

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «магістр»  
групи 208АІмд\_21

Крутченко Владислав Віталійович

Керівник: Горбенко О. В.

Рецензент: Ляшенко С. В.

**Полтава – 2022 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Збільшення маси машин і робочих швидкостей сприяло як ущільненню ґрунту, так і збільшенню навантаження на робочі органи ґрунтообробних машин. Використання енергонасичених тракторів під час оранки і культивації призвело до недостатньої зносостійкості робочих органів. У зв'язку з цим проведення робіт по зміцненню робочих органів ґрунтообробних машин в мінімальні терміни і за прийнятною вартістю є актуальним. Виконання цих вимог можливо при напиленні зносостійких покриттів з економно легованих порошкових дротів (ПД) за допомогою продуктивного обладнання дугової металізації (ДМ).

Шляхом нанесення зносостійких покриттів методами газотермічного напилення присвячені праці С.А. Зайцева, А.Ф. Фаюршина; М.Ю. Петрова. Їх роботи значною мірою сприяли впровадженню технології газотермічного напилення для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Однак в їх дослідженнях не достатньо розкрито вплив складу напилюваних матеріалів і режимів їх нанесення при напиленні окислення покриттів, що визначає їх фізико-механічні та експлуатаційні властивості, зокрема стійкість до ударно-абразивного зносу, характерного для умов роботи робочих органів ґрунтообробних машин.

**Мета дослідження.** Підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології дугової металізації зносостійких покриттів.

**Об'єкт дослідження.** Металізаційні покриття на робочих поверхнях лап культиватора.

**Предмет дослідження.** Закономірності фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів від складу порошкового дроту і режимів дугового металізації.

**Методика досліджень** включала проведення лабораторних досліджень. Експериментальні дослідження виконані за стандартними

методиками і включали в себе: елементний аналіз, фазовий аналіз, випробування з визначення адгезійної міцності, пористості, мікротвердості і зносостійкості покриттів. Для підтвердження результатів дослідження проведено експлуатаційні дослідження лап культиватора, зміцнених за розробленою технологією.

**Наукова новизна.** Визначено оптимальний склад порошкового дроту і параметри режиму дугового металізації. Встановлено ступінь окислення металізаційних покриттів з порошкового дроту і визначені фізико-механічні та експлуатаційні показники.

**Практична значимість.** Встановлено залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів від складу порошкових дротів і режимів дугового металізації. Розроблено технологічний процес нанесення зносостійких покриттів на робочі поверхні лап культиватора.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз зносу робочих органів ґрунтообробних машин

При відвальній обробці ґрунту (оранка, культивація) енергоємність процесу різко зростає через затуплення робочих органів внаслідок абразивного зносу [1, 2].

Для багатьох видів контактної взаємодії при зовнішньому терті абразивне зношування є основним. Абразивне зношування присутнє при роботі спряжень робочих органів не тільки сільськогосподарських, але і інших машин. Абразивний знос є головним чинником, що обмежує технічні характеристики і ресурс машин, механізмів і обладнання [3].

На частку цього виду зносу доводиться від 50 до 80% випадків відмов робочих органів машин, зокрема будівельних, дорожніх, транспортних, сільськогосподарських, машин для тваринництва і кормовиробництва [4].

При виготовленні робочих органів ґрунтообробних машин (лемішів плугів, культиваторних лап, дисків борін) повинні пред'являтися підвищені вимоги до матеріалу, методів підвищення зносостійкості, технології виготовлення [5].

За даними робіт [5], найбільш зносостійкими є робочі органи зарубіжного виробництва, які мають твердість в межах HRC 50-60.

Вітчизняні виробники поки не можуть забезпечити таку твердість, тому необхідно звернути увагу на зміцнюючі технології при відновленні зношених робочих органів ґрунтообробних машин.

У роботах ряду авторів [6, 7], які вивчають абразивне зношування, відзначається, що головною причиною абразивного зносу, а для робочих органів сільськогосподарських машин він є основним, є багаторазове пластичне деформування одних і тих же мікрооб'ємів металу, яке викликає відділення частинок з поверхні.

На абразивне зношування робочих органів ґрунтообробних машин впливають вологість, механічна структура ґрунту, швидкість відносного переміщення та ін. [8, 9].

Зважаючи на складність процесів, що протікають в поверхневому шарі металу при зношуванні, відмінності умов і режимів роботи пар тертя на рис. 1.1 наведені орієнтовно класифікаційні ознаки всього розмаїття процесів зношування.



Рисунок 1.1 – Класифікація процесів зношування

Для вибору технологічного процесу відновлення і зміцнення зношених поверхонь робочих органів необхідно знати не тільки кількісні характеристики зносу, але і їх природу і класифікацію видів зношування.

У роботах [10, 11] встановлено, що матеріал пар тертя в межах активного шару піддається пластичній деформації.

Активним вважають поверхневий шар матеріалу, за яким відбувається безпосередній контакт. Ряд авторів [12, 13] вказують, що в цьому шарі відбуваються такі фізико-механічні явища:

– пружні деформації, пов'язані з дефектами кристалічної будови металу і викликають викришування;

– пластична деформація викликає зміщення кристалічних зерен, при цьому зростаючі напруги при багаторазовому повторенні призводять до руйнування поверхневого шару;

– пластична деформація призводить до зміцнення поверхневого шару (при температурі нижче температури рекристалізації).

В даний час для опису процесу абразивного зношування існує дві моделі, що відрізняються одна від одної характером взаємодії абразивних частинок з поверхнею металу:

– механохімічне руйнування поверхневого шару (пластичне деформування мікрооб'ємів, їх окислення з подальшою руйнацією окисних плівок);

– механічне руйнування поверхневого шару (впровадження абразивних частинок і подальше руйнування без зняття мікростружки).

Механохімічна модель абразивного зношування [10] має наступні фази:

– механічний контакт;

– пружно-пластичну деформацію;

– активацію (тонкого шару деформованого металу);

– миттєву пасивацію (взаємодії активованого металу з хімічно активними компонентами ґрунту, утворення вторинних структур);

– руйнування вторинних структур подальшим механічним впливом.

Товщина вторинних структур може становити для різних типів ґрунтів, вологості і кислотності рН 0,01-0,05 мкм [12].

Механічна модель процесу абразивного зносу включає:

– механічний контакт;

– пружно-пластичну деформацію;

– впровадження абразивних частинок і руйнування поверхневих об'ємів без відділення частинок основного металу або зняття мікростружки.

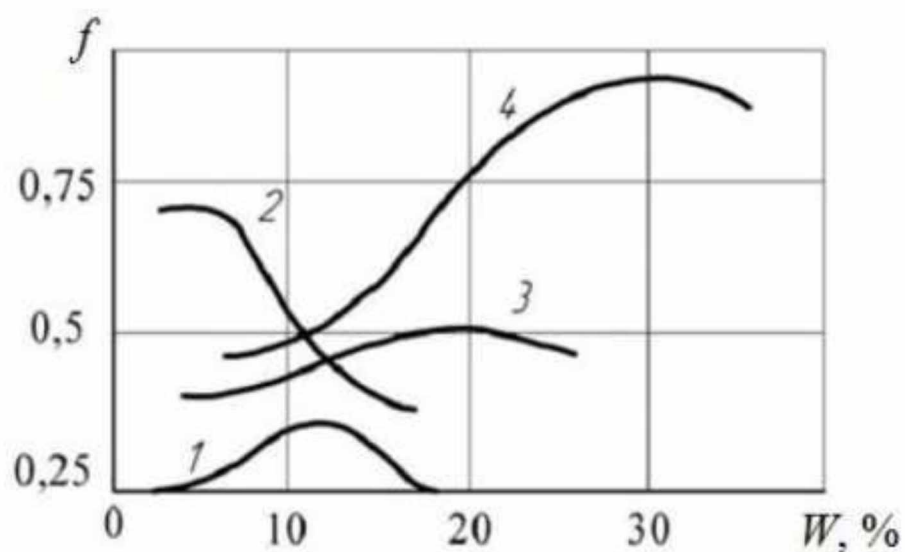
Основний вплив на абразивний знос робочих органів ґрунтообробних машин надає вміст абразиву (кварцового піску) в ґрунті. Якщо величину

абразивного зносу на глинистих ґрунтах прийняти за 1,0, то на піщаних вона складе 1,5; на суглинках – 1,9; на супіщаному – 2,3 [14].

