

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 - МР.2223 С 2023.12.07. 074 ПЗ

НАГОРНИЙ МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

2024 р.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

УДК 621.795.3:631.3

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко - технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момотенка

Вячеслав БРАТІШКО

(підпис)

(ПІБ)

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення технології нанесення лакофарбових покриттів
сільськогосподарської техніки

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

Братішко Вячеслав Вячеславович

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Дев'ятко Олена Сергіївна

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Нагорний Микола Миколайович

(ПІБ)

КИЇВ – 2024

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення технології нанесення лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки».

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та загальних висновків. Роботу викладено на 84 сторінках, вона містить 32 рисунків та 7 таблиць. Список використаних джерел включає 50 найменувань.

Найбільш інтенсивно піддаються корозійному руйнуванню поверхні жаток комбайнів, які контактують з ґрунтом і рослинною масою.

Захисне лакофарбове покриття цих поверхонь зношуються менше, ніж за один сезон. Згодом, при зберіганні і експлуатації, оголені поверхні взаємодіють з вологим повітрям, опадами, сонячною радіацією, перепадами температури, залишками рослинної маси, що значно прискорює процеси корозії.

Метою роботи є підвищення зносостійкості лакофарбового покриття жаток зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення технологічного процесу ремонтного фарбування.

Відповідно до мети сформульовані завдання дослідження:

- дослідити закономірності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів;
- розробити теоретичні основи інтенсивності зношування багат шарового лакофарбового покриття;
- експериментально дослідити запропонований технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів;

Предмет дослідження: взаємодія лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки, на прикладі жатки зернозбиральних комбайнів, з рослинною масою.

Об'єкт дослідження: технологія нанесення лакофарбових покриттів.

Наукова новизна отриманих результатів: удосконалено методіку параметрів лакофарбових покриттів, методіку визначення інтенсивності зношування лакофарбових покриттів в залежності від технології їх приготування.

Встановлено, що при ремонтному фарбуванні робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів необхідно застосовувати систему лакофарбового покриття, яка включає грунт ЕП- 057 і емаль АК-1301.

Ключові слова: корозія, жатка, рослинна маса, лакофарбові покриття, ремонт, фарбування.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Корозія і її наслідки.....	9
1.2. Способи захисту сільськогосподарської техніки.....	12
1.2.1. Нанесення на поверхню мастильних консерваційних матеріалів ..	12
1.2.2. Покриття легкоплавкими кольоровими металами.....	13
1.2.3. Нанесення порошково-полімерних матеріалів.....	14
1.2.4. Лакофарбові покриття.....	14
1.3. Лакофарбові матеріали і покриття.....	15
1.4. Формування лакофарбового покриття та його властивості.....	17
1.5. Руїнування лакофарбового покриття.....	19
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТНОГО ФАРБУВАННЯ ЖАТОК ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....	23
2.1. Аналіз процесів тертя і зношування.....	23
2.2. Особливості транспортування рослинної маси шнеком жатки зернозбирального комбайна.....	28
2.1.1. Теоретичне обґрунтування обсягу виконаних робіт на ділянках днища і шнека жатки в залежності від напрацювання комбайна.....	31
2.3. Визначення інтенсивності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.....	33
2.4. Знос лакофарбового покриття при його терті з рослинною масою.....	34
2.4.1. Вплив пластифікатора на властивості полімерів.....	37
2.4.2. Вплив шорсткості поверхні на тертя і знос полімерів.....	40
2.4.3. Вплив товщини лакофарбового покриття на його властивості.....	40
2.5. Інтенсивність зношування і термін служби багат шарового	

	9
лакофарбового покриття.....	42
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
3.1. Мета і завдання експериментальних досліджень	46
3.2. Вибір систем лакофарбових покриттів та методика розрахунку кількості лакофарбового матеріалу	47
3.3. Методика визначення коефіцієнтів тертя ковзання рослинної маси.....	50
3.4. Методика визначення адгезійної міцності лакофарбових покриттів.....	52
3.5. Методика визначення міцності лакофарбових покриттів до стирання.....	54
3.6. Визначення твердості лакофарбового покриття в залежності від концентрації пластифікатора в складі емалі.....	58
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	60
4.1. Визначення коефіцієнтів тертя ковзання рослинної маси по лакофарбових покриттях.....	60
4.2. Адгезійна міцність лакофарбових покриттів.....	61
4.3. Стійкість лакофарбових покриттів до стирання.....	62
4.4. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від впливу обраних факторів.....	64
4.4.1. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від додавання пластифікатора.....	64
4.4.2. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від додавання розчинника.....	66
4.5. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття при спільному впливі факторів.....	69
4.6. Практичне використання результатів дослідження.....	70
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

ВСТУП

Через корозійне руйнування металу його щорічні втрати складають до 12% від загальної кількості, яка використовується в народному господарстві. Одну з основних частин металофонду складає сільськогосподарська галузь. Термін служби техніки і обладнання в сільському господарстві в 2,5-3 рази коротший, ніж у промисловості і транспорті. Пов'язано це із специфічними особливостями її експлуатації та зберігання.

Значна частина втрат металу в сільському господарстві припадає на комбайновий парк. Найбільш інтенсивно піддаються корозійному руйнуванню жатки комбайнів, тому що вони контактують з ґрунтом і рослинною масою. У жаток зернозбиральних комбайнів в першу чергу піддаються корозії їх робочі поверхні - поверхні днища і шнека, по яких переміщається рослинна маса.

При контакті з рослинною масою захисне лакофарбове покриття робочих поверхонь жаток зношується менше, ніж за один сезон. Згодом, при зберіганні і експлуатації, оголені поверхні взаємодіють з вологим повітрям, опадами (дощ, сніг), сонячною радіацією, перепадами температури навколишнього повітря, залишками рослинної маси і ін., що значно прискорює процеси корозії.

Одним з ефективних способів захисту сільськогосподарської техніки від корозії є нанесення на їх поверхні лакофарбових покриттів.

Для відновлення лакофарбових покриттів застосовуються технологічні процеси ремонтного фарбування, що мають свої особливості, оскільки на металевих поверхнях, що підлягають фарбуванню, присутні вогнища корозії, залишки старого лакофарбового покриття і т.д.

У зв'язку з цим вдосконалення технологічного процесу ремонтного фарбування жаток зернозбиральних комбайнів для отримання зносостійкого лакофарбового покриття на їх робочих поверхнях є важливим і актуальним завданням сучасного ремонтного виробництва.

Завданням представленої кваліфікаційної роботи є розробка заходів, які дозволяють отримати зносостійке лакофарбове покриття на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів при ремонтному фарбуванні. Виконання

поставленого завдання має істотне значення в галузі технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Передбачається, що підвищити зносостійкість лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів можливо шляхом модифікації лакофарбових матеріалів і удосконалення технології їх нанесення.

В даний час опубліковано ряд наукових робіт з пропозиціями різних варіантів щодо захисту сільськогосподарської техніки від корозії нанесенням різних мастильних консерваційних матеріалів, інгібіторів корозії, лакофарбових покриттів. Однак, на наш погляд, недостатня увага приділяється довговічності лакофарбових покриттів робочих органів сільськогосподарської техніки. Дослідження показують, що лакофарбове покриття робочих органів сільськогосподарської техніки зношується швидше, ніж на інших поверхнях, а самі робочі органи частіше за інші деталі і складальні одиниці виходять з ладу в результаті корозійного руйнування. У зв'язку з цим вивчення питання зносостійкості лакофарбових покриттів робочих органів сільськогосподарської техніки вимагає особливої уваги.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Корозія і її наслідки

Корозія - мимовільне руйнування металів під дією навколишнього середовища. Збиток від корозії пов'язаний не тільки з втратою великої кількості металу, а й є однією з істотних причин втрати працездатності і зниження довговічності металевих конструкцій, через те що внаслідок корозійного руйнування вони втрачають міцність, пластичність, герметичність, тепло- і електропровідність і т. д. [13, 14].

Дослідження показують, що щорічні втрати від корозії складають близько 2% валового продукту [15]. Основний збиток полягає не у втраті металу як такого, а у величезній вартості зруйнованих виробів. Справжні збитки визначаються не тільки прямими втратами, до яких відносяться вартість зруйнованої конструкції, вартість заміни обладнання, витрати на заходи щодо захисту від корозії, а й непрямі, до яких відносяться прості устаткування при заміні пошкоджених корозією деталей і вузлів та порушення технологічних процесів [16].

Корозійні процеси бувають наступних видів [2, 14, 17, 18]:

- за механізмом процесу: хімічна, електрохімічна;
- за умовами протікання: газова, підземна, контактна, атмосферна, радіаційна, біохімічна, під напругою, корозійна кавітація;
- за параметрами корозійних руйнувань: суцільна (рівномірна, вибіркова, нерівномірна), місцева (ножова, точкова, локальна, виборча, міжкристалічна).

Щоб визначити, що являє собою той чи інший корозійний процес, необхідно розглядати експлуатацію металевих конструкцій в конкретних умовах.

Металофонд сільського господарства складають трактори, комбайни, різноманітна сільськогосподарська техніка та обладнання. Результати досліджень показують, що понад 30% відмов сільськогосподарської техніки відбувається через корозійного руйнування. На усунення збитків, що виникли через втрату агрегатами і деталями своїх функціональних властивостей, щорічно витрачається

до 30% коштів від загальних витрат на відновлення їх працездатності [1].

Варто зазначити, що термін використання техніки і обладнання в сільському господарстві в 2,5-3 рази коротший, ніж в промисловості та транспорті. Пов'язано це зі специфічними особливостями її експлуатації та зберігання. В період виробничої експлуатації техніка працює від 15 до 110 днів в році (4-33% річного фонду робочого часу). Сільськогосподарські роботи починаються з періоду потепління, коли повітря прогрівається до плюсової температури, і закінчуються в період похолодання. У зв'язку з цим металеві поверхні сільськогосподарської техніки піддаються різкому перепаду температур в початковий і кінцевий періоди робіт, а також інтенсивному впливу атмосферних опадів, внаслідок яких утворюються плівки вологи, які призводять до корозії металу. Крім цього, при експлуатації сільськогосподарської техніки характерний вплив й інших факторів: розчини добрив, сік рослин, механічні навантаження і ін.

Якщо розглядати умови зберігання, то найбільш негативно на вузли і деталі техніки впливають електрохімічні процеси, які викликані попаданням атмосферної вологи на незахищені металеві поверхні. В результаті змінної температури і сонячної радіації руйнуються поверхні захисних лакофарбового покриттів, гумові і деякі полімерні вироби.

З практики відомо, що найбільш поширеним видом корозійного руйнування металевих поверхонь сільськогосподарської техніки є атмосферна корозія. Це пов'язано з тим, що сільськогосподарська техніка під час експлуатація і зберігання знаходиться в основному при атмосферних умовах. Відомо, що 70-80% деталей техніки виходять з ладу внаслідок спільного впливу атмосферної корозії і механічних навантажень. Крім атмосферної корозії може відбуватися фреттинг-корозія, кавітаційне руйнування, корозія під напругою (розтріскування), біохімічна корозія та ін. Більш інтенсивно розвиваються корозійні процеси на агрегатах і елементах техніки, які контактують з ґрунтом, рослинами, мінеральними добривами, отрутохімікатами.

Результати досліджень, які свідчать, що деталі техніки, які не стикаються з ґрунтом (насінневі ящики, захисні кожухи, рами), за рік уражаються корозією на

глибину 0,02-0,07 мм, а деталі робочих органів і опорних частин, які безпосередньо стикаються з ґрунтом або рослинною масою, кородують на глибину 0,42-0,44 мм. Таким чином, останні робочі органи піддаються корозії в середньому в 14 разів більше, ніж інші деталі, вузли і агрегати. У зв'язку з цим необхідно застосовувати особливі підходи до захисту робочих органів сільськогосподарської техніки для збереження їх працездатності.

Інтенсивного зазнають впливу корозії жатки зернозбиральних комбайнів. Зокрема, робочі поверхні днища і шнека, по яких переміщується рослинна маса. Для них небезпечними є такі корозійні процеси, як фретинг- корозія і корозійна кавітація, які виникають, як правило, при терті або вібрації, а також при ударі. Усунення цих видів корозії можливо правильним вибором конструкційного матеріалу, зниженням коефіцієнта тертя або застосуванням захисних покриттів.

Робочі поверхні жаток зернозбиральних комбайнів виконані з тонколистових металоконструкцій із сталей, як правило, марок Ст. 3 або 08кп. Під час експлуатації у робочих поверхнях жаток спостерігається не тільки інтенсивне протікання корозійних процесів, а й розриви металу.

Крім того, проведені випробування впливу тривалості атмосферної корозії на циклічну міцність сталей Ст. 3 і 08кп, показали, що корозія протягом одного року знижує втомну міцність сталі 08кп з 180 до 108 МПа (на 40%), сталі Ст. 3 - зі 190 до 127 МПа (на 33%).

Варто зазначити, що експлуатація робочих органів, які інтенсивно піддаються процесам корозії призводить і до непрямих втрат. В результаті тривалих корозійних процесів можливе утворення на поверхні металу точкової корозії, виразок. Для жаток зернозбиральних комбайнів це може призвести до утрудненого проходження рослинної маси до похилої камери і, як наслідок, вплине на ефективність проведення збиральних робіт.

В результаті можна зробити висновок, що в даний момент сільське господарство несе істотні втрати, пов'язані з корозією. Великі витрати на ремонт сільськогосподарської техніки та збитки, пов'язані з втратою металу від корозії, говорять про незадовільний стан протикорозійного захисту техніки і пояснюються

багатьма причинами. До однієї з причин можна віднести слабку матеріально-технічну базу: в даний час економічна ситуація в більшості господарств не дозволяє оснастити ремонтні майстерні сучасним технологічним обладнанням для технічного сервісу. Інша причина - недоліки застосовуваних технологічних процесів консервації та ремонтного фарбування сільськогосподарської техніки. У зв'язку з цим існує необхідність в розробці нових підходів і рішень щодо захисту сільськогосподарської техніки від корозії.

1.2. Способи захисту сільськогосподарської техніки

Для запобігання виникнення корозії сільськогосподарської техніки і для збереження її ресурсу та працездатності необхідним є надійний захист металевих поверхонь від зовнішніх чинників як на період проведення робіт, так і під час зберігання. Тому антикорозійний захист сільськогосподарської техніки при обслуговуванні та ремонті має важливе значення.

Заводи виробники на деталі і елементи сільськогосподарської техніки наносять лакофарбові покриття, які володіють захисними і декоративними властивостями. В період експлуатації і зберігання ці покриття зношуються під дією різних факторів. При зношуванні покриття, для запобігання корозії, необхідно в ремонтних умовах його відновлювати або створювати нове. Відомо, що до основних способів захисту металевих поверхонь сільськогосподарської техніки відносяться: нанесення на поверхню різних мастильних консервуючих матеріалів, покриття легкоплавкими кольоровими металами, порошково-полімерні покриття, лакофарбові покриття.

1.2.1. Нанесення на поверхню мастильних консерваційних матеріалів

Одним з найпоширеніших способів захисту сільськогосподарської техніки є нанесення на поверхню мастильних консерваційних матеріалів, до яких відносяться: бензино-бітумні речовини, консистентні мастила, відпрацьована моторна олива та ін. В даний час розробляються різні варіанти мастильних консерваційних матеріалів для захисту сільськогосподарської техніки від корозії з

додаванням дрібнодисперсних компонентів, інгібіторів корозії, а також наноматеріалів. Модифікація мастильних консерваційних матеріалів з різними добавками дозволяє значно підвищити захисні властивості одержуваних складів.

Захисні властивості мастильних консерваційних матеріалів полягають в утворенні на поверхні металу непроникного для зовнішніх факторів шару, який не вступає в реакцію з металом і перешкоджає проникненню до металу рідких і газоподібних агресивних середовищ. Тривалість захисної дії залежить як від виду консерваційного матеріалу, так і від умов в яких знаходиться захищається виріб.

Мастильні консерваційні матеріали широко використовуються для забезпечення тимчасового захисту сільськогосподарської техніки під час перевезення і постановці на зберігання, як в умовах відкритої атмосфери, так і в приміщеннях. У порівнянні з такими захисними покриттями, як лакофарбове, порошково-полімерне і покриття легкоплавкими кольоровими металами, мастильні консерваційні матеріали мають перевагу, пов'язану з простотою нанесення і видалення з поверхні, а також своєю дешевизною. Головним недоліком мастильних консерваційних матеріалів є те, що вони неефективно захищають металеву поверхню, оскільки при впливі механічних навантажень захисний шар швидко видалається з поверхні. Особливо малоефективний даний спосіб захисту в умовах експлуатації на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів, таких як поверхні днища і шнека, по яких переміщається рослинна маса.

1.2.2. Покриття легкоплавкими кольоровими металами

Існує кілька методів створення покриття: зануренням в розплавлений метал, гальванічним способом, розпиленням металу, дифузійною металізацією і т.д. Для здійснення вищеназваних способів застосовуються: хром, нікель, кадмій, цинк, мідь, алюміній, свинець і ін. Перераховані методи захисту від корозії носять в основному промисловий характер, хоча деякі з них іноді використовуються на ремонтних підприємствах для покриття дрібних і середніх деталей. До основних переваг металевих покриттів можна віднести механічну міцність, довговічність,

декоративність. Однак навіть найдешевше з металевих покриттів в кілька разів дорожче фарбування. Покриття легкоплавкими кольоровими металами - значно більш витратний спосіб, що вимагає для його здійснення на ремонтних підприємствах наявності спеціального обладнання, саме тому він не знаходить широкого застосування.

У ремонтних умовах і стосовно до поверхонь жаток практично здійсненним може бути метод розпилення металу. Однак такий метод має ряд недоліків: велика витрата металу, пористість отриманого покриття, низька адгезія покриття до металу і труднощі регулювання товщини шару покриття.

1.2.3. Нанесення порошково-полімерних матеріалів

При ремонті сільськогосподарської техніки в якості антикорозійного покриття металевих поверхонь широке застосування отримали такі полімери, як поліетилен, поліаміди, епоксидні смоли. Нанесення цих полімерів здійснюється газополум'яневим і вихровим напиленням (напилення в псевдозрідженому шарі). Метод вихрового напилення використовують для невеликих і середніх деталей. Тому, якщо розглядати нанесення полімерів на робочі поверхні жаток зернозбиральних комбайнів, то раціональний методом є газополум'яне напилення.

Технологію ремонтного фарбування сільськогосподарської техніки порошковими фарбами розглядає в своїй роботі А.С. Бодров [7]. Переваги полімерних покриттів перед іншими способами захисту від корозії полягають в тому, що вони більш довговічні, володіють механічною і хімічною стійкістю. У той же час полімерні покриття значно дорожчі лакофарбових, вимагають застосування більш дорогого технологічного устаткування, більш трудомісткі при нанесенні і, як наслідок, вимагають більше енерговитрат [20].

