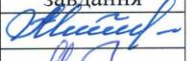
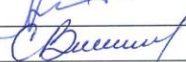



3. Вихідні дані до проєкту (роботи) загальні відомості щодо порошкових фарбувальних матеріалів; порошкова фарба «NEOKEM» фракційного складу 60...80 мкм; установка ручного напилення «TRIVO»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна характеристика порошкових покриттів. 2. Основні етапи нанесення порошкових полімерних покриттів. 3. Розробка технології нанесення покриття та оптимізація параметрів. 4. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)


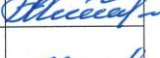


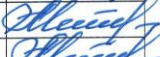
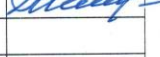
Презентація.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічні	МІТЯЄВ О.А., д.т.н., проф.		
	АКІМОВ І.В., к.т.н., доц.		
Нормоконтр.	САВЧЕНКО В.О., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання « 17 » 10 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	23.10.2023	
2	Порошкові покриття	17.11.2023	
3	Основні етапи нанесення порошкових полімерних покриттів	24.11.2023	
4	Розробка технології нанесення покриття та оптимізація параметрів	08.12.2023	
5	Висновки	12.12.2023	
6	Перелік джерел посилань	15.12.2023	

Студент(ка)

 Олександр РЕВУНОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

 Олександр МІТЯЄВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Робота складається з 47 сторінок, 12 рисунків, 3 таблиць, 12 джерел.

Об'єкт досліджень – процеси створення порошкових покриттів.

Предмет дослідження – режими нанесення порошкової фарби для отримання якісного полімерного покриття.

Мета роботи – розробка технології нанесення та отримання якісного порошкового покриття.

Метод дослідження – композиційний, з використанням математичного планування експерименту при визначенні оптимальних режимів нанесення порошкової фарби на виріб.

У дипломній роботі надається інформація про особливості нанесення порошкових фарб, їхні різновиди; висвітлюється питання функціональних властивостей покриттів, основних етапів їх створення, а також розглядаються види дефектів та причини утворення з рекомендаціями по недопущенню їхнього утворення.

Виконана магістерська дипломна робота містить наступні складові: огляд технічної літератури за темою магістерської роботи; опис основних технологічних етапів, що пов'язані зі створенням якісних полімерних покриттів, шляхом нанесення порошкових фарбувальних матеріалів на вироби; оброблення експериментальних даних; висновки.

ПОРОШКОВІ ФАРБИ; ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ; ПОЛІМЕРНІ ПОКРИТТЯ; ОСНОВНІ ДЕФЕКТИ; ЯКІСТЬ ПОКРИТТЯ.

ABSTRACT

The research work consists of 47 pages, 12 figures, 3 tables, 12 sources.

The object of research is the processes of creating powder coatings.

The subject of research is the methods of applying powder paint to obtain a high-quality polymer coating.

The purpose of the work is to develop a technology for applying and obtaining a high-quality powder coating.

The research method is composite, with the use of mathematical planning of the experiment when determining the optimal modes of applying powder paint to the product.

The thesis provides information on the features of applying powder paints, their varieties; the question of the functional properties of coatings, the main stages of their creation is covered, as well as the types of defects and the causes of their formation are considered with recommendations to prevent their formation.

The completed master's thesis contains the following components: a review of technical literature on the topic of the master's thesis; description of the main technological stages associated with the creation of high-quality polymer coatings by applying powder coloring materials to the products; experimental data processing; conclusions.

POWDER PAINTS; FUNCTIONAL CHARACTERISTICS; POLYMER COATINGS; MAIN DEFECTS; QUALITY OF COVERAGE.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів.....	7
Вступ.....	8
Розділ 1 Порошкові покриття.....	9
1.1 Історичні факти та загальні відомості.....	9
1.2 Функціональні властивості покриттів.....	10
1.3 Класифікація, призначення та області застосування.....	11
1.4 Основні переваги порошкових покриттів.....	15
1.5 Визначення мети та задач дослідження.....	17
Розділ 2 Основні етапи нанесення порошкових полімерних покриттів.....	19
2.1 Алгоритм процесу.....	19
2.2 Очищення та підготовка поверхні.....	20
2.3 Підготовка порошкової фарби та стислого повітря.....	23
2.4 Обладнання та устаткування для нанесення порошкових фарб....	24
2.5 Полімеризація порошкової фарби.....	27
2.6 Основні дефекти порошкових покриттів.....	28
Розділ 3 Розробка технології нанесення покриття та оптимізація параметрів.....	32
3.1 Характеристика виробу та умов його експлуатації.....	32
3.2 Підбір обладнання та матеріалів.....	34
3.3 Визначення основних параметрів нанесення та їх оптимізація...	39
Висновки.....	45
Перелік джерел посилань.....	46

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ФАТ – фотоакустична технологія;

ОСВ-30 – установка підготовки стислого повітря;

ШРС – шафа розподільна силова;

УРН – установка ручного напилення;

“TRIBO” – марка установки ручного напилення;

ОП-2, ЛП-3, Оп-5 – марки вогнегасників пінних;

ОУ-2 – марка вогнегасника вуглекислотного;

“НЕОКЕМ” – марка порошкової фарби;

P_{Π} – тиск подачі повітряно-порошкової суміші через пристрій напилення;

L_p – дистанція розпилення порошкової фарби.

ВСТУП

Процес захисту від корозії та руйнування окремих деталей складаних вузлів і цілих конструкцій, був і залишається актуальною задачею всіх часів, в тому числі і сьогодні. Методів захисту винайдено доволі багато, але найбільш розповсюджений і застосовуваний – фарбування. Історично так склалося, що з давніх давен широко використовують фарбування рідкими фарбами. Склад такої фарби складається з кольорового пігменту та розчинника, кількість якого може становити 40...65%. При нанесенні такої фарби розчинник не залишається у покритті, переходить до навколишнього середовища, чим негативно впливає на екологічну ситуацію та погіршує санітарно-гігієнічні умови праці робітників.

З бурхливим розвитком важкого та середнього машинобудування, трубопровідного транспорту, авіаційної та космічної галузі, а також автомобіле- і суднобудування, постала задача у застосуванні нового матеріалу, альтернативного рідким лакофарбовим, котрий би характеризувався високими захисними, експлуатаційними та декоративними якостями.

Саме необхідність забезпечення високих специфічних експлуатаційних вимог різноманітних деталей техніки, дозволила створити новий вид фарби – порошкову фарбу. Використання порошкової фарби, разом з відпрацьованою технологією її нанесення, дозволяють отримувати на деталях і виробах з різних матеріалів полімерні порошкові покриття.

РОЗДІЛ 1

ПОРОШКОВІ ПОКРИТТЯ

1.1 Історичні факти та загальні відомості

Аналізуючи історичні факти можна зробити висновок, що спроби створення порошкової фарби робили мешканці Єгипту ще у III столітті до н.е., потім індійці та перші американці. Археологами встановлено, що інки прикрашали свої вироби фарбою, котра була отримана за рахунок подрібнення у пил дорогоцінного каміння та металів. В столиці Індії місті Делі, біля мечеті Кувват-уль-Іслам, стоїть колона, що пофарбована золотом, котре було подрібнено до стану порошку. За часом цю подію датують приблизно 415 роком нашої ери.

Порошкова фарба, в сучасному розумінні цього терміну, вперше була розроблена в 1953 році в Німеччині доктором Ервіном Геммером. Саме з цього періоду в Німеччині почали видавати перші патенти на використання технології нанесення покриттів за допомогою порошкових сумішей. Сировинні компоненти, що входять до складу порошкової фарби, являють собою тверді речовини, котрі подрібнені до розмірів мікронного діапазону та доведені до рівня однорідної маси за допомогою ретельного перемішування. Основними складовими речовинами порошкових фарб є пігменти, а також затверджувальні, плівкоутворювальні, наповнювальні та різні спеціальні добавки, що додаються виходячи з майбутніх умов експлуатації конкретного виду покриття.

Саме у Німеччині було розроблено електростатичний спосіб нанесення порошкових сумішей на вироби, а вже у 1963 році було виготовлено перші електростатичні розпилювачі. Від того періоду цей напрям дослідження розвивався з прискореною швидкістю. Спершу у 1965 році було винайдено та запатентовано фарбу на епоксидній основі, а впродовж періоду 1968...1972 років розроблено склади фарб на основі поліестеру, епоксидної смоли та акрилу для отримання декоративних покриттів. Вже тоді було

помічено, що до складу порошкових сумішей не входять жодні отруйні та шкідливі хімікати, котрі роблять такі фарби екологічно чистими. Також було доведено, що при належній організації процесу нанесення, витрати на фарбування доволі низькі, а виходячи з доброї якості покриття, його високих службових властивостей та гарного декоративного вигляду, процес економічно доцільно використовувати для дуже широкої номенклатури виробів.

Вперше промислове виробництво порошкових фарб було організовано в США у 1974 році. На сьогодні розробка та застосування порошкових фарб вважається найбільш значущим відкриттям ХХ століття в лакофарбовій індустрії та технології нанесення покриттів.

1.2 Функціональні властивості покриттів

Всі покриття, що були створені раніше та знаходяться у стадії розробки сьогодні, при їхньому використанні спрямовані на вирішення конкретних цільових завдань. У зв'язку з цим, є комплекс функціональних властивостей, котрим повинні відповідати покриття. До основних функціональних властивостей належать наступні [1 - 12]:

1. Стійкість до корозійного руйнування. Різноманіття виробів промислового призначення, а також товарів народного споживання, створює умови їхнього контактування в процесі експлуатації з доволі різними за активністю та агресивністю поведінки середовищами. В цьому випадку покриття повинні виконувати функцію стійкого та якісного захисного бар'єру від різних хімічних речовин, вологи та їхніх з'єднань.

2. Відповідність певному рівню фізико-механічних властивостей. Матеріал покриття повинен бути стійким до механічних навантажень, що буде визначати його характеристики міцності, пластичності, твердості та ударної в'язкості. Забезпечення необхідного рівня цих властивостей буде напряму

визначати характеристики надійності та довговічності покриттів на výroбах в конкретних умовах експлуатації.

3. Забезпечення технологічних і експлуатаційних властивостей. З точки зору технологічних властивостей покриття повинно відносно просто і легко наноситися, а також піддаватися, у разі необхідності, доопрацюванню різними технологічними методами.