Абразив (кварцовий пісок) дряпає або знімає мікростружку з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, але на швидкість зносу впливає і присутня в ґрунті волога, яка має певну кислотність рН [15].

Зі збільшенням вологості ґрунту і фракцій абразиву (0,25-1,00 мм) величина зносу збільшується на 25-50% [16].

Встановлено, що зі збільшенням вологості суглинних і глинистих ґрунтів різних генетичних типів (від повітряно-сухого стану до 60-80% відносної вологості) значення коефіцієнта тертя ґрунту по шліфованій сталі зростає, а після досягнення максимального значення – зменшується [8] (рис. 1.2, криві 3 і 4). При цьому чим важче механічний склад ґрунту, тобто чим більше в ньому вміст глинистих частин, тим більше значення коефіцієнта тертя ґрунту у вологому стані по сталі.



1 – піщаний ґрунт; 2 – супіщані ґрунти; 3 – середній суглинок; 4 – важкі суглинки і глини

Рисунок 1.2 – Зміна коефіцієнта тертя і ґрунту по сталі в залежності від вологості [9]

Збільшення значення коефіцієнта тертя на глинистих і суглинних ґрунтах зі збільшенням вологості пояснюється зростанням сил міжмолекулярної взаємодії частинок ґрунту зі сталеву поверхнею, а зниження після переходу максимуму – появою на поверхні контакту вільної води, яка виконує роль «мастила» [4].

Межі зміни коефіцієнта тертя піщаних ґрунтів по сталі, обумовлені збільшенням вологості ґрунту, досліджені ще недостатньо, тому криві 1 і 2, зображені на рис 1.2, є, певною мірою, гіпотетичними.

При збільшенні вологості пухких (позбавлених в'язкості) піщаних ґрунтів від гігроскопічної до максимальної капілярності коефіцієнт тертя досягає максимального значення. При подальшому збільшенні вологості коефіцієнт тертя знижується. Це пояснюється наступним чином: при невеликій вологості ґрунту ковзання сталі по поверхні пухкого піску супроводжується перекатом шару піщинок, що знижує коефіцієнт тертя.

Підвищення вологості піску збільшує міжмолекулярні зв'язки, зменшується рухливість шару піщинок, відбувається прилипання ґрунту до поверхні, що призводить до збільшення коефіцієнта тертя. Подальше зволоження піщаного ґрунту супроводжується появою вільної води, яка змащує поверхню тертя, коефіцієнт тертя при цьому знижується [3].

Максимальне значення коефіцієнта тертя ковзання сталі по піщаному ґрунту, що знаходиться в зв'язаному стані, спостерігається при невеликій вологості (рис. 1.2, крива 2). Піщинки ґрунту, взаємодіючи зі сталлю, викликають її інтенсивний абразивний знос (дряпаючи її подібно наждачним папером). Збільшення вологості ґрунту призводить до його розм'якшення, знижується міцність закріплення в ґрунті піщинок, що зменшує коефіцієнт тертя.

У роботах, де вивчаються явища тертя і зношування, відсутня загальна думка про вплив швидкості переміщення ґрунту по сталі на коефіцієнт тертя ковзання. Ряд авторів [17, 18] вважають, що зростання

швидкості ковзання призводить до збільшення коефіцієнта тертя, інші [19] стверджують зворотне.

При швидкостях ковзання ґрунту по сталі в межах 0,5-4,0 м/с коефіцієнт тертя ковзання змінюється незначно і не впливає на знос [7].

В роботі [20] з вивчення впливу питомого тиску  $p$  ґрунту на поверхню сталі стверджується, що зростання  $p$  знижує коефіцієнт тертя, тому що внаслідок ущільнення ґрунту на поверхні сталі з'являються частинки води, що грають роль мастила.

Працездатність лемішних плугів багато в чому залежить від стану лемішів. Леміш, підрізаючи пласт ґрунту, сприймає найбільший тиск в носовій частині і менше на кромці леза. Так, при глибині оранки  $h = 22$  см і швидкості  $v = 1,4$  м/с тиск на носку леміша досягає 1,6-1,8 МПа [20]. Аналогічна ситуація складається і для лап культиватора. Все це призводить до нерівномірного абразивного зносу носка і ріжучої частини приблизно в два рази.

При оранці ущільнених ділянок ґрунту, а також ґрунтів, засмічених камінням, тиск при наїзді лемішу плуга на камінь збільшується «стрибкоподібно». При наїзді на камінь надмірно зростає напруга контакту леза з каменем, що викликає викришування і пластичну деформацію леза в результаті як механічних перевантажень, так і миттєвого збільшення температури при наїзді лемішу на камінь. За даними [21], порівняно з нормальними умовами тиск за час контакту збільшується в десять разів і більше (0,04-0,10 с).

Іншим негативним результатом кам'янистих включень є затуплення і знос лез. Затуплення лез робочих органів ґрунтообробних машин погіршує підрізання бур'янів і збільшує тяговий опір машин, порушує стійкість їх ходу по глибині [18].

Ресурсні випробування лемішів при оранці ґрунтів, що містять абразив в вигляді кварцового піску, показали, що до 50% їх вибраковують

через вигин і полумки носка, при цьому знос леза не досягає граничного стану.

На чорноземах більш інтенсивно зношується лезо леміша. Після напрацювання 3-4 га він набуває заокруглену форму і потрібне відновлення леза відтягненням [22].

На піщаних ґрунтах робочі органи ґрунтообробних машин, відновлені традиційними методами наплавлення, працюють незадовільно. Ресурс відновленого лемішу становить, як і для нового, 5-6 га [12]. Необхідні аналіз причин низького ресурсу і вдосконалення технології зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин.

При обробці міжрядь і при передпосівній обробці ґрунту в основному використовуються культиватори, їх основний робочий орган – культиваторні лапи. Через невеликий ресурсу їх витрата в країні значна. Виготовляються вони зі сталей 65Г, 43Л і Л53, які в загартованому стані мають твердість HRC 37-43, задовільні показники відносного подовження –  $\delta = 6,5-7,2\%$ , але низька межа міцності  $\delta_B = 880-1080$  МПа.

Практика експлуатації показала, що ресурс їх на різних ґрунтах не перевищує 14-19 га [13], хоча за технічними вимогами він повинен бути не менше 25 га. Характерний профіль зносу робочих органів ґрунтообробних машин показаний на рис. 1.3 [23].

З абразивних частинок, присутніх в ґрунтах і діючих на робочі органи ґрунтообробних машин, переважає кварц (HV 10,5-12,5 ГПа) і польовий шпат (HV 6,5-7,2 ГПа) [24]. Ці два мінерали, будучи основою піщаних і супіщаних ґрунтів, пояснюють швидкий знос робочих органів.

Ряд авторів [1, 3-5, 18, 25] стверджують, що абразивний знос превалює над іншими видами зносу, в разі якщо твердість абразиву перевищує твердість матеріалу робочого органу ґрунтообробних машин.

У нашому випадку при використанні робочих органів культиватора стерньового важкого виробництва фірми Bellota твердість матеріалу в стані поставки становить 4,8-5,0 ГПа. Твердість частинок кварцового піску HV

10,5-12,5 ГПа. Співвідношення твердостей лежить в межах 2,1-2,5. При такому співвідношенні буде відбуватися інтенсивний знос матеріалу.