1.2.4. Лакофарбові покриття

До теперішнього часу одним з найпоширеніших способів захисту сільськогосподарської техніки від корозії залишаються лакофарбові покриття. Це найбільш доступний і ефективний спосіб, який дозволяє захищати

сільськогосподарську техніку як в період зберігання, так і експлуатації. В даному випадку захист поверхні відбувається за рахунок утворення суцільної плівки, яка ізолює поверхню від зовнішніх факторів. Процес утворення покриття на поверхні полягає в нанесенні лакофарбових матеріалів на цю поверхню різними способами. У роботах вчених, пов'язаних з відновленням лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки, вирішуються питання підвищення корозійної стійкості та довговічності лакофарбових покриттів за рахунок різної модифікації лакофарбових матеріалів.

При порівнянні лакофарбових покриттів з іншими способами захисту можна сказати, що цей спосіб відрізняється своєю дешевизною, простотою нанесення і надійністю. Отримання лакофарбових покриттів - менш трудомісткий процес, що вимагає менше технологічного обладнання, ніж металеві або порошково-полімерні покриття. Вартість лакофарбових покриттів значно нижче. Наприклад, найдешевша з металевих покриттів - цинкове - в кілька разів дорожче фарбування.

Лакофарбові покриття - універсальний спосіб захисту. Покриття протистоїть різним чинникам як при зберіганні, так і при експлуатації сільськогосподарської техніки, тому є більш надійним і довговічним, ніж мастильні консерваційні матеріали. За рахунок простоти здійснення процесу фарбування, а також за рахунок своєї економічності нанесення лакофарбових покриттів залишається самим затребуваним на підприємствах по ремонту сільськогосподарської техніки. В результаті можна зробити висновок, що лакофарбові покриття - найбільш прийнятний спосіб для захисту робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

1.3. Лакофарбові матеріали і покриття

Лакофарбові покриття отримують за допомогою нанесення на поверхню лакофарбових матеріалів, які представляють собою багатокomпонентні склади, здатні при нанесенні тонким шаром на поверхню виробів висихати з утворенням плівки. Більшість плівкоутворюючих речовин (природних і синтетичних), що

застосовуються в лакофарбовій промисловості, представляють собою високомолекулярні полімерні сполуки або ж перетворюються в них в процесі утворення плівки.

Варто зазначити, що полімери класифікуються: за хімічним складом, за будовою макромолекул і за способом формування покриттів. Практично всі застосовувані лакофарбові матеріали відносяться до лінійних полімерів.

Відповідно до ГОСТ 9825 лакофарбові матеріали класифікуються за такими показниками:

- хімічним складом смоли, ефіру, целюлози і олив як плівкоутворювачів і в'язучих речовин для емалей, лаків, ґрунтовок, шпаклівок.
- призначенням лакофарбового матеріалу з урахуванням умов експлуатації: атмосферостійкі, стійкі всередині приміщення, водостійкі, спеціальні, бензостійкі, хімічностійкі, термостійкі, електроізоляційні.

Найбільш поширені лакофарбові матеріали для фарбування сільськогосподарської техніки в залежності від хімічного складу діляться на пентафталеві, алкідні, акрилові, нітроцелюлозні, гліфталеві, епоксидні, масляні.

Для формування якісного лакофарбового покриття, що відповідає умовам експлуатації, необхідним є його пошарове нанесення, при цьому кожен шар (шпаклівки, ґрунту, емалі) виконує свою функцію. Отримане на основі лакофарбових матеріалів багат шарове покриття, називають системою лакофарбового покриття.

Шпаклівки застосовують в разі необхідності, для вирівнювання поверхонь. Ґрунти наносять для формування адгезійної міцності покриття з металом. Вони також мають захисні властивості, зокрема перешкоджають проникненню вологи до металу. Емалі служать для отримання зовнішнього шару лакофарбового покриття, формують захисні та фізико-механічні властивості одержуваного лакофарбового покриття.

При виборі лакофарбових матеріалів для фарбування сільськогосподарської техніки в умовах ремонтних підприємств необхідно враховувати здатність матеріалу забезпечувати надійний захист від різних

факторів в умовах експлуатації та економічну доцільність застосування лакофарбового матеріалу.

1.4. Формування лакофарбового покриття та його властивості

При нанесенні лакофарбових матеріалів на поверхні формується лакофарбове покриття. При цьому необхідні показники властивостей лакофарбових покриттів досягаються шляхом вибору лакофарбових матеріалів, а також за рахунок зміни параметрів технології фарбування, що дозволяє створювати довговічне лакофарбове покриття для певних умов експлуатації (рис. 1.1.).

В свою чергу, в залежності від умов експлуатації одні з властивостей лакофарбових покриттів набувають першорядного значення, а інші стають менш важливими.

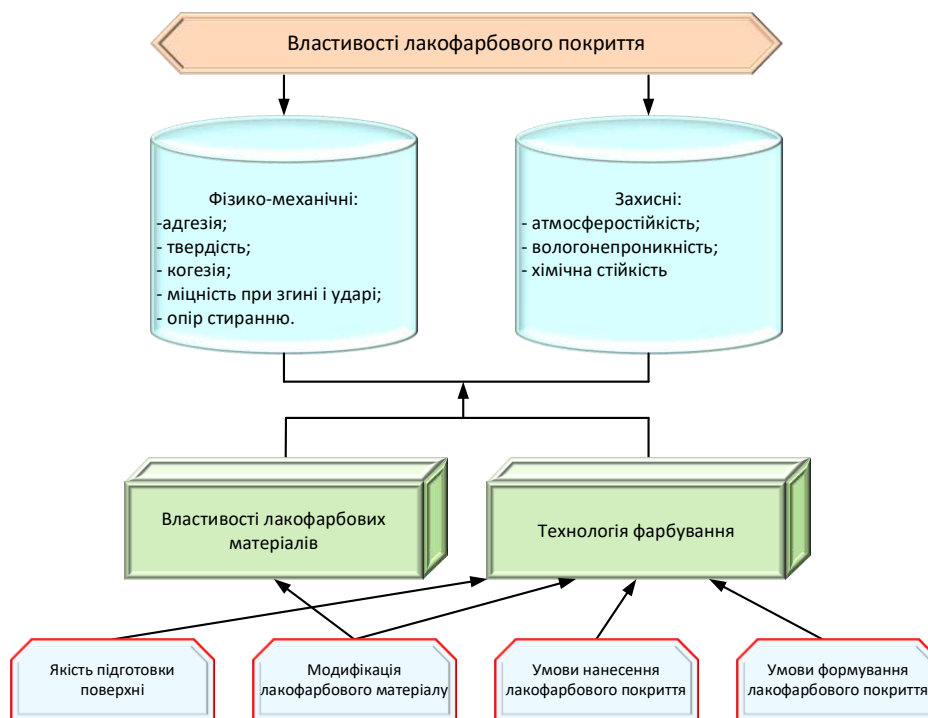


Рис. 1.1. Схема формування властивостей лакофарбових покриттів (ЛФП)

Довговічність лакофарбових покриттів може змінюватися в залежності від якості підготовки поверхні, умов нанесення та формування лакофарбових покриттів. У свою чергу, довговічність лакофарбового покриття залежить від фізико-механічних і захисних властивостей. До фізико-механічними властивостями відносяться: адгезія, твердість, міцність при вигині і ударі,

еластичність, когезія і опір стирання. До захисних - волого непроникиність, атмосферостійкість, хімічна стійкість.

Якість лакофарбового покриття в значній мірі залежить від підготовки металевої поверхні безпосередньо перед нанесенням лакофарбового матеріалу. Від підготовки поверхні залежить адгезія майбутнього лакофарбового покриття з металом, а також захист металу від корозії.

Способи підготовки поверхні до фарбування бувають механічні, хімічні та термічні. В основному застосовують механічні і хімічні способи підготовки. Механічні способи можуть бути здійснені різними методами: обробка ручним і механізованим інструментом, гідроабразивна обробка, піскоструминний метод, чищення, шліфування та ін. Хімічні способи здійснюються травленням і знежиренням, застосуванням різних протикорозійних матеріалів.

В умовах ремонтних підприємств процес підготовки поверхні, як правило, складається з наступних операцій: видалення продуктів корозії і старого лакофарбового покриття, видалення забруднень, знежирення. Вибір того чи іншого способу підготовки поверхні здійснюється в залежності від характеру забруднення, від стану попереднього лакофарбового покриття, від ступеня корозії поверхні. У деяких випадках можливе застосування сукупності механічних і хімічних способів підготовки.

При формуванні лакофарбових покриттів необхідно також враховувати спосіб нанесення. При нанесенні лакофарбових матеріалів в умовах ремонтних підприємств застосовують такі найпоширеніші способи: пневматичне розпилення, безповітряне розпилення, розпилення в електричному полі, фарбування зануренням, фарбування пензлем.

Залежно від способу нанесення лакофарбових матеріалів можливо отримувати різні класи покриття.

Пневматичне розпилення - основний спосіб отримання високого класу покриття - першого. Пневматичним розпиленням наносяться всі ґрунти і емалі, при цьому можна отримати найбільш довговічне покриття в порівнянні з іншими способами.

Однією з особливостей при використанні лакофарбових матеріалів є умови їх нанесення. Як правило, більшість лакофарбових матеріалів наносяться при температурі 15-23°C і відносній вологості повітря 70-75%.

Одним з найважливіших технологічних параметрів є режим сушіння (затвердіння покриття). Затвердіння лакофарбового покриття здійснюють двома способами: в природних умовах, при температурі 15-25°C (18-24 год), і в штучних, з нагріванням до більш високих температур (80-150°C), при цьому час формування покриття знижується.

При нанесенні лакофарбових матеріалів не менше важливо дотримуватися товщини створюваного покриття. Виробники лакофарбових матеріалів вказують оптимальні значення товщини для кожної з систем лакофарбових покриттів.

Дослідження показують, що зі зменшенням оптимальної товщини покриття знижуються його захисні властивості, а при збільшенні товщини можуть погіршуватися фізико-механічні властивості, зокрема, це може призвести до збільшення внутрішніх напружень, що вплине на появу тріщин і знизить адгезійну міцність покриття.

Найбільш важливою властивістю лакофарбових покриттів при будь-яких умовах експлуатації є адгезія. Адгезія формується в основному за рахунок якості підготовки поверхні і вибору нанесення ґрунту. У випадку з поверхнями днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів, які піддаються постійному механічному впливу рослинної маси, частинок ґрунту, крім адгезії важливою властивістю також є опір стиранню.

1.5. Руйнування лакофарбового покриття

Під час експлуатації та зберігання сільськогосподарської техніки лакофарбові покриття можуть піддаватися впливу різноманітних негативних факторів. В результаті цього вони зазнають незворотних змін, що призводить до зниження їх фізико-механічних і захисних властивостей.

Зниження показників властивостей лакофарбового покриття відбувається за рахунок хімічних і фізичних процесів. Хімічні процеси підрозділяються на

деструкцію (руйнування) і структурування. При деструкції відбувається розрив ланцюгів макромолекул покриття, зменшення їх розмірів і зниження молекулярної маси. У свою чергу, при структуруванні відбувається подальша полімеризація лакофарбового покриття, що призводить до збільшення його твердості і зменшення еластичності.

До фізичних процесів відносять:

- розтріскування покриття за рахунок різної величини коефіцієнтів температурного розширення і під дією ударів і вібрацій;
- механічне стирання лакофарбового покриття під дією рослинної маси, ґрунту, пилу;
- сорбція лакофарбовим покриттям вологи, газоподібних і рідких речовин.

Варто відзначити, що, як правило, хімічні і фізичні процеси відбуваються одночасно. Це призводить до більш інтенсивного старіння лакофарбового покриття. Характерними ознаками старіння є: втрата маси, зниження розчинності, втрата еластичності, підвищення твердості, зміна зовнішнього вигляду, поява матовості, розтріскування, вицвітання, зменшення опору удару, вигину, стирання.

Значне зниження показників фізико-механічних і захисних властивостей лакофарбових покриттів в результаті призводить до виникнення корозійних процесів. Проміжок часу від початку експлуатації лакофарбового покриття до втрати ним своїх фізико-механічних і захисних властивостей називається терміном використання лакофарбового покриття.

Короткочасний термін використання лакофарбового покриття може бути обумовлений застосуванням невідповідних лакофарбових матеріалів і недотриманням процесу фарбування.

В залежності, від того які функції виконує пофарбована поверхня (в яких умовах експлуатується лакофарбове покриття), буде залежати термін його використання. Так, наприклад, умови експлуатації лакофарбового покриття на зовнішній поверхні даху молотарки комбайна відрізняються від умов експлуатації лакофарбового покриття на днищі жнивarki або похилій камері. Відповідно

терміни використання покриттів на різних поверхнях комбайна будуть відрізнятися.

Фарбовані поверхні комбайнів можна поділити на чотири групи за термінами використання і умовами протікання процесу руйнування їх лакофарбового покриття (табл. 1.1.).

Таблиця 1.1.

Класифікація поверхонь обшивки комбайна в залежності від терміну використання лакофарбового покриття

Група	Найменування поверхонь, вузлів, деталей	Основні руйнівні фактори	Термін використання покриття
Поверхні, схильні до корозійно-механічного зношування	Днища похилої камери і жатки, шнек жатки, внутрішні поверхні боковин молотарки	Механічна дія рослинної маси, частинок ґрунту. Атмосферні опади, вологість, перепади температур і ін.	Менше 1 року
Поверхні, що утворюють виїмки, западини, ємності, в яких накопичується волога, пил і бруд	Верхня частина кожуха і увігнута частина днища кожуха вентилятора, частина поверхні даху молотарки під бункером, кронштейни кожухів шнеків	Тривале перебування на пофарбованих поверхнях опадів, бруду, продуктів обмолоту. Атмосферні опади, вологість, перепади температур і ін.	Від 1 до 1,5 років
Поверхні, які піддаються постійному впливу дизельного палива і мастил	Верхня поверхня даху молотарки, частина зовнішніх поверхонь боковин молотарки	Атмосферні опади, вологість, перепади температур і ін.	Від 1,5 до 2 років
Вертикально розташовані поверхні	Права та ліва зовнішні поверхні боковин молотарки вітровий щит жатки, вертикально розташовані стінки бункера	Атмосферні опади, вологість, перепади температур і ін.	Більше 2 років

З проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що робочі поверхні жаток (поверхні днища і шнека) схильні до корозійно-механічного зношування. Термін використання їх захисних лакофарбових покриттів значно нижчий, ніж у інших поверхонь комбайна, і становить менше

одного року. Питання надійного захисту робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів залишаються не до кінця вирішеними. Потрібно розробляти нові підходи і рішення, пов'язані з підвищенням зносостійкості лакофарбових покриттів для цих поверхонь.

Висновки з розділу

1. Сільськогосподарська галузь щорічно зазнає великих збитків, пов'язаних з корозійними руйнуваннями. Найбільш схильні до корозійного руйнування та зносу деталі, вузли і агрегати, що контактують з ґрунтом і рослинною масою.

2. У жаток зернозбиральних комбайнів насамперед піддаються корозії поверхні виготовлені з тонколистових сталей - поверхні днища і шнека, по яких переміщується рослинна маса.

3. Одним з найбільш поширених, доступних і ефективних способів захисту сільськогосподарської техніки від корозії в умовах експлуатації та зберігання є лакофарбові покриття.

4. Для створення довговічного лакофарбового покриття необхідно враховувати тип лакофарбового матеріалу, технологічні параметри технології фарбування. Залежно від цього лакофарбове покриття буде володіти певним набором фізико-механічних і захисних властивостей.

5. Одним з основних властивостей лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів є опір стирання.

6. Лакофарбові покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів відносяться до першої групи поверхонь, які відрізняються найменшим терміном використання серед інших поверхонь комбайна, термін використання лакофарбових покриттів цих поверхонь становить менше одного року.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕМОНТНОГО ФАРБУВАННЯ ЖАТОК ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

2.1. Аналіз процесів тертя і зношування

На підставі проведеного далі аналізу умов експлуатації робочих органів сільськогосподарської техніки можна зробити висновок, що знос лакофарбового покриття відбувається в основному під впливом сил тертя [40]. Звідси витікає, що необхідно розглянути теорію тертя і зносу з метою визначення закономірностей зносу лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів та виявити чинники, які впливають на знос.

Характеризуючи процес тертя і зносу ми дійшли висновку що на цей процес впливають:

- Вхідні параметри, якими можна здаватися (температура, навантаження, швидкість переміщення поверхонь тертя і т.д);
- внутрішні фактори, що відбуваються при безпосередній взаємодії тіл, що труться, які складно контролювати під час реалізації фрикційного процесу (виділення теплоти при терті, зміна шорсткості поверхонь та їх структури);
- вихідні параметри, які фіксуються в результаті фрикційного взаємодії (сила тертя і інтенсивність зношування).

На виникнення тих або інших вхідних факторів впливає вид тертя і вид зношування при терті. Тертя буває як внутрішнє, так і зовнішнє. Зовнішнє тертя виникає при опорі переміщенню, яке відбувається між двома тілами в зонах дотику їх поверхонь по дотичним до них. При внутрішньому терті виникає опір переміщенню частинок одного і того ж тіла. Таким чином, в умовах експлуатації жаток зернозбиральних комбайнів зовнішнє тертя на їх поверхнях виникає в парі «лакофарбове покриття - рослинна маса». У свою чергу, зовнішнє тертя можна класифікувати за наявністю відносного руху, за характером відносного руху, за наявністю мастильного матеріалу (рис. 2.1.).

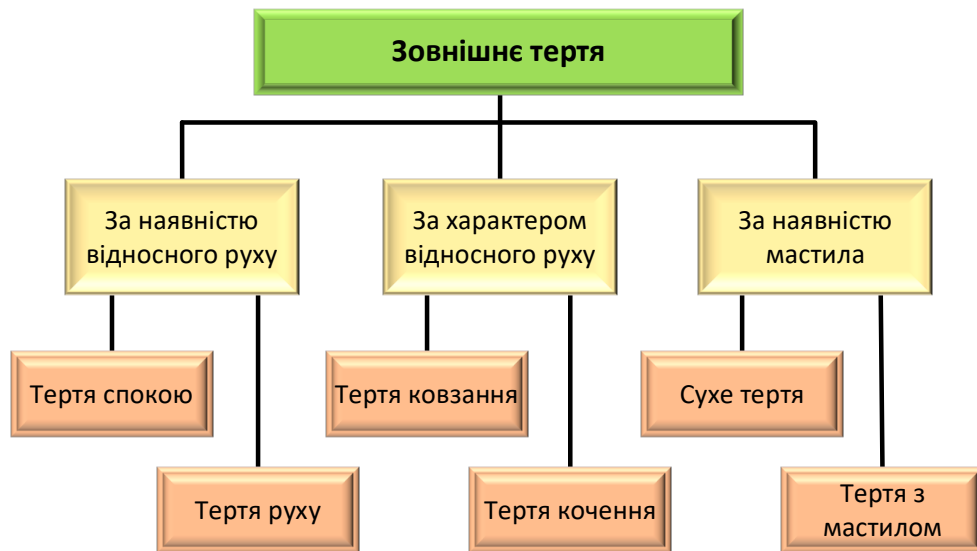


Рис. 2.1. Схема класифікації видів зовнішнього тертя

Виходячи із рис. 2.1. у пари «лакофарбове покриття - рослинна маса» тертя відбувається: за наявності відносного руху - тертя руху, за характером відносного руху - тертя ковзання, за наявністю мастильного матеріалу - сухе тертя.