До групи покриттів з певними експлуатаційними властивостями слід віднести, наприклад, теплостійкі, що працюють за умов підвищених або періодично змінних температур; електроізоляційні, що відіграють роль діелектриків та забезпечують надійний захист в умовах підвищеної вологості, а також є стійкими за умов періодичних теплових впливів; абразивостійкі, що характеризуються високою стійкістю до абразивного зношування (наприклад, покриття лопатей вертольотів, деталей підвіски автомобілів та ін.), а також надійним опором до стирання при періодичному фрикційному контакті з іншими матеріалами (домашні та офісні меблі, бібліотечні полиці та ін.).

Таким чином якісне покриття для надійної та довготривалої експлуатації повинно відповідати комплексу функціональних характеристик, що розглянутий вище.

1.3 Класифікація, призначення та області застосування

Порошкові фарби за типом речовини, що утворює плівку, поділяються на дві групи – термопластичні та терморективні [1 - 12]. До складу термопластичних сумішей входять компоненти, що при нагріванні утворюють покриття без протікання хімічних реакцій, лише за рахунок сплавлення часток. Такі покриття є зворотними.

Порошкові фарби на термопластичній основі отримують із застосуванням комплексного виробничого обладнання, що поєднує процеси змішування та

подрібнення матеріалу (кульові та вібротлини, дезінтегратори та ін.). За видами утворювальної плівки термопластичні порошкові фарби поділяються на: полівінілхлоридні, поліамідні, полівінілбутиральні та на основі полієфілінів (поліетилен, поліпропілен).

Покриття утворені полівінілхлоридними фарбами відрізняються стійкістю до дії миючих речовин і засобів, а також до впливу різноманітних атмосферних явищ. У зв'язку з цим їх використовують при фарбуванні виробів, що можуть розміщуватися як всередині приміщення так і зовні.

Поліамідні матеріали мають привабливий зовнішній вигляд, високі міцність та твердість, характеризуються стійкістю до дії різних хімічних речовин і розчинників, а також показують дуже гарний опір зношуванню проти стирання. Дані матеріали застосовують у разі необхідності отримання відповідальних покриттів при захисті труб, хімічних апаратів, медичних інструментів, клапанів насосів і ін. Поліамідні фарби використовують для внутрішніх і зовнішніх робіт.

Полівінілбутиральні матеріали застосовують для фарбування конструкцій та об'єктів, що розташовані в середині приміщень. Дані покриття добре опираються негативному впливу водних і сольових середовищ при кімнатній температурі. Також такі покриття забезпечують високі рівні електроізоляції, бензостійкості та опору абразивному зношуванню.

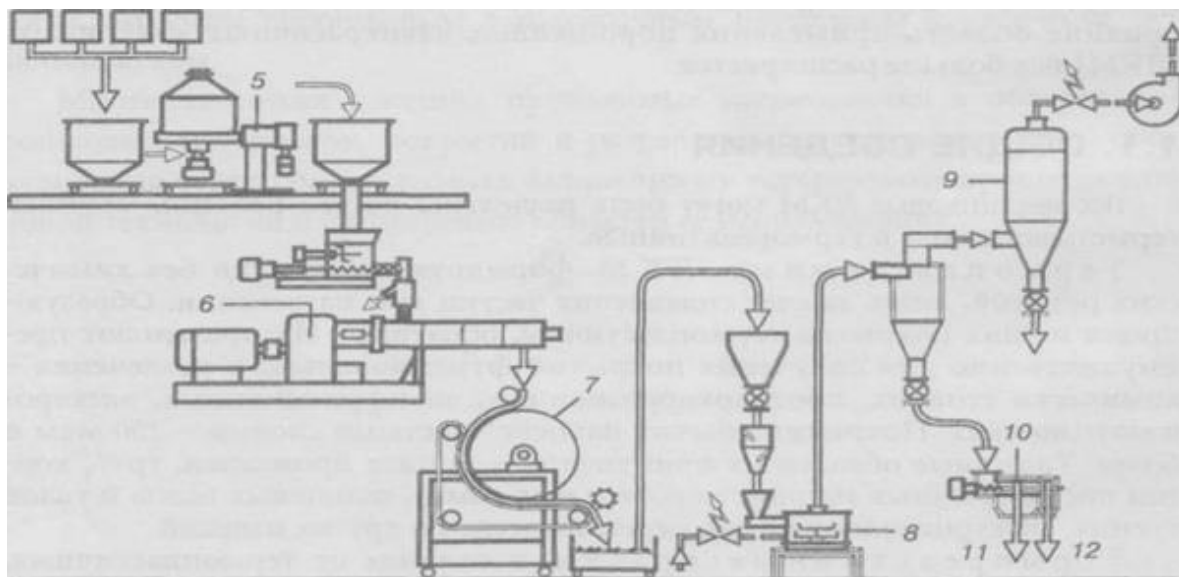
Порошкові фарби на основі полієфілінів здатні піддаватися впливу зовнішніх факторів. За цих причин вони застосовуються для захисту різних поверхонь в закритих приміщеннях. В той же час вони характеризуються добрими фізико-механічними, антикорозійними та електроізоляційними властивостями.

В цілому за функціональним призначенням, термопластичні покриття відіграють роль хімічно- та абразивостійких, протикорозійних, електроізоляційних та антифрикційних. Зазвичай такі покриття наносять шарами, з робочою товщиною ≥ 250 мкм. Основне призначення даних

матеріалів – надійний захист дротів, труб, морозильних камер, шліцьованих з'єднань і вузлів тертя, електроізоляція шаф та інших виробів.

На відміну від термопластичних фарб, термореактивні формують покриття за рахунок протікання хімічних реакцій між складовими суміші при її нагріванні. Такі покриття є незворотними, характеризуються розгалуженою структурою, за властивостями відносяться до неплавких і нерозчинних з'єднань.

Виробництво термореактивних порошкових фарб відбувається за певною технологією (рис. 1.1).



- 1-4 - бункери для вихідної сировини (смоли, пігментів, затверджувача, інших добавок); 5 - змішувач; 6 - екструдер; 7 - охолоджувальний барабан;
 8 - дробарка; 9 - фільтр; 10 - вібросито; 11 - готова фарба на пакування;
 12 - фарба на додаткове дроблення

Рисунок 1.1 - Типова схема виробництва термореактивних порошкових фарбувальних матеріалів [2]

Процес виготовлення починається з того, що всі попередньо подрібнені до дисперсних фракцій компоненти, змішують у сухому стані до отримання однорідної маси. Потім цю однорідно змішану масу пропускають крізь екструдер де її склад повністю гомогенізується. Після екструдера, продукт з

гомогенізованим складом піддають подрібненню та за допомогою розсіювання готують фарбу з певним фракційним розміром частинок. Відхилення від необхідного розміру частинок негативно позначається на якості одержуваних покриттів.

До групи термореактивних фарб відносяться: епоксидні, поліефірні та поліакрилатні.

Епоксидні порошкові матеріали призначені для фарбування деталей, вузлів і виробів, що працюють в умовах активного впливу хімічних реагентів і корозійних середовищ. Епоксидні склади наносять шарами завтовшки 100...150 мкм на нагріту поверхню в апаратах киплячого шару або струменевим розпиленням. Такими покриттями найбільше захищають ротори та статори електродвигунів, внутрішні та зовнішні поверхні труб, металеві дроти, арматуру, сітки.

Захист виробів, що піддаються активному впливу ультрафіолету та великим атмосферним навантаженням, проводять за допомогою застосування поліефірних фарб. Вони стійкі до впливу розбавлених кислот та сольових середовищ, витримують вплив гасу, бензину та мастил; тонкі шари цих покриттів добре захищають металеві вироби від корозії. Області застосування таких покриттів – захист обладнання спортивних майданчиків і садів, кондиціонерів, деталей автомобілів, електрообладнання, металевих меблів та огорож.

Поліакрилатні фарби створюють абсолютно гладку поверхню при незначній товщині (≈ 75 мкм). Покриття характеризується високим ступенем атмосферо- та хімічної стійкості. Сфери використання цих покриттів – захист дисків коліс, жести, прокату з алюмінію, різних торгових автоматів.

Номенклатура деталей та виробів, які можуть бути захищеними порошковими покриттями, досить широка та різноманітна. Аналіз ринку США по цьому сегменту доводить, що близько 15 % усіх виготовлених в країні порошкових фарб, споживає автомобільна промисловість. На товари народного споживання припадає близько 17 % використання порошкових фарб. Великим

споживачем порошкових фарб є індустрія виробництва садового обладнання та інвентарю. На її долю приходить близько 7 % споживання всіх порошкових фарб, що були виготовлені. Значну швидкість зростання споживчого ринку демонструє виробництво виробів з алюмінієвого прокату. На даний час ця галузь споживає 4 % всіх порошкових фарб, але тенденція носить стійкий зростаючий характер. За винятком вищезазначених галузей промисловості США, на долю інших промислових виробництв припадає близько 56 % споживання порошкових фарбувальних матеріалів.

На сьогодні у структурі всіх лакофарбових матеріалів на споживчому ринку найбільш швидко зростаючим сегментом є порошкові фарби. На північноамериканському ринку номенклатура порошкових фарб складає приблизно 5000 видів, а найбільш широке застосування отримали близько 1000 найменувань. Є відомості, що деякі покриття з таких фарб, в різних будівельних областях, успішно експлуатуються понад 15 років.

1.4 Основні переваги порошкових покриттів

Повсякденне підвищення вимог до забезпечення високих експлуатаційних властивостей, надійного антикорозійного захисту та привабливого декоративного стану виробів та конструкцій, робить дуже актуальними питання створення нових видів покриттів, а також розробки технології їх нанесення на конкретні деталі та вузли. Повністю забезпечити зростаючі вимоги дозволять полімерні порошкові покриття. Накопичений на сьогодні досвід їхнього застосування підтверджує високу технічну ефективність та економічну доцільність при впровадженні, у порівнянні з іншими видами покриттів спеціального призначення [1 - 12].

До основних переваг полімерних порошкових покриттів належать наступні:

1. Економічність. Коефіцієнт використання порошкової фарби становить 95...98 % завдяки можливості рекуперації порошкових сумішей, що надає змогу повертати невикористаний матеріал повторно до участі у технологічному процесі та нанесенні на вироби. При порівнянні з рідкими фарбами, до складу яких входить від 40 до 60 % розчинників, що не залишаються в майбутньому покритті, а випаровуються, та у котрих цей коефіцієнт становить лише 40...60 %, переваги незаперечні.

2. Технологічність. У зв'язку з тим, що порошкова фарба являє собою твердий продукт, котрий не містить у собі розчинників, скорочується час на різні підготовчі та контролювальні заходи, що призводить до зменшення кількості технологічних операцій. Обладнання, що застосовується в технологічному процесі, характеризується високим ступенем компактності. Цей факт дозволяє значно скоротити площі фарбувальних ділянок. Внаслідок великої швидкості плівкоутворення та полімеризації значно скорочується час затвердіння покриттів. Оскільки порошкові фарби постачають у готовому вигляді, з технологічної карти виключаються такі складні операції, як контроль в'язкості та доведення її до потрібної величини. Це забезпечує також економію часу при очищенні обладнання для розпилювання тому, що видаляти сухий порошок значно простіше, ніж шари рідкої фарби.