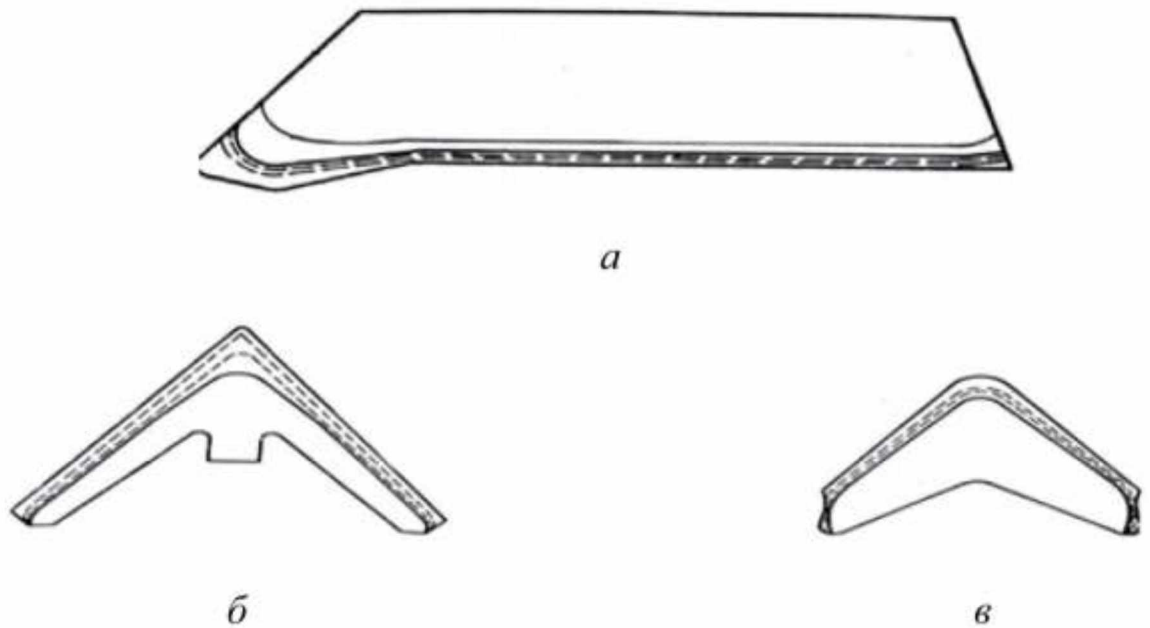


Рисунок 1.3 – Профіль зносу робочих органів ґрунтообробних машин: *a* – леміш плуга; *б* – лапа культиватора із захватом 270 мм; *в* – лапа культиватора із захватом 150 мм

Таким чином, при експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається в ряді випадків ударно-абразивний характер зносу, викликаний контактом з частинками ґрунту і камінням. Супутні фактори впливають на знос: механічний склад ґрунту; вологість; твердість; структура матеріалу; тиск і швидкість відносного переміщення ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

## 1.2. Матеріали і методи підвищення зносостійкості

У сільськогосподарському машинобудуванні підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин проводиться в основному в наступних напрямках:

- використання зносостійкого матеріалу і багатошарового прокату;

- розробка складових робочих органів;
- термічні і термохімічні обробки;
- наплавлення і напилення зносостійких матеріалів.

При виборі методу зміцнення в залежності від типу ґрунтів слід враховувати не тільки технологічні та економічні показники, а й необхідність реалізації ефекту самозагострювання робочих органів.

Сутність ефекту самозагострювання полягає у вибіркового зносі неоднорідного по перерізу леза, при якому зберігаються необхідна форма і ріжучі властивості робочого органу [26].

З метою підвищення терміну служби і забезпечення ефекту самозагострювання виробляються біметалічні леміші трапецієподібної форми з двошаровою катаною лезовою частиною зі сталі Х6Ф1 (нижній шар) і Л-53 (верхній шар) [11]. Вони мають підвищений термін служби, але їх відновлення пов'язано з технологічними труднощами – необхідно виготовлення спеціалізованої оснастки для обробки металів тиском.

Термічна обробка є однією з найпоширеніших технологічних операцій для зміцнення. Твердість металу досягає HRC 40-46 для сталі 45, HRC 55-61 – для сталі 65Г і легованих сталей. Зносостійкість таких робочих органів менша в порівнянні з деталями, виготовленими зі спеціальних матеріалів. При застосуванні таких робочих органів на суглинних ґрунтах не спостерігається самозагострювання [27].

Знос культиваторних лап з індукційним загартовуванням (ширина шару гартування – 8-10 мм, HRC 48-52) за сезон складе 30 мм, при цьому не забезпечується якість обробки [27].

Застосування для зміцнення робочих органів лазерної термообробки в 1,5 рази знижує знос в порівнянні з об'ємним гартуванням. Лазерне наплавлення сплавом ПС-14-60 + 6% В<sub>4</sub>С знижує знос в 1,7-1,8 рази в порівнянні з індукційним гартуванням [15].

Лазерні технології забезпечують локальний нагрів з відсутністю мінімальних деформацій і охолодження за механізмом теплопровідності в

глибину поверхні матеріалу, як правило, без використання охолоджувального середовища. Отримати поверхневий шар з високими зносостійкими властивостями, можна використовуючи високу швидкість нагріву і охолодження 104-106°C/с. Так, наприклад, розроблена технологія лазерного зміцнення і наплавлення дисків борін діаметром 510 мм зі сталі 65Г. Ширина зміцненої зони становить 15-16 мм, напавленої зони – 16-18 мм. Експериментальні диски борін в порівнянні з серійними деталями мали менший знос по масі на 31% [28].

Однак через складність технології та відсутність обладнання, його недосконалості і високу собівартість ці процеси поки не знайшли промислового застосування.

Наплавлення дозволяє підвищити зносостійкість деталей машин. Наплавлювальні матеріали – самозахисні порошкові дроти типу ПП-АН170 (ПП-АН170М), забезпечують утворення напавленого шару твердістю HRC 60-65. Регулювання геометрії напавленого шару (висота, глибина, крок напавлення), а також співвідношення твердості напавлених ділянок і основного металу в межах 1,5: 1,0; 1,0: 1,0 визначають оптимальну зносостійкість і самозагострювання [31]. Леза робочих органів із змінною геометрією напавлення в процесі обробки ґрунту через різницю в зносостійкості основного і напавленого шарів самозаточуються і утворюють хвилясто-ступінчасту форму леза, знижуючи при цьому тяговий опір орного агрегату [28].

Є дані експериментів по зміцненню лемішів плугів напавленням зношувальних частин електродом Т-590 і порошковим сплавом «Сормайт-1», що утворюють в структурі напавленого шару карбідні включення, що підвищують мікротвердість і його опір зносу [21].

Широке застосування напавлення для зміцнення робочих органів сільськогосподарських, дорожніх і будівельних машин стримується через значне пропавлення основного металу і значної деформації напавлюваних деталей [29].

За критерієм «ціна-якість» кращим для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин є використання композиційних матеріалів «міцна, пластична основа – зносостійке покриття». До робочих органів ґрунтообробних машин, що виготовляються на підприємствах сільськогосподарського машинобудування великими партіями, повинні застосовуватися зміцнюючі технології на стадії виготовлення. Зміцнюючі технології повинні відповідати виду виробництва: бути продуктивними, економічними і відповідати вимогам щодо забезпечення заданої товщини і зносостійкості покриттів.

Газотермічне напилення (ГТН) дозволяє забезпечити великий термін служби робочих органів, скоротити час проведення робіт по зміцненню і знизити їх вартість [18]. При ГТН розпилюваний матеріал у вигляді порошку або дроту подається в зону нагріву. Газ розпилює нагріті частинки і надає їм прискорення в осьовому напрямку. У зоні нагріву при подачі дроту розпилюючий газ диспергує розплавлений матеріал, в ряді методів ГТН він виконує і функцію нагріву. Частинки, що надходять на поверхню, мають велику швидкість зіткнення, утворюють, міцні міжатомні зв'язки та створює умови для адгезії розпиленого матеріалу за рахунок активації поверхневого контакту.

Всі методи ГТН класифікують за видом використаної енергії і джерела теплоти. По виду енергії діляться на газоелектричні, в яких використовуються електроенергія і газополуменеві методи, де теплова енергія утворюється за рахунок згоряння горючих газів. Для нагріву розпиленого матеріалу використовують такі види джерела теплоти: дугу, плазму і газове полум'я.