Для кількісного визначення тертя основною характеристикою є сила тертя F , яка визначається взаємодією цих поверхонь за площею фактичного, контакту S . У загальному випадку сила тертя є функцією наступних параметрів зовнішнього тертя:

$$F = f(P; V; T; t; \mu), \quad (2.1.)$$

де P - тиск, Па;

V - швидкість ковзання, м/с;

T - температура, °С;

t - час контакту, с;

μ - коефіцієнт тертя.

На практиці часто використовується питома номінальна сила тертя f , що визначається відношенням:

$$f = \frac{F}{S_H}, \quad (2.2.)$$

де F - сила тертя, Н;

S_H - площа номінального геометричного контакту, см².

Поширеною характеристикою є також коефіцієнт тертя μ , який за визначенням дорівнює:

$$\mu = \frac{F}{N}, \quad (2.3.)$$

де N - нормальна навантаження, Н.

Поряд з питомою силою тертя f користуються поняттям тиску або питомої нормальним навантаженням P .

$$P = \frac{N}{S_H}, \quad (2.4.)$$

Перераховані вище характеристики тертя враховуються в теорії зносу і можуть бути використані при розрахунку інтенсивності зношування. Таким чином, проглядається безпосередній зв'язок між теорією тертя і зносу.

В процесі тертя відбувається зношування, що виявляється в поступовій зміні розмірів або форми тіла. Знос може бути виражений як: V - об'єм зношеного матеріалу, см^3 ; G_m - маса зношеного матеріалу, г; h - товщина зношеного шару, см. Він також може бути охарактеризований наступними величинами (критеріями):

➤ масова інтенсивність зношування:

$$I_q = \frac{G_m}{L}, \quad (2.5.)$$

де G_m - маса зношеного матеріалу, г;

L - шлях тертя, см;

$$I_h = \frac{h}{L}, \quad (2.6.)$$

де h - товщина шару, знятого з площі фактичного контакту при її одноразовому відтворенні, см;

➤ енергетична інтенсивність зношування:

$$I_W = \frac{V}{A}, \quad (2.7.)$$

де V - об'єм зношеного матеріалу, см^3 ;

A - робота тертя, Дж.

Крім того, інтенсивність зношування характеризується питомими характеристиками:

➤ питомий масовий знос:

$$i_q = \frac{G_m}{Sl}, \quad (2.8.)$$

де S - площа фактичного контакту, см^2 ;

l - шлях тертя, що дорівнює діаметру плями торкання, см ;

➤ питома лінійний знос:

$$i_h = \frac{V_l}{sd}, \quad (2.9.)$$

де V_l - об'єм відокремленої речовини при переміщенні на довжину, рівну діаметру плями контакту, см^3 ;

d - діаметр одиничної плями контакту, см .

Відповідно до ГОСТ 50740-95 і ГОСТ 30479-97 інтенсивність зношування визначається також як відношення значення зносу до обумовленого шляху, на якому відбувається зношування, або обсягу виконаної роботи.

Зв'язок критеріїв зносу з фізико-механічними показниками матеріалу і зовнішніми параметрами визначається механізмом зносу в рамках певної теорії зносу. Для проведення розрахунків інтенсивності зношування необхідно враховувати виникаючий в процесі тертя контакт і вид зношування. Основоположником теорії зовнішнього тертя і зношування І.В. Крагельським був класифікований виникаючий при терті контакт: пружний контакт, пластичний контакт, мікрорізання, адгезійна взаємодія, когезійний відрив. Вид контакту визначається властивостями взаємодіючих матеріалів.

Пружне відтискування матеріалу виступами контртіла (пружний контакт) має місце, коли діюча навантаження і адгезія не призводять до виникнення в зоні контакту напружень, що перевищують межу текучості, тобто цей вид зв'язку характеризується відсутністю залишкових деформацій. Руйнування матеріалу (знос) в цьому випадку можливий лише в результаті фрикційної втоми після багаторазового повторного навантаження.

Пластичне відтиснення матеріалу (пластичний контакт) характеризується появою залишкової (пластичною) деформації, яка відбувається, якщо контактні напруги досягають межі текучості і матеріал обтікає проникаючі виступи

контртіла. Знос в даному випадку буде результатом мало-циклової фрикційної втоми. Причому кількість циклів навантаження, що приводить до руйнування основи, порівняно мале (мало- циклова втома).

Мікрорізання відбувається, якщо контактні напруги або деформації досягають руйнівних значень, коли порушується режим обтікання виступів деформованим матеріалом. Руйнування в цьому випадку відбувається при перших же актах взаємодії. Мікрорізання характеризується руйнуванням матеріалу основи і відокремленні частинок зносу при одноразовому навантаженні.

Адгезійне порушення фрикційного зв'язку (адгезійна взаємодія) по тій же поверхні, по якій вона виникла, не приводить безпосередньо до руйнувань, але вносить вклад у величину діючих на контактні напружень і деформацій, тобто сприяє процесам втоми. У цьому випадку спостерігається прилипання плівок, покриваючих поверхонь, а тертя і руйнування фрикційного зв'язку відбувається на глибині в межах товщини плівок.

Когезійний відрив виникає, якщо міцність фрикційної зв'язку вище міцності лежачого нижче матеріалу і відбувається глибоке виривання. Знос при цьому, як і в разі мікрорізання, відбувається після перших же взаємодій. Когезійне руйнування поверхні при великій міцності адгезійних зв'язків супроводжується схоплюванням поверхонь і глибоким вириванням матеріалу. Такий вид порушення фрикційного зв'язку заважає нормальній роботі з'єднань і призводить до здирання поверхонь тертя.

У різних умовах можуть виникати різні види зношування (рис. 2.2.). Однак, найбільш поширеним видом зношування деталей сільськогосподарської техніки є абразивний. Це пов'язано з тим, що більшість деталей, особливо робочі органи техніки, при експлуатації контактують з матеріалами, які викликають абразивне зношування: ґрунт, рослинна маса тощо. При цьому виникає висока ступінь концентрації контактних напружень, і поверхневий шар піддається інтенсивному руйнуванню. Як правило, такий вид зношування навіть при малій кількості абразивних частинок переважає інші види зношування з менш високим

рівнем контактних напружень.

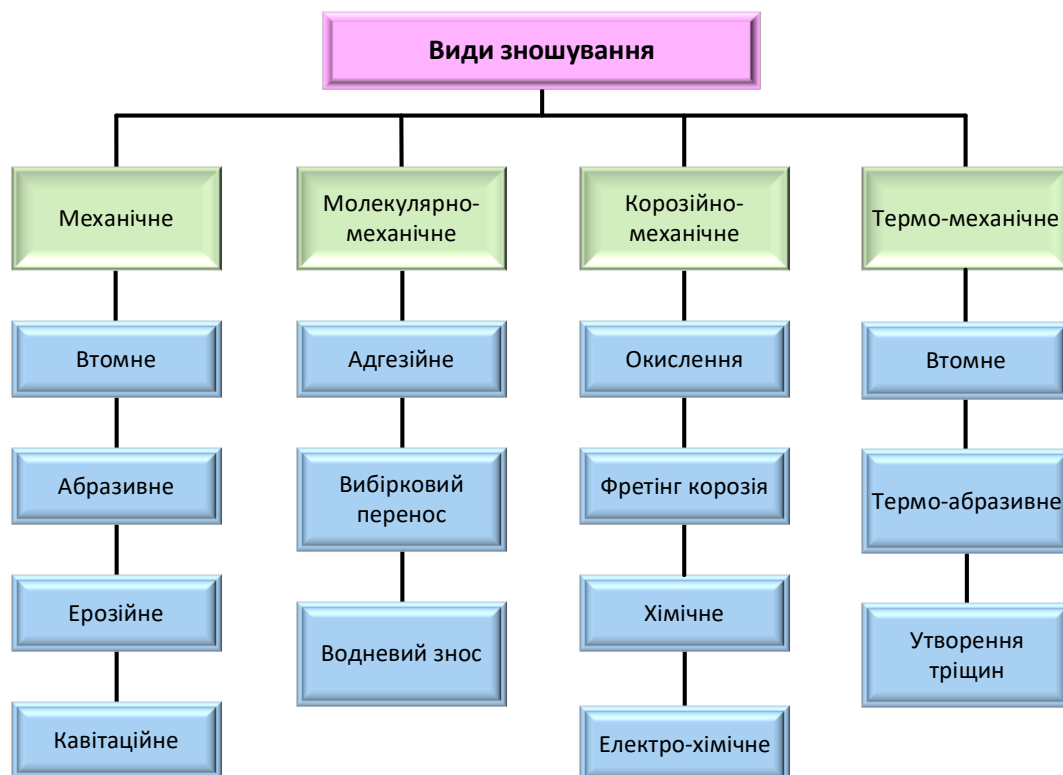


Рис. 2.2. Основні види зношування фрикційних пар

Для визначення характеру зносу лакофарбового покриття поверхонь днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів необхідно розглянути особливості транспортування рослинної маси.

2.2. Особливості транспортування рослинної маси шнеком жатки зернозбирального комбайна

Транспортування матеріалів гвинтовими конвеєрами (шнеками) - складний процес, що обумовлює труднощі його математичного опису. Численні дослідження показують, що досить точно розрахувати параметри і режими роботи гвинтового конвеєра (шнека) за існуючими формулами неможливо, помилка, як правило, досягає від 15 до 60% [49].

Відомо, що продуктивність гвинтового конвеєра виражається наступним чином:

$$Q = f(D, r_0, S, \omega, \alpha, \varphi, \mu, \gamma), \quad (2.10.)$$

де D - діаметр гвинта;

r_0 - радіус вала гвинта;

S - крок гвинта;

ω - кутова швидкість обертання гвинта;

α - кут підйому гвинтової лінії по зовнішньому діаметру гвинта;

φ - кут природного укосу матеріалу, що транспортується;

μ - коефіцієнт тертя рослинної маси по кожуху і гвинту;

γ - щільність матеріалу, що транспортується.

Основним недоліком існуючих методик визначення продуктивності гвинтового конвеєра є те, що при розрахунках замість швидкості руху матеріалу, який транспортується використовують швидкість самого шнека. Як правило, матеріал, який транспортується розглядається як однорідне тіло з однаковими фізико-механічними властивостями, а його переміщення відбувається по однорідній поверхні. Однак, на наш погляд, на продуктивність шнеків впливають фізико-механічні властивості матеріалів, що транспортуються (наприклад, рослинна маса, яку збирають зернозбиральні комбайни), фактичний стан поверхні, по якій переміщується матеріал.

Вплив різних умов, таких як нерівномірність подачі і розподілу матеріалу між шнеком і днищем жатки, погодні умови (вологість, швидкість вітру тощо.), при яких транспортується рослинна маса, не враховуються з огляду на труднощі проведення даних досліджень.

Наступний недолік - це не врахування опору руху матеріалу за його ходом (через різницю в коефіцієнтах тертя матеріалу про поверхні робочих органів жнивarki зернозбирального комбайна) та наявності підпору в середній частині шнека жатки, пов'язаного зі специфікою конструкції шнека .

На практиці поверхні робочих органів жниварок зернозбиральних комбайнів фарбуються різними лакофарбовими матеріалами.

Результати досліджень, показують, що лакофарбові покриття робочих поверхонь жаток (поверхонь днища і шнека) стираються швидше, ніж за один сезон роботи зернозбирального комбайна (рис. 2.3.). При цьому покриття стирається нерівномірно. Його знос становить від декількох мікрометрів (у країв жатки) до повного стирання на середині (в районі похилої камери) (рис. 2.4.).

Зростання зносу від країв жатки до середини пов'язано з рядом факторів, один з яких - підвищення тиску на лакофарбове покриття. Пов'язано це з тим, що шнек жатки двостороннього дії і він спрямовує рух зрізаної рослинної маси від країв жатки до середини.



а)



б)

Рис. 2.3. Поверхні днища і шнека жатки зернозбирального комбайна
Акрос - 530

а) - один сезон експлуатації б) - два сезони експлуатації

Таким чином, при наявності характерного для жаток зернозбиральних комбайнів зношування лакофарбового покриття рослинна маса фактично транспортується по різних поверхнях, що мають різні коефіцієнти тертя ковзання. Наприклад, це можуть бути наступні поверхні: поверхня з емаллю, поверхня з ґрунтовкою, поверхня без лакофарбового покриття - метал.



Рис. 2.4. Поверхня днища жатки комбайна Акрос - 530 після двох
сезонів роботи

2.1.1. Теоретичне обґрунтування обсягу виконаних робіт на ділянках днища і шнека жатки в залежності від напрацювання комбайна

Нерівномірний знос лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів пов'язаний з кількістю рослинної маси, що проходить через конкретну ділянку. Для представлення процесу переміщення рослинної маси по жатці розділимо її на 6 ділянок (рис. 2.5.).

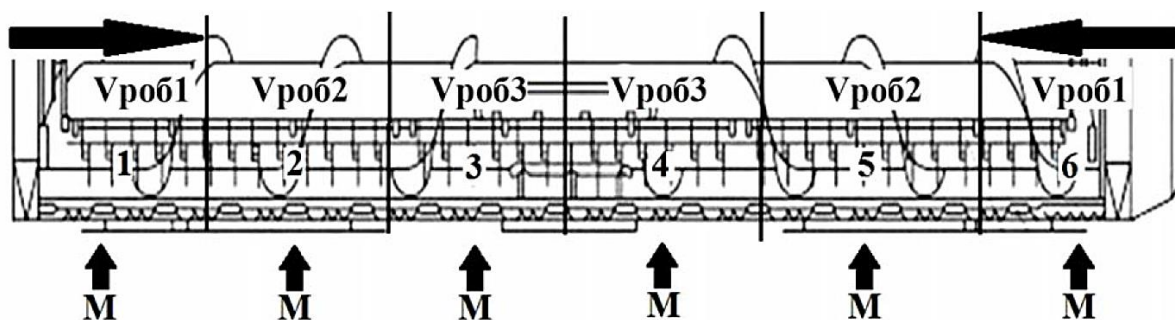


Рис. 2.5. Розподіл рослинної маси по жатці під час збиральних робіт

M - обсяг рослинної маси, яка скошується кожною ділянкою жатки під час проведення збиральних робіт; $V_{робі}$ - кількість рослинної маси, яка проходить на певній ділянці жатки

По кожній з ділянок поверхні шнека і днища жатки під час руху комбайна проходить певний обсяг рослинної маси $V_{робі}$. Так, кількість рослинної маси, яка проходить через першу і на шосту ділянки жатки буде рівною кількості рослинної маси M , яка скошується на цих ділянках:

$$V_{роб\ 1,6} = M, \quad (2.11.)$$

де $V_{роб\ 1,6}$ - кількість рослинної маси, яка проходить через першу і шосту ділянки, т;

M - кількість скошеної рослинної маси на першій і шостій ділянках, т.

Для другої і п'ятої ділянок:

$$V_{роб\ 2,5} = 2M, \quad (2.12.)$$

де $V_{роб\ 2,5}$ - кількість рослинної маси, яка проходить через другу і на п'яту ділянки, т.

Для третьої і четвертої ділянки:

$$V_{роб\ 3,4} = 3M, \quad (2.13.)$$

де $V_{роб\ 3,4}$ - кількість рослинної маси, яка проходить через третю і четверту ділянки, т.

Загальна кількість рослинної маси, скошеної комбайном, т

$$V_{заг} = 6M, \quad (2.14.)$$

Різна кількість рослинної маси на ділянках призводить до виникнення різного тиску на лакофарбове покриття поверхонь днища і шнека жатки, що призводить до нерівномірного зносу лакофарбового покриття.

2.2.2. Теоретичне обґрунтування значень коефіцієнтів тертя ковзання пари «лакофарбове покриття - рослинна маса»

Нерівномірний знос лакофарбового покриття робочих поверхонь жатки призводить до того, що рослинна маса переміщується по різних ділянках, які мають різні значення коефіцієнтів тертя ковзання. Якщо уявити, що рослинна маса переміщається по 6 ділянках жатки з різними значеннями коефіцієнтів тертя ковзання і тиску, то зазначені показники для ділянок 1 і 6, 2 і 5, 3 і 4 будуть приблизно рівними (рис. 2.6.).

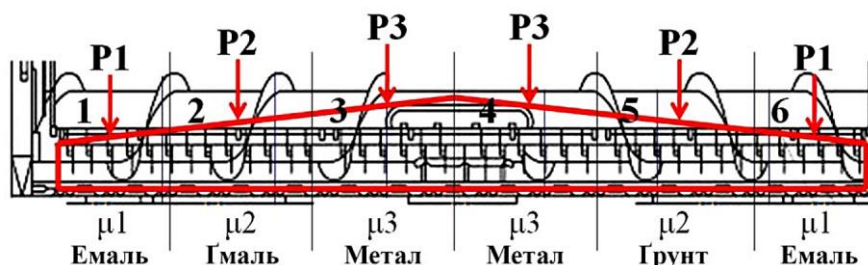


Рис. 2.6. Особливості роботи окремих ділянок поверхні днища і шнека жатки комбайна

P_1, P_2, P_3 - тиск, який чинить рослинна маса відповідно на ділянках 1 і 6; 2 і 5; 3 і 4. μ_1, μ_2, μ_3 - коефіцієнти тертя відповідно на ділянках 1 і 6; 2 і 5; 3 і 4

Відповідно, питома номінальна сила тертя f на цих ділянках буде різна.

Так, для першої ділянки:

$$f_1 = \mu_1 \cdot P_1, \quad (2.15.)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя на першій ділянці;

P_1 - тиск на першій ділянці, Па.

Для подальших ділянок:

$$f_i = \mu_i \cdot P_i, \quad (2.16.)$$

де μ_i - коефіцієнт тертя на i -ій ділянці;

P_i - тиск на i -й ділянці, Па.

Переміщення рослинної маси по окремих ділянках поверхні днища і шнека жатки з різними показниками коефіцієнта тертя і тиску призводить до виникнення додаткових опорів, що перешкоджають переміщенню маси до похилої камери, в зв'язку з чим комбайнери змушені змінювати режими роботи комбайна (виліт і обороти мотовила, швидкість руху і т.д.), що призводить до додаткових витрат.

Проведений аналіз дозволив виявити особливості зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, з урахуванням яких передбачається розробити аналітичну модель інтенсивності зношування лакофарбового покриття.

2.3. Визначення інтенсивності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів

Інтенсивність зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів можна визначити згідно методики, яка приведена згідно стандартів:

$$I_V = \frac{\Delta h}{V_{\text{роб}}}, \quad (2.17.)$$

де Δh - товщина зношеного лакофарбового покриття, мкм;

$V_{\text{роб}}$ - кількість рослинної маси, яка спричинила зношення лакофарбового покриття, т.

Через те що інтенсивність зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жатки на окремих ділянках різна, і покриття зношується нерівномірно (від країв до середини), то розрахунок інтенсивності зношування лакофарбового покриття для прикладу з шістьма ділянками матиме вигляд:

- для першої ділянки:

$$I_{V1} = \frac{h_n - h_{k1}}{V_{роб1}}, \quad (2.18.)$$

де h_n - початкова товщина лакофарбового покриття, мкм;

h_{k1} - товщина лакофарбового покриття на першій ділянці по закінченню збиральних робіт, мкм.

