

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису**

**ЛОПАТИНЕЦЬ ДМИТРО ІВАНОВИЧ**

**УДК 631.3**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення довговічності сільськогосподарської техніки  
за рахунок удосконалення технології нанесення  
лакофарбових покриттів**

**208 “Агроінженерія”**

**Подається на здобуття освітнього ступеня магістр**

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело \_\_\_\_\_ Д.І. Лопатинець

**Керівник роботи**

**Міненко С.В.**

**кандидат технічних наук**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Лопатинець Дмитро Іванович. Підвищення довговічності сільськогосподарської техніки за рахунок удосконалення технології нанесення лакофарбових покриттів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Проведені експерименти дозволили зробити висновок, що попереднє фосфатування призводить до підвищення зносостійкості лакофарбового покриття на 15-20%. Таким чином, підвищення ефективності фосфатування вузлів (деталей) сільськогосподарської техніки не тільки збільшує тривалість їх експлуатації, а й призводить до суттєвої економії фінансових і матеріальних засобів.

Статистична обробка результатів випробування лакофарбових покриттів, експонованих на кліматичній станції, і складання сукупних діаграм динаміки зміни декоративних і захисних властивостей покриттів в залежності від логарифма часу їх експозиції, дозволили зробити висновок, що розраховані емпіричні залежності адекватні експериментальними даними, і можуть бути використані як при підвищенні довговічності лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки. З метою підвищення довговічності і захисної здатності епоксиполіефірного і алкідного лакофарбових покриттів рекомендується проведення попереднього фосфатування поверхні в розчині КФ-14.

*Ключові слова: лакофарбові покриття, довговічність, сільськогосподарська техніка, захист, корозія.*

## ANNOTATION

**Lopatynets Dmytro Ivanovych. Increasing the durability of agricultural machinery by improving the technology of painting.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The experiments allowed us to conclude that pre-phosphating leads to an increase in wear resistance of the paint coating by 15-20%. Thus, increasing the efficiency of phosphating units (parts) of agricultural machinery not only increases the duration of their operation, but also leads to significant savings in financial and material resources.

Statistical processing of test results of paints and varnishes exhibited at the climate station, and compilation of aggregate diagrams of the dynamics of change of decorative and protective properties of coatings depending on the logarithm of the time of their exposure, concluded that the calculated empirical dependences are adequate to experimental data durability of paints and varnishes of agricultural machinery. In order to increase the durability and protective ability of epoxy polyester and alkyd paints, it is recommended to pre-phosphatize the surface in a solution of KF-14.

*Key words: paints, durability, agricultural machinery, protection, corrosion.*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 5  |
| РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ<br>НАДІЙНОСТІ..... | 8  |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ.....   | 14 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....   | 23 |
| ВИСНОВКИ.....  | 29 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 31 |

## ВСТУП

Сучасні макроекономічні умови розвитку світу диктують нові правила і відкривають широкі горизонти для розвитку вітчизняної сільськогосподарської промисловості [1-8]. Варто зазначити, що конкурентоспроможність товарів українського виробництва значно підвищується в періоди, коли рівень цін на вітчизняні товари стає значно нижче, ніж ціни на товари імпортного виробництва [7]. Проведений ретроспективний аналіз застосування лакофарбових матеріалів (ЛФМ) і лакофарбових покриттів (ЛФП) в сільськогосподарської галузі, показав, що значне зростання цін на імпортні матеріали і технології призвело до стрімкої і стійкої тенденції витіснення імпорту з ринку вітчизняних лакофарбових матеріалів і покриттів [5]. У той же час вартість українських товарів-імпортозамінювачів зросла лише на 10-15% [3]. Сучасна сільськогосподарська галузь нашої країни незначно поступається закордонним фірмам за рівнями технічного оснащення, асортименту та якості продукції, що випускається. У зв'язку з цим проведення експертних оцінок і досліджень лакофарбових матеріалів і покриттів, застосовуваних при виробництві сільськогосподарської техніки (СГТ), є надзвичайно важливими з метою технологічного забезпечення її надійності і значного збільшення попиту на якісні українські товари.

**Мета і задачі дослідження.** є забезпечення довговічності СГТ при її експлуатації на основі вдосконалення технології нанесення лакофарбових покриттів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати стан проблеми дослідження лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки з метою забезпечення її надійності;
- Розробити методику проведення досліджень;

- Провести лабораторні та експлуатаційні дослідження.

**Об'єкт дослідження:** процес нанесення лакофарбових матеріалів, які використовуються при виробництві та ремонті сільськогосподарської техніки.

**Предмет дослідження:** є способи і технологія нанесення лакофарбових покриттів при виробництві та ремонті СГТ.

**Методи дослідження.** Дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, методів аналітичної хімії, прикладної фізики, трибології та механіки. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Міненко С. В., Лопатинець Д. І. Дослідження лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки з метою забезпечення її надійності. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 277-278.

2. Лопатинець Д. І. Класифікація способів нанесення лакофарбових покриттів і технологічний процес фарбування в заводських умовах. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 184.

3. Савченко В. М., Міненко С. В., Лопатинець Д. І., Сологуб К. В. Умови зберігання ґрунтообробних машин. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції *«Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»* (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 120-121

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впроваджені в сільськогосподарських підприємствах України.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 32 сторінки комп'ютерного тексту, містить 5 таблиці і 16 рисунків.

# РОЗДІЛ 1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ НАДІЙНОСТІ

Дослідження лакофарбових матеріалів і покриттів з метою забезпечення надійності СГТ на даний момент знаходяться в стадії становлення своїх наукових (теоретичних) основ. Дані основи формуються на стику машинобудівних, сільськогосподарських і природничо-наукових дисциплін [1-6].

Основні визначальні властивості об'єкта дослідження формуються на стадії виробництва ЛФМ, а також під час нанесення ЛФП на СГТ.

Стосовно до лакофарбового покриття СГТ виникнення даних властивостей можна проілюструвати згідно рис. 1.1.

Як видно з рис. 1.1., джерелами властивостей об'єктів (наприклад, ЛФП предмета) є:

природа (вид, марка) ЛФМ і їх сукупності, формують систему покриття;  
технологічні процеси нанесення ЛФП на предмет (наприклад, певний спосіб нанесення і режим сушіння).