Методи напилення називають дугового металізацією, плазмовим напиленням, газополуменевим напиленням і детонаційно-газовим напиленням. До газоелектричних відносяться перші два методи, останні – до газополумневих [16]. Ефективність методів ГТН визначається коефіцієнтом використання енергії, що підводиться, коефіцієнтом використання

напилюваного металу, продуктивністю, якістю покриттів і вартістю їх нанесення. Дугова металізація (ДМ) переважає в порівнянні з іншими способами ГТН по тепловій ефективності, продуктивності та вартості покриттів.

Ефективний ККД нагрівання при дуговій металізації становить в середньому 60%, тобто частка енергії, що підводиться, йде безпосередньо на нагрівання і плавлення розпиленого матеріалу. Низькі теплові втрати обумовлені фізичними особливостями процесу. При дуговій металізації дроти розплавляються в дузі, що горить між ним, і розпилюються транспортуючим газом, а утворені частинки прискорюються і при попаданні на поверхню формують покриття. Пряма передача енергії від дуги до дроту обумовлює високу теплову ефективність дугової металізації. Частка введеної теплової енергії від дуги, що йде на розплавлення розпиленого матеріалу, становить 60-70%, що в 7-10 разів більше, ніж для інших способів ГТН, і обумовлює високу продуктивність дугової металізації – до 18 кг/год при розпилюванні сталі. Крім того, дроти в 2-3 рази дешевше порошків, застосовуваних для інших способів ГТН.

Поєднання високої продуктивності з використанням дротів призводить до зниження в 3-10 разів витрат на отримання ДМ-покриттів в порівнянні з іншими методами напилення (табл. 1.1) [23].

Таблиця 1.1 – Показники ефективності методів ГТН

Метод	Ефективний ККД нагрівання, %	Продуктивність, кг/год.	Відносна вартість
ГП	10	7	3
ГПС	60	25	5
ПН	12	5	5
ДМ	85	18	1

ГП – газополуменеве; ГПС – газополуменеве надзвукове; ПН – плазмове; ДМ – дугова металізація

Фізико-хімічні особливості процесу ДМ пов'язані зі складністю в отриманні якісних покриттів. Це пов'язано з вигоранням легуючих елементів

в нанесеному матеріалі і насичення розпиленого металу газами з атмосфери в зоні горіння дуги. Типове ДМ-обладнання характеризується широким кутом розпилу до  $70^\circ$ , невисоким 0,5-0,6, коефіцієнтом використання металу, зниженням концентрації легуючих елементів і надмірним вмістом оксидів в покритті [23].

Для усунення зазначених недоліків створено обладнання активованої дугового металізації (АДМ), яке відрізняється від типового тим, що використовуються продукти згоряння (пропано-повітряна суміш) в якості транспортувального газу. У АДМ-апаратах кут розпилення становить  $10^\circ$  градусів, коефіцієнт використання матеріалу досягає 85%, швидкість часток – 140-200 м/с, ступінь окислення сталевого покриття – 2,1-2,9%, пористість – 2%. В середньому рівень параметрів на 40% вище в порівнянні як з вітчизняними, так і з закордонними ДМ-установками [24].

Як матеріали для нанесення зносостійких покриттів при ПН і ГП використовуються дорогі порошки сплавів на основі нікелю [6]. Для ДМ отримали розповсюдження економно леговані порошкові дроти (ПД) на основі заліза типу Fe-Cr-B [29], що дозволяють, на відміну від суцільних дротів (СД), простіше отримати зносостійкі покриття необхідної системи легування, що необхідно для варіювання складу покриття при різних режимах зношування. Покриття із зазначених ПД [29] забезпечують підвищення зносостійкості сталей в 2-5 разів і переваги ДМ при напиленні на робочі органи сільськогосподарських машин.

Слід зазначити, що при підвищених контактних навантаженнях і наявності ударів найбільшу небезпеку становить знос за механізмом внутрішнього тертя [28]. Для покриттів він обумовлений, ймовірно, виникненням і розвитком мікротріщин по оксидним плівкам. Оксидні плівки і тим більше пори можуть сприяти відшаруванню металу за механізмом внутрішнього тертя, збільшуючи швидкість механічного зносу металевого покриття.

З урахуванням вищесказаного необхідно розглянути особливості формування металізаційних покриттів і методи вдосконалення технології їх нанесення, що дозволяють забезпечити зносостійкість покриттів при ударно-абразивному зношуванні, характерному для умов експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин.

Оксидні плівки, що формуються в процесі напилення, віграють двояку роль. З одного боку, це одна з найбільш твердих складових структури покриття, її мікротвердість – 5-6 ГПа. З іншого боку, оксиди є крихкою частиною структури, що відрізняється низьким зчепленням з іншими складовими. Тому для кожного виду покриття є область оптимального вмісту оксидів [23].

### **Висновки, мета і задачі дослідження**

Проведений аналіз сучасного стану досліджуваного питання показав наступне:

1. Встановлено, що при експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин спостерігається в ряді випадків ударно-абразивний характер зносу, викликаний контактом з частинками ґрунту і камінням. Фактори, що впливають на зносостійкість: механічний склад ґрунту, вологість, твердість, тиск і швидкість відносного переміщення ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

2. Показано, що з точки зору техніко-економічних параметрів для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин ефективно використання методів газотермічного напилення. Серед них по продуктивності і вартості нанесення покриттів найбільш перспективним є дугова металізація.

3. В якості матеріалів для нанесення зносостійких покриттів при дуговій металізації, набули поширення економічно леговані порошкові дроти на основі заліза типу Fe-Cr-B, що дозволяють на відміну від суцільних дротів, простіше отримати зносостійкі покриття необхідної системи

легування, що необхідно для варіювання складу покриття при різних режимах зношування.

У зв'язку з цим метою даної роботи є підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології дугової металізації зносостійких покриттів з економно легованих порошкових дротів.

При цьому необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити оптимальний склад порошкового дроту і режими дугової металізації зносостійких покриттів.

2. Дослідити залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів від складу порошкових дротів і режимів дугової металізації.

3. Розробити технологічний процес зміцнення полільних лап культиватора і визначити його економічну ефективність.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень включає в себе ряд завдань, вирішення яких необхідне для досягнення поставленої мети:

1. Вибір системи легування порошкового дроту і визначення режимів ДМ-покриттів на основі теоретичних досліджень.
2. Отримання зразків покриттів з ПП обраної системи легування на встановлених режимах ДМ.
3. Проведення експериментальних досліджень фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів.
4. Проведення експлуатаційних досліджень робочих органів зі зносостійкими покриттями в реальних умовах.

#### 2.2. Устаткування і матеріали для нанесення покриттів

Як устаткування для напилення застосовувалася установка активованої дугової металізації АДМ-10, призначена для нанесення зносостійких і антикорозійного покриття з дротяних матеріалів способом термічного напилення.

Установка призначена для експлуатації в умовах, на які розраховані виробни. Живлення установки здійснюється від трьохфазної мережі змінного струму напругою 380/220 В, частотою 50 Гц. Для роботи установки необхідно наявність мереж підведення стисненого повітря, пропану, а також зварювального джерела живлення з жорсткою характеристикою ВДУ-506.

В основі роботи установки лежить процес плавлення дротів електричною дугою і розпилення розплавленого металу високошвидкісним

струменем транспортуючого газу. Сутність цього процесу полягає в тому, що на два дроти, які виконують роль електродів, подається напруга. Дроти з постійною швидкістю надходять в розпилюючу головку металізатора, де в результаті зближення між ними виникає електрична дуга і відбувається плавлення. Транспортуючий газ (стиснене повітря і пропан) здуває частки розплавленого металу з торців дротів, підхоплює їх, розганяє до високої швидкості і забезпечує доставку до поверхні оброблюваної деталі.