Для подальших ділянок:

$$I_{Vi} = \frac{h_n - h_{ki}}{V_{робi}}, \quad (2.19.)$$

де h_{ki} - товщина лакофарбового покриття на i -ій ділянці після проведення збиральних робіт, мкм;

$V_{робi}$ - обсяг виконаних робіт на i -ій ділянці, т.

Таким чином, середня інтенсивність зношування лакофарбового покриття жатки зернозбирального комбайна в нашому випадку буде мати вигляд:

$$I_{Vcse} = \frac{\frac{h_n - h_{k1}}{V_{роб1}} + \frac{h_n - h_{k2}}{V_{роб2}} + \frac{h_n - h_{k3}}{V_{роб3}} + \frac{h_n - h_{k4}}{V_{роб4}} + \frac{h_n - h_{k5}}{V_{роб5}} + \frac{h_n - h_{k6}}{V_{роб6}}}{6}, \quad (2.20.)$$

Після перетворення отримаємо

$$I_{Vcse} = \frac{22h_n - 12h_{k1,6} - 6h_{k2,5} - 4h_{k3,4}}{M}, \quad (2.21.)$$

У загальному випадку формула для розрахунку інтенсивності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів матиме вигляд:

$$I_{Vcse} = \frac{\frac{\Delta h_1}{V_{роб1}} + \frac{\Delta h_2}{V_{роб2}} + \dots + \frac{\Delta h_i}{V_{робi}}}{n}, \quad (2.22.)$$

де Δh_i - знос покриття на i -ій ділянці поверхні, мкм;

$V_{робi}$ - кількість рослинної маси, яка пройшла через i -ту ділянку поверхні, т;

n - кількість ділянок.

Отриманий вираз дозволяє визначати інтенсивність зношування лакофарбового покриття, в тому числі і на окремих ділянках робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

2.4. Знос лакофарбового покриття при його терті з рослинною масою

При переміщенні рослинної маси по робочих поверхонь жатки

зернозбирального комбайна виникає пара тертя «рослинна маса - лакофарбове покриття». В результаті цієї взаємодії зношується лакофарбове покриття. В розділі 1 зазначено, що лакофарбові покриття відносяться до твердих полімерів, які одержують шляхом нанесення лакофарбових матеріалів. Таким чином, для теоретичного уявлення зносу лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів необхідно розглянути теорію тертя і зносу полімерів.

Одними з основоположників теорії зносу полімерів були такі вчені, які стверджували, що знос - явище значно складніше, ніж зовнішнє тертя, і являє собою результат сукупності фізико-хімічних процесів, що протікають на поверхні тертя і в граничних шарах полімерів.

Вченими були визначені (рис. 2.7.) види зношування полімерів: від утоми, абразивний, кавітаційний та ерозійний.

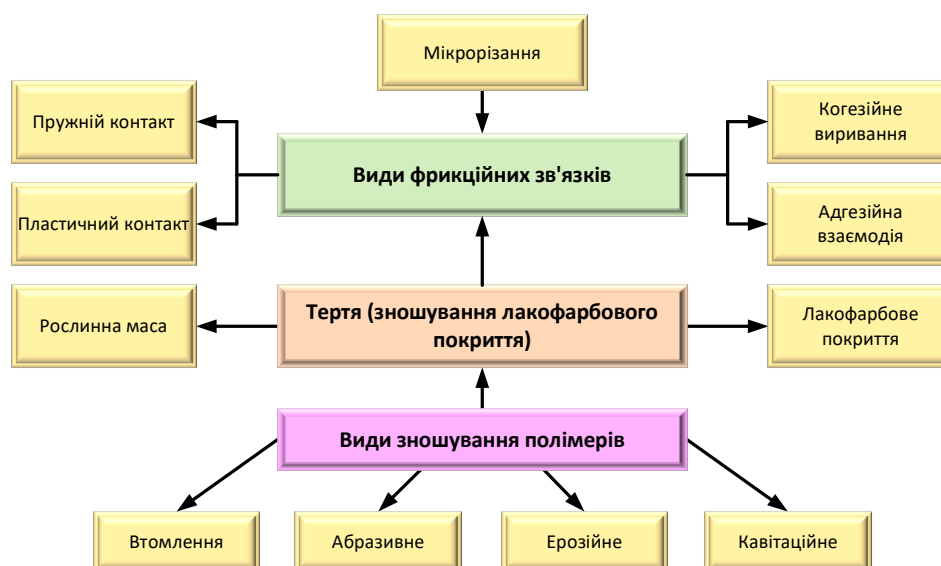


Рис. 2.7. Види фрикційних зв'язків і зношування полімерів

За даними видатних науковців при переміщенні рослинної маси по робочих поверхнях жатки відбувається абразивне зношування лакофарбового покриття.

В свою чергу вчені називають найбільш характерними видами контакту при абразивному зношуванні пружний або пластичний контакт.

Для визначення інтенсивності абразивного зношування при пружному контакті відома формула:

$$I = \frac{c_1 q (1 - \eta^2)}{E}, \quad (2.24.)$$

Де c_1 - константа шорсткості (характеризує поверхню);

q - контурний питомий тиск, Н/м²;

η - коефіцієнт Пуассона;

E - модуль пружності, Н/м².

При цьому контурний питомий тиск можна визначити за формулою

$$q = \frac{1,4HB^2(1-\eta^2)^4}{\Delta^2E^4}, \quad (2.25.)$$

де HB - твердість за Брінеллем, МПа;

Δ - комплексна характеристика шорсткості, яка враховує гостроту виступів і розподіл шорсткого шару по висоті профілю.

Інтенсивність абразивного зношування при пластичному контакті визначається як:

$$I = \frac{c_2q}{HB}, \quad (2.26.)$$

де c_2 - константа шорсткості (характеризує поверхню).

З формул (2.24.) - (2.26.), можна зробити висновок, що інтенсивність абразивного зношування полімерів залежить в основному від твердості і шорсткості поверхонь.

Фактори, що впливають на знос лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів можна розділити на зовнішні і внутрішні. У свою чергу, зовнішні фактори можна розділити на фактори, що залежать від властивостей рослинної маси і від умов її переміщення. Якими властивостями володіє рослинна маса, залежить від культури, яку збирають, а умови переміщення рослинної маси - від режимів роботи комбайна. До внутрішніх факторів належать параметри лакофарбового покриття, що формується на робочих поверхнях жаток, які задаються властивостями лакофарбових матеріалів і технологією фарбування.

Оскільки метою роботи є підвищення зносостійкості лакофарбового покриття жаток зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення технологічного процесу ремонтного фарбування, то до подальшого аналізу можуть бути прийняті тільки внутрішні чинники, пов'язані з параметрами

лакофарбового покриття, що формується на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів безпосередньо за рахунок технології фарбування: адгезійна міцність, твердість, шорсткість і товщина лакофарбового покриття (рис. 2.8.).

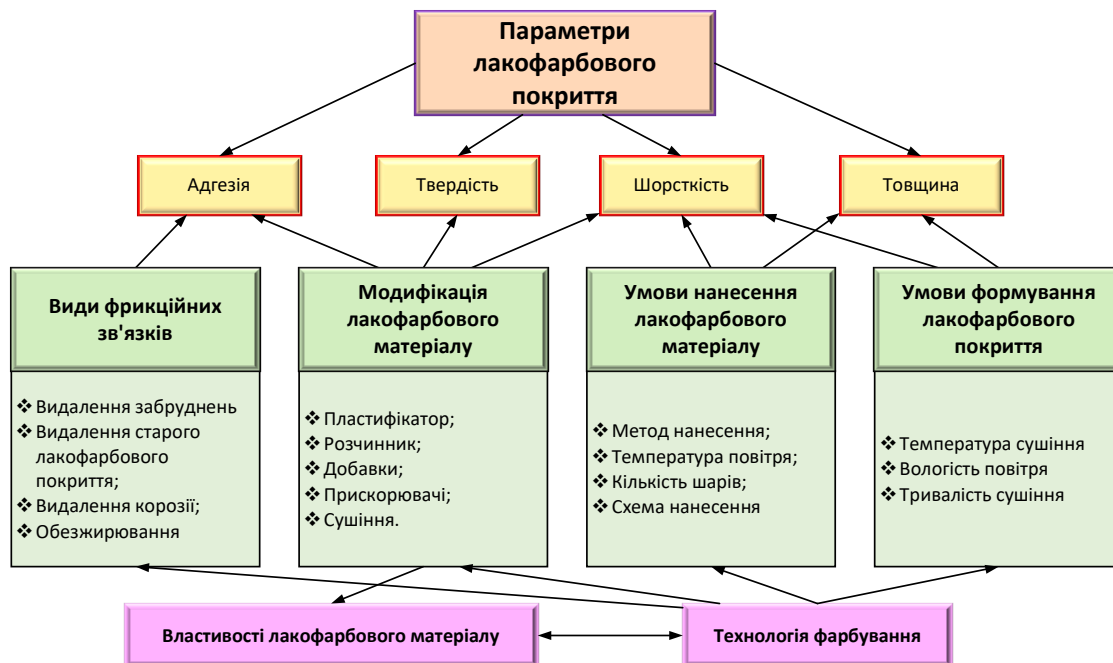


Рис. 2.8. Вплив властивостей лакофарбових матеріалів і технології фарбування на параметри лакофарбового покриття

Адгезія - основна властивість лакофарбового покриття, що визначає його довговічність. Відомо, що найкраща адгезійна міцність лакофарбового покриття досягається, в основному, за рахунок якості підготовки поверхні, а також вибору лакофарбових матеріалів. Чим ретельніше підготовлена до фарбування поверхня, тим краще адгезійне зчеплення з поверхнею у лакофарбового покриття і навпаки.

Описана в розділі 2.4. теорія зовнішнього тертя і зношування дозволяє розглядати в якості факторів, що впливають на знос лакофарбового покриття при терті з рослинною масою, такі параметри лакофарбового покриття, як твердість і шорсткість.

2.4.1. Вплив пластифікатора на властивості полімерів

Одним із способів зміни твердості лакофарбового покриття є додавання в лакофарбовий матеріал, перед нанесенням, пластифікатора. Дослідження

фізико-механічних властивостей полімерів [43, 51], свідчать про те, що невелике додавання пластифікатора може викликати підвищення міцності, модуля пружності і зносостійкості полімеру, проте при більш значному введенні пластифікатора ці показники знижуються. Таким чином, залежності міцності і зносостійкості полімеру від концентрації пластифікатора мають екстремум (рис. 2.9., 2.10).

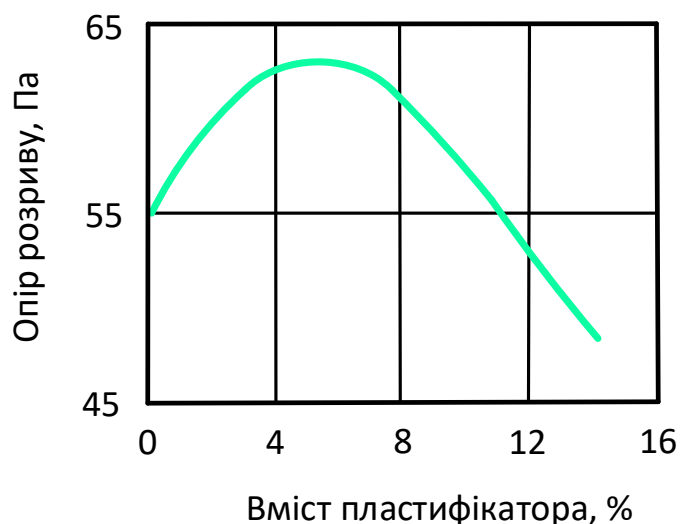


Рис. 2.9. Залежність зміни міцності лакофарбового покриття від концентрації пластифікатора в його складі

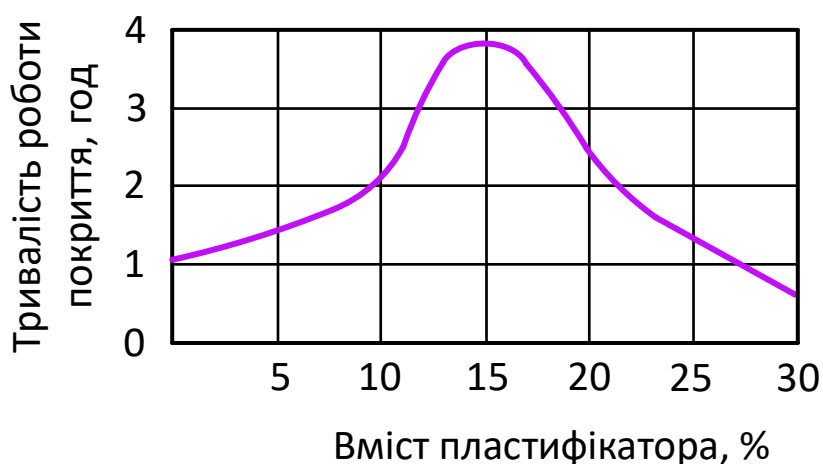


Рис. 2.10. Залежність тривалості роботи полімерного покриття при терті від концентрації пластифікатора в складі полімеру

Підвищення механічної міцності і зносостійкості полімеру при додаванні пластифікатора пов'язано з підвищенням міцності міжмолекулярних зв'язків, оскільки пластифікатор при додаванні до полімеру грає роль поверхнево-активної

речовини (ПАР). Таким чином, додавання пластифікатора призводить до збільшення площі взаємодії молекул полімеру. Зниження міцності і зносостійкості при більш значному додаванні пластифікатора свідчить про перенасичення складу, молекули полімеру починають віддалятися одна від другої, і міцність міжмолекулярних зв'язків зменшується. Зокрема, екстремальне значення кривої (рис. 2.11.) можна пояснити з точки зору теорії зовнішнього тертя і зношування І.В. Крагельського. При абразивному зношуванні полімерного покриття при поступовому додаванні пластифікатора відбувається перехід від одного виду фрикційного контакту до іншого: пружний контакт (руйнування покриття відбувається після багаторазового повторного навантаження) зі зменшенням твердості покриття переходить в пластичний (видавлювання матеріалу виступами абразиву, при цьому спостерігається руйнування матеріалу внаслідок малоциклової фрикційної втоми).

Варто відзначити, що при додаванні пластифікатора, також збільшується площа взаємодії полімеру з підкладкою, що сприяє підвищенню адгезійної міцності покриття (рис. 2.11.).

Вчені вказують, що для різних полімерів концентрація пластифікатора, при якій досягаються найвищі показники міцності і зносостійкості, буде різною і визначається експериментально.

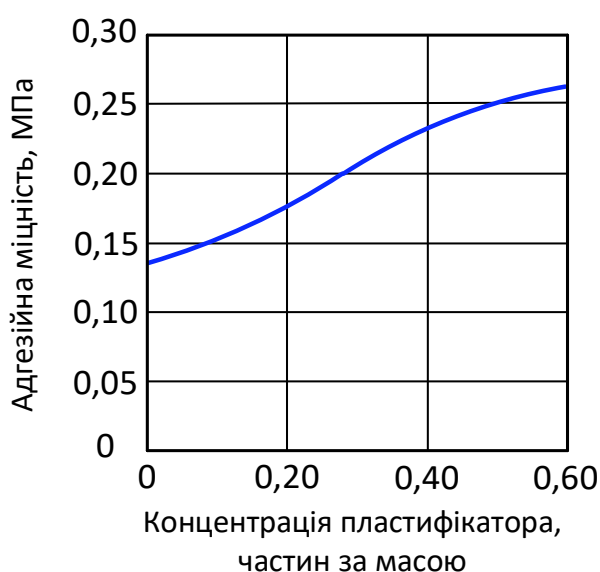


Рис. 2.11. Залежність адгезійної міцності лакофарбових покриттів від концентрації пластифікатора

Таким чином, при використанні пластифікатора необхідно знаходити оптимальні значення концентрації, при яких досягаються найвищі значення механічної міцності і зносостійкості полімерних покриттів.

2.4.2. Вплив шорсткості поверхні на тертя і знос полімерів

Вплив шорсткості поверхні на тертя і знос в достатній мірі викладено в наукових виданнях. При вивченні зносостійкості полімерів у залежності від шорсткості Поверхні встановлено, що якщо початкова шорсткість близька до оптимальної, то це зменшує знос, температуру на поверхні тертя і коефіцієнт тертя. Оптимальній шорсткості відповідає мінімум коефіцієнта тертя і величини зносу матеріалів.

При ремонтному фарбуванні для зменшення шорсткості лакофарбового покриття використовують такі способи:

- застосовують високо-глянцеві лакофарбові матеріали;
- полірують готове лакофарбове покриття;
- формують лакофарбове покриття з поетапним зменшенням в'язкості лакофарбових матеріалів, які наносяться.

Останній спосіб застосовується для зменшення «шагрені» (шорсткості лакофарбового покриття) при ремонтному фарбуванні автомобілів. Додавання в лакофарбовий матеріал розчинника перед нанесенням другого і наступних шарів сприяє кращому розтіканню матеріалу по поверхні і зменшує її шорсткість.

Найбільш доцільним способом зниження шорсткості лакофарбового покриття є формування його з поетапним зменшенням в'язкості, що дозволяє скоротити витрати на матеріали, а також знизити трудомісткість в порівнянні з технологією, що включає полірування лакофарбового покриття.

2.4.3. Вплив товщини лакофарбового покриття на його властивості

Відповідно до стандартів система лакофарбових покриттів - багат шарове покриття, в якому кожен шар виконує свою функцію. У зв'язку з цим лакофарбові покриття в залежності від призначення можуть складатися з одного, двох і більше

шарів. Товщина шарів і їх кількість регламентується технічною документацією до лакофарбових матеріалів. Міжнародний стандарт ISO 12944-5 не рекомендує перевищувати більш, ніж в два рази максимальну товщину сухої плівки лакофарбового покриття по відношенню до його номінальної товщини. Номінальна товщина сухої плівки визначається технічною документацією і є товщиною сухої плівки, визначеної для кожного шару або для всієї системи фарбування, щоб досягти необхідного терміну служби.

Максимальна товщина сухої плівки - товщина, перевищення якої може погіршити властивості шару або системи фарбування в цілому. Перевищення максимальної товщини лакофарбового покриття призводить до збільшення внутрішніх напружень в покритті, що впливає на передчасне поява тріщин і на довговічність покриття в цілому. Підтвердження цьому наведені в роботі. Міцність лакофарбового покриття відразу після затвердіння практично не залежить від товщини і становить близько 70 МПа. Однак при старінні міцність плівок із збільшенням товщини знижується. Наприклад, збільшення товщини з плівки 80 до 280 мкм призводить до зниження її міцності майже в 2 рази.

У роботах видатних вчених представлені результати дослідження морозостійкості одношарових лакофарбових покриттів (на основі ґрунту АК-070) в залежності від їх товщини. Встановлено, що при негативній температурі збільшення товщини плівки з 25 до 150 мкм призводить до зниження руйнуючих напружень при розтягуванні з 100-120 до 35 МПа.