Існує можливість отримання товстих одношарових покриттів, що не можливо при використанні рідких фарб. Також покриття характеризуються меншою усадкою та пористістю плівки через відсутність випаровування розчинників. При сушінні покриття на вертикальних поверхнях не виникають зморшки.

Існує можливість повної автоматизації процесу, що значно покращує умови праці робочого персоналу.

3. Механічні та експлуатаційні показники. Порошкові покриття характеризуються дуже високою адгезією полімеризованого шару з поверхнею виробу, на підставі чого створюється щільне і удароміцне покриття з високими електроізоляційними властивостями, стійкістю до розчинів кислот, луг та

органічних розчинників. Товщина покриття зазвичай знаходиться у діапазоні 30...250 мкм, а температурний інтервал роботи складає від -60 до +150°C.

4. Екологічність. У зв'язку з відсутністю використання у технології порошкового полімерного фарбування токсичних і вогнебезпечних розчинників вона вважається екологічно безпечною.

5. Декоративність. Кожен виріб спочатку проходить оцінювання за зовнішнім виглядом. Привабливість зовнішнього вигляду виробу та, в першу чергу, його покриття, значною мірою визначає маркетингову складову, а також можливість конкуренції продукції.

На сьогодні кольорова гама полімерних порошкових покриттів дуже широка та становить більше 5000 кольорів, відтінків і фактур. Також існує можливість додаткового застосування кольорів і відтінків, що контролюються за ступенем блиску та створюють глянцеві, матові та напівматові поверхні.

Блиск гладкого покриття забезпечує високу відбивну здатність та може в якійсь мірі виконувати роль дзеркала. Блискучі та прозорі покриття широко застосовуються при виробництві сантехнічних виробів.

У той же час існують текстурні покриття, котрі завдяки своєму зовнішньому вигляду добре приховують незначні нерівності поверхонь, а також можуть мати фрикційні властивості.

Таким чином порошкові покриття мають значні потенційні можливості щодо блиску, кольору, прозорості, текстури та ін.

1.5 Визначення мети та задач дослідження

У зв'язку з бурхливим розвитком використання порошкових покриттів, наявністю великої номенклатури порошкових фарбувальних матеріалів, різноманіттям способів нанесення, необхідністю забезпечення у кожному конкретному випадку специфічних експлуатаційних характеристик, - відсутні

універсальні технологічні рекомендації з питань нанесення. Тому виникає гостра необхідність у кожному конкретному випадку, виходячи з призначення деталі, її конфігурації, типу порошкової фарби та її фракційності, використаного обладнання, відпрацьовувати оптимальний технологічний режим нанесення через проходження певного шляху досліджень.

Саме тому метою даної роботи було обрання обладнання та розроблення технологічного процесу створення порошкового покриття на конкретному виробі з визначенням та рекомендацією встановлених і перевірених оптимальних показників.

Для досягнення зазначеної мети потрібно було вирішити наступні задачі:

- підібрати обладнання, що забезпечить надійне та якісне нанесення порошкового покриття на деталь;
- визначитись з деталлю для нанесення покриття;
- обрати порошковий фарбувальний матеріал, що задовольняє вимогам експлуатації обраної деталі;
- розробити технологічну схему нанесення порошкового покриття;
- визначити та оптимізувати основні параметри нанесення порошкової фарби для отримання якісного покриття.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ЕТАПИ НАНЕСЕННЯ ПОРОШКОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Характеристичні показники використання даної технології у виробництві дозволяють стверджувати, що за екологічними нормативами, вона може вважатися за доволі чисту, а за коефіцієнтами використання матеріалів – майже безвідходною. Покриття, що отримані шляхом напилення порошкових полімерних фарб на виріб з наступною полімеризацією їх у печі при певній температурі, характеризуються високими якістю, захисними та декоративними властивостями одночасно.

2.1 Алгоритм процесу

Всі відомі методи процесу нанесення покриттів [1 - 12] на різноманітні вироби складаються з послідовного алгоритму виробничих операцій. Першою складовою цього алгоритму є підготовка поверхні виробу. Вона проводиться з метою, по-перше, очищення поверхонь від механічних забруднень, а, по-друге, вилучення оксидних і гідроксидних шарів, що значно активізує поверхню перед нанесенням покриття. Активізована таким чином поверхня значно краще сприймає та утримує частки порошкового фарбувального матеріалу до проведення та під час проведення процесу полімеризації.

Наступним етапом алгоритму є послідовне нанесення на підготовлену та активовану поверхню певного шару заздалегідь визначеного та підібраного порошкового фарбувального матеріалу.

Надалі проводять процес полімеризації попередньо нанесеної порошкової фарби. Цей процес вважається заключною виробничою обробкою покриття з

метою надання йому певних експлуатаційних властивостей. Основними складовими даної операції слід вважати температуру та час оброблення.

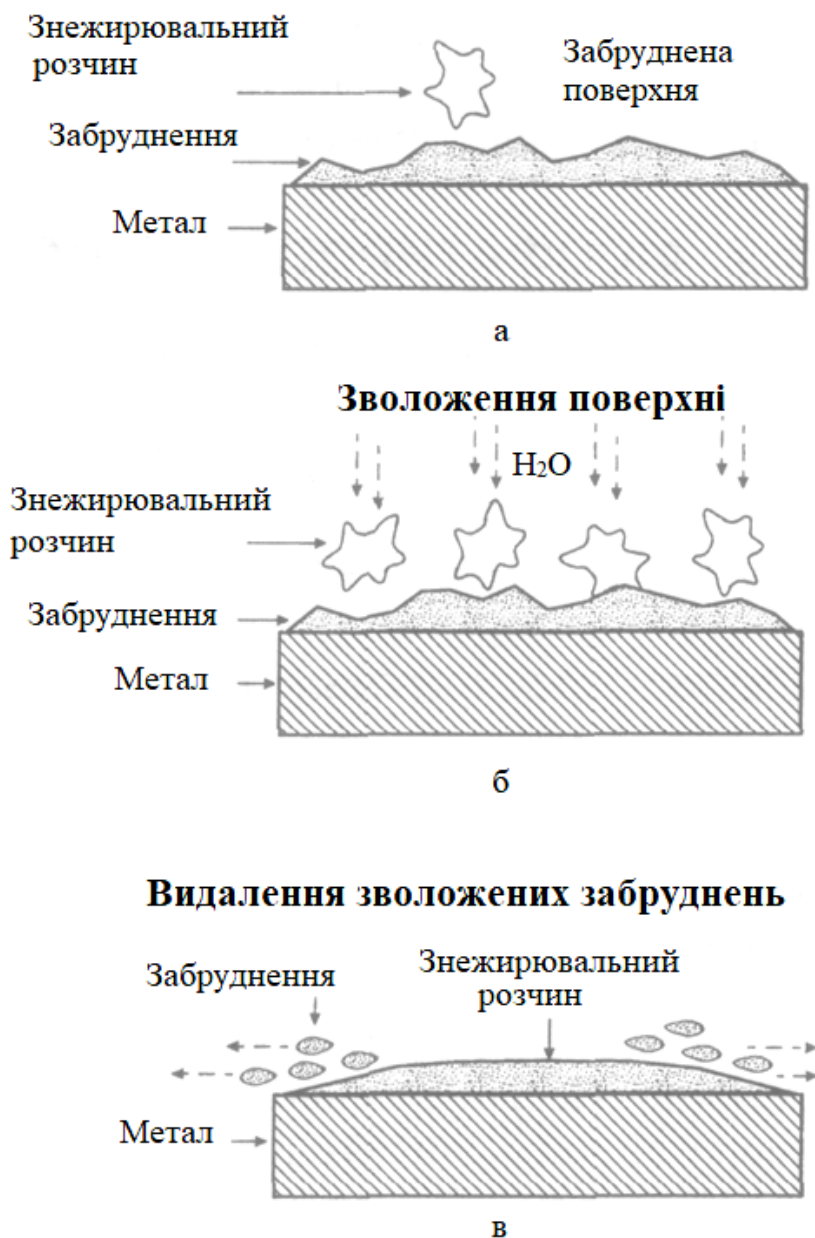
Заключною операцією алгоритму є контролювальна. На цьому етапі проводять контроль геометричних параметрів, надають оцінку відповідності покриття призначеним властивостям і декоративним вимогам; оцінюють якість в цілому.

2.2 Очищення та підготовка поверхні

Найбільше розповсюдження на практиці отримали механічні та хімічні способи очищення. Серед механічних способів доволі широко використовують абразивне оброблення, котре ефективно очищує поверхні від іржі, окалини, залишків попередніх покриттів. Для досягнення цієї мети найчастіше використовується дробеметна або піскоструминна обробка. Однак окрім забруднень неорганічного характеру, що розглянуті вище, на поверхнях часто присутні забруднення органічної природи (мінеральні мастила, залишки різних емульсій і полірувальних паст та ін.). Наявність різноманіття забруднювальних речовин потребують очищення певного рівня складності.

Для вибору ефективного методу очищення спочатку потрібно вірно оцінити природу забруднювальних речовин та визначити ступінь забруднення поверхні кожною з них. Як показує практика, найбільш поширеним є забруднення на жировій та мастильній основі. Для їхнього видалення застосовують водні розчини лужних сполук, миючих засобів, а також органічні розчинники. Органічні розчинники використовують обмежено, через їхню вогнебезпечність та шкідливість для здоров'я. Вони використовуються при малих об'ємах фарбування. Найбільш широко вживаними для цих цілей є «Уайт-спірит» або «Розчинник 646». При великих виробничих програмах і партіях окремих виробів, у якості основного промислового способу знежирення

застосовують ванни або розпилення водних змивальних складів – концентратів. Знежирення проводять зануренням до ванн з температурою 40...100 °С на період часу від 5 до 15...20 хвилин. Тривалість занурення визначається ступенем забруднення поверхонь і природою забруднювальної речовини. При розпиленні концентратів також орієнтуються на ці показники. Основні етапи знежирення поверхонь схематично зображені на рисунку 2.1.