Для роботи установки потрібне підведення стисненого повітря, пропану, напруги від зварювального джерела живлення. Металізатор складається з наступних основних частин (рис. 2.1): черв'ячного редуктора I, до корпусу якого кріпляться електродвигун 1 з циліндричним редуктором; кронштейн механізму притиску роликів 2; важелі 3; передні і задні направляючі 4; піддон картера 5, на якому через ізолятор розміщені струмоподавачі 6; ручка 7; розпилювальна головка 8; плита 9; подаючі ролики 10; кран 11; притискні ролики 12; пружини 13; гайки 14; важелі 15.

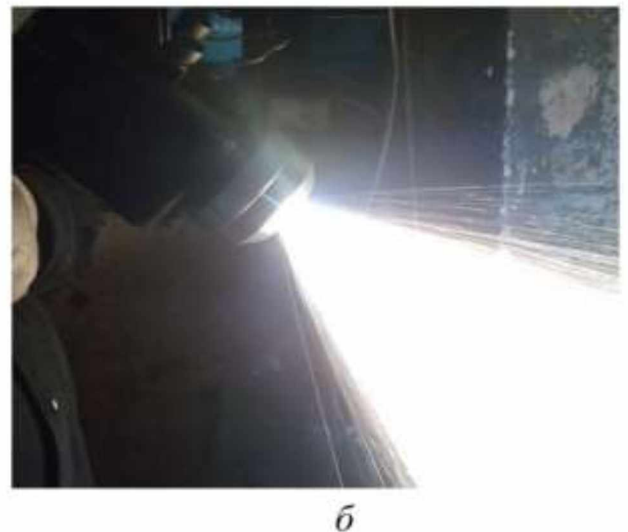
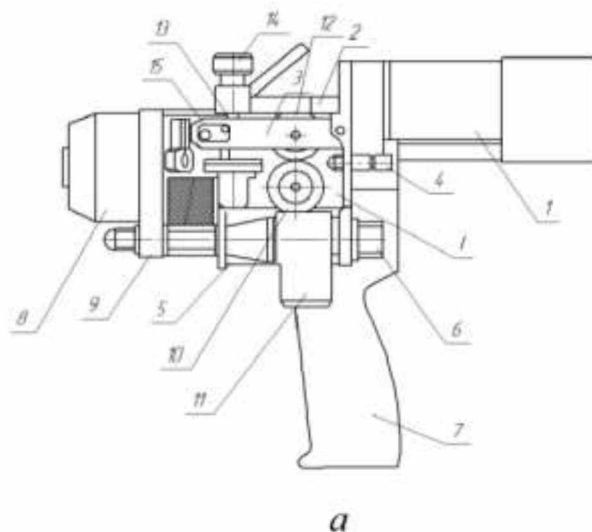


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд металізатора: *а* – пристрій металізатора; *б* – установка в роботі

Для зменшення ваги і габаритів апарату струмопідведення 6 виконані у вигляді трубок для подачі стисненого повітря для утворення транспортуючого потоку і одночасно охолодження деталей металізатора.

До піддону прикріплений кронштейн, на який надівається ручка 7 або за допомогою якого металізатор може кріпитися, наприклад, до супорта верстата.

Розпилювальна головка металізатора 8 розташована на проміжній розподільній плиті (панелі) 9, закріпленої на струмоподавачі 6 піддону картера. Черв'ячний редуктор I служить для передачі обертання від валу електродвигуна 1 до подає роликam 10 металізатора. На корпусі редуктора кріпиться більшість деталей металізатора. Розпилювальна головка 8 служить для формування струменя розплавленого металу. Складається з корпусу, соплової частини, що направляє і струмопідвідного вузла. Стиснене повітря подається в соплову частину, через проміжну розподільну плиту, по лівому і правому струморпідводному піддону.

Притиснення дротів до подаючих роликів здійснюється притискними роликами 12, розташованими в пазах притискних важелів. Осі обертання притискних роликів ізольовані від важеля текстолітовими втулками. Притиснення роликів забезпечується пружинами 13, а зусилля притиснення регулюється гайками 14, розташованими на кронштейні механізму притиску.

Для зменшення ковзання дроту притискні ролики мають зубчастий вінець і за допомогою додаткових шестерень отримують примусове, синхронне з подавальними роликами обертання. Віджимання важелів здійснюється поворотом важелів 15 з ексцентриками.

Для роботи з установкою необхідно мати наступне допоміжне обладнання: касети з електродним дротом, пристрій для установки касет, що виключає можливість зіткнення дротів при розмотуванні, щоб уникнути короткого замикання, мережа стисненого повітря, мережа (балон) пропану.

Перед початком роботи необхідно перевірити затягування всіх різьбових з'єднань. На ділянці нанесення покриттів слід встановити

металізатор в робоче положення і закріпити, під'єднати газовий блок до мережі стисненого повітря, до металізатора і пульту управління. Після цього потрібно встановити в зручному для роботи місці джерело струму «ВДУ-506» на відстані 3-4 м від металізатора і підготувати його до роботи. Потім необхідно з'єднати металізатор, газовий блок, пульт управління і джерело струму між собою і підключити до контуру захисного заземлення. Також необхідно перевірити надійність з'єднання трубопроводів і відсутність пошкоджень рукавів, кабелів і провідників. Наявність витоків газів неприпустиме.

Як матеріали для нанесення досліджуваних покриттів були використані: суцільний дріт (СД) марки 20Х13 системи легування Fe-C-Cr і порошкові дроти (ПД) базової системи легування Fe-Cr-B різних марок: 60Х13Р5СИ системи легування Fe-Cr-B-C-Y; 20Х11Р5С5И системи легування Fe-Cr-B-Si-Y; 20Х11Р5Ю3СИ системи легування Fe-CrB-Al-Y діаметром 2,0 мм (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Розрахунковий хімічний склад використовуваних дротів

Марка дроту	Масова частка елементів, %						
	<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>B</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>Y</i>	<i>Fe</i>
СД 20Х13	0,16-0,25	12-14	–	–	До 0,6	–	Основа
ПД 60Х13Р5СИ	0,6	13,0	5,0	0,2	1,0	1,0	Основа
ПД 20Х11Р5С5И	0,2	11,0	5,0	0,2	4,5	1,0	Основа
ПД 20Х11Р5Ю3СИ	0,2	11,0	5,0	3,0	1,0	1,0	Основа

Напилення покриттів товщиною 2 мм проводилося на поверхню пластин, виготовлених зі сталі 20 по ГОСТ 1050-88. Підготовку поверхні зразків під напилення покриттів здійснювали відповідно до ГОСТ 9.304.

Поверхня пластин перед напиленням була піддана знежиренню ацетоном, продуванню стисненим повітрям і струменево-абразивній обробці (САО). Роботи з підготовки поверхні під напилення покриття проводили при температурі повітря не нижче плюс 5°C з метою виключення конденсації вологи на зразках. САО проводили пістолетом інжекційного типу з діаметром сопла 8 мм при робочому тиску стисненого повітря (5-й клас по

ГОСТ 17433-80) 0,5-0,6 МПа і його витраті 174-216 м<sup>3</sup>/год. Як абразив застосовували чавунну колоту дріб марки ДЧК 2,0 по ГОСТ 11964-81 при її витраті 0,05-1,2 кг/с. Кут нахилу струменя абразиву до поверхні зразка – 90±10°. Відстань від сопла до поверхні деталі варіюється в межах 100-150 мм. Шорсткість поверхні після САО допускали не нижче  $R_a$  12,5, контролювали за допомогою набору зразків шорсткості поверхні порівняння (ОШС) по сталі – дробеструминна обробка (ДС) з ГОСТ 9378, ступінь очищення 1 по ГОСТ 9.402.

Покриття наносили не пізніше 2 годин після САО за допомогою установки активованої дугового металізації АДМ-10.

Підготовка мікро- і макрошліфів зразків для досліджень структури, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей зразків покриттів здійснювалася з використанням азотної кислоти (HNO<sub>3</sub>), етилового технічного спирту (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), дистильованої води (H<sub>2</sub>O), пасти ГОІ № 2 і алмазної пасти НОМ 60/40 (ГОСТ 25593).