При температурі мінус 80°C покриття товщиною понад 50 мкм самочинно руйнуються, тому що для цих покриттів внутрішні напруги дорівнюють руйнівними напруженнями розтягу. Покриття товщиною 30- 40 мкм стійкі до розтріскування навіть при температурі мінус 100°C. Таким чином, перевищення максимальної товщини лакофарбового покриття суттєво впливає на його довговічність, а товщина лакофарбового покриття є одним з важливих параметрів технічної документації.

Сучасні лакофарбові покриття сільськогосподарських техніки складаються в основному з двох шарів: первинний шар - ґрунт і зовнішній шар - емаль (рис.

2.12.). Відповідно загальна товщина лакофарбового покриття:

$$h = h_n + h_3, \quad (2.27.)$$

де h_n - товщина первинного шару, мкм;

h_3 - товщина зовнішнього шару, мкм.

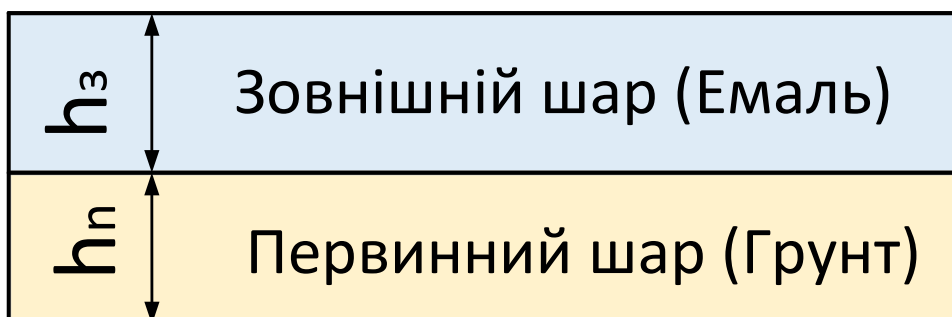


Рис. 2.12. Двошарове лакофарбове покриття

Ремонтне фарбування сільськогосподарської техніки має на увазі нанесення одного-двох шарів первинного шару (грунту), а також зовнішнього шару (емалі), що складається з двох і більше шарів. У двошаровому лакофарбовому покритті грунт призначений для адгезії і вирівнювання поверхні, емаль служить для захисту поверхні від зовнішніх чинників, з цього випливає, що інтенсивність зношування шару грунту і шару емалі різні. Можна припустити, що збільшивши товщину зовнішнього шару по відношенню до товщини первинного, можна знизити інтенсивність зношування лакофарбового покриття в цілому. Таким чином, в якості чинника, що впливає на інтенсивність зношування лакофарбового покриття, прийнята товщина зовнішнього шару (емалі).

2.5. Інтенсивність зношування і термін служби багатшарового лакофарбового покриття

Відповідно до (2.17.) інтенсивність зношування визначається як відношення товщини зношеного шару до обсягу виконаних робіт. За допомогою цієї формули інтенсивність зношування для двошарових лакофарбових покриттів можна представити так:

$$I_2 = \frac{h}{V_n + V_3}, \quad (2.28.)$$

I_2 - інтенсивність зношування двошарового лакофарбового покриття,

мкм/т;

h - загальна товщина лакофарбового покриття, мкм;

V_n - напрацювання комбайна на первинному шарі лакофарбового покриття, т;

V_3 - напрацювання комбайна на зовнішньому шарі лакофарбового покриття, т.

В свою чергу, обсяг виконаних робіт на первинному шарі лакофарбового покриття (V_n , т) виражається наступним чином:

$$V_n = \frac{h_n}{I_n}, \quad (2.29.)$$

де h_n - товщина первинного шару, мкм ;

I_n - інтенсивність зношування первинного шару лакофарбового покриття, мкм/т.

Обсяг виконаних робіт на зовнішньому шарі лакофарбового покриття V_3 , т:

$$V_3 = \frac{h_3}{I_3}, \quad (2.30.)$$

де h_3 - товщина зовнішнього шару покриття, мкм;

I_3 - інтенсивність зношування зовнішнього шару лакофарбового покриття, мкм/т.

Підставивши в (2.28.) вирази (2.29.) і (2.30.) і перетворюючи, отримаємо залежність для визначення інтенсивність зношування двошарового лакофарбового покриття

$$I_2 = h \left(\frac{h_n}{I_n} + \frac{h_3}{I_3} \right)^{-1}, \quad (2.31.)$$

Аналогічним чином можна визначити інтенсивність зношування для багат шарових лакофарбових покриттів, що складаються з трьох і більше шарів

$$I_n = h \left(\frac{h_1}{I_1} + \frac{h_2}{I_2} + \dots + \frac{h_i}{I_i} \right)^{-1}, \quad (2.32.)$$

де I_1 - інтенсивність зношування першого шару, мкм/т;

I_2 - інтенсивність зношування другого шару, мкм/т;

I_i - інтенсивність зношування i -го шару, мкм/т;

h_1 - товщина першого шару, мкм;

h_2 - товщина другого шару, мкм;

h_i - товщина i -го шару, мкм.

За допомогою формули (2.32.) можна розрахувати інтенсивність зношування для двошарових лакофарбових покриттів. Формул (2.35.) призначена для визначення інтенсивності зношування лакофарбового покриття, що складається з двох і більше шарів.

Таким чином, знаючи інтенсивність зношування окремих шарів лакофарбових матеріалів і варіюючи значеннями товщини первинного та зовнішнього шарів, можливо досягти необхідних показників інтенсивності зношування всього лакофарбового покриття.

Термін служби лакофарбового покриття робочих поверхонь жатки зернозбирального комбайна можна записати в наступному вигляді:

$$T = \frac{h}{I \cdot V_{\text{заг}}}, \quad (2.33.)$$

де h - товщина лакофарбового покриття, мкм;

I - інтенсивність зношування лакофарбового покриття, мкм/т;

$V_{\text{заг}}$ – річна кількість рослинної маси, яка проходить по жатці, т/рік.

Річну кількість зібраної комбайном рослинної маси можна визначити з виразу

$$V_{\text{заг}} = W \left(1 + \frac{1}{K_c} \right), \quad (2.34.)$$

де K_c - коефіцієнт соломистості рослинної маси;

W - річне напрацювання комбайна, т/рік.

Згідно з наведеними раніше формулами (2.11.) - (2.14.) $V_{\text{заг}} = 6M$. Виходячи з того, що по ділянках днища і шнека жатки зернозбирального комбайна проходить різну кількість рослинної маси (п. 2.2.1), то і інтенсивність зношування лакофарбового покриття на цих ділянках буде різною. Термін служби покриття для різних ділянок можна розрахувати за такими формулами:

➤ для першої і шостої ділянок:

$$T_{1,6} = \frac{6h}{I \cdot W \left(1 + \frac{1}{K_c} \right)}, \quad (2.35.)$$

➤ для другої і п'ятої ділянок:

$$T_{2,5} = \frac{3h}{I \cdot W \left(1 + \frac{1}{K_c} \right)}, \quad (2.36.)$$

➤ для третьої і четвертої ділянок:

$$T_{3,4} = \frac{2h}{l \cdot W \left(1 + \frac{1}{K_c}\right)}, \quad (2.37.)$$

Запропоновані формули дозволяють визначити термін служби лакофарбового покриття для різних ділянок робочих поверхонь жатки зернозбирального комбайна в залежності від її напрацювання.

Висновки з розділу

1. По різних ділянках днища і шнека жатки переміщається певний обсяг рослинної маси, яка створює різний тиск на ділянках. Це впливає на нерівномірний знос лакофарбового покриття робочих поверхонь жатки.

2. Встановлено вид зношування і виникаючі при цьому види фрикційних зв'язків лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів. При абразивному зношуванні твердих полімерів виникає пружний або пластичний контакт, при цьому інтенсивність зношування в основному залежить від твердості і шорсткості полімеру.

3. Визначено фактори, що впливають на інтенсивність зношування лакофарбового покриття при терті в парі з рослинною масою: адгезія, твердість, шорсткість, товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття.

4. Розроблено аналітичні моделі для визначення інтенсивності зношування двошарового і багат шарового лакофарбового покриття.

Отримано залежності, що дозволяють визначити термін служби лакофарбового покриття на різних ділянках жатки зернозбирального комбайна в залежності від його напрацювання

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і завдання експериментальних досліджень

Виходячи з поставлених завдань дослідження і теоретичних передумов метою експериментальних досліджень було експериментально підтвердити вплив вибору системи лакофарбових покриттів, модифікації лакофарбових матеріалів і зміни параметрів технології фарбування на зносостійкість лакофарбового покриття. При цьому необхідно вирішити такі завдання експериментальних досліджень:

- провести аналіз найбільш поширених систем лакофарбових покриттів, які застосовуються при фарбуванні сільськогосподарської техніки в умовах ремонтних підприємств і на заводах-виробниках;
- визначити систему лакофарбових покриттів, застосування якої дозволить створити лакофарбове покриття з найменшим коефіцієнтом тертя ковзання, найбільшою адгезійною міцністю і стійкістю до стирання;
- дослідити зміну твердості лакофарбового покриття в залежності від додавання пластифікатора до складу емалі;
- вивчити вплив твердості лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування;
- дослідити зміну шорсткості лакофарбового покриття в залежності від додавання розчинника до складу емалі;
- встановити вплив шорсткості та товщини зовнішнього шару лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування;
- встановити залежності між обраними параметрами лакофарбового покриття (твердість, шорсткість, товщина зовнішнього шару) і його інтенсивністю зношування.

3.2. Вибір систем лакофарбових покриттів та методика розрахунку кількості лакофарбового матеріалу

Найбільш поширеними лакофарбовими матеріалами, які застосовують для фарбування сільськогосподарської техніки заводами – виробниками та при їх ремонті є: акриловий ґрунт АК-070, епоксидний ґрунт ЕП-057, пентафталева ПФ-115 і алкідна МЛ-152 емалі.

Виходячи з вищезазначеного було прийнято рішення вибрати для проведення експериментальних досліджень 6 систем лакофарбових покриттів:

- акриловий ґрунт АК-070 + пентафталева емаль ПФ-115;
- акриловий ґрунт АК-070 - алкідна емаль МЛ -152;
- акриловий ґрунт АК-070 - акрилова емаль АК-1301;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 - пентафталева емаль ПФ-115;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 - алкідна емаль МЛ-152;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 - акрилова емаль АК-1301.

Одним з важливих етапів перед проведенням фарбування є визначення необхідної кількості лакофарбових матеріалів. Кількість необхідного лакофарбового матеріалу в першу чергу залежить від площі поверхні, що фарбується, а також від товщини покриття. Товщина лакофарбового покриття в залежності від стану плівки (мокра або суха) буде різна і визначається кількістю сухого залишку лакофарбових матеріалів (відношення обсягу нелетких компонентів до повного об'єму рідкої фарби). У зв'язку з цим товщина сухої плівки:

$$h_c = \frac{h_m \cdot O_c}{100}, \quad (3.1.)$$

де h_m - товщина мокрої плівки, мкм;

O_c - сухий залишок лакофарбового матеріалу, %.

Товщина мокрої плівки

$$h_m = \frac{100h_c}{O_c}, \quad (3.2.)$$

У разі додавання розчинника товщина мокрої плівки h_m :

$$h_m = \frac{h_c(100+P)}{O_c}, \quad (3.3.)$$

де P - відносна кількість розчинника, який додається в лакофарбовий матеріал, %.

При додаванні розчинника до складу фарби формується нове відсоткове співвідношення сухого залишку лакофарбових матеріалів:

$$O_{c1} = \frac{O_c}{V_{\phi 1}}, \quad (3.4.)$$

де $V_{\phi 1}$ - новий об'єм фарби (з урахуванням додавання розчинника), л. Тоді необхідний обсяг фарби можна розрахувати за формулою:

$$V_{\phi 1} = \frac{Sh_c}{100O_cK_B}, \quad (3.5.)$$

де S - площа фарбування, м²;

K_B - коефіцієнт використання лакофарбових матеріалів, що враховує втрати при нанесенні лакофарбового матеріалу.

Коефіцієнт використання:

$$K_B = \frac{U_{\Pi}}{U_T}, \quad (3.6.)$$

де U_{Π} - практичне питоме покриття лакофарбових матеріалів, м²/л;

U_T - теоретичне питоме покриття лакофарбових матеріалів, м²/л.

Теоретичне питоме покриття

$$U = \frac{100O_c}{h_c}, \quad (3.7.)$$

Практичне питоме покриття:

$$U_{\Pi} = \frac{100O_c}{h_c + h_{ш} + h_{\phi} + h_y + h_n}, \quad (3.8.)$$

де $h_{ш}$ - втрати товщини сухої плівки від шорсткості поверхні, мкм;

h_{ϕ} - втрати товщини сухої плівки від способу фарбування, мкм;

h_y - втрати товщини сухої плівки від умов фарбування, мкм;

h_n - неминучі втрати, мкм.

Втрати від шорсткості мають місце тільки при нанесенні першого шару лакофарбового матеріалу, в цьому випадку враховується якість поверхні, на яку наноситься матеріал. У табл. 3.1. представлені втрати товщини сухої плівки в залежності від шорсткості і якості підготовки поверхні.

Втрати товщини сухої плівки в залежності від її шорсткості і якості
підготовки поверхні

Поверхня	Шорсткість R_a , мкм	Втрати товщини сухої плівки
Сталева поверхня, очищена дрібним абразивом	0-50	10
Очищення дрібним абразивом	50-100	35
Очищення грубим абразивом	100-150	60
Поверхня, піддана корозії	150-300	125

Крім того, при фарбуванні втрати матеріалу залежать від способу нанесення. В цьому випадку необхідно враховувати складність конструкції. Для простих конструкцій з великою часткою плоских рівних поверхонь втрати будуть мінімальними, для складних втрати будуть значно більшими. Так, при фарбуванні гратчастих конструкцій прогнозувати втрати лакофарбового матеріалу практично неможливо.

Втрати лакофарбового матеріалу в залежності від умов фарбування становлять:

- фарбування в закритих вентильованих приміщеннях - 5%;
- фарбування на відкритому повітрі при відсутності вітру - 5-10%;
- фарбування на відкритому повітря при наявності вітру - понад 20%.

До неминучим відносяться також втрати, пов'язані з розливанням лакофарбового матеріалу, невикористаними залишками і ін.:

- для однокомпонентних ЛФМ - не більше 5%;
- для двокомпонентних ЛФМ - 5-10%.

Представлена методика дозволяє розрахувати необхідну кількість лакофарбового матеріалу при фарбуванні з урахуванням площі і заданої товщини одержуваного покриття. Використовуючи її і знаючи питому вагу лакофарбового

матеріалу (технічна документація до ЛФМ), можливо розрахувати масу лакофарбового покриття на поверхні після сушіння.

3.3. Методика визначення коефіцієнтів тертя ковзання рослинної маси

Визначення коефіцієнтів тертя ковзання рослинної маси по лакофарбовому покритті проводилося з допомогою спеціально розробленого пристрою, який дозволяє проводити випробування.

Особливістю даного пристрою є те, що з його допомогою, можна визначати коефіцієнти тертя ковзання рослинної маси по різних поверхнях. При проведенні випробувань застосовувалися комбінації лакофарбових матеріалів, які зазначені в розд. 3.2. Для проведення експериментів були використані рослинні маси наступних культур: жито, ячмінь, пшениця, овес, характеристики яких представлені в табл. 3.2.

Підготовка випробувальної поверхні до фарбування виконувалася наступним чином. Спочатку поверхню обробляли абразивним кругом P80-120, який встановлювали на ексцентрикову електричну шліфувальну машину Rupes ER155TES. Потім хімічним методом із застосуванням знежирювача БР-2 і спеціальної знежирювальної серветки.

Розрахунок необхідної кількості лакофарбових матеріалів з урахуванням площі фарбування і товщини створюваного покриття проводився відповідно до прийнятої методики (див. розділ 3.2.).

Таблиця 3.2.

Характеристики рослинної сировини

Показник	Жито	Ячмінь	Пшениця	Овес
Вологість, %	18,0	18,3	18,1	17,5
Коефіцієнт солонистості	0,65	0,50	0,55	0,50
Наявність бур'янів, шт./м ²	12,3	15,0	12,6	14,0

Грунтування випробувальної поверхні проводилося відповідно до наукових праць. Приготування ґрунту здійснювалося відповідно до технічної документації

по застосуванню лакофарбових матеріалів. Наносили ґрунт пневматичним фарбувальним пістолетом Sata jet 4000 B RP 1,8 мм.

Після висихання первинного шару лакофарбового покриття випробувальну поверхню фарбували емаллю. Приготування емалі здійснювалося відповідно до технічної документації по застосуванню лакофарбового матеріалу. Емаль, так само як і ґрунт наносили за допомогою фарбувального пістолета Sata jet 4000 B HVLP 1,3 мм.

Випробування проводилися в наступній послідовності (рис. 3.1., 3.2.). На стіл 6 впритул до стійки 3 встановлювали випробувальну поверхню 7. На напрямні 9 випробувальної поверхні 7 з протилежного боку від стійки 3 до обмежувача ходу 10 встановлювали короб без днища 12, в який завантажували рослинну масу однієї з культур. До випробувальної поверхні 7 через датчика вимірювання сили 11 прикладалось тягове зусилля.

Покази датчика вимірювання сили фіксувалися при переміщенні випробувальної поверхні 7 відносно короба 12 з рослинною масою. З кожним з лакофарбових покриттів і кожної з рослинних мас проводилося по три паралельних дослідів для отримання значення сили тертя (F , Н). В якості датчика вимірювання сили використовувався динамометр 10Н.

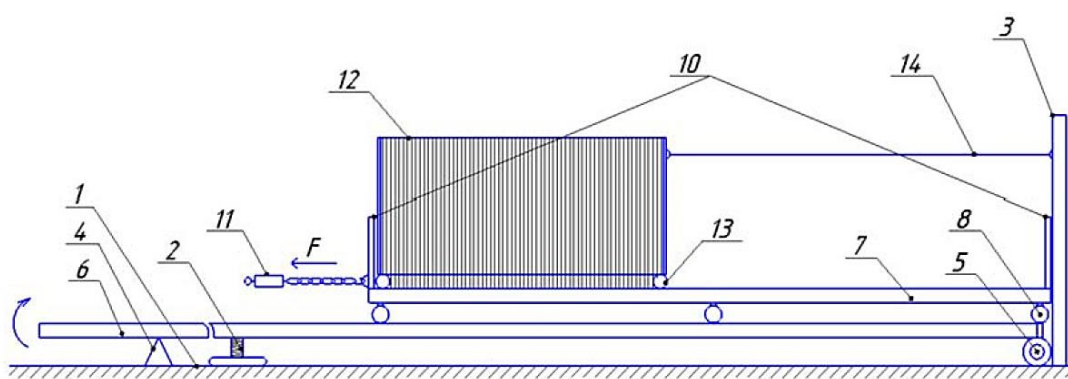


Рис. 3.1. Пристрій для визначення коефіцієнтів тертя рослинної маси вид зверху:

вид збоку: 2 - механізм підйому; 3 - стійка; 4 - опора; 5 - шарнір; 6 - стіл; 7 - випробувальна поверхню; 8 - ролики; 10 - обмежувачі ходу; 11 - датчик вимірювання сили; 12 - короб без днища; 13 - колеса; 14 – шнур

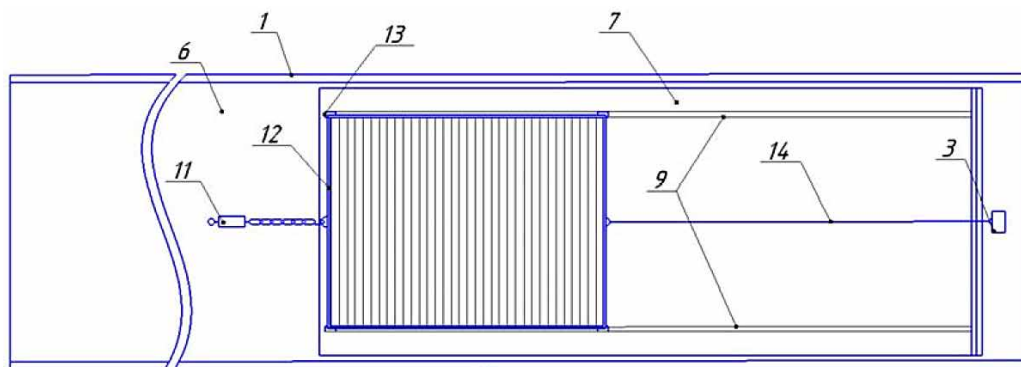


Рис. 3.2. Пристрій для визначення коефіцієнтів тертя рослинної маси

1 - підстава; 9 - напрямні

3.4. Методика визначення адгезійної міцності лакофарбових покриттів

Визначення адгезійної міцності лакофарбових покриттів проводилося з використанням адгезіметра Константа АЦ (рис. 3.3.), який дозволяє проводити випробування відповідно до (ISO 4824).