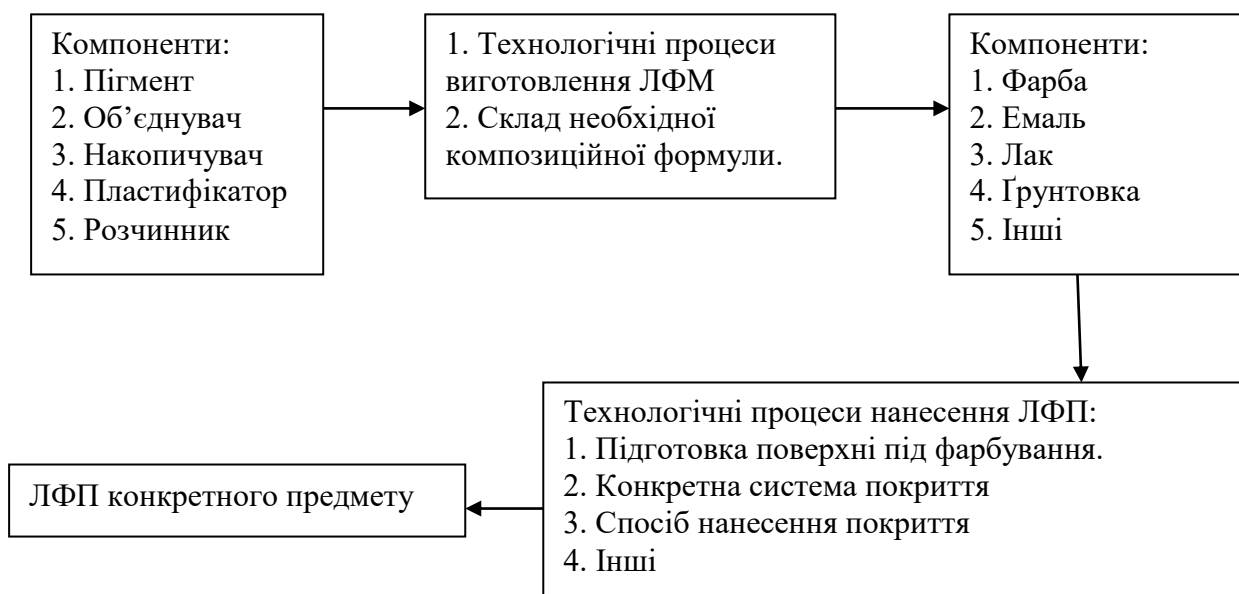


Рис. 1.1. Виникнення властивостей лакофарбових покриттів



У свою чергу ознаки ЛФМ, що відобразилися в ЛКП предмета, обумовлені складом його компонентів і технологічними процесами переробки їх в матеріал [7].

Різні внутрішні та зовнішні чинники впливають на досліджуваний об'єкт протягом всього часу його працездатності.

Зазнають значних змін наявні і з'являються його нові властивості. На всіх етапах існування об'єкта у нього формуються ознаки, звані придбаними. Вони залежать від видів впливу, що діють на об'єкт дослідження, його природи і агрегатного стану.

Абразивну дію частинок середовища експлуатації (пісок, пил), умови експлуатації і догляд за об'єктом (зберігання, мийка, механічна очистка) є причинами утворення подряпин ЛФП [8].

Причиною руйнування (старіння) ЛФП предмета є вплив інфрачервоного випромінювання, води, світла, які призводять до утворення тонкого нальоту, потускніння плівки, відшаровування і розтріскування.

Зміни ЛФП при старінні в атмосферних умовах пов'язані з хімічними процесами структуроутворення (поява структурної неоднорідності, зміна надмолекулярних структур полімеру).

При дослідженні ЛФМ і ЛФП дані ознаки можуть сприяти і в той же час перешкоджати вирішенню поставлених задач. Найбільш важливими є час, коли були сформовані розглянуті ознаки і характер поставленого завдання. Вивчення набутих ознак з метою їх класифікації часто не дає ніяких результатів, або робить неможливим вирішення завдання дослідження. Наприклад, ЛФМ, пошкоджені впливом надзвичайно високих температур стають непридатними для встановлення їх марки [9].

Всі ознаки, набуті об'єктом після вивчення його властивостей в досліджуваний події, класифікуються як «небажані» з огляду на те, що їх поява тягне за собою неможливість його подальшого вивчення (наприклад, перефарбування досліджуваного об'єкта).

Наведені аспекти формування набутих ознак і властивостей ЛФМ і ЛФП дозволяють виявити багатокритерійний характер їх вивчення, в якому окремо класифікуються ознаки проміжних і кінцевих об'єктів. Розглянемо ідентифікаційне дослідження ЛФП [10].

Щодо покриття предмета, що досліджується проміжними об'єктами можуть бути:

- певне джерело появи предмета з нанесеним забарвленням (описується на підставі технологічних особливостей процесу забарвлення і розмаїття сучасних ЛФМ);
- певне джерело походження ЛФМ (рецептурні ознаки);
- обсяги матеріалів, що застосовуються (особливості складу).

Компоненти складу ЛФМ і сторонні включення в ЛФП предмета також розглядаються у вигляді проміжних об'єктів.

Досліджуючи субстанційні і морфологічні властивості ЛФП, необхідно дати оцінку якою ознакою характеризується той чи інший проміжний об'єкт і проаналізувати значимість кожного з ознак по відношенню до кінцевого об'єкту дослідження.

Треба враховувати той факт, що ЛФМ і ЛФП, як об'єктів проведеного дослідження, мають відмінність за своєю природою елементів матеріальної обстановки. ЛФМ часто є речовиною, що міститься в певній ємкості, а ЛФП є невід'ємною частиною конкретного предмета. Зважаючи на це вони розглядаються як проміжні об'єкти щодо СГТ. Даний підхід дозволяє комплексно оцінити значиму інформацію, що отримується в результаті вивчення слідів контактної взаємодії предметів. Він дає можливість проведення дослідження об'єкта в рамках певного дослідження (морфологія і структура ЛФМ і ЛФП, ознаки складу). Досить часто дослідження ЛФМ і ЛФП виконується в рамках проведення комплексних експертиз. Всі результати дослідження проміжного об'єкта необхідно оцінювати як окремої ознаки властивого кінцевому об'єкту при аналізі отриманих висновків комплексного

дослідження ЛФМ і ЛФП. Розгляд сукупності проміжних об'єктів призводить до отримання інформації про предмет дослідження. Наприклад, таким проміжним об'єктом може розглядатися кожен шар ЛФМ на перефарбованій поверхні СГТ. У багатьох випадках можна констатувати тотожність при визначенні об'єкта по багатошаровій частці ЛФП, навіть в разі, коли по відношенню до кожного шару встановлена тільки загальна приналежність по груповим або родовим ознакам. Випадковий або закономірний характер виникнення значущості ознак притаманні для цілей дослідження ЛФМ і ЛФП сільськогосподарської техніки [11].

Основна сукупність закономірних ознак формується на стадії виникнення (виготовлення) об'єкта і зумовлюється його цільовим призначенням. Так, наявність тришарової системи ЛФП, нанесеної в заводських умовах із матеріалів певного складу, закономірно характеризує ЛФП СГТ, а вміст у досліджуваній речовині з'єднувального матеріалу, пігменту і (або) наповнювача є закономірною ознакою ЛФМ. До цієї категорії ознак відносяться зміни складу, структури і морфології покриття, що протікають під дією природних факторів зовнішнього середовища (для ЛФП - вивітрювання, втрата блиску; для ЛФМ – поява продуктів деструкції речовин) [12].

Найбільшу значимість в процесі вирішення ідентифікаційних задач мають ознаки випадкового походження. Так, індивідуальна ідентифікація елементів матеріальної обстановки за властивостями відокремлених від них частин лакофарбових матеріалів або покриттів можлива тільки в тому випадку, якщо дія випадкових факторів призвела до формування неповторного комплексу ознак складу матеріалів, морфології і структури (будови) покриттів. Ознаки випадкового походження виникають часто вже на стадії виготовлення об'єкта. При цьому випадкові чинники можуть проявити себе не тільки при «кустарному», а й при заводському способі виробництва [13].