а – нанесення знежирювального розчину; б – зволоження поверхні;

в – видалення зволжених забруднень;

Рисунок 2.1 - Основні етапи знежирення поверхонь [1 - 3]

Покриття можуть наноситися як на чорні, так і на кольорові метали. Тому при підготовці поверхонь слід враховувати природу металу та пам'ятати, що сталь пасивується при контакті з лугами, у той час як при контакті з кислотами інтенсивно розчиняється. При роботі з алюмінієвими поверхнями застосовують слабкі лужні розчини або розчини фторвмісних сполук.

Після підготування та знежирення поверхні, якість даного процесу контролюють кількісними та якісними методами. Існують та застосовують наступні тести [1 - 12]:

1. Тест білого рушника. При протиранні підготованої поверхні білим рушником на ньому не повинно залишатися забруднених відбитків. Наявність таких відбитків буде свідчити про неякісне підготування та очищення поверхонь.

2. Тест на краплю води або спирту. Цей тест базується на законах фізики та є індикатором гарної підготовки поверхонь при доброму розтіканні краплі в різні сторони та навпаки, якщо крапля почне збиратися та набувати форми кульки. У якості спирту застосовують розведений розчин ізопропанолу.

3. Тест липкої стрічки. Контроль відбувається смужкою скотчу, котрий попередньо наклеюють, а потім видаляють з попередньо підготовленої поверхні виробу. Наявність на скотчі хоч яких слідів забруднення – свідоцтво неякісного підготування поверхонь.

4. Контроль за допомогою ультрафіолетового випромінювання. При застосуванні цього методу, поверхню виробу перед підготуванням спеціально забруднюють флуоресцентним мастилом. Після повного очищення за обраною схемою поверхню опромінюють та переоглядають під ультрафіолетовим світлом. Наявність залишків флуоресцентного мастила свідчить про низьку якість підготування поверхонь.

5. Метод фотоакустичної технології (ФАТ). Базується на принципі фотоелектронної емісії та здатності до відбиття. За ступенем відзеркалення роблять висновок щодо чистоти та якості підготування поверхонь. Цей метод дозволяє кількісно оцінювати ступінь чистоти поверхонь.

2.3 Підготовка порошкової фарби та стислого повітря

Відповідно до умов виготовлення та постачання, промислово отримані порошкові фарбувальні матеріали, придатні для нанесення на вироби та отримання покриттів без попереднього підготування. Однак у разі порушення умов транспортування та зберігання можливе виникнення наступних явищ, що значно погіршують якість фарб та ускладнюють процес роботи з ними, а саме: комкування, зволоження понад допустиму норму, хімічне старіння.

Виходячи з умов зберігання температура навколишнього середовища не повинна перевищувати 30 °С. Якщо заводська упаковка з різних причин була порушена, це може призвести до негативних явищ, котрі повинні враховуватись та за можливістю виправлятись перед використанням цього фарбувального матеріалу.

Найбільш схильні до хімічного старіння, при недотриманні умов транспортування та зберігання, термореактивні порошкові фарби. Такі фарби, з високою реакційною здатністю, не піддаються виправленню та підлягають вибраковуванню.

Гігроскопічність порошкових фарб призводить до підвищення їх міри зволоження, що відображається на їх схильності до агрегації, зниженні транспортувальної здатності та отриманні поганих показників електростатичного заряджання. Однак це вважається за виправний дефект. Його усувають в процесі сушіння нетовстих шарів порошкового фарбувального матеріалу при температурах не вище 35 °С, впродовж до 2-х годин з періодичним перемішуванням фарби.

Вимоги до вмісту вологи та інших парів різних речовин у транспортувальному повітрі також доволі високі. Основні з них: вміст вологи – не більше за 1,3 г/м³; вміст мастила – не більше за 0,01 мг/м³; вміст пилу – не більше за 1 мг/м³. Очищення стислого повітря від небажаних складових досягається пропусканням його крізь шар сорбенту, що вловлює та вилучає з

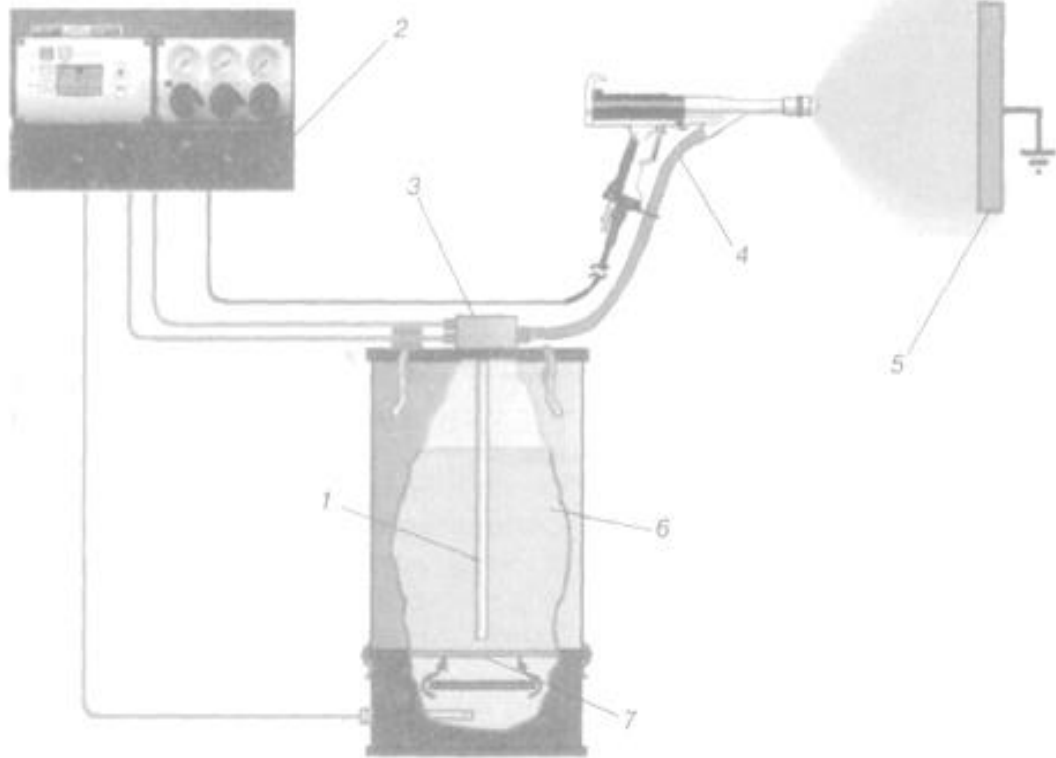
повітря пари води та мастила. Установа для підготовки стислого повітря має маркування ОСВ-30. Сорбент цієї установки періодично регенерують при температурі 120...150 °С протягом 2...3 годин. Сорбент використовують багаторазово протягом до 5 років, після чого його потрібно оновлювати.

2.4 Обладнання та устаткування для нанесення порошкових фарб

Номенклатура деталей та виробів, котрі піддаються нанесенню порошкових покриттів настільки багатопозиційна, а розмірний ряд настільки різномасштабний, що при застосуванні цієї технології використовують як компактні пристрої ручного напilenня (для задоволення потреб одиничного та дрібносерійного виробництва), так і потужні автоматизовані технологічні лінії (обслуговують великосерійне та масове виробництво).

Основними складовими комплекту обладнання для нанесення порошкових фарб є: розпилювальні головки та розпилювальні камери, живильники порошкової фарби та установки рекуперації (для збирання, накопичення та повторного застосування невикористаної з першого разу фарби). На рисунку 2.2 наведено спрощену схему застосування технологічного обладнання.

Нанесення порошкових фарбувальних матеріалів супроводжується ефектом зарядження частинок порошку. Зарядження частинок відбувається двома основними способами: електростатичним, котрий ще називають коронним; трибостатичним, що має додаткові назви – контактний або фрикційний. Виходячи з цього існують два основних типи розпилювачів, що відрізняються за конструкцією, принципом роботи, подачі та зарядження порошкового матеріалу.



1 - забірна труба; 2 - пульт управління; 3 - інжектор; 4 - розпилювач;
5 - заземлена деталь; 6 – живильник з фарбою; 7 - пориста перегородка;

Рисунок 2.2 – Найпростіша структурна схема застосування технологічного обладнання при нанесенні порошкового покриття [1]

В даній роботі віддається перевага трибостатичній системі з огляду на наступні факти її ефективності:

1. Співвідношення об'ємів порошкового матеріалу та площі поверхні, з якої відбувається надання частинкам електричного заряду з урахуванням траєкторії їхнього польоту та ступеня турбулентності.

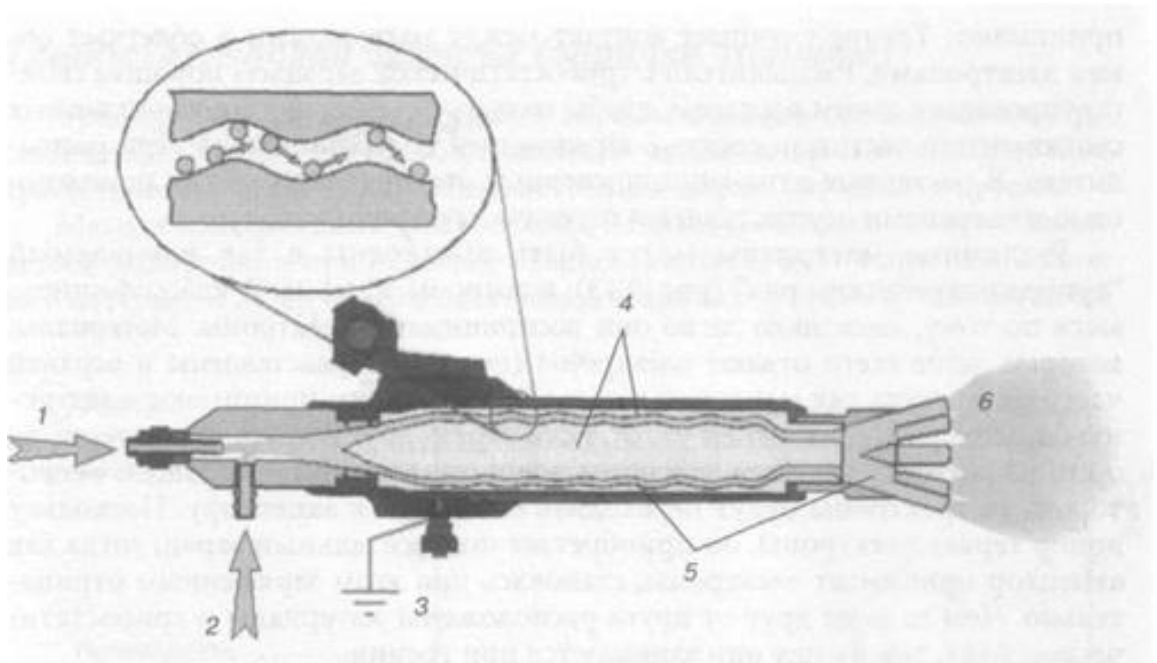
2. Розподіл частинок порошку за розмірами.