### **2.3. Методика експериментальних досліджень**

Призначення мікроструктурного аналізу композиції «покриття – основний метал» полягає у встановленні зв'язку між умовами напилення, хімічним складом вихідних матеріалів, особливостями мікроструктури і експлуатаційними характеристиками. Мікроаналіз дозволяє визначити особливості мікроструктури покриття, основного металу і перехідної зони, а також провести якісний і кількісний аналізи їх фазового складу.

Для дослідження структури, фазового складу і виконання мікрохімічного аналізу використовували зразки покриттів, напилені на пластини 20×20×1,5 мм зі сталі 20. Із зазначених зразків готували поперечні металографічні шліфи з використанням пасти ГОІ № 2 і алмазної пасти НОМ 60/40 на полірувальному верстаті Laborol. Для травлення шліфів використовували тривідсотковий розчин азотної кислоти в спирті.

Для досліджень адгезійної міцності покриттів з основою були виготовлені зразки з встановленими правилами, виконання яких є обов'язковим при підготовці зразків:

1. Штифт виготовляється з того ж матеріалу і з такою ж структурою, що і деталь з точністю виготовлення не нижче 12-го квалітету СТ РЕВ 144-75.

2. Допуск діаметра конуса в будь-якому перетині для шайби  $H7$ , для штифту  $h7$ .

3. Шайба, на яку наноситься покриття, виготовляється зі сталі будь-якої марки. Торцева поверхня штифта і поверхні шайби шліфується після складання і фіксації штифта до шорсткості  $R_a$  1,25 мкм по ГОСТу 2789-73. Необхідно врахувати, що при шліфуванні діаметр торця штифта і внутрішній діаметр збільшується, тому при їх виготовленні потрібно дати припуск на шліфування. Після шліфування штифт виймається, зачищаються задирки, потім зразок збирається знову.

4. При виготовленні зразок не повинен нагріватися і викликати структурні зміни в матеріалі. Припуски на обробку, параметри режиму і послідовність обробки повинні зводити до мінімуму наклеп і виключати місцевий перегрів зразків, особливо робочої поверхні штифта.

5. При підготовці поверхні зразка перед нанесенням покриття застосовують дробеструминну обробку, після чого перевіряють можливість вільного випадання штифта з шайби при вигвинчуванні стопора. Штифт промивається в спирті або бензині. Потім з похибкою 0,01 мм вимірюється діаметр торця штифта. Після цього зразок збирається знову, і штифт фіксується стопором.

Адгезійну міцність покриттів визначали за допомогою розривної машини, результати усереднювати по трьох зразках. При цьому навантаження в випробуваннях становила 10-100 кН, швидкість робочого ходу траверси машини при розтягуванні зразка – 0,001-100 мм/хв (до 100 кН) при межі допустимої відносної похибки вимірювань навантаження в 0,5% і

межі допустимої відносної похибки регулювання швидкості траверси в 0,2% і точності її позиціонування в 0,03 мкм.

Мікротвердість з поверхні металізаційних покриттів і по їх перерізу вимірювали на мікротвердомірі при навантаженні 300 г, індентором служила алмазна піраміда з кутом між протилежними гранями  $136^\circ$ .

Зносостійкість визначали при терті об закріплені частки абразиву за методикою [25]. Випробовували зразки з розмірами  $10 \times 10$  мм шляхом здійснення зворотно-поступальних рухів по шліфувальному папері 14A32МН481 по ГОСТ 6456 на основі електрокорунду (рис. 2.2). Шлях тертя зразка за одне випробування при швидкості руху 0,158 м/с встановлювався рівним 60 м. Нормальна питома навантаження на зразок 10 кг, питома навантаження 1 МПа, величина поперечного зміщення шліфувального паперу на один подвійний хід зразка – 0,0012 м. Показник зносостійкості покриттів, рівний відношенню змін маси еталона і зразка, визначався за результатами трьох випробувань.

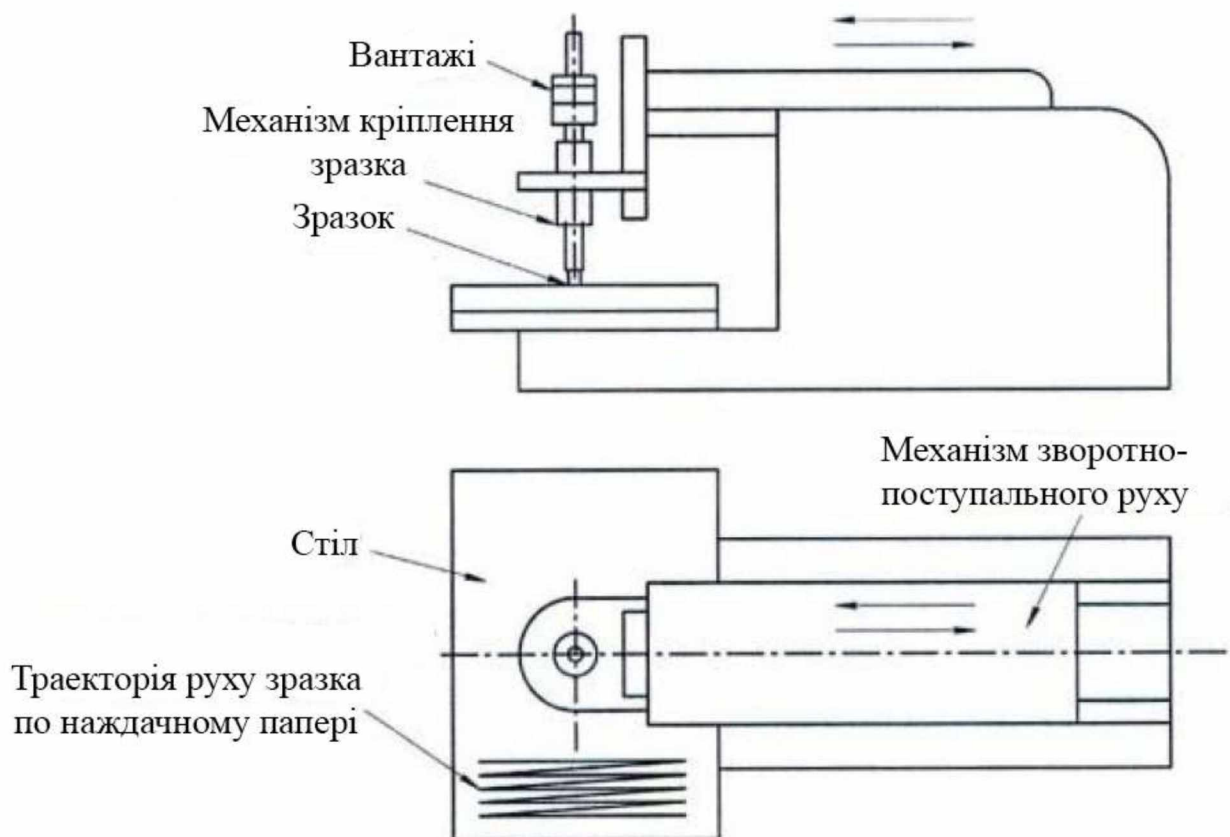


Рисунок 2.2 – Схема зношування по закріпленому абразиву

В якості критерію зносостійкості використовували показник відносної зносостійкості:

$$E = \Delta m_e / \Delta m_{зр} . \quad (2.1)$$

де  $\Delta m_e$ ,  $\Delta m_{зр}$  – зміна маси еталону та зразка в процесі випробувань.

#### 2.4. Методика експлуатаційних досліджень

Експериментальні полільні лапи були поставлені на культиватор КСТ-3,8, який агрегувався трактором ХТЗ-150К класу 3.

Для роботи з тракторами, які не мають систем автоматичного регулювання глибини обробітку ґрунту, культиватор забезпечений опорними колесами 6, регульованих по висоті, які спільно з прикочуючими опорними котками, служать обмежувачами глибини ходу робочих органів.