Технологічними умовами на виготовлення лакофарбових матеріалів допускаються, наприклад, заміна одних сировинних компонентів іншими, іноді

навіть не зазначеними в рецептурі; нерідко мають місце порушення режимів нанесення або сушки покриттів предметів, що тягне за собою появу дефектів забарвлення (плями, шагрень, спливання пігменту) і слідів їх усунення (локальна перефарбування). Випадковий характер носить рельєф (мікрорельєф) поверхні пофарбованого предмета, відображається на прилеглому до нього шарі лакофарбового покриття. Різноманітні і численні ознаки випадкового походження формуються на пофарбованій поверхні предмета при його експлуатації (подряпини, вм'ятини, осередки корозії, сторонні нашарування).

Здатність об'єкта протягом певного проміжку часу зберігати ознаки, необхідні і достатні для ідентифікації, зв'язуються з поняттям ідентифікаційного періоду. Чим більше стійкими є властивості об'єкта (по відношенню, наприклад, до впливу зовнішнього середовища або до дій, що вживаються по навмисній зміні), тим більша ймовірність його ідентифікації. Лакофарбові покриття предметів і затверділі частки лакофарбового матеріалу проявляють достатню стійкість властивих їм зовнішніх і внутрішніх властивостей до дії природних чинників зовнішнього середовища і тому мають значну тривалість свого ідентифікаційного періоду. Ці властивості часто зберігаються і при спробах навмисної їх зміни. Так, наприклад, на перефарбованих поверхнях СГТ вдається виявити, як правило, сліди первісного її забарвлення [10-14].

## **Висновки по розділу 1**

У сільськогосподарській галузі однією з основних причин передчасного руйнування покриттів при експлуатації є внутрішнє напруження. Аналіз статистичних даних спостереження за поведінкою лакофарбових покриттів в процесі їх експлуатації показав що більш товсті покриття розтріскуються і відшаровуються швидше, по порівняно з тонкими. Зроблено висновок, що механічна стійкість покриттів істотно залежить від товщини покриттів. Тому

вивчення внутрішніх напружень покриттів і встановлення механізму їх руйнування (розтріскування) з метою визначення заходів підвищення їх довговічності є актуальним завданням, особливо для сільськогосподарської галузі.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

Об'єктом випробувань були 24 пластини зі сталі марки 08КП, пофарбовані двома типами фарб:

ЛФП №1 чорного кольору – на основі епоксиполіефірного порошкового фарбувального матеріалу;

ЛФП №2 жовтого кольору – на основі рідкого алкідного лакофарбового матеріалу.

Частина випробовуваних зразків (12 пластин) перед фарбуванням піддавали фосфатуванню з метою нанесення на сталеві пластини проміжного адгезійного фосфатного подшару в розчині КФ-14, що містить в своєму складі наступні компоненти різноманітні компоненти.

Випробування включали такі етапи:

1. підготовка розчинів для проведення фосфатування;
2. визначення загальної і вільної кислотностей в рамках аналітичного контролю складу розчинів для фосфатування
3. підготовлення поверхні зразків до фосфатування;
4. нанесення фосфатного покриття;
5. визначення питомої маси фосфатного шару і питомої маси зтравленого металу;
6. прискорене визначення захисної здатності фосфатних покриттів;
7. обробка фосфатованої поверхні;
8. фарбування сталевих зразків;
9. визначення адгезії лакофарбових покриттів;
10. визначення блиску покриттів;
11. визначення шорсткості покриття;
12. виготовлення металографічних шліфів;
13. дослідження морфології і рельєфу поверхні;

14. дослідження товщини покриття;
15. дослідження зносостійкості;
16. дослідження теплостійкості;
17. корозійне випробування.

Розглянемо ці етапи детально.

Концентрати та розчини для фосфатування готували з допомогою реактивів кваліфікації «Ч» і дистильованої води додаючи сухі компоненти (магній сірчаноокислий, нікель азотноокислий, кальцинована сода, мідь сірчаноокисла, окис цинку) у водні розчини, що містять розрахункову кількість азотної і ортофосфорної кислот постійно перемішуючи. У вигляді сухої наважки і розчинів певної концентрації в фосфатується розчин вводилися прискорювачі. Постійна концентрація  $\text{NO}_2^-$  в розчині забезпечувалася постійним дозованим додаванням розчину з вмістом 1,3 г/л  $\text{NaNO}_2$  зі швидкістю 3 мл/хв через відсутність стійкості нітриту натрію в кислих розчинах.

Необхідне значення кислотності розчину досягалося 5% розчином  $\text{NaOH}$ .

З метою знаходження рівноважних значень вільної та загальної кислотностей 60 мл підготовленого розчину для фосфатування переливали в скляну тару потім піддавали нагріванню до робочих значень температури шляхом водяної лазні, після разом з постійним перемішуванням вводили крапельним способом 1% розчин  $\text{NaOH}$  до появи опалесценції. Надалі розчин відфільтровували з підтриманням робочої температури. Після фільтрування розчин охолоджувався до значень кімнатної температури (21-22 °C).

В експериментальній частині пункт 4.2. наведено методику визначення рівноважних значень загальної і вільної кислотностей.

*Знаходження загальної кислотності.* З метою знаходження загальної кислотності проба 15 мл розчину для фосфатування, попередньо відфільтрована і охолоджена до кімнатної температури, поміщалася в конічну колбу об'ємом 300 мл. Потім були додані 6-9 крапель індикатора фенолфталеїну і проведено

титрування 0,1% гідроксиду натрію до моменту появи рожевого забарвлення, стійкого протягом 25 секунд.

Застосоване, для титрування 15 мл проби розчину для фосфатування кількість 0,1% розчину гідроксиду натрію умовно відображає в точках загальну кислотність розчину.

*Визначення вільної кислотності.* Спосіб визначення вільної кислотності аналогічний визначенню загальної кислотності, за винятком застосування індикатора метилоранжа або бромфенолового синього замість індикатора фенолфталеїну. Титрування проводилося до моменту зміни забарвлення розчину від жовтого до синього або від червоного до кольору чайної троянди (рН переходу = 3,6).

Для зразків були використані 12 сталевих пластин (марка 08КП).

Перед нанесенням фосфатних покриттів була проведена попередня підготовка зразків включає в себе знежирювання спеціальною композицією КМ-25 з подальшою активацією розчином промислового активуючого розчину АФ-4 (1 грам на літр) при 20-35°C протягом 2 хвилин за умови постійного перемішування.

З метою проведення фосфатування були використані ванни виготовлені з нержавіючої сталі, ємністю 3 літри і обладнані термоелектричними нагрівачами. Обігрів здійснювався за допомогою водяної сорочки. Реле й контактні термометри підтримували постійну температуру протягом усього процесу фосфатування. Тривалість проведення фосфатування становила від 1 до 10 хвилин. Потім зразки були промиті за допомогою проточної води. Після була проведена промивка з використанням дистильованої води і подальша конвективна сушка при температурі 55-65 °C.