3. Підбором матеріалу зарядної поверхні, процес визначення котрого може бути оптимізований.

4. Врахуванням значень вологості повітря за рахунок певних технологічних особливостей процесу.

На сьогодні можливості трибостатичного методу вважаються не до кінця вивченими у зв'язку з різноманіттям матеріалів, що здатні при контакті з

порошковими частинками надавати їм певний заряд, а також за рахунок можливості керування траєкторією руху заряджених частинок і зміни турбулентності самого потоку повітряно-порошкової суміші. Всі ці показники також напряму пов'язані з конструкцією самих розпилювачів, котра може бути оптимізована для кожного конкретного випадку окремо. Принципову схему трибостатичного розпилення наведено на рисунку 2.3.



1 - подача повітря; 2 - подача порошку; 3 - заземлення; 4 - зарядний пристрій; 5 - розпилювальна насадка; 6 - порошок, що розпорошується

Рисунок 2.3 - Схема трибостатичного розпилення [1]

Конструкція в котрій відбувається безпосередньо напилення порошкової фарби на попередньо підготовану поверхню виробу, називається камерою напилення. В цій камері створюють певне розрідження повітря, яке одночасно не дозволяє поширюватись повітряно-порошковій суспензії до інших виробничих приміщень, а також забезпечує надійне закріплення та утримання порошкових частинок на деталях. Камери оздоблюють спеціальними змінними фільтрувальними елементами за конструкцією картриджного типу. Залишок фарби, що не був використаний з першого разу, а також не пройшов процес

осадження на вироби через систему рекуперації, потрапляє на повторне використання.

Живильник призначений виконувати роль дозування та подачі порошкового фарбувального матеріалу до розпилювача. Основним принципом його роботи є інжекційне відбирання порошкової фарби повітрям і подальше утворення аерозольної повітряно-фарбувальної суміші з певним вмістом твердих частинок.

2.5 Полімеризація порошкової фарби

Полімеризація є дуже важливим технологічним процесом, котрий забезпечує утворення специфічної структури зовнішніх і внутрішніх шарів порошкової фарби, що в кінцевому результаті значною мірою надає полімерному покриттю визначених механічних і службових властивостей.

Найбільша кількість типів порошкових фарб проходить процес полімеризації за температур 160...180 °C впродовж 15...25 хвилин. При цій температурі нагрівання відбувається плавлення та злипання розігрітих частинок з утворенням суцільної однорідної в'язкої плівки, що рівномірно змочує та покриває поверхню фарбувального виробу. Режими полімеризації вказуються у технічній супровідній документації виробником фарби. Полімеризацію проводять у спеціальних камерах, які поділяться на тупикові та прохідні. Основним типом обігріву даних камер є електрообігрів. Найбільше розповсюдження для створення та підтримання необхідних температур полімеризації отримали інфрачервоні нагрівальні елементи.

Загалом піч для полімеризації оснащується: інфрачервоними керамічними нагрівачами, теплоізолювальними панелями, системою рециркуляції повітря, пультом управління, електрошафою; таймером і звуковою системою, що сповіщає про завершення певного циклу полімеризації. У якості

теплоізолювальних матеріалів використовують базальтові плити товщиною від 100 мм, що укладаються у профільовані металеві панелі. Конструкція камерного відділення печі, а також схема планування дільниці, залежить від розмірів виробничої площі та об'єму приміщень, карти технологічного процесу.

Відхилення параметрів полімеризації негативно позначається на кінцевій якості покриття виробу. При недостатній температурі та часі полімеризації спостерігається зниження міцності покриття та опору руйнуванню. Якщо температура вища за рекомендовану або збільшено час полімеризації при цій температурі, це може вплинути не тільки на механічні і експлуатаційні характеристики, а й спотворити зовнішній вигляд, через втрати кольору, глянцею та ін. Якщо виріб характеризується масивністю або дуже високим ступенем різнотовщинності, то порошкову фарбу доцільно наносити на попередньо нагріту до температури полімеризації деталь та поєднувати ці процеси. Саме такі технологічні операції забезпечать отримання якісних покриттів та таких специфічних за конструкцією та розмірами виробів.

Також важливо для запобігання зниження якості покриття чітко дотримуватися часу полімеризації та не вилучати деталі із печі до їх повного охолодження. В іншому випадку на деталях можуть утворитися дефекти.

2.6 Основні дефекти порошкових покриттів

Отримання міцного порошкового покриття з відмінними механічними, службовими та декоративними властивостями можливе тільки за умов послідовного, точного виконання та дотримання технологічного процесу нанесення. У разі недотримання цих вимог на якомусь з етапів технології, з'являється велика ймовірність появи дрібних і великих дефектів різної природи походження. Факторів, що визначають можливість появи дефектів доволі багато. Серед них: якість попередньої підготовки поверхонь виробу;

особливості роботи та справність обладнання; умови навколишнього середовища при нанесенні; дотримання нюансів кожного способу нанесення; рівномірність температури в об'ємі печі під час полімеризації; стан і якість самої фарби та безліч інших причин та їхніх поєднань.

Розглянемо найпоширеніші дефекти та визначимо причини їхньої появи.

1. Засмічене порошкове покриття. Покриття містить на поверхні окремі частки, що різняться за формою та розмірами. Причинами може бути недостатня якість самої фарби (висока вологість, старіння), невідповідний тиск, що забезпечує процес флюїдизації, засміченість систем транспортування повітряно-порошкової суспензії; недостатня ступінь очищення камер наплення, підвісів, печі полімеризації.

2. Кратери на порошковому покритті. Зовнішній вигляд цього дефекту – отвори різного діаметру на готовому покритті, що можуть мати характер наскрізних (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Дефекти порошкового покриття у вигляді кратерів

Кратери можуть утворюватися за наступних причин: потрапляння вологи або парів мастила до повітряної системи під час нанесення покриття; не зовсім

якісне підготування окремих ділянок поверхонь виробу; при переході з одного виду фарби на інший такий дефект може спричинити залишки попередньої фарби.

3. Голчасті отвори. Основні причини появи цього дефекту в цілому ті ж самі, що при утворенні кратерів, однак може додаватися невідповідна товщина покриття при нанесенні, а також забруднення фарби та поверхні виробів силіконом або мастилом (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Дефекти голчастого типу у порошковому покритті

Для усунення подібних дефектів слід: покращити процес знежирення поверхонь виробів; не допускати зволоження у системах подачі як суміші, так і повітря; фарба перед нанесенням повинна просушуватись, а виріб бути прожареним. Також потребують регулярного очищення та продування пістолети-розпилювачі та періодичної заміни фільтрів камер напilenня.

4. Невідповідна адгезія та ударостійкість покриття. Причинами виникнення цього дефекту є невідповідні температура полімеризації та недостатній час витримки при запіканні. У більш рідких випадках дефект може

бути пов'язаний з занадто високими товщинами шару плівки або з невідповідною формулою порошкового покриття.

5. Відхилення від кольору та ефект апельсинової кірки. Основними причинами є: недостатня товщина плівки; нерівномірна товщина нанесеного шару; велика різниця частинок за розмірами; відхилення у температурних режимах полімеризації і швидкостях нагрівання та охолодження.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ

3.1 Характеристика виробу та умов його експлуатації

У якості виробу на якому вирішувалася задача створення функціонального полімерного покриття було обрано шафу розподільну силову (ШРС) та окремі її модифікації. Зовнішній вигляд цього виду виробів наведено на рисунку 3.1.

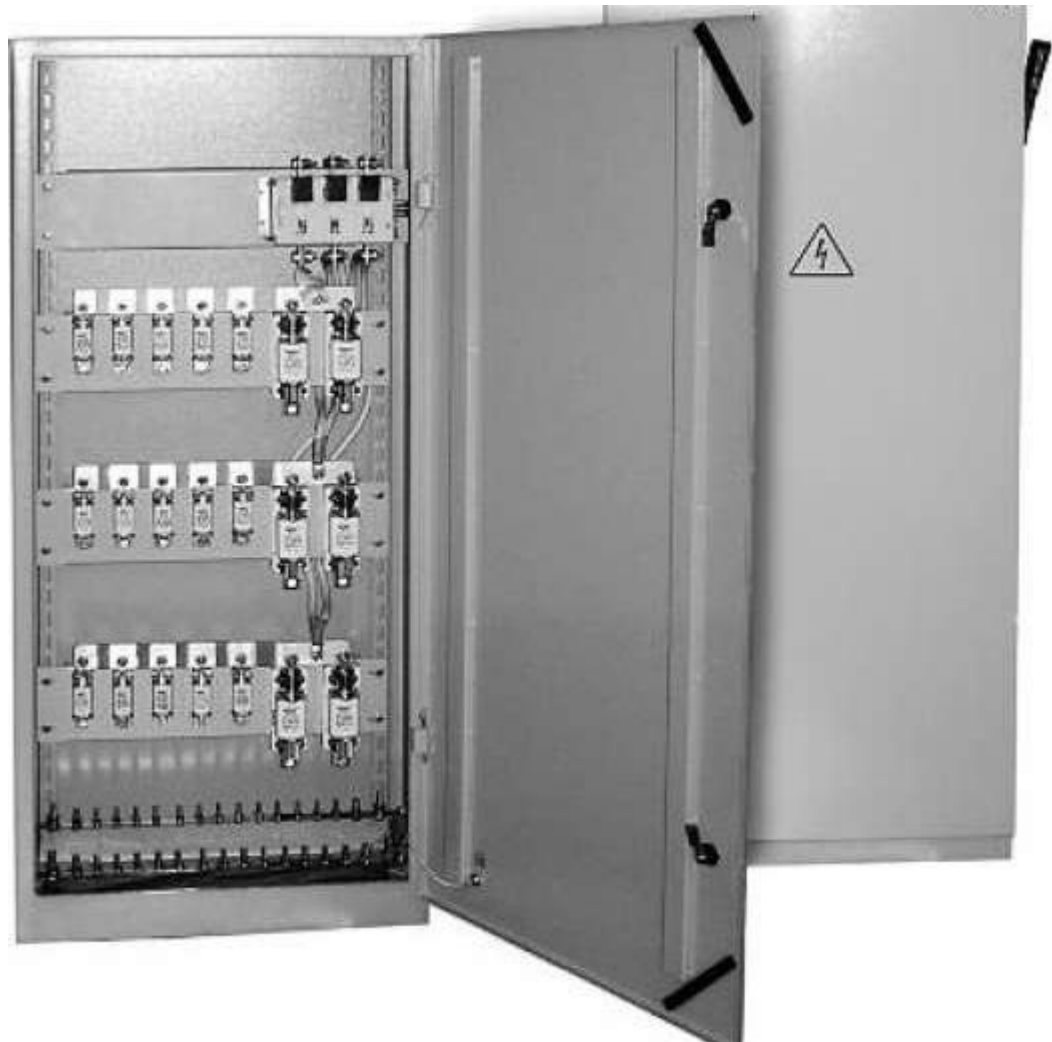


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд шафи розподільної силової

Призначенням ШРС є прийом і розподіл електроенергії між споживачами. Областю застосування ШРС є оснащення виробничих, житлових, громадських, адміністративних та інших споруд з метою підключення силових та освітлювальних установок.