Рис. 3.3. Пристрій для визначення адгезійної міцності лакофарбового покриття

1 - поворотна ручка; 2 - вимірювальна шкала; 3 - пружина; 4 - захват;
5 - випробувальний циліндр; 6 - випробовуване покриття

При проведенні експериментів з визначення адгезійної міцності лакофарбових покриттів були випробувані 6 систем лакофарбових покриттів:

- акриловий ґрунт АК070) + пентафталева емаль ПФ-115);
- акриловий ґрунт АК070 + алкідна емаль МЛ-152;

- акриловий ґрунт АК-070 + акрилова емаль АК-1301;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 + пентафталева емаль ПФ-115;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 + алкідна емаль МЛ- 152;
- епоксидний ґрунт ЕП-057 + акрилова емаль АК-1301.

Підготовка до проведення випробувань проводилася в такий спосіб.

Для проведення експериментів із листової сталі 08кп товщиною 1 мм вирізали випробувальні пластини розміром 180x180 мм.

Підготовку пластин перед нанесенням лакофарбових матеріалів, розрахунок їх необхідної кількості, ґрунтування і фарбування здійснювали аналогічно тому як описано в розд. 3.3 і 3.4.

Проведення випробувань проводилося в такий послідовності.

Випробувальні циліндри 5 приклеювали до випробувального покриття 6 (рис. 3.4.). Пристрій через захват 4 з'єднували з випробувальним циліндром 5. Потім за допомогою поворотної ручки 1 стискали пружину 3, створюючи зусилля відриву між випробувальним циліндром 5 і випробовуваним покриттям 6. У момент відриву випробувального циліндра 5 від випробовуваного покриття 6 фіксували покази вимірювальної шкали 2.



Рис. 3.4. Підготовка пластин до проведення випробувань з визначення адгезійної міцності лакофарбових покриттів

При проведенні випробувань робили по 6 паралельних вимірювань. За дійсне значення адгезійної міцності лакофарбового покриття брали

середньоарифметичне значення. Таким чином були випробувані всі 6 систем лакофарбових покриттів.

3.5. Методика визначення міцності лакофарбових покриттів до стирання

Визначення міцності лакофарбових покриттів до стирання проводилося на спеціально розробленій установці (рис. 3.5.), яка дозволяє проводити випробування з визначення міцності лакофарбових покриттів до стирання відповідно до.

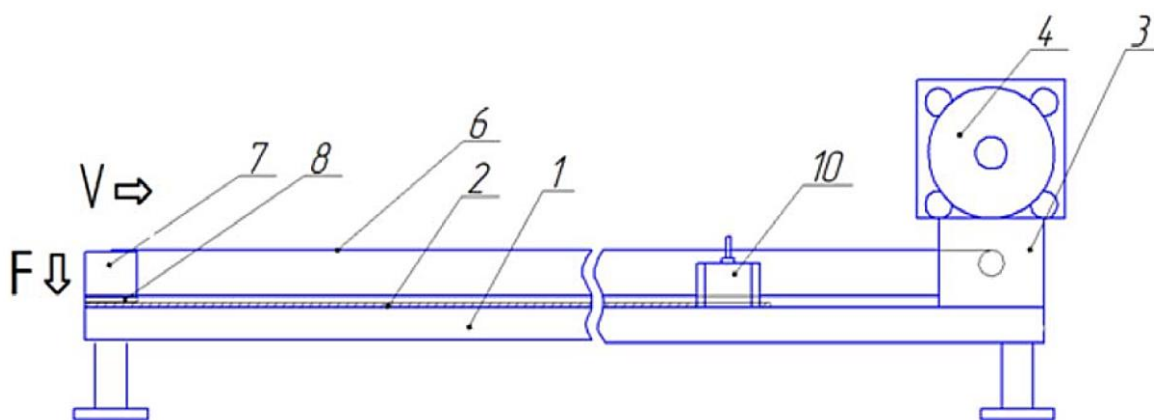


Рис. 3.5. Пристрій для визначення опору стирання лакофарбових покриттів:

1 - основа; 2 - шліфувальна шкурка; 3 - приводний механізм; 4 - електродвигун; 6 - трос; 7 - навантажувальний пристрій; 8 - випробувальна пластина; 10 - перемикач

За допомогою розробленої в цьому розділі методики були виконано наступні дослідження:

- випробувані на міцність до стирання акриловий АК-070 та епоксидний ЕП-1301 ґрунти, пентафталева ПФ-11, алкідна МЛ-152 та акрилова АК-1301 емалі;
- визначено вплив твердості лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування в залежності від додавання пластифікатора до складу лакофарбових матеріалів;
- визначено вплив шорсткості лакофарбового покриття на інтенсивність

його зношування в залежності від додавання розчинника до складу лакофарбових матеріалів;

➤ визначено вплив товщини зовнішнього шару на інтенсивність зношування лакофарбового покриття.

Підготовка до проведення випробувань щодо визначення міцності до стирання лакофарбових покриттів проводилася в такий спосіб.

Для проведення досліджень з визначення міцності лакофарбових покриттів до стирання було підготовлено 18 випробувальних пластин із листової сталі 08кп товщиною 1 мм і розмірами 40x40 мм.

Випробування проводилися в наступній послідовності. На основі 1 установки (рис. 3.5.) фіксували стрічку шліфувальної шкурки 2.

Навантажувальний пристрій 7 з прикріпленою до нього випробувальною пластиною 8 ставили в початкове положення. При включенні перемикача 10 навантажувальний пристрій 7 з прикріпленою до нього випробувальною пластиною 8 переміщувався по стрічці шліфувальної шкурки 2, створюючи на неї тиск за рахунок власної ваги. Рух пластини по шліфувальній стрічці тривав до моменту спрацювання кінцевого вимикача. З кожною із випробувальних пластин виконувалося по три випробувальних циклів. Після кожного циклу фіксували масу пластини за допомогою лабораторної ваги МАССА-К ВК-150.1. Результати випробувань виражалися в зміні маси зразка до і після проведення випробування. Для більш точного визначення опору стирання випробуванню піддавали по три випробувальні пластини з однаковим лакофарбовим покриттям.

Визначення впливу твердості лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування проводилося в такий спосіб. Були підготовлені випробувальні пластини товщиною 1 мм, розмірами 40x40 мм із сталі марки 08кп. Підготовку пластин до нанесення лакофарбових матеріалів і їх фарбування здійснювали відповідно до технічної документації із застосуванням лакофарбових матеріалів.

Твердість лакофарбового покриття міняли шляхом додавання до емалі пластифікатора на основі дибутилфталата у співвідношенні 0, 10, 20, 30, 40 і 50%. Додавання до емалі більше 50% пластифікатора призводило до того, що

отримуване лакофарбове покриття ставало занадто м'яким, і проведення випробувань ставало неможливим. Після проведення випробувань розраховувалася інтенсивність зношування (I , г/см) лакофарбового покриття за такою формулою:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{l}, \quad (3.9.)$$

де m_1 і m_2 - маса випробувальної пластини до і після випробування, г;

l - шлях тертя, см.

Визначення впливу шорсткості лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування здійснювалося в наступному порядку. Для проведення досліджень було виготовлено 30 випробувальних пластин товщиною 1 мм і розмірами 40x40 мм із листової сталі марки 08кп.

Підготовка пластин до фарбування, розрахунок необхідної кількості лакофарбових матеріалів, ґрунтування і фарбування здійснювали відповідно до технічної документації з застосування лакофарбових матеріалів.

Для зміни шорсткості, одержуваного лакофарбового покриття після нанесення першого шару емалі перед нанесенням другого і наступних шарів додавався розчинник в співвідношеннях, зазначених в табл. 3.3. В результаті було отримано по три випробувальні пластини кожного варіанта співвідношень (рис. 3.6.).



Рис. 3.6. Вигляд експериментальних зразків в результаті додавання розчинника до складу емалі

Порядок поетапного додавання розчинника при фарбуванні
випробувальних пластин

Кількість доданого розчинника від об'єму емалі, що залишилася після нанесення першого шару, %	Кількість розчинника, який додається в емаль перед нанесенням шарів, %		
	2-й шар	3-й шар	4-й шар
0	0	0	0
20	0	10	10
30	10	10	10
40	10	10	20
50	10	20	20
60	20	20	20
70	20	20	30
80	20	30	30
90	30	30	30
100	30	30	40

Після проведення випробувань розраховувалася інтенсивність зношування лакофарбового покриття за (3.9.).

Визначення шорсткості лакофарбового покриття проводилося з використанням спеціального приладу профілограф - профілометр 252. відповідно до (рис. 3.7.).

Визначення шорсткості лакофарбового покриття здійснювали так. На стіл 1 установки профілограф - профілометр 252 встановлювали випробувальну пластину. На лічильно-вирішальному блоці 2 натискали кнопку «Ра». До випробувальної пластині підводили алмазну голку 3 і на блоці живлення 4 натискали кнопку «Пуск» 5. Після зупинки датчика знімали показання Ra на цифровому табло лічильно-вирішального блоку 2. Для отримання більш точного значення шорсткості лакофарбового покриття випробування проводили на трьох різних ділянках лакофарбового покриття кожної пластини.



Рис. 3.7. Профілограф - профілометр 252

1 - стіл; 2 - лічильний блок; 3 - алмазна голка; 4 - блок живлення;
5 -кнопка «Пуск»

3.6. Визначення твердості лакофарбового покриття в залежності від концентрації пластифікатора в складі емалі

Твердість лакофарбового покриття визначалася відповідно до ГОСТ 54586 (ISO 15184) за допомогою спеціального пристрою Константа ТК (рис. 3.8.). Для проведення випробувань використовувалися олівці типу КОН- I-NOOR, фірми Hardtmuth AG, що мали таку твердість: 9В; 8В; 7В; 6В; 5В; 4В; 3В; 2В; В; НВ; F; Н; 2Н; 3Н; 4Н; 5Н; 6Н; 7Н; 8Н і 9Н.

Досліди проводились в наступному порядку. Перед кожним випробуванням лакофарбового покриття проводилася підготовка олівців відповідно до вимог. Випробувальну пластину поміщали на рівну горизонтальну поверхню. У спеціальний отвір пристрою для визначення твердості лакофарбових покриттів вставляли олівець і фіксували за допомогою затискача таким чином, щоб пристрій був розташований горизонтально на випробувальній пластині, а кінчик грифеля упирался в поверхню лакофарбового покриття.

Випробувальну пластину переміщали в горизонтальному напрямку на відстань не менше 7 мм. Після чого проводили огляд лакофарбового покриття для виявлення впливу, що чинить олівець. Якщо пошкодження не виявляли,

випробування повторювали на нових ділянках випробувальної пластини з використанням олівців більшої твердості, до тих пір, поки не виявляли пошкодження розміром не менше 3 мм. Після виявлення пошкодження випробування повторювали з олівцями меншої твердості, поки не переставав залишатися слід пошкодження.

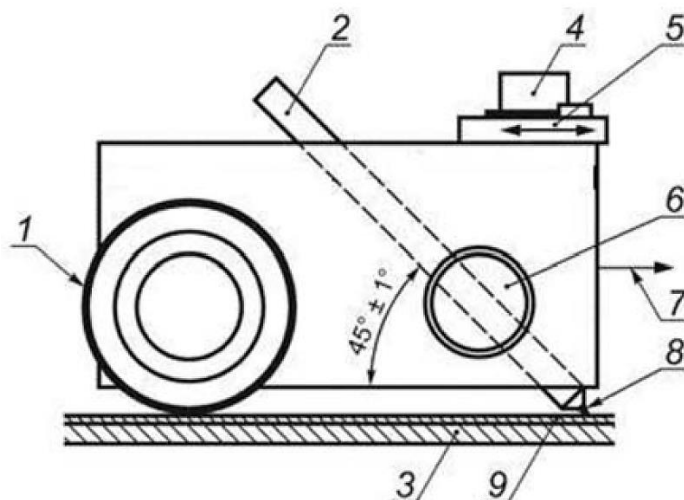


Рис. 3.8. Пристрій для визначення твердості лакофарбового покриття олівцем

1 - гумове кільце; 2 - олівець; 3 - випробовувана поверхня; 4 - рівень; 5 - рухливий вантаж; 6 - затискач; 7 - напрямок руху пристрою; 8 - грифель олівця; 9 - лакофарбове покриття

За твердість покриття по олівця приймалася твердість самого твердого олівця, який не залишив пошкоджень на поверхні випробуваного лакофарбового покриття.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Визначення коефіцієнтів тертя ковзання рослинної маси по лакофарбових покриттях

Однією з характеристик, що впливає на ефективність проведення збиральних робіт є коефіцієнт тертя ковзання рослинної маси по поверхні жатки. В свою чергу, ця характеристика впливає на знос покриття при терті.

При проведенні випробувань досліджувалися лакофарбові покриття, які одержували на основі пентафталевої (ПФ-115), алкидної (МЛ-152) і акрилової (АК-1301) емалей при терті їх по рослинній масі найбільш поширених зернових культур: жита, ячменю, пшениці, вівса. Одержані результати досліджень представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати випробувань з визначення коефіцієнта тертя ковзання рослинної маси

Рослинна маса (культура)	Вид поверхні			
	Фарбована поверхня			Метал, підданий корозії
	АК-1301	МЛ-152	ПФ-115	
Овес	0,15	0,28	0,37	0,52
Пшениця	0,26	0,37	0,38	0,66
Ячмінь	0,28	0,41	0,43	0,75
Жито	0,35	0,44	0,48	0,82

Як видно з представлених даних найменший коефіцієнт тертя ковзання має рослинна маса вівса з інтервалом значень цього параметра від 0,15 (емаль АК-1301) до 0,52 (метал, підданий корозії). Найбільший коефіцієнт тертя ковзання має рослинна маса жита, який змінюється в межах від 0,35 до 0,82. Крім того, виявлено, що всі досліджувані рослинні маси мають найменший коефіцієнт тертя ковзання, який змінюється від 0,15 до 0,35 при терті в парі з лакофарбовим покриттям, яке отримано на основі акрилової емалі АК-1301. Найбільший коефіцієнт тертя ковзання має лакофарбове покриття на основі

пентафталевої емалі ПФ-115 з інтервалом значень - 0,37 - 0,48. У той же час коефіцієнт тертя ковзання перерахованих рослинних мас по металу, який підданий корозії змінюється в межах від 0,52 до 0,82, що значно перевищує коефіцієнти тертя ковзання по лакофарбовим покриттям. Таким чином, експлуатація жаток без захисних покриттів може призвести до підвищення енерговитрат при проведенні збиральних робіт. У свою чергу, застосовуючи при фарбуванні жаток зернозбиральних комбайнів систему лакофарбових покриттів на основі акрилової емалі АК-1301, можливо досягти найменших показників коефіцієнтів тертя ковзання і тим самим підвищити зносостійкість лакофарбового покриття і знизити енерговитрати.

4.2. Адгезійна міцність лакофарбових покриттів

Важливою властивістю лакофарбового покриття, від якого залежить його довговічність є адгезійна міцність. У зв'язку з цим були випробувані комбінації лакофарбових покриттів, які представлені в (табл. 4.2.). Встановлено, що найбільш високою адгезійною міцністю, яка в 1,7...2,8 рази перевищує інші системами мають системи лакофарбових покриттів акриловий ґрунт АК-070 + акрилова емаль АК-1301 та епоксидний ґрунт ЕП-057 + акрилова емаль АК-1301. Найменшу адгезійну міцність має система, яка включає акриловий ґрунт АК-070 в поєднанні з пентафталевою емаллю ПФ-115.

Таким чином, застосування комбінації лакофарбових покриттів акриловий ґрунт АК-070 в поєднанні з акриловою емаллю АК-1301 і епоксидний ґрунт ЕП-057 + акрилова емаль АК-1301 при фарбуванні робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів дозволить отримати найбільш довговічне покриття в порівнянні з іншими системами.

Таблиця 4.2 .

Адгезійна міцність лакофарбових покриттів

Комбінація лакофарбового покриття	Адгезійна міцність, МПа
Ґрунт АК - 070 + емаль АК -1301	0,23 - 0,28
Ґрунт АК - 070 + емаль МЛ -152	0,15 - 0,17

Грунт АК - 070 + емаль ПФ -115	0,09 - 0,1
Грунт ЕП - 057 + емаль АК -1301	0,26 - 0,28
Грунт ЕП - 057 + емаль МЛ -152	0,13 - 0,16
Грунт ЕП - 057 + емаль ПФ -115	0,09 - 0,12

4.3. Стійкість лакофарбових покриттів до стирання

В літературних джерелах зазначається, що для лакофарбових покриттів робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів ще однією з основних властивостей є стійкість до стирання. У зв'язку з цим були випробувані 6 обраних раніше систем лакофарбових покриттів. В результаті проведення випробувань виявлено, що лакофарбові покриття на основі епоксидного ґрунту ЕП-057 мають кращу стійкість до стирання в порівнянні з покриттями, в системах яких застосовувався акриловий ґрунт АК-070 (рис. 4.1.).

Найкращу стійкість до стирання має епоксидний ґрунт ЕП-057 в поєднанні з акриловою емаллю АК-1301. Таке покриття в 1,5...3,1 рази стійкіше до стирання, ніж інші випробувані покриття. При цьому напрацювання комбайна до повного зносу лакофарбового покриття похилої камери складає 720 т. Варто відзначити, що найменшу стійкість до стирання має акриловий ґрунт АК-070 в поєднанні з пентафталевою емаллю ПФ-115. Це покриття стирається в зоні похилої камери при напрацюванні комбайна близько 250 т.