Маса стравленого металу ( $m_{cmp}$ ) і маса фосфатного шару ( $m_{\phi}$ ) були визначені гравіметричним способом. Розрахунок був проведений з використанням наступних формул:

$$m_{\phi} = \frac{(m_2 - m_3)}{s} \quad (2.1)$$



$$m_{\phi} = \frac{(m_1 - m_3)}{S} \quad (2.2)$$

$m_1$  – маса зразка до фосфатування, г;

$m_2$  – маса зразка після проведення фосфатування, г;

$m_3$  – маса зразка після видалення фосфатної плівки, г;

Зважування зразків було виконано із застосуванням ваги AND GR-200 (рис. 2.1).



Рис.2.1. Аналітичні ваги AND GR-300

З фосфатованих зразків було проведено видалення фосфатного шару шляхом обробки розчином, що містить 50 г/л  $\text{CrO}_3$ , при температурі  $80^\circ \text{C}$ . Тривалість обробки склала 2-3 хвилини. Потім зразки були промиті водою і висушені. Похибка даного способу визначення маси фосфатного шару була визначена масою металу, що стравлюється в результаті обробки зразка в розчині  $\text{CrO}_3$  і не перевищила  $0,02 \text{ г/м}^2$ .

Захисна здатність фосфатних покриттів визначалася методом краплі з використанням реактиву Акімова. Час до зміни кольору від сірого до червоно-коричневої контрольної ділянки під краплею було прийнято за критерій оцінки якості покриття.

Була проведена хроматна пасивація поверхні сталевих зразків з нанесеними адгезійними фосфатними покриттями перед фарбуванням в розчині з при температурі 50 °С тривалістю 1 хвилина.

Порошкову фарбу (ЛФП №1) відповідно до прийнятої технологією фарбування наносили розпиленням з пістолета-розпилювача марки СТАРТ-50 (рис. 2.2), потім оплавливали в сушильній шафі марки ШС-80-01 (рис. 2.3) при температурі 180 градусів.



Рис. 2.2. Електростатичний пістолет-розпилювач Старт-50.



Рис. 2.3. Сушильна шафа марки ШС-80-01 Рідкий лакофарбовий матеріал (ЛФП №2) наносили розпиленням з фарбопульту ANEST IWATA W-400 (рис. 2.4.).



Рис. 2.4. Краскопульт ANEST IWATA W-400

Адгезію покриттів визначали відповідно до міжнародного стандарту ISO 2409, методом поперечних надрізів покриття за допомогою тестера адгезії Elcometer 107 (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Тестер адгезії методом поперечних нарізів Elcometer 107

Надрізи покриття виконували ручним способом з використанням спеціального ріжучого елемента. Характер надрізів – поперечно поздовжні, наскрізь до підкладки. Після нанесення надрізів плівка покриття очищалася м'якою щіткою по п'ять разів вперед і назад вздовж обох діагоналей ґратчастого

малюнка. Після цього на малюнок наклеювалася (рис. 4.6), а потім відривалася, під кутом близько  $60^\circ$ , спеціальна стрічка, що відповідає стандарту ASTM D3359, після чого візуально оглядали і оцінювали стан покриття за наведеною нижче таблицею.

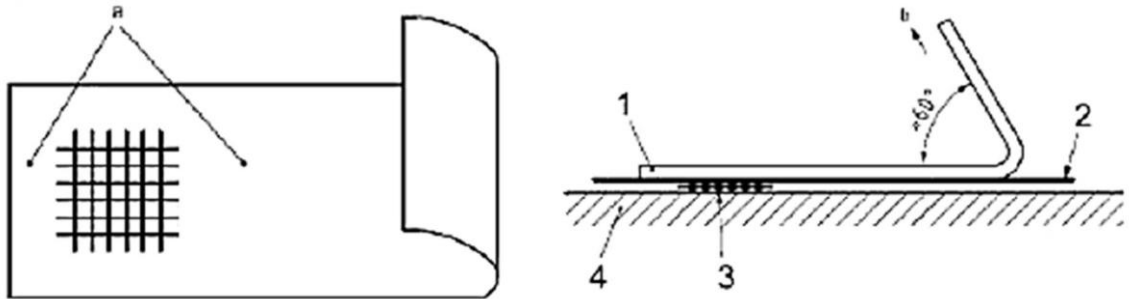


Рис. 2.6. Розташування липкої стрічки. 1 – стрічка по ASTM D3359; 2 – лакофарбове покриття; 3 – надрізи; 4 – підстава; а – розгладжена поверхню; б – напрямок видалення

Таблиця 2.1. – Класифікація результатів випробування покриттів за допомогою поперечних насічок

| Опис  | Загальний вигляд | ASTM D3359 |
|---|------------------|------------|
| Краї насічок повністю гладкі і жоден з квадратів сітки не відклеєний  |                  | 0          |
| Відділення невеликих лусочок покриття на точках перетину насічок. Відшаровування покриття на ділянці з поперечними насічками не перевищує 5%  |                  | 1          |
| Покриття відшарувалося по краях або на точках перетину насічок. Відшаровування покриття на ділянці з поперечними насічками значно перевищує 5%, але не більше 15%   |                  | 2          |
| Покриття частково або повністю відшарувалося великими шматками по краях насічок і / або повністю відшарувалося на різних частинах квадратів. Відшаровування покриття на ділянці з поперечними насічками значно перевищує 15%, але не більше 35% |                  | 3          |
| Покриття відшарувалося великими шматками по краях насічок і / або повністю відклеїлося. Відшаровування покриття на ділянці з поперечними насічками значно перевищує 35%, але не більше 65%  |                  | 4          |
| Будь-яка ступінь відшарування, яка не може бути класифікована по 4 класу  |                  | 5          |

Блиск покриттів вимірювали згідно міжнародного стандарту ISO 2813. Даний стандарт відноситься до пігментованих лакофарбових матеріалів і описує метод визначення блиску покриттів. Вимірювання виконують за допомогою блискоміра серії Elcometer 480, що дозволяє проводити вимірювання при  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  і  $85^\circ$  падіння – відбиття світла (рис. 2.7)



Рис. 2.7. Блискомір Elcometer 480

Прилад реєструє інтенсивність відбитого світла і переводить її в одиниці блиску згідно зі спеціальною шкалою GU (Gloss Unit – одиниць блиску). Для вимірювань прилад встановлюють на зразок який поміщається на рівну горизонтальну поверхню. Потім визначають значення блиску досліджуваного покриття. Принцип дії блискоміра проілюстровано на рис 4.8.