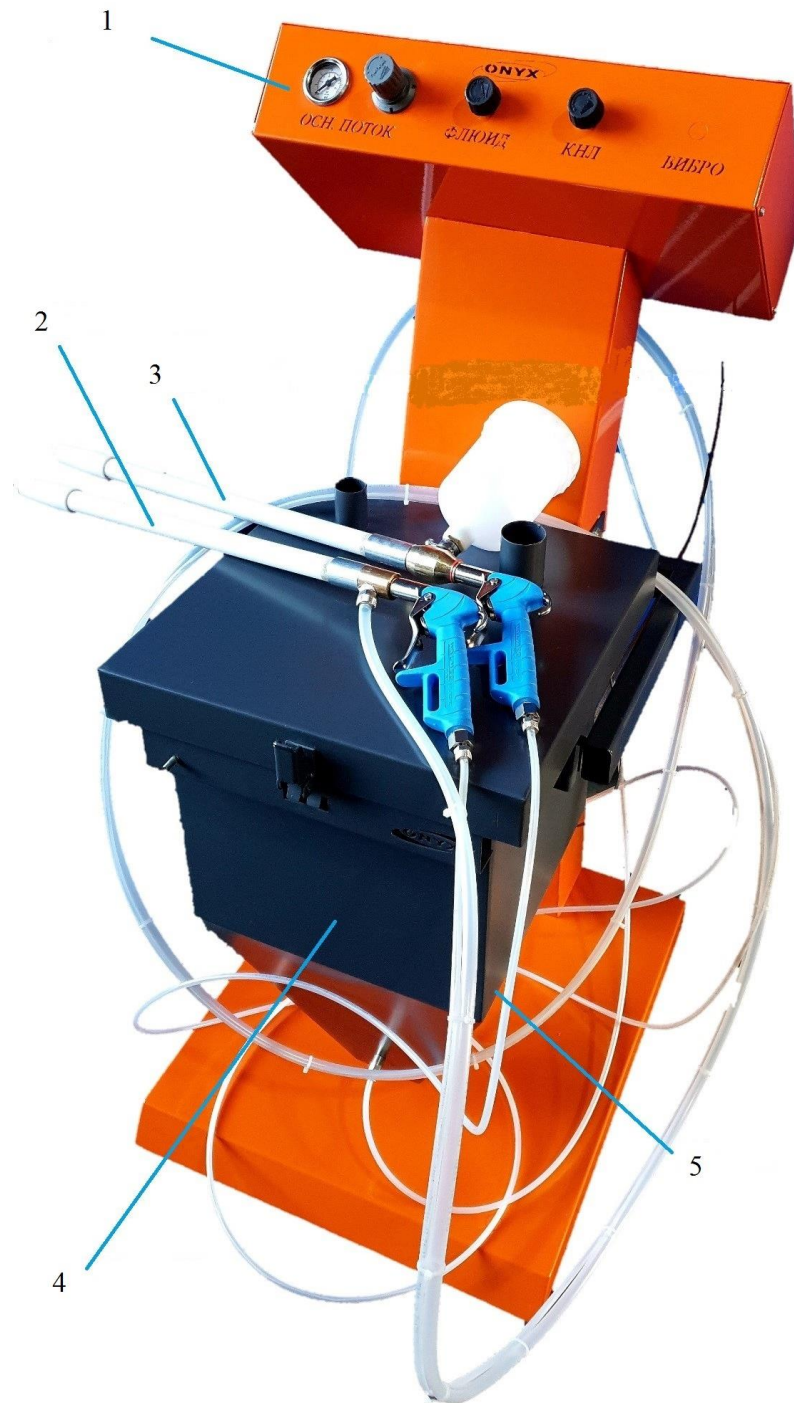
Основними вимогами, що висуваються для цього виду обладнання є: прийом та перерозподіл електроенергії; запобігання руйнації або займанню ізоляції дротів через нагрів ліній під дією надмірно великих струмів; захист людей від випадкового ураження електричним струмом; захист ліній електропостачання та живлення від перенавантажень і струмів короткого замикання. Також виріб повинен надійно працювати у діапазоні температур навколишнього повітря від -40 до $+400$ °С; бути стійким до змінної вологості, хімічних речовин, коливань атмосферного тиску; витримувати вплив жорсткого ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання; мати надійний удароміцний та зносостійкий захист.

ШРС випускають в уніфікованих металевих корпусах, що складаються з металевої оболонки, котра зварена з листової сталі. На монтажних рейках цього корпусу встановлюють автоматичні вимикачі або плавкі запобіжники. ШРС розраховані на номінальні струми до 400 А і номінальну напругу до 380 В трифазного змінного струму частотою 50 Гц. Витримувальний ударний струм при номінальному струмі шафи 250 А – не менше 10 кА, а при 400 А – не менше 25 кА.

Враховуючи вище викладене перед нами стояла задача підбору фарбувального матеріалу та розроблення технології нанесення порошкової фарби на корпус ШРС з метою отримання полімерного покриття, що повністю забезпечить надійну та довготривалу експлуатацію всього виробу в цілому.

3.2 Підбір обладнання та матеріалів

З метою нанесення порошкового фарбувального матеріалу була застосована установка ручного напилення (УРН) “TRIBO” (рис. 3.2).

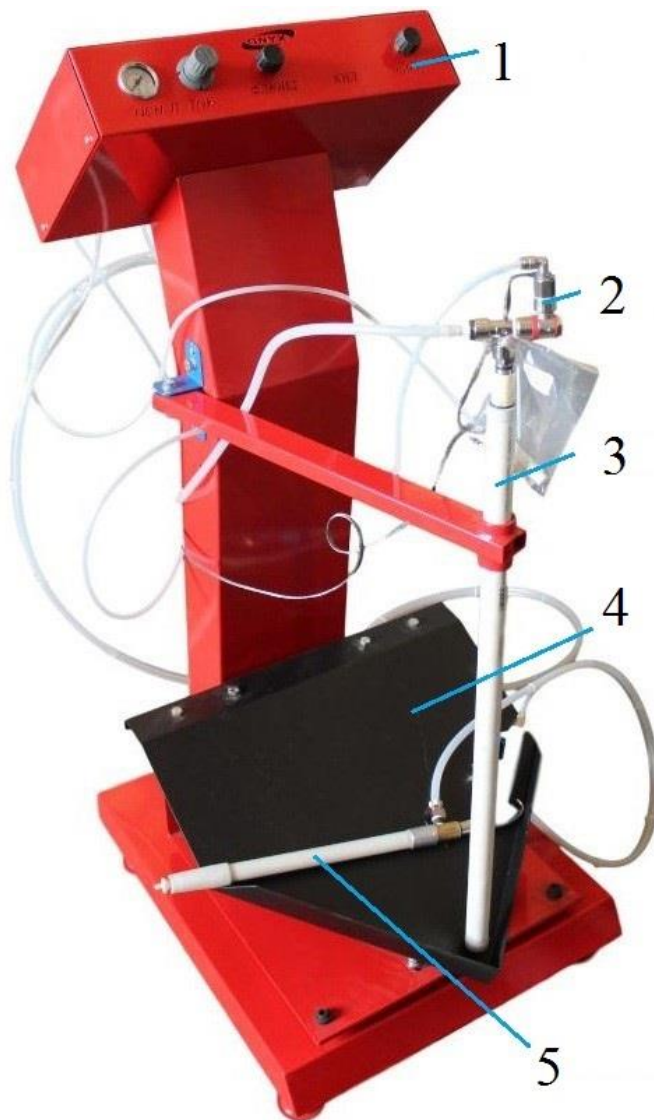


1 – пульт; 2 – напилювач; 3 – другий напилювач з баком на 500 мл;
4 – бак на 40 л; 5 – насос.

Рисунок 3.2 - Установка ручного напилення (УРН) “TRIBO”

УРН використовується для оснащення комор наплення на дільницях або лініях нанесення порошкових фарбувальних матеріалів. Залежно від виконання УРН забезпечує:

- флюїдизацію порошкової фарби в бак-контейнері (див. рис. 3.2);
- флюїдизацію порошкових фарбувальних матеріалів у тарі Постачальника, що встановлюється на підставку-піддон (рис. 3.3);
- прийом і сепарацію повітряно-порошкової суміші з системи рекуперації камер наплення (при використанні бак-контейнера (див. рис. 3.2.));
- роботу з полімерними порошковими матеріалами



1 – пульт; 2 – насос; 3 – живильник; 4 – вібропіддон; 5 – напилювач.

Рисунок 3.3 – Установа напилювальна з вібропіддоном

УРН призначена для експлуатації у промислових приміщеннях категорії Б відповідно до вимог СНіП 2.09.02-85; клас вибухонебезпечної зони – 22 за ДНАОП 0.00-1.32-01. При роботі УРН характеристики навколишнього середовища повинні відповідати:

- температура навколишнього повітря від +15 до +35 °С;
- відносна вологість у межах від 45 до 80 %.