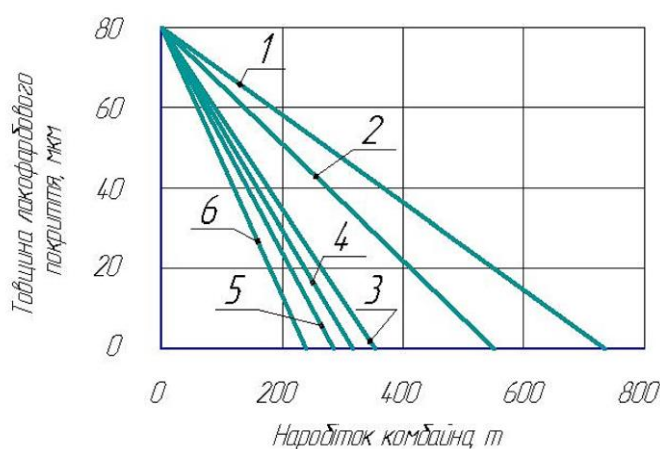


Рис. 4.1. Стійкість до стирання лакофарбових покриттів в експлуатаційних умовах

1 - ЕП-057+АК-1301; 2 - ЕП-057+МЛ-152; 3 - ЕП-057+ПФ-115; 4 - АК-070+МЛ-152; 5 - АК-070+АК-1301; 6 - АК-070+ПФ-115

У теоретичній частині роботи (див. розд. 2) зроблено припущення, що інтенсивність зношування при терті ґрунтовки і емалі різна. Для експериментальної перевірки припущення були випробувані на стійкість до стирання наступні зразки лакофарбових матеріалів: акриловий АК-070 та епоксидний ЕП-057 ґрунти; пентафталева ПФ-115, алкідна МЛ-152 та акрилова АК-1301 емалі. За результатами випробувань побудований графік (рис. 4.2), з якого випливає, що ґрунти в порівнянні з емалями володіють меншою міцністю до стирання. Найвищу стійкість до стирання, із випробуваних емалюю, проявляє акрилова емаль АК-1301, найменшу - пентафталева емаль ПФ-115. З випробуваних ґрунтів більшою міцністю до стирання володіє епоксидний ґрунт ЕП-057.

Оскільки ґрунти володіють більшою інтенсивністю зношування в порівнянні з емалями, то були проведені дослідження з визначення раціональної товщини ґрунту і емалі лакофарбового покриття ЕП-057 + АК-1301 загальною товщиною 80 мкм, але з різною товщиною первинного і зовнішнього шарів покриття.

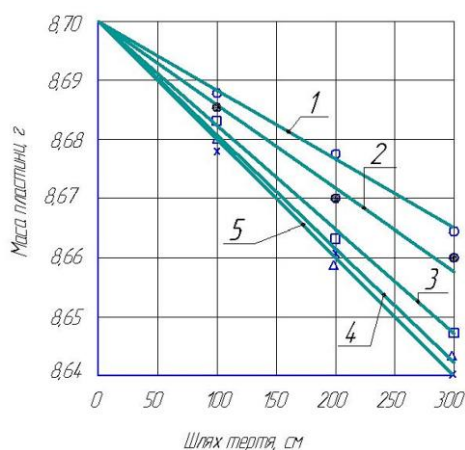


Рис. 4.2. Зміна маси фарбованої пластини від шляху тертя

1, 2 і 3 - пластина пофарбована емалюю відповідно АК-1301, МЛ-152 і ПФ-115. 4, 5 - пластина пофарбована ґрунтом ЕП-057 та АК-070. Встановлено, що лакофарбове покриття однакової товщини, але з різним співвідношенням товщини первинного та зовнішнього шарів зношуються по різному. Найменший шлях до

повного зношування (294,2 см) показало покриття, із наступним співвідношенням товщин: грунт 60 мкм, емаль 20 мкм. Максимальний шлях до повного зношування (329,2 см) має покриття з товщиною грунту 20 мкм і емалі 60 мкм. Отже, збільшення товщини емалі (зовнішнього шару лакофарбового покриття) по відношенню до товщини первинного шару призводить до підвищення тривалості роботи (зниження інтенсивності зношування) всього покриття.

В результаті проведення досліджень можна зробити висновок, що покриття, яке включає епоксидний грунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301 володіє меншим коефіцієнтом тертя ковзання в 1,3...2,5 рази, кращою адгезійною міцністю в 1,7...2,8 рази і кращою стійкістю до стирання в 1,5...2,4 рази в порівнянні з іншими випробуваними системами лакофарбових покриттів. Емалі в порівнянні з грунтами мають більшу зносостійкість. Знизити інтенсивність зношування лакофарбового покриття можливо за рахунок збільшення товщини його зовнішнього шару. Для проведення наступного етапу досліджень обрана система лакофарбового покриття, яка включає епоксидний грунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301

4.4. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від впливу обраних факторів

Метою другого етапу експериментальних досліджень було встановлення впливу різних чинників на інтенсивність зношування лакофарбового покриття, яке включає епоксидний грунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301, а також визначення рівнів варіювання цих факторів.

Аналіз праць дозволив визначити чинники, які найбільшою мірою впливають на інтенсивність зношування лакофарбового покриття: твердість, шорсткість і товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття.

4.4.1. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від додавання пластифікатора

Додавання пластифікатора до емаль призводить до зміни твердості

лакофарбового покриття. В якості пластифікатора був обраний найбільш поширений пластифікатор для лакофарбових матеріалів на основі дибутилфталата, оскільки він легко поєднується з акриловими полімерами.

Лакофарбові покриття з додаванням пластифікатора було випробувано на стійкість до стирання. Результати випробування представлені на графіку (рис. 4.3.). Для зіставлення концентрації пластифікатора зі значеннями твердості лакофарбового покриття на верхній горизонтальній осі представлені значення твердості, визначені відповідно до вимог.

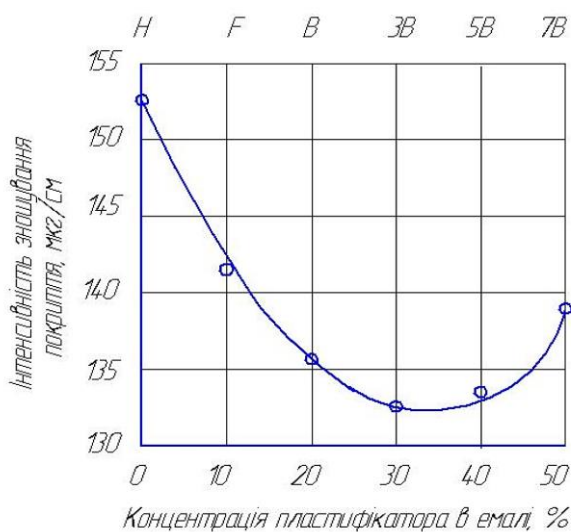


Рис. 4.3. Залежність інтенсивності зношування лакофарбового покриття від концентрації пластифікатора (твердості лакофарбового покриття)

Як видно із рис. 4.3. при додаванні до 30% пластифікатора від загального обсягу емалі спостерігається зниження інтенсивності зношування лакофарбового покриття. Це пояснюється підвищенням міцності міжмолекулярних зв'язків у емалі. Додавання більшої кількості пластифікатора призводило до підвищення інтенсивності зношування і означає, що при концентрації більше 30% настає перенасичення складу, і міцність міжмолекулярних зв'язків знижується. З точки зору теорії зовнішнього тертя і зношування І.В. Крагельського, екстремальне значення кривої при концентрації пластифікатора 30% характеризує перехід від одного виду фрикційного контакту до іншого: пружний контакт зі зменшенням твердості покриття переходить в пластичний. При концентрації пластифікатора більше 50% лакофарбове покриття стає занадто м'яким, що унеможлиблює

проведення випробувань на міцність покриттів до стирання за обраною методикою, при цьому спостерігається характерне порушення фрикційного контакту, при якому міцність фрикційних зв'язків ставала вище міцності матеріалу і відбувався когезійний відрив, що також підтверджується теорією І.В. Крагельського.

4.4.2. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від додавання розчинника

Зміну шорсткості лакофарбового покриття здійснювали відповідно до табл. 3.3. шляхом поетапного додавання (перед нанесенням другого і наступних шарів) розчинника в емаль. При додаванні розчинника до складу емалі зменшується в'язкість лакофарбового матеріалу, що сприяє кращому її розтіканню по поверхні фарбування (рис. 4.4.), а відтак сприяє зменшенню шорсткості покриття.

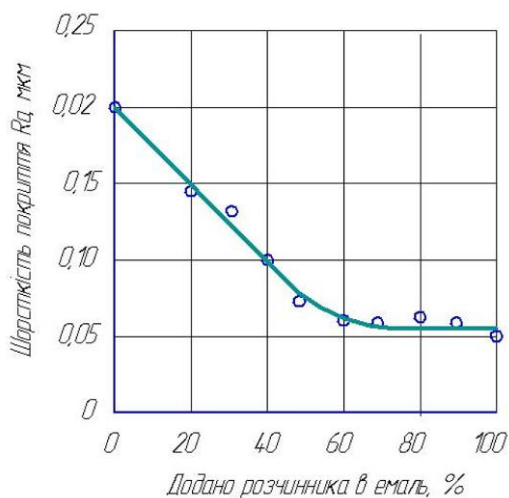


Рис. 4.4. Зміна шорсткості лакофарбового покриття від додавання розчинника в емаль

Як видно із цього рисунку при додаванні до емалі від 0 до 60% розчинника призводить до зменшення шорсткості лакофарбового покриття з 0,20 до 0,075 мкм. При додаванні до емалі більше, ніж 60% розчинника суттєво не впливає на шорсткість покриття. Таким чином, додавання до 60% розчинника сприяє кращому розтіканню емалі по поверхні фарбування і дозволяє досягати мінімальних значень шорсткості лакофарбового покриття. Додавання більше 60%

розчинника недоцільно, оскільки не призводить до істотного зменшення шорсткості покриття, а тільки збільшує матеріальні витрати.

Результати експериментальних досліджень по визначенню впливу додавання розчинника в емаль АК-1301 на інтенсивності її зношування, представлені на рис. 4.5.

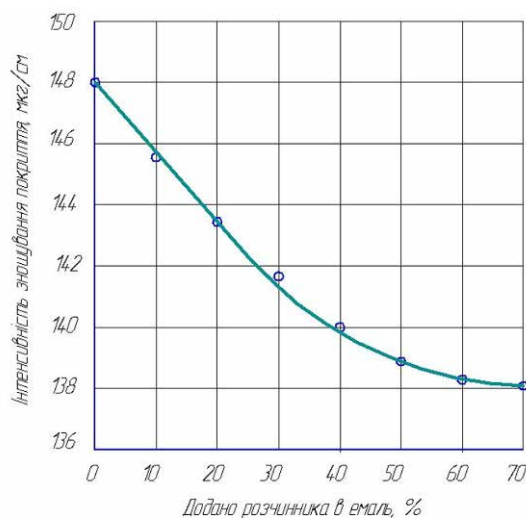


Рис. 4.5. Зміна інтенсивності зношування емалі від додавання розчинника

Отримані дані збігаються з даними, згідно яких мінімальний знос покриття відповідає мінімальним значенням його шорсткості. Із збільшенням кількості доданого розчинника до емалі АК-1301 інтенсивність її зношування зменшується. Мінімальний знос спостерігається при додаванні 60% розчинника. При подальшому додаванні розчинника впливу його на інтенсивність зношування не виявлено. Таким чином, додавання до емалі АК-1301 60% розчинника забезпечує її шорсткість, при якій вона має мінімальні значення зносу.

Результати досліджень інтенсивності зношування зовнішнього шару (емалі) лакофарбового покриття, яке включає ґрунт ЕП-057 і емаль АК-1301 в залежності від його товщини представлені на рис. 4.6.

Аналіз графічних даних, представлених на рисунку показує, що зі збільшенням товщини емалі від 40 до 80 мкм інтенсивність зношування лакофарбового покриття знижується з 146 до 136 мкг/см.

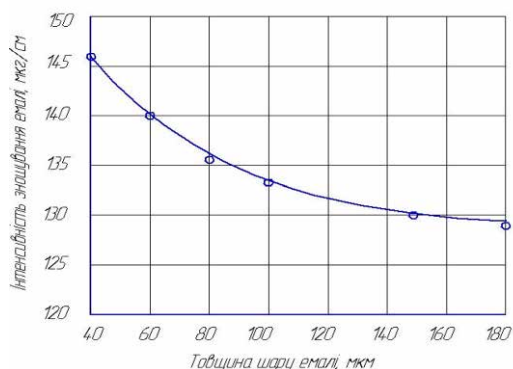


Рис. 4.6. Зміна інтенсивності зношування емалі від товщини її шару

4.4.3. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від товщини його зовнішнього шару

Подальше збільшення товщини емалі від 80 до 200 мкм призводить до зменшення інтенсивності зношування від 136 до 128 мкг/см.

Згідно технічної документації номінальна товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття (емалі АК-1301) повинна становити 40 мкм, а максимальна товщина не повинна перевищувати 80 мкм. Перевищення максимальної товщини призводить до зниження довговічності емалі в процесі старіння. Особливо це стосується покриттів, експлуатація яких здійснюється при негативних температурах.

В зв'язку з цим подальші дослідження інтенсивності зношування емалі АК-1301 здійснювали при зміні товщини її шару від 40 до 80 мкм. На рис. 4.7. представлені результати експериментальних досліджень інтенсивності зношування емалі АК-1301 і їх порівняння з теоретичними дослідженнями.

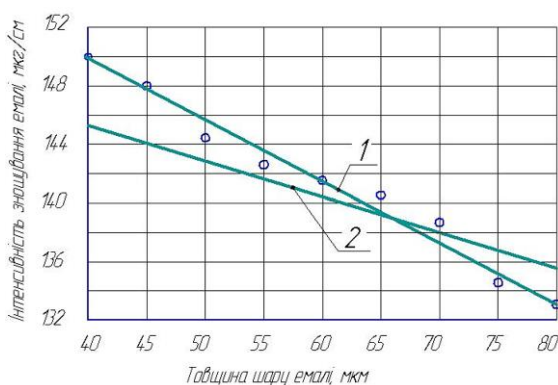


Рис. 4.7. Теоретична (2) і експериментальна (1) залежності зміни інтенсивності зношування емалі від товщини її шару

Як видно із рис. 4.7. різниця між експериментальними і теоретичними даними становить 5...8%.

Представлені результати досліджень підтверджують, що на інтенсивність зношування лакофарбового покриття впливають такі фактори, як твердість, шорсткість і товщина зовнішнього шару (емалі) лакофарбового покриття.

4.5. Інтенсивність зношування лакофарбового покриття при спільному впливі факторів

Метою заключного етапу експериментальних досліджень було отримання функціональної залежності впливу факторів на інтенсивність зношування лакофарбового покриття. Для оцінки впливу твердості, шорсткості і товщини зовнішнього шару лакофарбового покриття на інтенсивність його зношування був реалізований композиційний тривірневий план для трьох факторів. В результаті було отримано наступне рівняння регресії:

$$Y = 106,78 - 16,86X_1 + 15,35X_2 + 11,92X_3 - 5,73X_1^2 + 22,892X_2^2 + 1,982X_3^2 + 16,75X_1 \cdot X_2 + 7,96X_1 \cdot X_3 - 1,69X_2 \cdot X_3, \quad (4.1.)$$

де X_1 - закодоване значення товщини емалі лакофарбового покриття;

X_2 - закодоване значення концентрації пластифікатора в емалі;

X_3 - закодоване значення доданого до емалі розчинника.

Модель (4.1.) пройшла статистичну обробку, в результаті якої можна стверджувати, що гіпотезу про адекватність опису рівнянням (4.1.) результатів експерименту можна вважати достовірною з вірогідністю 95% , тому що $S_{ад2}=125,232$, $S_{в2}=50,033$. Розрахункове значення критерію Фішера $F_p=2,5$ при табличному значенні F -критерію 3,1. У наведеній залежності за значимістю фактори розподіляються в такій послідовності: товщина зовнішнього шару, твердість і шорсткість лакофарбового покриття. Для використання отриманого рівняння регресії (4.1.) в якості розрахункової моделі і інтерпретації результатів дослідів перейдемо до натуральних значень факторів, тобто проведемо розкодування за методикою і запишемо отримане рівняння без урахування незначущих коефіцієнтів. В результаті рівняння буде виглядати наступним

чином:

$$Y = 193,61 - 2,08h - 1,89П - 0,43P + 0,037П^2 + 0,01hP + 0,03hП, \quad (4.2.)$$

де h - товщина шару емалі лакофарбового покриття, мкм;

$П$ - концентрація пластифікатора в складі емалі, %;

P – кількість доданого до емалі розчинника, %.

На підставі отриманого рівняння (4.2.) був проведений розрахунок значень інтенсивності зношування лакофарбового покриття для різних значень товщини зовнішнього шару лакофарбового покриття та різної концентрації пластифікатора в складі емалі, в рамках яких модель є адекватною. Кількість доданого до складу емалі розчинника не змінювалась і залишилась рівною 60%. В результаті було встановлено, що збільшення товщини шару емалі від 40 до 80 мкм призводить до зниження інтенсивності зношування лакофарбового покриття. Аналогічне явище спостерігається при додаванні до емалі пластифікатора. Необхідно зазначити, що зниження інтенсивності зношування відбувається при додаванні до емалі не більше 34% пластифікатора. При більшій концентрації пластифікатора, інтенсивність зношування знову зростає. В результаті можна стверджувати, що мінімальна інтенсивність зношування лакофарбового покриття буде тоді, коли товщина зовнішнього шару емалі буде становити 75...80 мкм, концентрація пластифікатора в складі емалі - 30...34%, при додаванні до емалі 60% розчинника. При цих значеннях факторів інтенсивності зношування лакофарбового покриття знижується з 139,4 до 75,6 мкг/см.

4.6. Практичне використання результатів дослідження

Викладені матеріали дозволяють стверджувати, що покриття на поверхнях днища і шнека жаток зношуються нерівномірно. Причому знос може становити від декількох мікрометрів у країв жатки до повного стирання по мірі наближення до її середини. Аналіз зношування лакофарбового покриття днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів (рис. 4.8.), підтвердив теоретичні дослідження і дозволив виявити, що за один сезон експлуатації при середньому наробітку комбайна 700 га лакофарбове покриття жаток зношується до металу на ділянках

робочих поверхонь, розташованих навпроти похилої камери. Площа зони інтенсивного зношування, на якій розташовані ці ділянки, становить 9-10 м², або від 25 до 50% від всієї площі робочих поверхонь днища і шнека жатки.



Рис. 4.8. Жатки зернозбиральних комбайнів після одного сезону експлуатації

На підставі виконаних досліджень розроблено технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів з метою отримання зносостійкого лакофарбового покриття. Розроблений технологічний процес передбачає формування в зонах інтенсивного зношування лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю (рис. 4.9.).

При здійсненні технологічного процесу рекомендується застосовувати систему лакофарбових покриттів, яка включає епоксидний ґрунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301.