Культиватор працює наступним чином: плоскоріжучі лапи крилоподібної форми розпушують оброблюваний шар ґрунту на встановленій глибині від 8 до 16 см; регульовані по глибині сферичні диски подрібнюють і перемішують рослинні залишки, добрива з верхнім шаром ґрунту, розрівнюють гребні утворені полільними лапами; прикочуючі опорні котки підтримують необхідну глибину обробки, вирівнюють поверхню поля, накочують ґрунт, створюючи ущільнене ложе.

До робочих органів КСТ-3,8 відносяться плоскоріжучі лапи з лемішами крилоподібної форми, оснащені механізмами захисту від поломок; сферичні диски; прикочуючі опорні катки.

Лапи з лемішами крилоподібної форми (рис. 2.3) складається з: стійки 1, лемішу крилоподібні форми 3, долота 2. Долото 2 і леміш 3 кріпляться до стійки 1 лапи за допомогою двох лемішних гвинтів 4 (болтів) М12х70 з гайками 5 (М12 обтискна DIN 980).

Підготовка агрегату до роботи включала підготовку трактора, приєднання культиватора до трактора, попереднє регулювання культиватора і регулювання агрегату в полі.

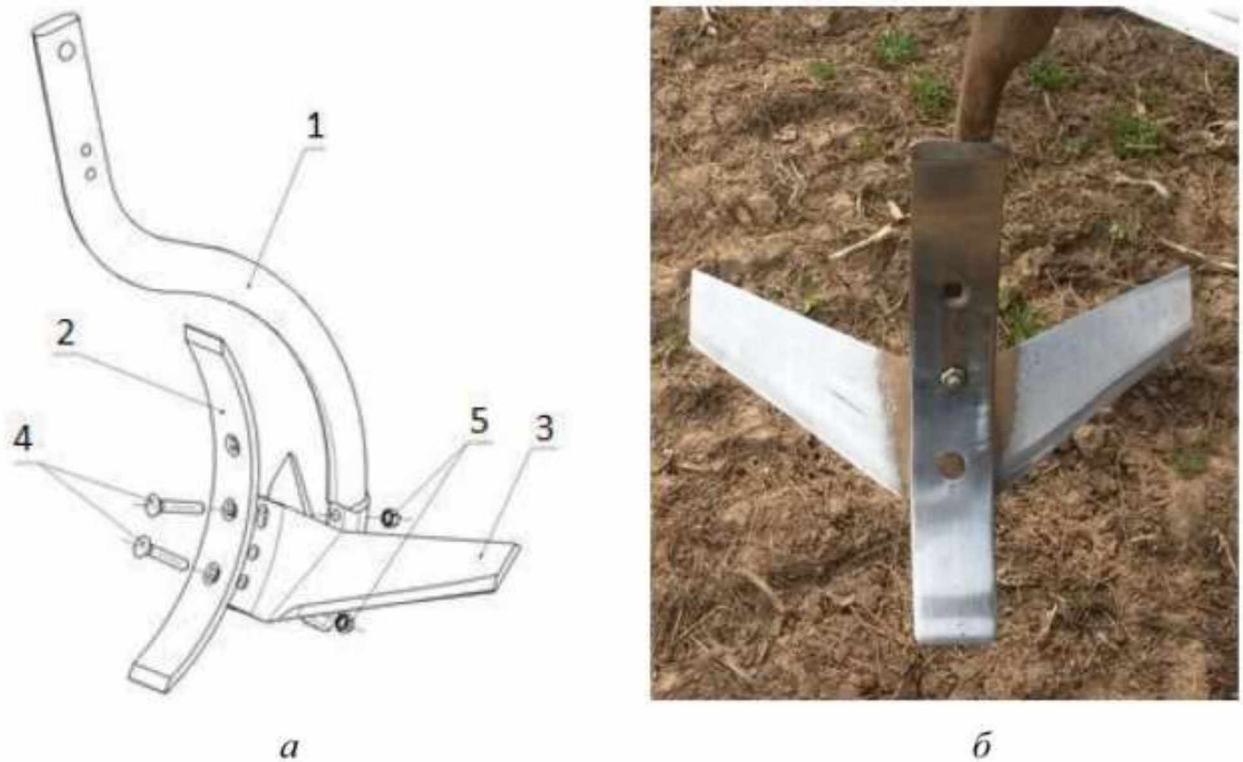


Рисунок 2.3 – Робочий орган культиватора (КСТ - 3,8): *а* – схема; *б* – зовнішній вигляд; 1 – стійка; 2 – долото; 3 – леміш крилоподібний; 4 – гвинт М12х70; 5 – гайка М12 обтискна DIN 980

Рама культиватора при роботі займала горизонтальне положення, настройка по висоті опорних коліс і опорних прикочуючих котків забезпечувала необхідну задану глибину обробки, сферичні диски розрівнювали гребні, утворені полільними лапами, подрібнювали та перемішували рослинні залишки, добрива з верхнім шаром ґрунту, прикочуючі котки – вирівнювали поверхню поля, прикочуючи ґрунт, створюючи підповерхнєве ущільнене посівне ложе.

Параметри проведення експлуатаційних досліджень наступні: обробка середньосуглинистих ґрунтів при глибині 8-12 см. Вологість ґрунту за період досліджень варіювалася (15-28%). Її визначали гігрометром (вологомір) ЕПА-103. Швидкість руху агрегату склала в середньому 7-9 км/год.

Параметром, що визначає поточний стан робочого органу, була втрата маси. Контроль зносу перевіряли з кроком 2 га до напрацювання 10 га, потім через 5 га до напрацювання 40 га, при цьому робочі органи знімали з машини

і очищали від залишків ґрунту. Зносостійкість лап культиватора з нанесеними покриттями визначали відносним методом, прийнявши за 1,0 зносостійкість серійних. Органолептичним методом оцінювали стан покриттів: відколи, тріщини, відшарування, рівномірність зносу.

### **Висновки**

1. Приведена програма експериментальних досліджень по вибору системи легування порошкового дроту і визначення режимів ДМ-покриттів на основі теоретичних досліджень.

2. Запропоновані обладнання та матеріали для отримання зразків покриттів з порошкового дроту обраної системи легування на встановлених режимах дугової металізації.

3. Приведено методики експериментальних досліджень фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів та експлуатаційних досліджень робочих органів зі зносостійкими покриттями в реальних умовах.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Формування властивостей покриттів при дуговій металізації

Металізаційні покриття складаються з шаруватих елементів, сформованих при високошвидкісному ударі об холодну поверхню і подальшому твердінні частинок, рис. 3.1. Розплавлені або розігріті до пластичного стану частинки розплескуються по поверхні, зачеплюючись попередньо по її нерівностях і потім контактуючи між собою. На дистанції напилювання відбувається окислення частинок, і утворена оксидна плівка потрапляє в покриття. Вона впливає на властивості покриття: може перешкоджати дифузії частинок, впливати на міцність зчеплення, твердість покриття. Внаслідок малого розміру або низької швидкості окремі частинки встигають охолонути до моменту удару об підкладку нижче точки плавлення, а їх кінетичної енергії недостатньо для деформування. Це призводить до того, що вони залишаються в покритті в глобулярній формі.

При напиленні декількох шарів на поверхні останнього відбувається нанесення фракцій у вигляді пилу розплавленого матеріалу або його оксидів і адсорбція газів. Крім того, через високу швидкість при напиленні відбувається розтікання і кристалізація частинок при контакті з раніше нанесеною поверхнею, що веде до дефектів і порожнин, появи мікропорожнин, наповнених газом. Частина перегрітих вище точки плавлення частинок може випаровуватися і осідати в паровій фазі [23].

При нанесенні відбувається формування покриттів, що складаються з нерозплавлених частинок, оксидів, пор, тонких пластин з'єднаних між собою або звареними ділянками, або шляхом «схоплювання» утворених під час кристалізації і затвердіння.