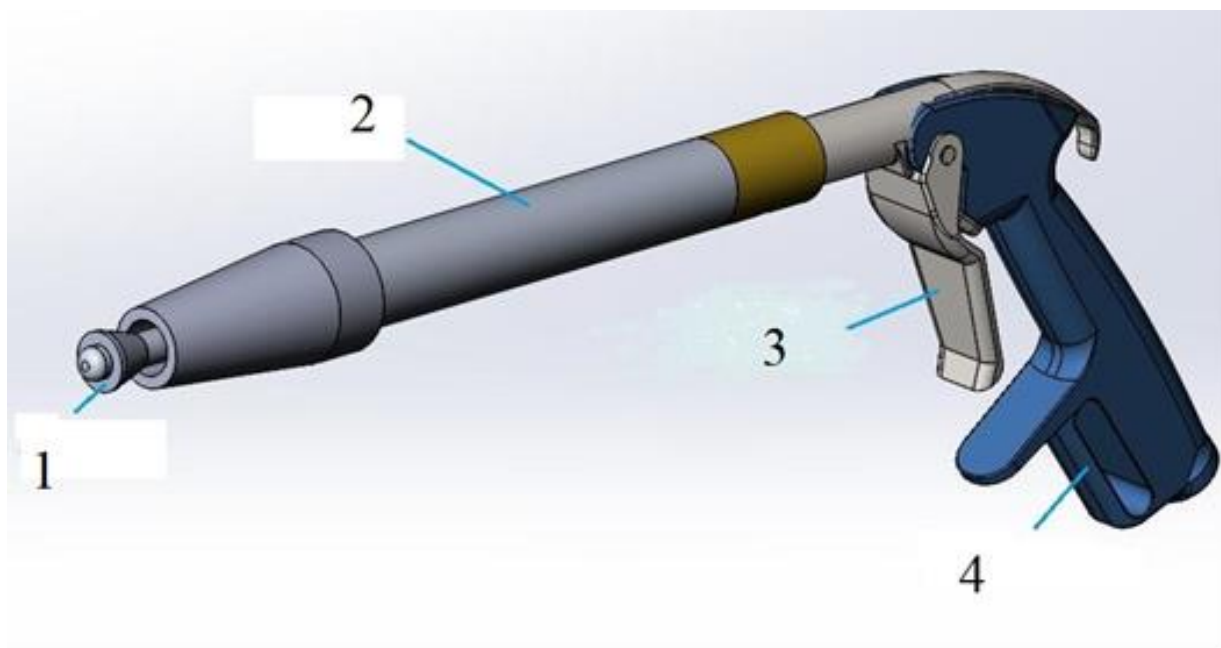
Основні технічні характеристики УРН наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики УРН “TRIBO”

№ п/п	Найменування параметру, одиниці вимірювання	Величина
1	Тиск стисненого повітря, бар	6
2	Максимальна витрата стисненого повітря, м ³ /год: - на один комплект для напилення; - додатково з камерою напилення;	15 25
3	Габаритні розміри, мм: - глибина; - ширина; - висота.	800 600 1200
4	Маса не більш, кг	30

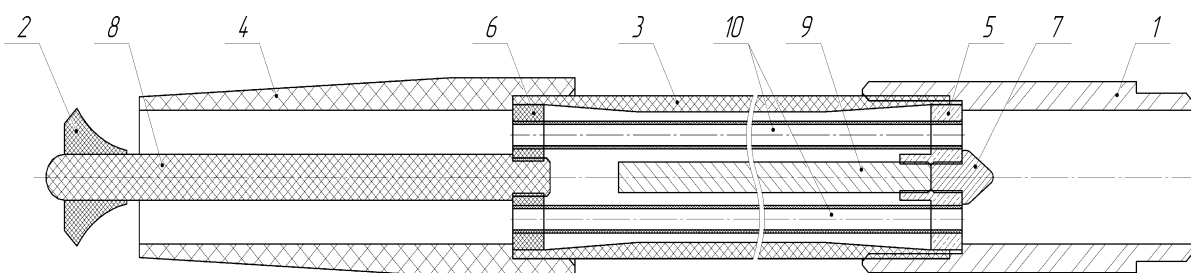
УРН обладнана трибостатичним комплектом напилювальної головки для надання порошковим матеріалам заряду та наступного нанесення заряджених частинок на виріб. Зовнішній вигляд напилювальної головки наведено на рисунку 3.4.

Внутрішній устрій складової частини «ствол» напилювальної головки УРН зображено на рисунку 3.5.



1 – конус; 2 – ствол; 3 – курок; 4 – рукоятка.

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд напилувальної головки УРН



1 – перехідник; 2 – дефлектор; 3 – трубка; 4 – сопло; 5 – шайба;
6 – шайба; 7 – конус; 8 – державка; 9 – електрод; 10 – трубка.

Рисунок 3.5 – Складальне креслення частини «ствол» напилувальної головки УРН

До роботи на УРН допускаються працівники не молодше 18 років, що пройшли належне навчання, ознайомлені з технікою безпеки та придатні відповідно медичного заключення.

Відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.29-97 УРН повинна бути заземлена дротом з опором не більше 10 Ом; вся площа робочого місця ізолюється та

додатково піддається заземленню струмопровідним матеріалом; оператори повинні використовувати тільки антистатичний одяг і взуття, а також користуватися іншими антистатичними матеріалами.

Ділянка фарбування повинна бути обладнана засобами протипожежної безпеки: азбестовою ковдрою, вогнегасниками пінними (ОП-2; ОП-3; ОП-5) або вуглекислотними (ОУ-2). Камери напилювання повинні бути облаштовані системами, що забезпечують відключення УРН від пневможивлення, якщо щось трапляється з вентиляцією. При експлуатації та технічному обслуговуванні УРН застосовувати тільки стиснене повітря, що відповідає групі 2 за ГОСТ 9.010-80. РОБОТИ з технічного обслуговування УРН виконувати тільки в засобах індивідуального захисту, в приміщеннях з примусовою витяжною вентиляцією. Захист навколишнього середовища повинен підтверджуватися контролем стану повітря робочої зони відповідно ГОСТ 17.2.2.02-78 не рідше одного разу на місяць.

У нашому випадку, при нанесенні покриття на виріб, використовували порошкову фарбу поліамідного складу “НЕОКЕМ” виробництва Греції. Поліамідні порошкові фарбувальні матеріали виготовляються на основі полімеру, що має назву – нейлон. За рахунок значного комплексу цінних властивостей, вони досить широко використовуються в різних галузях.

Основними позитивними рисами даних покриттів є: гарний зовнішній вигляд; високі твердість, міцність, опір механічному зношуванню; стійкість до агресивної дії розчинників і багатьох хімічних речовин. Поліамідні покриття наносять на деталі та вироби, що працюють та експлуатуються не тільки в приміщеннях, але й зовні.

3.3 Визначення основних параметрів нанесення та їх оптимізація

Для отримання у кінцевому вигляді якісного полімерного покриття, необхідно забезпечити послідовне, доволі ретельне виконання етапів нанесення порошкової фарби. Цей процес значною мірою визначається формою та характеристиками порошкового факелу, що виходить із розпилювача. У свою чергу, характеристики факелу будуть визначатися регульованими параметрами розпилення, до котрих відносяться: тиск подачі повітряно-порошкової суміші через пристрій напилення та дистанція, з якої відбувається нанесення.

Технічна документація на УРН з цього приводу не надає однозначних рекомендацій, а зазначає, що необхідні параметри потрібно визначати дослідним шляхом. У зв'язку з цим, було вирішено провести виробничу дослідну роботу з наступною оптимізацією результатів, що стосувалися конкретного випадку - застосування порошкової фарби "NEOKEM" фракційного складу 60...80 мкм та використання УРН "TRIBO".

Оптимізацію режимів нанесення порошкового фарбувального матеріалу та отримання якісного порошкового покриття проводили на підставі практичного експерименту, що базувався на математичному плануванні другого порядку 2^2 . Планування проводили для двох незалежних змінних на двох рівнях варіювання. Для уточнення поведінки математичної моделі та підвищення достовірності отриманих результатів, експерименти також проводили на нульовому рівні та в зіркових точках. За незалежні змінні були прийняті фактори, що напряду визначають якість нанесення на виріб порошкової фарби, а це, в свою чергу, забезпечує кінцеву якість порошкового покриття. У якості найважливіших факторів розглядали: тиск подачі повітряно-порошкової суміші через пристрій напилення (P_n) та дистанцію (L_p), з якої відбувалося розпилення порошкової фарби.

Визначення значень рівнів та інтервалів варіювання обраних факторів проводили на підставі виробничого досвіду та аналізу технічних джерел інформації. Результати представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.2 – Рівні факторів та інтервали їх варіювання

Інтервали варіювання та рівні факторів		Фактори	
		Тиск подачі повітряно-порошкової суміші, бар	Дистанція розпилення, мм
Нульовий рівень: $X_0 = 0$		3,25	150
Інтервал варіювання	1,0	0,75	50
	1,682	1,25	84
Нижній рівень: $X = - 1,0$		2,5	100
Верхній рівень: $X = + 1,0$		4,0	200
Зіркові точки	$X = - 1,682$	2,0	66
	$X = + 1,682$	4,5	234
Код фактору		X_1	X_2

Значення нижнього рівня тиску подачі повітряно-порошкової суміші P_n (фактор X_1) було встановлено у 2,5 бар. З нашої точки зору, подальше зниження значень цього фактору не дозволить часткам порошкової фарби надати необхідну кінетичну енергію для впевненого подолання діапазону відстаней, з яких проводиться розпилення при постановці експерименту, а також не забезпечить потрібного розкриття факелу напилення фарби, що негативно вплине на результати нанесення.

Значення верхнього рівня фактору X_1 було обрано на показнику 4 бар. Ми вважали, що надання надмірного тиску подачі повітряно-порошкової фарбувальній суміші спричинить надмірне деформування та видозміну факелу напилення, що викликає надмірне розсіювання частинок порошкової фарби. Також висока кінетична енергія частинок, при цьому тиску подачі, може бути

причиною неякісного закріплення на поверхні виробу, або навіть відриву частинок потоком, що буде сприяти зниженню коефіцієнта використання порошкової фарби.

При призначенні дистанції розпилення L_p (фактор X_2) керувались рекомендаціями паспортної документації на пристрій ручного напилення “TRIBO”, де надано приблизний діапазон дистанцій напилення (100...150 мм), але з приміткою, що для кожного виробу та порошкової фарби, необхідні показники нанесення визначаються дослідним шляхом. Виходячи з наших міркувань дистанція напилення менша за 100 мм ускладнює процес отримання рівномірного шару покриття. Збільшення дистанції понад 200 мм, буде викликати надмірне розсіювання складових порошкової фарби та знизить коефіцієнт її використання.

При проведенні запланованого експерименту за параметр оптимізації було обрано загальну якість нанесення покриття, що контролювалась на підставі вимог нормативних документів. В даному випадку параметр оптимізації був якісним показником, що вимірювався значеннями від 1 до 100 балів.

Матриця планування експерименту (табл. 3.3) передбачала проведення N дослідів на головних рівнях та досліди на нульовому рівні варіювання факторів та зіркових точках:

$$N = 2^k, \quad (3.1)$$

де 2 - кількість рівнів варіювання факторів;

k - кількість факторів ($k = 2$), отже $N = 4$, не враховуючи досліди на нульовому рівні та зіркових точках.