Для здійснення технологічного процесу ремонтного фарбування жаток на рис. 4.10. зображена схема нанесення лакофарбових матеріалів і формування лакофарбового покриття, які відображають особливості технологічного процесу:



Рис. 4.9. Зона інтенсивного зношування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів

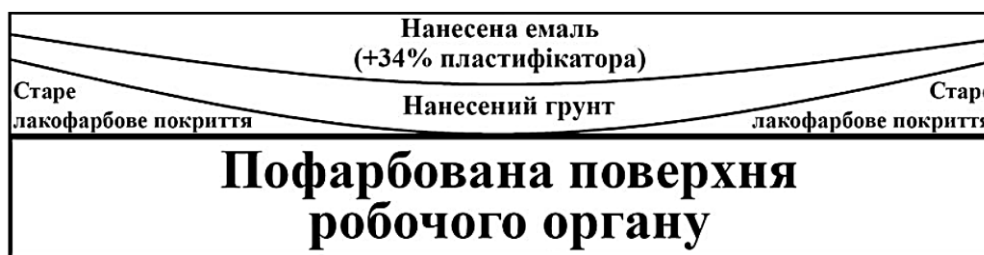


Рис. 4.10. Загальна схема формування лакофарбового покриття

Технологічний процес ремонтного фарбування передбачає виконання наступних операцій:

1. Визначається площа фарбування і розраховується необхідна кількість лакофарбових матеріалів.
2. Приготування ґрунту здійснюють в такій послідовності. До ґрунту ЕП-057 додають затверджувач №3 і розчинник Р4 відповідно до пропорцій, що вказані у технічній документації і змішують суміш.
3. На всю попередньо підготовлену до фарбування площу наноситься перший шар ґрунту.
4. Другий шар ґрунту наноситься з перекриттям 5...7 см за межі першого шару.
5. Приготування емалі АК-1301. Згідно пропорціям, що вказані у технічній документації до емалі АК-1301 додають затверджувач №1301 і розчинник 1301. Суміш ретельно перемішують.
6. Перед нанесенням на поверхню емалі в неї додається пластифікатор на основі дибутилфталата в кількості 30...34% від загального обсягу.
7. Перший шар емалі наноситься на всю заґрунтовану площу з

перекриттям в 5-7 см.

8. Приготовляється порція розчинника, яка становить 60% від залишку об'єму емалі.

9. У емаль перед нанесенням другого шару додається третя частина приготованого розчинника. Другий шар наноситься з перекриттям 5...7 см за межі першого.

10. У емаль перед нанесенням третього шару додається третина розчинника і наноситься третій шар з перекриттям 5...7 см за межі другого.

11. У емаль перед нанесенням четвертого шару додається решту розчинника і наноситься четвертий шар з перекриттям 5...7 см за межі третього.

При проведенні експлуатаційної перевірки за розробленою технологією були пофарбовані поверхні днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів, по яких переміщається рослинна маса. Зносостійкість лакофарбового покриття визначалася виходячи з напрацювання зернозбирального комбайна в період проведення збиральних робіт. При цьому проводився періодичний контроль товщини лакофарбового покриття відповідно до стандартів. Випробування тривали до повного зносу лакофарбового покриття на ділянках максимального зносу (в районі похилої камери). В результаті виявлено наступне (табл. 4.3.). Лакофарбове покриття, отримане за розробленою технологією із застосуванням системи, яка включає епоксидний ґрунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301 зношувалося в місцях максимального зносу в середньому за напрацювання 1460 т.

Таблиця 4.3.

Результати експлуатаційних випробувань застосовуваного і розробленого технологічних процесів ремонтного фарбування

Технологія	Система лакофарбових покриттів	Лакофарбові матеріали	Інтенсивність зношування, мкм/т	Напрацювання комбайна до зносу покриття, т
Застосовувана в ремонтних підприємствах	Акриловий ґрунт + пентафталева емаль	АК-070+ПФ-115	0,32	250

	Акриловий ґрунт + алкідна емаль	АК-070+МЛ-152	0,25	320
	Акриловий ґрунт + акрилова емаль	АК-070+АК-1301	0,27	290
	Епоксидний ґрунт + пентафталева емаль	ЕП-057 +ПФ-115	0,24	330
	Епоксидний ґрунт + алкідна емаль	ЕП-057+МЛ-152	0,15	550
	Епоксидний ґрунт + акрилова емаль	ЕП-057+АК-1301	0,11	720
Розроблена	Епоксидний ґрунт + акрилова емаль	ЕП-057=АК-1301	0,08	1460

Випробування інших застосовуваних систем лакофарбових покриттів показали, що напрацювання комбайна до повного зносу лакофарбового покриття становить: «епоксидний ґрунт ЕП-057 - акрилова емаль АК-1301» - 720 т, «епоксидний ґрунт ЕП-057 - алкідна емаль МЛ-152»- 550 т, «епоксидний ґрунт ЕП-057 - пентафталева емаль ПФ-115» - 330 т, «акриловий ґрунт АК-070 - акрилова емаль АК-1301» - 280 т, «акриловий ґрунт АК-070 - алкідна емаль МЛ152» - 320 т, «акриловий ґрунт АК-070 - пентафталева емаль ПФ-115» - 250 т. також були отримані значення інтенсивності зношування для кожного лакофарбового покриття.

Пофарбовані за розробленим технологічним процесом жатки зернозбиральних комбайнів показані на рис. 4.11.



Рис. 4.11. Пофарбовані за розробленим технологічним процесом жатки зернозбиральних комбайнів

Таким чином, в результаті експлуатаційної перевірки розробленого технологічного процесу встановлено, що зносостійкість одержуваного лакофарбового покриття при застосуванні системи, яка включає епоксидний ґрунт ЕП-057 - акрилову емаль АК-1301 в 1,4 - 4 рази вище зносостійкості лакофарбових покриттів, які використовуються в ремонтних і сільськогосподарських підприємствах.

Висновки з розділу

1. Система лакофарбового покриття, яка включає епоксидний ґрунт ЕП-057 і акрилову емаль АК-1301 володіє меншим коефіцієнтом тертя ковзання (в 1,3 - 2,5 рази), кращою адгезійною міцністю (в 1,7 - 2,8 рази) і кращою стійкістю до стирання (в 1,5 - 2,4 рази) в порівнянні з іншими випробуваними системами лакофарбових покриттів. Крім того, порівняльні випробування показали, що емалі в порівнянні з ґрунтами мають більшу міцність до стирання.

2. В результаті проведення експериментальних досліджень встановлено, що на інтенсивність зношування лакофарбового покриття суттєво впливають такі чинники, як твердість, шорсткість і товщина шару емалі

лакофарбового покриття: - при додаванні пластифікатора на основі дибутилфталата до 34% від загального обсягу емалі АК 1301 відбувається зниження інтенсивності зношування лакофарбового покриття (грунт ЕП-057 - емаль АК-1301) на 13% за рахунок збільшення міцності міжмолекулярних зв'язків в ЛФМ. Додавання більшої кількості пластифікатора призводить до підвищення інтенсивності зношування, що говорить про перенасичення складу і зниженні міцності міжмолекулярних зв'язків, а також про перехід при терті від одного (пружного) виду фрикційного контакту до іншого (пластичного). При концентрації пластифікатора більше 50% отримується лакофарбове покриття стає занадто м'яким, що унеможливує проведення випробувань на міцність покриттів до стирання, при цьому спостерігається характерне порушення фрикційного контакту, при якому міцність фрикційних зв'язків стає вище міцності матеріалу, і відбувається когезійний відрив; - Поетапне додавання в емаль АК-1301 розчинника (перед нанесенням другого і наступних шарів) до 60% від обсягу емалі, що залишилася після нанесення першого шару, призводило до зниження в'язкості наноситься емалі (з 22 до 12,5 с) і шорсткості одержуваного лакофарбового покриття (з 0,2 до 0,075 мкм). Зниження шорсткості покриття призводило до зниження інтенсивності його зношування на 7%; - в двошаровому лакофарбовому покритті (грунт ЕП-057 - емаль АК-1301) збільшення товщини зовнішнього шару (емалі) від 40 до 80 мкм знижує інтенсивність зношування лакофарбового покриття на 11%.

3. Отримано рівняння регресії, яке підтверджує залежність інтенсивності зношування лакофарбового покриття від товщини його зовнішнього шару, твердості і шорсткості лакофарбового покриття.

4. Розроблено технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, що передбачає формування а ділянках, схильних до інтенсивного зношування, лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю за рахунок додавання в емаль до 34% від обсягу пластифікатора; поетапного додавання в емаль розчинника (перед нанесенням другого і наступних шарів) до 60% від обсягу емалі, що залишилася після

нанесення першого шару; нанесення емалі товщиною до 80 мкм.

5. В результаті експлуатаційної перевірки розробленого технологічного процесу встановлено, що зносостійкість одержуваного лакофарбового покриття при застосуванні системи «епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК1301)» в 1,4 - 4 рази вище зносостійкості лакофарбового покриття, що отримується.

ВИСНОВКИ

1. Досліджені закономірності зношування лакофарбових покриттів робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів. Встановлено, що особливості конструкції шнека і характер руху рослинної маси призводять до більшого зношування лакофарбового покриття по середині жатки.

2. Запропоновані аналітичні залежності для визначення інтенсивності зношування двошарового і багатошарового лакофарбових покриттів, що дозволяють розрахувати інтенсивність їх зношування з урахуванням різної товщини шарів використаних лакофарбових матеріалів.

3. Обґрунтовано вибір системи лакофарбового покриття для ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, яка включає епоксидний ґрунт ЕП- 057 і акрилову емаль АК- 1301. Зазначена система дозволяє, в порівнянні з іншими досліджуваними системами покриття, зменшити коефіцієнт тертя ковзання рослинної маси у 1,3...2,5 рази; збільшити адгезійну міцність у 1,7...2,8 рази; підвищити стійкість до стирання в 1,5...2,4 рази.

4. Встановлено, що збільшення товщини зовнішнього шару (емалі) по відношенню до товщини первинного шару (ґрунту) при рівній загальній товщині усього лакофарбового покриття призводить до підвищення тривалості роботи при терті і зниженню інтенсивності зношування покриття в цілому.

5. Експериментальні дослідження показали:

➤ додавання в емаль АК- 1301 пластифікатора на основі дибутилфталата в межах 30...34% сприяє зниженню на 10...13% інтенсивності зношування лакофарбового покриття;

➤ поетапне додавання в емаль АК- 1301 розчинника (перед нанесенням другого і подальших шарів) до 60% від об'єму емалі, що залишилася після нанесення першого шару, сприяє зниженню шорсткості з 0,075 до 0,02 мкм і інтенсивності зношування на 6...7% лакофарбного покриття;

➤ в двошаровому лакофарбовому покритті (ґрунт ЕП- 057 + емаль АК- 1301) збільшення товщини зовнішнього шару (емалі) від 40 до 80 мкм призводить

до зниження інтенсивності зношування лакофарбового покриття на 9...11%.

6. Запропонований технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, що передбачає формування на ділянках, які піддаються інтенсивному зношуванню лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю за рахунок

- додавання в емаль до 34% пластифікатора від її об'єму;
- поетапного додавання в емаль розчинника (перед нанесенням другого і подальших шарів) до 60% від об'єму емалі, що залишилася після нанесення першого шару;
- нанесення емалі завтовшки до 80 мкм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2 (97). С. 19-23.
2. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Вібрації в техніці та технологіях. 2014. № 1 (73). С. 25-33.
3. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Булгаков В.М., Яременко В.В. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. №2 (94). 2016. С. 12-19.
4. Грицун А.В., Бабин І.А., Грицун О.А. Деякі результати досліджень мобільного подрібнювача-роздавача стеблових кормів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №3 (92). С. 17-20.
5. Грицун А.В., Бабин І.А., Грицун О.А. Дослідження впливу кута встановлення робочої грані молотка на зусилля руйнування стеблових матеріалів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №1 (91). С. 29-32.
6. Грицун А.В., Грицун О.А., Яропуд В.М. Розробка та дослідження нового гичкозбирального робочого органу. Зб. наук. праць ВНАУ Серія: Технічні науки. 2014. № 1 (84). С. 85-92.
7. Гунько І.В., Коваль Л.Г. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3 (95). С. 89-93.
8. Гунько І.В., Браніцький Ю.Ю., Токарчук О.А. Засоби механізації процесу збирання та подрібнення біоенергетичних культур. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 2 (97). С. 129-134.
9. Гунько І.В., Холодюк О.В., Кузьменко В.Ф. Обґрунтування параметрів пристрою для доподрібнення зерна при заготівлі кукурудзяного силосу. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 3 (102). С.28-36
10. Гунько І.В., Рябошапка В.Б., Коваль Л.Г. Перспективи розвитку безрозбірного діагностування машино-тракторного агрегату, працюючого з використанням альтернативного палива. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №3 (98). С.

145-150.

11. Гунько І.В., Кравець С.М., Служанюк М.О. Гідравлічні приводи в системах подрібнення деревини. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. №3 (102). С. 70-76.
12. Дудак С.М., Грицака О.М., Спирін А.В. Кінетика процесу вимолоту зерна зернозбиральними комбайнами. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки. 2015. № 1 (89), Т1. С.53-56.
13. Павленко В.С., Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Полевода Ю.А. З'єднання в машинобудуванні: навч. Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. 110 с.
14. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. М-во освіти і науки України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. – Х.: ОКО, 2001. 443 с.
15. Ільченко В.Ю., Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Бондаренко А.С. Дослідження першочерговості постановки тракторів на зберігання. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 2 (98). С. 49-55.
16. Ільченко В.Ю., Деркач О.Д., Пономаренко Н.О., Яропуд В.М., Волошин С.В. Пристосованість конструкцій трактора до операцій технічного обслуговування і зберігання. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 4 (96). С. 31-36.
17. Калетнік Г.М., Шаргородський С.А., Браніцький Ю.Ю. Розробка кінематичної схеми причіпного комбайна для збирання енергетичної верби. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. №3 (102). 2018. – С. 11-21
18. Ковбаса В.П., Солоня О.В., Спирін А.В., Цуркан О.В. Про спрощення критерію вигляду напружено-деформованого стану суцільного середовища. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. № 1 (100), Том 1.С. 44-49
19. Котов Б.І., Спирін А.В., Зозуляк О.В. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №1 (96). С.26-29
20. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. Вібрації в техніці та технологіях. 2018. №3 (90). С. 44-52.

21. Ланець О.С., Боровець В.М., Деревенько І.А. Визначення потужності приводів вібраційних машин з силовим та кінематичним збуренням. Вібрації в техніці та технологіях. 2018. № 3 (90). С. 53-61.
22. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3 (95). С. 6-12.
23. Мазур В.А., Балагура О.В., Журенко Ю.І. Вплив кількості технологічних операцій на фізико-механічні властивості біомаси люцерни при заготівлі сіна. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. №4. С. 9-17.
24. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. // Техніка енергетика транспорт АПК. 2017. № 2 (97). С. 109-114.
25. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Київ: «Хай-Тек Прес», 2012. 128 с.
26. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник. Київ: «Хай-Тек Прес», 2011. 140 с.
27. Пономаренко Н.О., Ільченко В.Ю., Яропуд В.М., Усенко А.І. Аргументація середньої відстані пробігу пересувних засобів технічного обслуговування машин. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №3 (95).С. 63-66.
28. Рудницький Б.О., Спірін А.В., Омелянов О.М., Твердохліб І.В. Атестація робочих місць – можливий фактор безпеки сільськогосподарського виробництва. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2015. №2 (90). С. 33-36.
29. Рудницький Б.О., Антонів С.Ф., Запрута О.А. Особливості технології вирощування насіння нових та перспективних сортів бобових трав в умовах Лісостепу України. 2017. Вип. №7, том 2. С. 70-76.
30. Середа Л.П., Паладійчук Ю.Б., Зінев М.В. Ефективність застосування гідропривода в машині для подрібнення деревини DP-660 при виготовленні щепи.

Промислова гідравліка і пневматика. 2017. № 1 (55).С. 63-69.

31. Сивак І.О., Деревенько І.А., Островський А.Й. Практикум з механіки матеріалів і конструкцій. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2011. 144 с.
32. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.
33. Войтюк Д.Г., Булгаков В.М., Кропивко С.В., Онищенко В.Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. Вузів. Київ, 2005. 464 с.
34. Солоня О.В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. Вібрації в техніці та технологіях. 2018. № 3 (90). С. 105-116
35. Солоня О.В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «Друк», 2014. 256 с.
36. Спирін А.В., Котов Б.І., Зозуляк О.В. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну. Техніка, енергетика, транспорт АПК.2016. №4. С. 42-45.
37. Твердохліб І.В. Дослідження процесу витирання насінневого вороху люцерни. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. № 4(99). С. 77- 83.
38. Твердохліб І.В., Барановський В.М., Спирін А.В., Полєвода Ю.А. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. Техніка, енергетика, транспорт АПК.2018. № 1
39. Aliev E., Pryshliak V., Yaropud V. Research of physical and mechanical properties of oil seed crops. MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol 19., № 3. P. 103-108.
40. Spirin A., Borysiuk D., Truhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2017. Vol. 17, № 1. P. 41-48.
41. Яковчук А.М. Автоматизація технологічного процесу нанесення лакофарбового покриття на електротехнічну арматуру. : кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю «151 — автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / А.М. Яковчук– Тернопіль : ТНТУ, 2022. — 52 с.
42. Mark E. Nichols. Anticipating paint cracking: The application of fracture mechanics to

- the study of paint weathering. *Journal of Coatings Technology*. Vol. 74. 2002. P. 39–46.
43. Ігор Кузев, Володимир Драгобецький, Сергій Шлик. Морфологічний аналіз технологій ремонту кузовних і облицювальних деталей наземного транспорту. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 1/2022(132). С. 157–164.
44. EN ISO 6270-1:2001 PAINTS AND VARNISHES – DETERMINATION OF RESISTANCE TO HUMIDITY – PART 1: CONDENSATION (SINGLE-SIDED EXPOSURE). URL: https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/UNIEN-ISO-6270-1-2001-1084156_SAIG_UNI_UNI_2524944/ (дата звернення: 10.07.2023).
45. EN ISO 9514:2005 Paints and varnishes – Determination of the pot life of multicomponent coating systems – Preparation and conditioning of samples and guidelines for testing. URL: <https://www.iso.org/standard/37490.html> (дата звернення: 10.07.2023).
46. EN ISO 11341:2004 Paints and varnishes – Artificial weathering and exposure to artificial radiation – Exposure to filtered xenon-arc radiation. URL: <https://www.iso.org/standard/33045.html> (дата звернення: 10.07.2023).
47. Tony Misovski, Mark E. Nichols, Henry K. Hardcastle, The Influence of Water on the Weathering of Automotive Paint Systems. *Service Life Prediction of Polymeric Materials*. 2011. P. 295–308.
48. Манько Т.А., Сєдачова К.Г., Козіс Х.В. Селективний метод тверднення епоксидних сполучників для створення тонкостінних високоміцних конструкцій. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 5/2021(130). С. 74–79.
49. Salcedo-Hernández et al. Predicting Enamel Layer Defects in an Automotive Paint Shop. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 114(2016). P. 22748–22757. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8970510> (дата звернення: 13.07.2023).
50. ДСТУ ISO 12944-9:2019 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 9. Захисні лакофарбові системи та лабораторні методи випробувань для офшорних і подібних конструкцій (ISO 12944-9:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91636 (дата звернення: 13.07.2023).