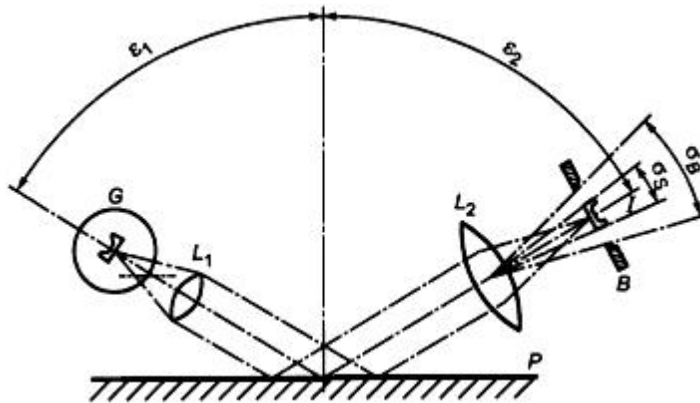


Рис. 2.8. Схема пристрою блискоміра.  $G$  – лампа;  $L_1$ ,  $L_2$  – лінзи;  $B$  – польова діафрагма приймального пристрою;  $\varepsilon_1$  – кут падіння,  $\varepsilon_2$  – кут відображення ( $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ );  $\sigma_B$  – апертурний кут приймальної системи;  $\sigma_S$  – апертурний кут зображення джерела;  $I$  – зображення нитки розжарення

З метою визначення блиску низькоглянцевих (блиск менше 30 одиниць), а також глянцевої (блиск більше 70 одиниць) покриттів використовують кут

вимірювання  $60^\circ$ . Вимірювання проводять на трьох різних ділянках досліджуваної поверхні. Вимірювання блиску проводиться окремо в двох перпендикулярних напрямках в разі, якщо розглянута поверхню сформована в певному напрямку (фактура, слід кисті або малюнок).

Вимірювання проводили на трьох різних ділянках кожного випробуваного покриття. При дотриманні умови неперевищення відхилення між максимальними і мінімальними вимірами 5 одиниць блиску, за підсумковий результат було прийнято середнє арифметичне результатів трьох вимірювань.

Шорсткість покриттів визначали на профілометрі Mitutoyo Surftest SJ-310 (рис. 4.9.) Методом сканування за допомогою щупа з алмазним наконечником відповідно до стандарту визначення параметрів шорсткості ISO 1997.



Рис. 2.9. Портативний профілометр Mitutoyo Surftest SJ-310

Шорсткість є однією з основних геометричних характеристик поверхні та суттєво впливає не тільки на зовнішній вигляд покриттів, але і на їх зносостійкість, стійкість до корозії, антифрикційні властивості та інші.

На профілометри визначалися шість параметрів шорсткості, регламентованих стандартами.

## Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи представлено методику проведення експериментальних досліджень.

### РОЗДІЛ 3

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження адгезії ЛФП на сталі з адгезійним фосфатним підшаром і безадгезійного, отримані за допомогою тестера адгезії, приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 3.1 – Адгезія лакофарбових покриттів

| № | Зразок   |  | Адгезія покриття по 5 бальній шкалі |
|---|----------|--|-------------------------------------|
|   | Покриття | Наявність фосфатного адгезійного підшару |                                     |
| 1 | ЛФП №1   | відсутнє                                 | 0                                   |
| 2 |          | присутнє                                 | 0                                   |
| 3 | ЛФП №2   | відсутнє                                 | 1                                   |
| 4 |          | присутнє                                 | 0                                   |

Наведені результати показують, що порошкові покриття, як з адгезійним фосфатним шаром, так і без нього, володіють дуже хорошою адгезією до основи – клас 0 за стандартом ASTM D3359. Як видно з фотографії на рис 3.1а, краї надрізів після відриву стрічки залишилися гладкими, і жоден з квадратів сітки не відшарувався.

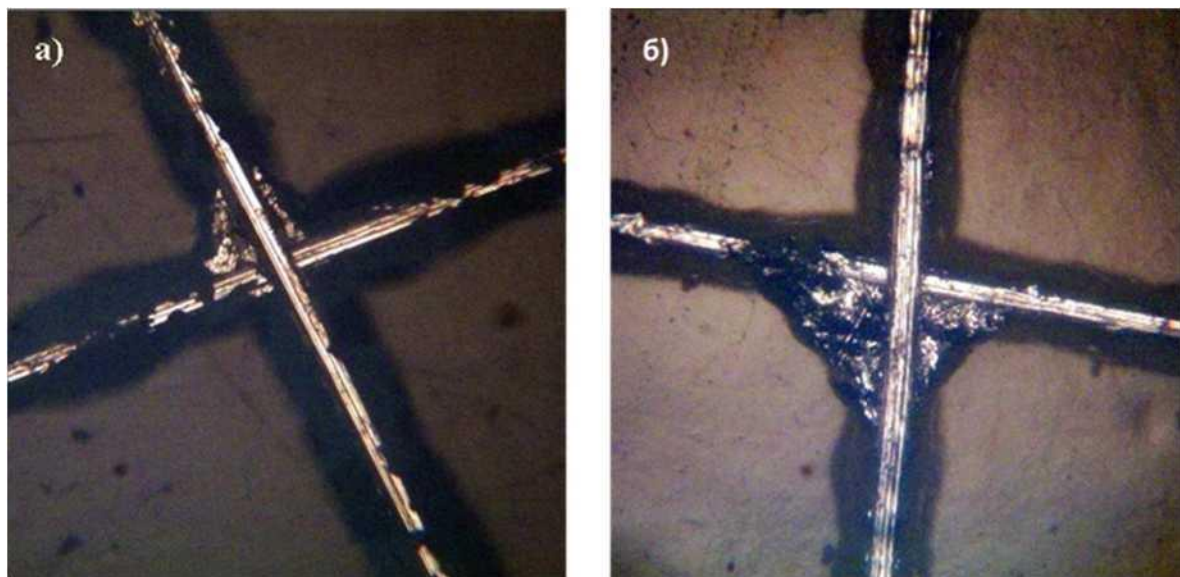


Рис. 3.1. Поверхня зразків на ділянці з поперечно поздовжніми надрізами після відриву стрічки (а. ЛФП №1; б. ЛФП №2)

Що стосується ЛФП на основі рідкої фарби (ЛФП№2), то адгезія покриття без фосфатного подшарку відповідає балу 1 по стандарту ASTM D3359, що нижче, ніж у ЛКП №1. З наведеної на рис 4.18б фотографії видно, що відшаровування покриття на ділянці з поперечно поздовжніми насічками перевищує 5%, але залишається в межах 15%, що відповідає балу 1 за шкалою вищевказаного стандарту. Наведені в таблиці результати показують, що попереднє фосфатування дозволяє підвищити адгезію ЛКП №2 до класу 0.

Визначено блиск досліджуваних лакофарбових покриттів. Результати наведені в таблиці 3.2. Як видно з наведених даних, зразок з порошковим ЛФП №1 є високоглянцевим – значення блиску перевищує 70 одиниць. Зразок з покриттям №2 на основі рідкого ЛФМ є низькоглянцевим, його блиск менше 70 одиниць.