Відповідно до матриці планування експерименту було проведено нанесення порошкової фарби за режимами , що наведені у таблиці 3.3. Показники оцінювання якості за стобальною системою наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця центрального композиційного плану для повного факторного експерименту 2^2

№ досліджу	Кодовий масштаб		Натуральний масштаб		Якість нанесення покриття Б, бали (0...100)
	X ₁	X ₂	X ₁ , (P _п , бар)	X ₂ , (L _р , мм)	
1	+	+	4,0	200	65
2	–	+	2,5	200	30
3	+	–	4,0	100	40
4	–	–	2,5	100	50
5	+ 1,682	0	4,5	150	55
6	– 1,682	0	2,0	150	40
7	0	+ 1,682	3,25	234	25
8	0	– 1,682	3,25	66	15
9	0	0	3,25	150	95

Після регресійного оброблення наявних результатів досліджень отримували рівняння залежності функцій відклику Y від змінних факторів X₁ та X₂ у кодовому масштабі наступного виду:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2, \quad (3.2)$$

де Y – якість нанесення покриття Б у балах, B₀ – вільний член, B₁, B₂, B₁₂, B₁₁, B₂₂ – відповідні коефіцієнти регресії. В результаті отримали наступні рівняння:

$$Y = 95.16 + 5.51 \cdot X_1 + 1.96 \cdot X_2 + 11.25 \cdot X_1 \cdot X_2 - 17.94 \cdot X_1^2 - 27.66 \cdot X_2^2 \quad (3.3)$$

Перевірка адекватності моделей показує, що їх можна використовувати для прогнозування значень функцій відгуку при будь-яких значеннях факторів, що знаходяться між верхнім і нижнім рівнями. Для цього доцільно перейти до натуральних змінних, використовуючи формули перекладу.

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\delta_{0i}}, \quad (3.4)$$

де x_i – показник функції відгуку у натуральному масштабі, X_i – показник функції відгуку у кодовому масштабі, X_{i0} – значення фактору на нульовому рівні, δ_{0i} – інтервал варіювання фактору X_i .

Таким чином отримуємо:

$$X_1 = \frac{P - 3.25}{0.75}; \quad (3.5)$$

$$X_2 = \frac{L - 150}{50}; \quad (3.6)$$

Після цього рівняння (3.3) прийняло такий вид:

$$B = 0.3 \cdot L \cdot P - 0.0111 \cdot L^2 + 2.3837 \cdot L - 31.8875 \cdot P^2 + 169.6133 \cdot P - 374.1173 \quad (3.7)$$

Кореляційний аналіз отриманої математичної моделі проводилися за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})(y_i - y_{cp})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2 (y_i - y_{cp})^2}}, \quad (3.8)$$

де x_i та x_{cp} – відповідно експериментальне значення відповідного i -го дослідження та середнє значення усіх результатів дослідів (див. табл. 3.3), y_i та y_{cp} – відповідно розрахункове значення відповідного i -го дослідження за формулою (3.7) та середнє значення усіх розрахункових значень за формулою (3.7). Проведений кореляційний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції $r = 0,98$. Такий показник r свідчить про високу адекватність та надійність отриманої моделі, яка дозволяє

прогнозувати якість нанесення покриття Б в залежності від P_{Π} та L_p .

Графічний вигляд отриманої моделі (3.7) показано на рисунку 3.6. Із нього видно, що досліджувані фактори мають криволінійну залежність із наявним максимумом. Тому доречним буде провести дослідження отриманої функції (3.7) на екстремуми. Результати цього дослідження показали, що функція Б (3.7) має екстремуми в координатах $L_p = 154$ мм, а $P_{\Pi} = 3,4$ бар і сягає величини $B = 94,87$ балів.

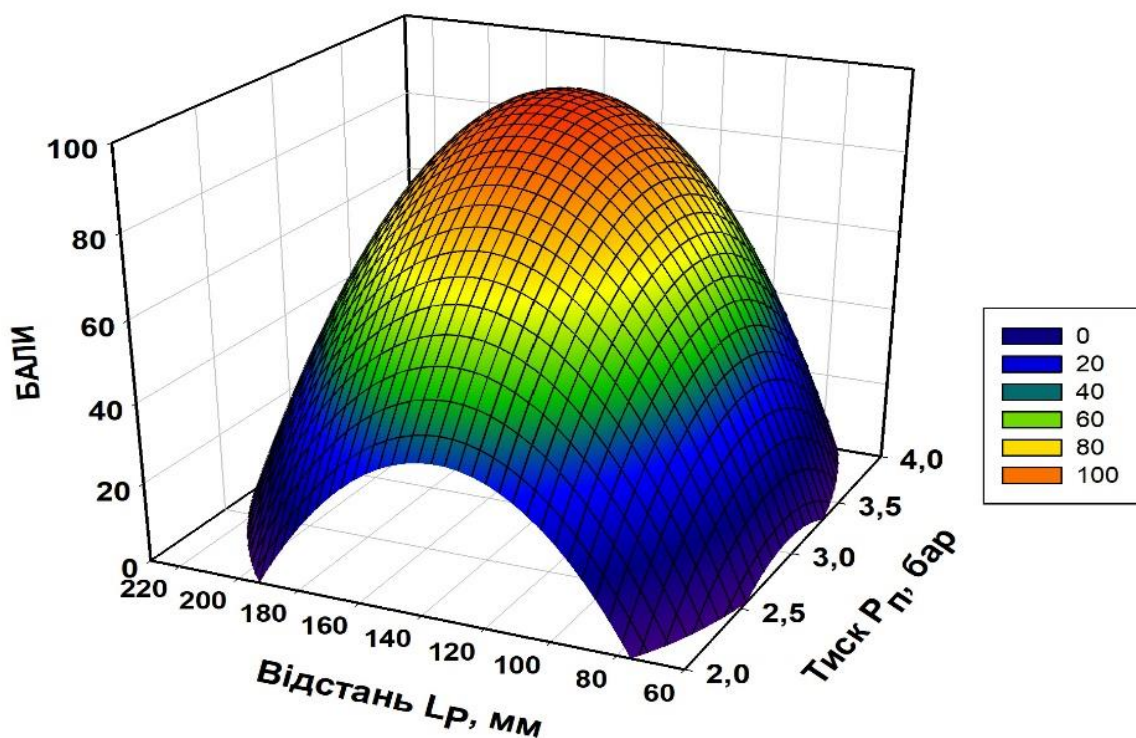


Рисунок 3.6 – Графічне відображення математичної моделі залежності якості нанесення покриття Б від дистанції розпилення L_p та тиску подачі повітряно-порошкової суміші P_{Π}

Тож, можемо сказати, що для отримання найбільш високої якості нанесення покриття на виріб Б, яка може сягати рівня 95 балів, необхідно дотримуватися наступних технологічних вимог:

1. $L_p = 150 \dots 160$ мм,
2. $P_{\Pi} = 3,2 \dots 3,6$ бар .

ВИСНОВКИ

В роботі об'єктом досліджень були процеси створення порошкових полімерних покриттів, що призначені для комплексного захисту та надання привабливого вигляду деталям та вузлам відповідальних конструкцій. За результатами проведення роботи можна зробити наступні заключення.

1. Відповідно до науково-технічних літературних даних, питання, що пов'язані зі створенням якісних і функціональних порошкових полімерних покриттів, є найбільш актуальною тематикою останніх десятиліть у галузі лакофарбового виробництва.

2. Констатується факт відсутності універсальних підходів до обрання технології, вибору обладнання та призначення режимів нанесення порошкових фарбувальних матеріалів. Надається загальна рекомендація визначення оптимальних режимів нанесення порошкових покриттів через експериментальне дослідження з конкретним фарбувальним матеріалом і певним типом обладнання.

3. Із застосуванням активного багатофакторного експерименту другого порядку отримано регресійну модель, що дозволяє прогнозувати якість порошкового полімерного покриття при використанні порошкової фарби "НЕОКЕМ" фракційного складу 60...80 мкм та УРН "TRIBO".

4. Із застосуванням методів аналітичної та графічної оптимізації, визначено параметри режиму нанесення покриттів, що забезпечують найкращу якість кінцевого продукту. Оптимальними параметрами нанесення слід вважати наступні технологічні вимоги: тиск подачі повітряно-порошкової фарбувальної суміші $P_{п} = 3,2...3,6$ бар; дистанція розпилення $L_{р} = 150...160$ мм.

5. Дотримання конкретних значень визначених дослідним шляхом, технологічних показників дозволило суттєво скоротити час нанесення покриття, зменшити кількість бракованих виробів і забезпечити високий коефіцієнт використання порошкового фарбувального матеріалу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ластівка О.В., Гоц В.І. Порошкові лакофарбові матеріали для захисту будівельних виробів та конструкцій: монографія. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. – 352 с.
2. Гоц В.І., Ластівка О.В., Томін О.О., Ковальчук О.Г. Технологія виготовлення декоративно-захисних порошкових лако-фарбових покриттів для захисту будівельних металевих виробів. – Будівельні матеріали та вироби, 2019. – № 1-2 (100). – С. 60-64. ISSN 2413-9890 (Фахове видання)
3. Гоц В.І., Ластівка О.В., Томін О.О. Вплив плівкоутворюючих компонентів на корозійну стійкість порошкового покриття. – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2019. – Вип. 75. – С. 70-80. ISSN 2415-377X. (Фахове видання).
4. Richart D.S. Powder Coating – Past, Present and Future: A Review of the State of the Art. Powder Coating, 2019. pp. 16-24.
5. Gots V.I., Lastivka O.V., Tomin O.O., Tymoshenko S.A. Fillers for modification of polyester powder coating. Materials Science and Engineering. Innovative Technology in Architecture and Design 6, 2020. pp. 1-7..
6. Spyrou V.E. Powder Coatings – Chemistry and Technology. European Coatings Tech Files 3rd, 2004. 384 p.
7. Liberto N. Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook 4th Edition. Powder Coating Institute, 2012. 466 p.
8. Maty J. 90 Years with PCI: A Retrospective. Paint & Coatings Industry Magazine, 2004. pp. 28-29.
9. Muller B., Poth U. Coatings Compendia – Coatings Formulation. Powder Coating Institute, 2006. 212 p.
10. ДСТУ ISO 8130-5:2019 Порошкові лакофарбові матеріали. Частина 5. Визначення властивостей потоку порошково-повітряної суміші (ISO 8130-5:1992, IDT).

11. ДСТУ ISO 8130-10:2019 Порошкові лакофарбові матеріали. Частина 10. Визначення ефективності нанесення (ISO 8130-10:1998, IDT).
12. ДСТУ ISO 18314-3:2019 Аналітична колориметрія. Частина 3. Спеціальні показники (ISO 18314-3:2015, IDT).