Таблиця 3.2 – Блиск лакофарбового покриття

| ЛФП №1 (порошкова краска) |              |                      | ЛФП № 2(рідка краска) |              |                      |
|---------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|----------------------|
| кут                       | Значення, GU | Середнє значення, GU | Кут                   | Значення, GU | Середнє значення, GU |
| 20°                       | 70,4         | 71,33                | 20°                   | 64           | 62,1                 |
|                           | 71,3         |                      |                       | 61,8         |                      |
|                           | 73           |                      |                       | 60,5         |                      |
| 50°                       | 87,4         | 88,133               | 50°                   | 84,3         | 84,733               |
|                           | 89,4         |                      |                       | 85,2         |                      |
|                           | 88,6         |                      |                       | 84,7         |                      |
| 85°                       | 96,5         | 95,17                | 85°                   | 84,3         | 84,133               |
|                           | 93,8         |                      |                       | 87           |                      |
|                           | 95,2         |                      |                       | 81,1         |                      |

Встановлено, що попереднє фосфатування не здійснює вплив на блиск лакофарбового покриття.

Вивчено шорсткість лакофарбових покриттів. Результати наведені в таблиці 3.3. і на рис 3.2 і 3.3.



Таблиця 3.3 – Шорсткість лакофарбового покриття

|                             | Ra    | Rq    | Rz    | Rp    | Rv    | Клас шорсткості |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| Без покриття                | 0,084 | 0,111 | 0,749 | 0,356 | 0,393 | 10              |
| ЛФП №1                      | 0,088 | 0,121 | 0,704 | 0,226 | 0,478 | 10              |
| ЛФП №1 з фосфатним підшаром | 0,080 | 0,103 | 0,467 | 0,287 | 0,180 | 10              |
| ЛФП №2                      | 0,192 | 0,237 | 0,871 | 0,370 | 0,501 | 9               |
| ЛФП №2 з фосфатним підшаром | 0,194 | 0,248 | 1,362 | 0,804 | 0,558 | 9               |

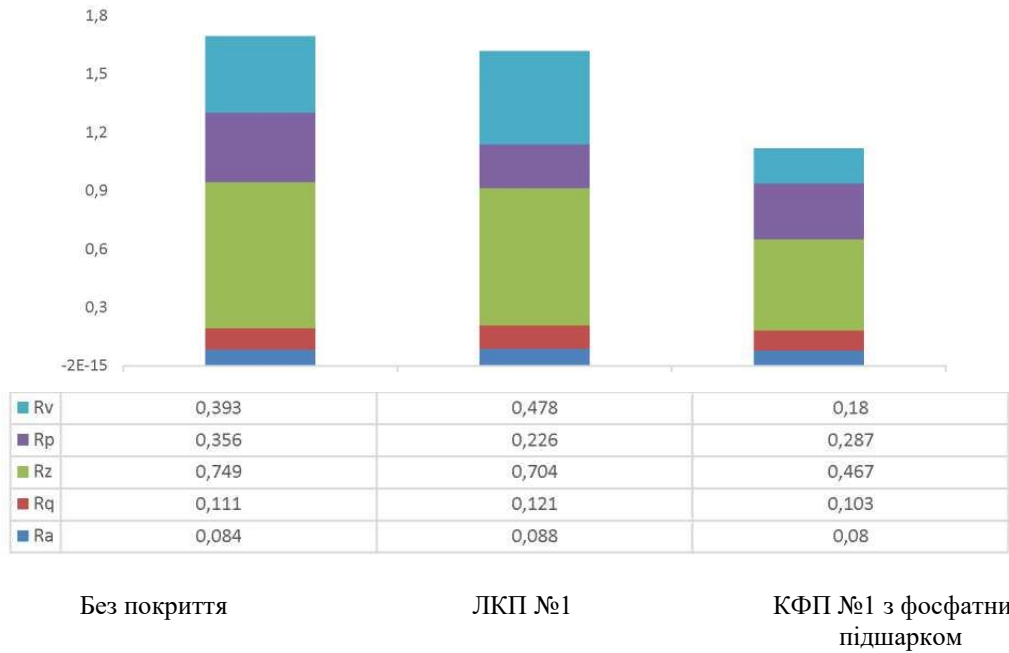


Рис. 3.2. Шорсткість ЛФП №1 чорного кольору на основі епоксиполіефірного порошкового матеріалу.

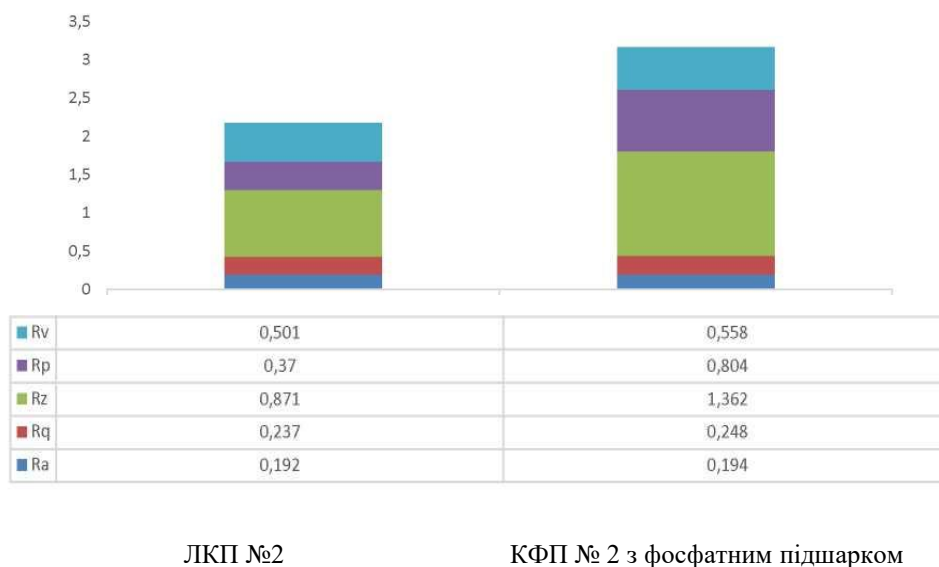


Рис. 3.3. Шорсткість ЛФП №2 жовтого кольору на основі рідкого алкідного лакофарбового матеріалу

Вимірювання показали, що порошкові лакофарбові покриття мають меншу шорсткістю, яка відповідає 10 класу шорсткості по ГОСТ 2789-73. Покриття на основі рідкого ЛФМ мають шорсткістю 9 класу. Попереднє фосфатування практично не впливає на шорсткість лакофарбового покриття.

Визначення товщини ЛКП виконували за допомогою металографічного мікроскопа. Слід зазначити, що в зв'язку зі складністю виявлення за допомогою оптичного мікроскопа морфології покриття жовтого кольору, лакофарбове покриття №2 попередньо зафарбовувати чорним маркером. З наведених на рис. 3.4. фотографій видно, що на поверхні ЛФП №2 спостерігається велика кількість пор.

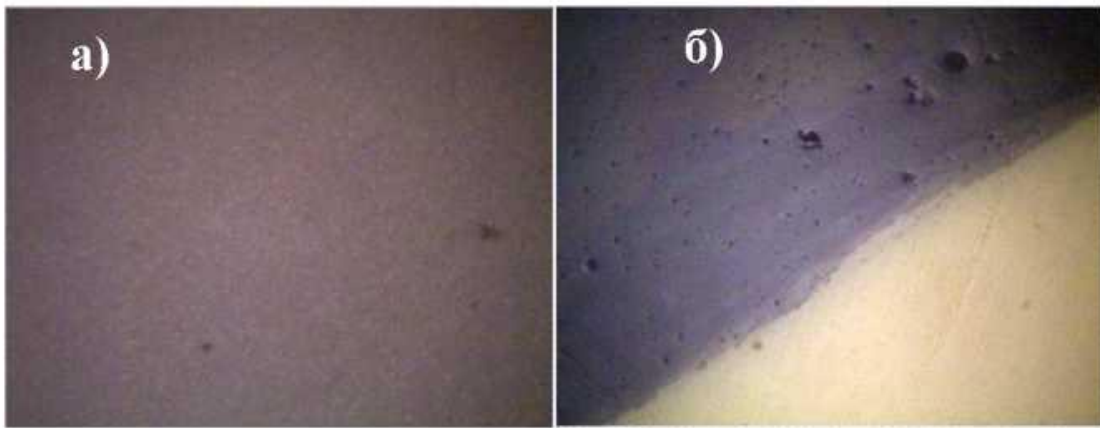


Рис. 3.4. Морфологія поверхні ЛФП а) поверхня ЛФП №1 x300 б) поверхню ЛФП №2 x300

На рис. 4.22. наведені фотографії металографічних шліфів зразків з дослідженими ЛФП, які дозволили виміряти товщину покриттів:  $\delta$  ЛФП №1 = 60-65 мкм,  $\delta$  ЛФП №2 = 45-50 мкм.

Дані по товщині лакофарбових покриттів підтвердилися при визначенні товщини за допомогою товщиноміра Elcometer 456.

Як і слід було очікувати товщина порошкового покриття істотно вища в порівнянні з покриттям на основі рідкої фарби.

Досліджено зносостійкість лакофарбових покриттів. Результати наведені в таблиці 3.4. і рис 3.5.

Таблиця 3.4 – Зносостійкість лакофарбових покриттів

| Коефіцієнт зносу | ЛФП №1 | ЛФП №1+ фосфатування | ЛФП №2 | ЛФП №2 + фосфатування |
|------------------|--------|----------------------|--------|-----------------------|
| У                | 123,9  | 150                  | 114,9  | 130                   |

Коефіцієнт зносу

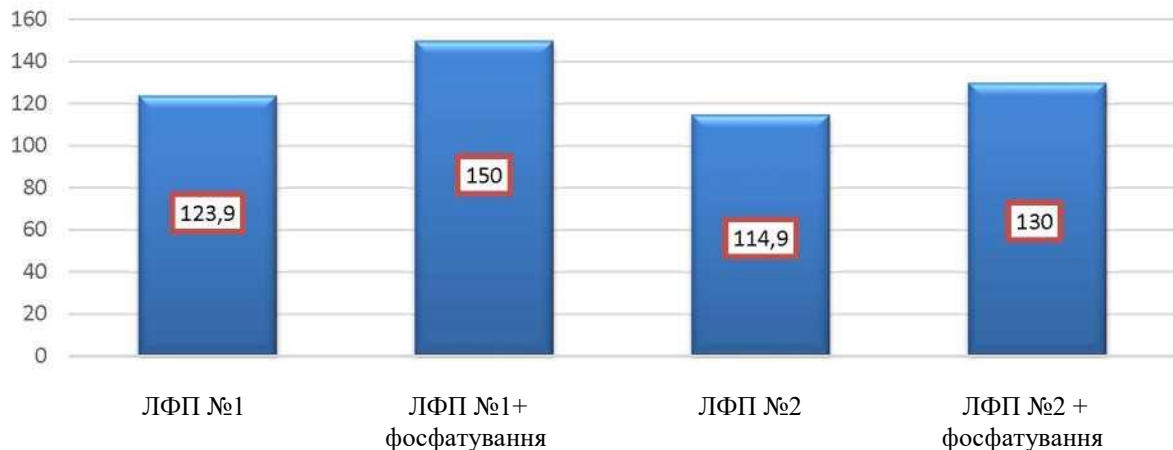


Рис. 3.5. Зносостійкість ЛФП №1 і ЛФП №2

Виявлено, що порошкове лакофарбове покриття має більшу зносостійкість, а попереднє фосфатування в обох випадках призводить до підвищення зносостійкості лакофарбового покриття на 15-20%.

Проведено корозійні випробування (ASTM B117) пофарбованих сталевих зразків з адгезійним фосфатним покриттям і без нього.

Випробування показали, що порошкові лакофарбові покриття і без адгезійного шару відповідають стандарту по захисній здатності. Ширина поширення корозії від місця надрізу не перевищила 2,0 мм після 240 годин проведених випробувань (рис. 3.6). лакофарбові покриття на основі рідкої фарби без адгезійного фосфатного підшару не відповідають вимогам по захисній здатності. Ширина поширення корозії від місця надрізу перевищила 2,0 мм після 240 годин проведених випробувань. Попереднє фосфатування дозволяє значно поліпшити захисні властивості жовтого ЛФП – ширина проникнення корозії знижується до 1,5 мм.

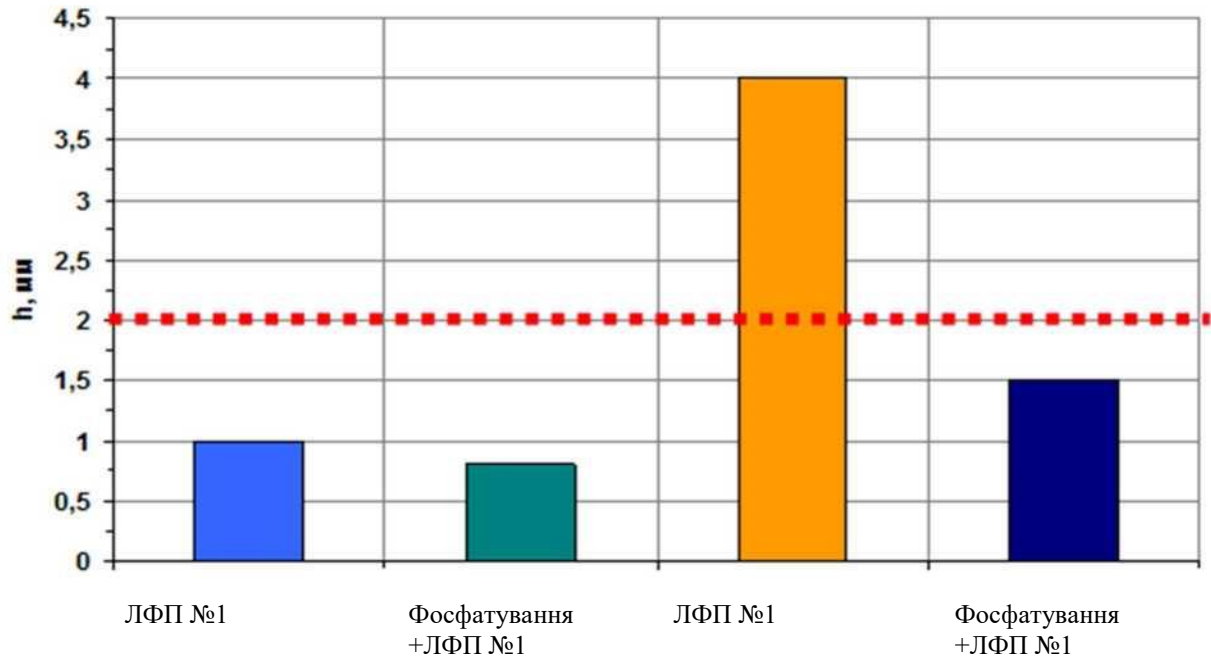


Рис. 3.6. Результати корозійних випробувань (ASTM B117)  $h$  – ширина відшарування ЛФП від надрізів

Вивчено теплостійкість лакофарбових покриттів. Встановлено, що досліджені лакофарбові покриття мають гарну теплостійкість незалежно від наявності адгезійного підшарку. Зразки витримали випробування на теплостійкість без зміни кольору і морфології покриттів, а також без появи ознак будь-яких інших дефектів на них, і не відрізнялися від аналогічних зразків, що не зазнали теплового впливу.

*Експеримент допоміг зробити наступні висновки:*

ЛФП №1 по захисній здатності задовольняє вимогам, що пред'являються до захисних лакофарбових покриттів (ASTM B117) як в поєднанні з адгезійним фосфатним підшаром, так і без нього. ЛКП №2 задовольняє вимогам тільки в поєднанні з адгезійним фосфатним підшаром.

ЛКП №1 в порівнянні з ЛКП №2 є більш гляцевим, менш пористим, менш шорстким, має більш високу адгезію до підкладки і зносостійкість.

Попереднє фосфатування робить позитивний вплив на зносостійкість і захисну здатність ЛФП №1 і ЛФП №2 досліджених лакофарбових покриттів.

## ВИСНОВКИ

Аналіз наукових робіт, що відображають вплив адгезії, масштабного і тимчасового факторів на властивості міцності полімерних і лакофарбових покриттів показав, що питанням дослідження механізму руйнування покриттів під дією внутрішніх напружень приділяється незначна увага. Однак в сільськогосподарському сегменті машинобудівної галузі однією з основних причин передчасного руйнування покриттів при експлуатації є саме внутрішнє напруження, що становить 40% від усіх руйнувань. При цьому, аналіз статистичних даних спостереження за поведінкою лакофарбових покриттів в процесі їх експлуатації показав, що більш товсті покриття розтріскуються і відшаровуються раніше, ніж тонкі за інших рівних умов. Тому вивчення внутрішнього напруження покриттів і встановлення механізму їх руйнування (розтріскування) з метою визначення заходів підвищення їх довговічності є актуальним завданням, особливо для сільськогосподарської галузі.

Найбільш поширеним методом нанесення лакофарбових покриттів є метод розпилення. Одними з основних технологічних властивостей ЛФП є адгезія і їх захисна здатність. Операція фосфатування дозволяє істотно впливати на обидві ці властивості. Захисна здатність лакофарбового покриття буде підвищуватися зі збільшенням товщини фосфатного шару. Проведені експерименти дозволили зробити висновок, що попереднє фосфатування призводить до підвищення зносостійкості лакофарбового покриття на 15-20%. Таким чином, підвищення ефективності фосфатування вузлів (деталей) сільськогосподарської техніки не тільки збільшує тривалість їх експлуатації, а й призводить до суттєвої економії фінансових і матеріальних засобів.

Статистична обробка результатів випробування лакофарбових покриттів, експонованих на кліматичній станції, і складання сукупних діаграм динаміки зміни декоративних і захисних властивостей покриттів в залежності від логарифма часу їх експозиції, дозволили зробити висновок, що розраховані

емпіричні залежності адекватні експериментальними даними, і можуть бути використані як при підвищенні довговічності лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки, так і техніки транспортної галузі в цілому. Запропоновано пристрій для оцінки ударної міцності лакофарбових покриттів, що застосовується для визначення ступеня впливу умов експлуатації сільськогосподарської техніки на довговічність лакофарбових покриттів.

Були досліджені два типи ЛФП: на основі епоксиполіефірного порошкового фарбувального матеріалу і на основі рідкого алкідного лакофарбового матеріалу, з урахуванням різних технологій нанесення ЛФП. Проведені експерименти дозволили сформулювати і обґрунтувати рекомендації щодо вдосконалення технології нанесення лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки. З метою підвищення довговічності і захисної здатності епоксиполіефірного і алкідного лакофарбових покриттів рекомендується проведення попереднього фосфатування поверхні в розчині КФ-14.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рубльов В. І., Войтюк В. Д. Управління якістю технічного сервісу і сільськогосподарської техніки при постачанні: Посібник. Київ : Видав. НАУ, 2006. 227 с.
2. Ремонт машин : підручник / за ред. О. І. Сідашенка, А. Л. Полянського. Київ : Урожай, 1994. 400 с.
3. Практикум з ремонту машин / за ред. О. І. Сідашенка, О. В. Тіхонова. Харків:ХНТУСГ, 2007. 415 с.
4. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов : ученик / под. ред.. И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. Москва : Колос, 2004. 344 с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / под. ред. В. В. Клюева. Москва : Машиностроение, 2005. 656 с.
6. Брагінець М. П. Монтаж, експлуатація і ремонт машин у тваринництві. Київ : Вища школа, 1991. 359 с.
7. Гольдберг М. М. Лакокрасочные покрытия в машиностроении : справочник / Под ред. М. М. Гольдберга. Москва : Машиностроение, 1974. 576 с.
8. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий : Учебник для вузов. СПб : ХИМИЗДАТ, 2010. 448 с.
9. Надійність сільськогосподарської техніки / за ред. Черкуна В.Ю. Київ : Урожай, 1998. 208 с.
10. Ільченко В. Ю. Експлуатація МТП в аграрному виробництві. Київ : Урожай, 1993. 288с
11. Технологія ремонту сільськогосподарської техніки: Навчальний посібник / За ред. М. В. Власенка. Київ : Вища школа, 1992.
12. Верхованцев В. В. Функциональные добавки в технологии лакокрасочных материалов и покрытий. Москва : ЛКМ-пресс, 2008. 280 с.

13. Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. Ганновер : изд-во ООО «Пэйнт-Медиа», 2000. 548 с.
14. Краски, покрытия и растворители / Под ред. Д. Стойе, В. Фрейтага; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2007. 526 с.
15. Дудла І.О. Дослідження властивостей і якості алкідних лакофарбових матеріалів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2010. № 42. С. 302-307.
16. Голодюк Г. І. Дослідження атмосферостійкості фарбувальної композиції і лакофарбових покриттів на основі алкідних смол. *Товарознавчий вісник: Збірник наукових праць*. Луцьк, 2011. Вип. 3. С. 62-67.
17. Химия и химическая технология в решении глобальных проблем / под. ред. Л.Г.Третьяковой. Москва : Химия, 2005. 115 с.
18. Барабаш С. В., Трофімова Ю. В. Розвиток лакофарбових матеріалів // *Тези доповідей V міжнародної наукової конференції «Інноваційні технології, впровадження та розвиток»*: Т.2. Дніпропетровськ: ДНДІ, 2007. С.46-47.
19. Мюллер Б. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. Москва : Пэйнт-Медиа, 2007. 234 с