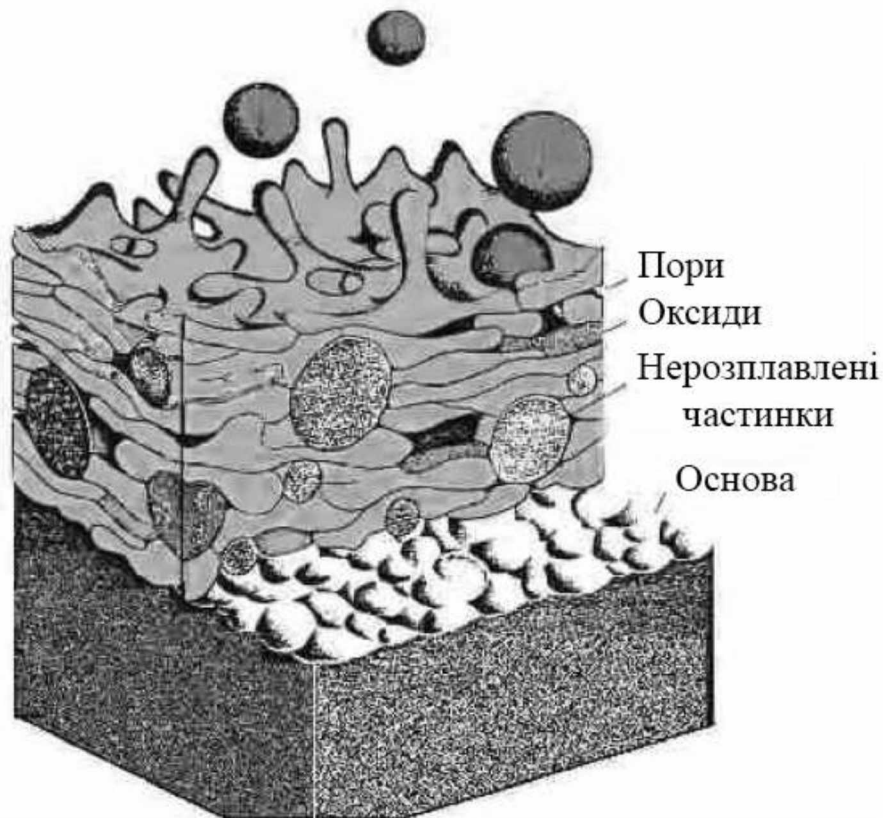


Рисунок 3.1 – Схема формування покриття

Міцність і щільність покриття нижчі, ніж у основного матеріалу, тому що зварні ділянки не заповнюють всю площу контакту між нанесеними частинками. В отриманих покриттях чітко виділяються межі між шарами і частинками, які визначають міцність зчеплення між покриттям і підкладкою – адгезію покриття, і міцність зчеплення в самому шарі – когезію. Пошарові межі виникають через інтервал нанесення частинок, що призводить до забруднення поверхні шару і погіршення контактних процесів на межі. Характер утворення границь між шарами і частинками різний і визначається тривалістю перебування частинок в атмосфері [23].

Адгезійна міцність покриття може бути обумовлена наступними механізмами:

– механічне зчеплення нанесених частинок з поверхнею підкладки або з попередньо осадженими частинками;

– енергією активації, коли тепла від нанесеної частинки буде достатньо для утворення необхідної кількості тепла на поверхні матеріалу або попередньо нанесеної частинки для дифузії взаємні переплавці. Це зумовить наявність хімічних реакцій в зоні частинки і підкладки, тобто металургійний зв'язок;

– наявність ван-дер-ваальсових сил, коли утворюється фізична взаємодія між частинками і основою в результаті зближення атомів на відстань порядку розмірів атомів.

Узагальнюючи різні оцінки вкладу кожного виду зв'язку, можна зробити висновок, що зазвичай частка металургійного зв'язку мала, в іншому випадку опір розриву покриття наближається до такого у вихідного матеріалу [23].

Таким чином процеси, що відбуваються в двофазному потоці впливають на властивості покриттів і особливостями, що визначають напилений матеріал будуть:

- зміна складу частинок напилюваного матеріалу при взаємодії з навколишнім середовищем;
- висока швидкість кристалізації і деформація при ударі частинок;
- характер контактів між частинками в покритті.

### **3.2. Залежність властивостей покриттів від системи легування матеріалу**

Моделювання процесу надходження кисню в розпилювані частинки дає можливість вибрати систему легування розпиленого матеріалу, реалізація якої дозволяє отримати необхідну кількість оксидів в металізаційному покритті і необхідні показники його властивостей. Разом з тим оптимізацію технологічних параметрів дугової металізації доцільно проводити по незалежному критерію, який визначає працездатність покриттів при експлуатації. В умовах ударно-абразивного зношування таким критерієм є

адгезійна міцність покриттів, що показує їх здатність чинити опір відшарування від основи.

Для аналізу залежності властивостей покриттів від складу розпиленого матеріалу прийнята модель окислення частинок при дуговій металізації, представлена в роботах В.М. Бороненкова і Ю.С. Коробова [29].

Автори описали процес ДМ, що складається з трьох зон, які відрізняються особливістю взаємодії розпиленого металу з киснем в кожній зоні.

Перша стадія описує поведінку металу на торці електрода. Метал підводиться до зони взаємодії і відводиться від неї в краплю. У газовій фазі концентрація кисню постійна. Температура металу на торці прийнята 2500 К, коефіцієнт масопереносу кисню в металі  $\beta_{Me} = 0,25$  см/с, коефіцієнт масопереносу кисню в газі  $\beta = 1,81 \cdot 10^2$  см/с [29].

Друга стадія характеризує метал в зоні горіння дуги. У зоні горіння дуги, за рахунок дії газодинамічного напору і сил поверхневого натягу, струмінь рідкого металу знаходиться в вигляді «язика» товщиною  $\sim 10 \cdot 10^{-6}$  м. У перетяжках, що утворюються під дією перепаду тиску газу, йде інтенсивне виділення джоулевого тепла через підвищений омний опір, внаслідок чого відбувається розрив струменя рідкого металу за рахунок спільних процесів закипання рідкого металу і ударного розширення газу у перетяжках. Прийнято, що це призводить до підвищення температури в перетяжках до 2900 К. Величина коефіцієнта масопереносу кисню в металі прийнята  $\beta_{Me} = 0,25$  см/с (як для першої стадії), коефіцієнт масопереносу кисню в газі  $\beta_{\Gamma} = 7,92 \cdot 10^2$  см/с. Для розрахунків використовувалося спрощення, згідно з яким в зоні горіння дуги знаходяться краплі металу сферичної форми з умовним діаметром, рівним товщині «язику»  $d_p = 10 \cdot 10^{-6}$  м. Після закінчення зони горіння дуги фракційний склад відповідає даним гранулометричного аналізу [29].

Третя стадія описує політ крапель по дистанції напилювання. Приблизно після 10% дистанції напилювання температура крапель

знижується до 1809 К і залишається незмінною до кінця дистанції за рахунок значної ентальпії плавлення. Швидкості частинок змінюються в інтервалі 120-250 м/с, за рахунок чого різниться час взаємодії крапель з киснем і коефіцієнт масопереносу кисню в металі. Температура газу знижується до 600-800 К.

Для відкритої системи, при наявності надходження і відведення реагентів, описати процес надходження кисню в краплю можна відповідно до рівняння:

$$\frac{dm_O}{d\tau} = \frac{g_{nl} \cdot [O]_0}{100} - \frac{g_{omv} \cdot [O]}{100} + \frac{\beta_{Me} \cdot \rho \cdot f}{100} \cdot ([O]' - [O]), \quad (3.1)$$

де  $m_O = \rho \cdot V \cdot [O]$  – кількість кисню в розплавленому металі, кг;

$\rho, V$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>, об'єм, м<sup>3</sup>, розплавленого металу;

$g_{nl}, g_{omv}$  – швидкості плавлення і відведення металу, кг/с;

$\beta_{Me}$  – коефіцієнт масопереносу в металі, м/с;

$f$  – площа реакційної поверхні, м<sup>2</sup>;

$[O]_0, [O], [O]'$  – вихідна, поточна, на поверхні розділу фаз концентрація кисню, мас. % [21].

На першій стадії на торці електрода встановлюється квазістаціонарний стан, коли швидкості підведення і відведення реагентів однакові і обсяг рідкого прошарку на торці електрода постійний:

На другій і третій стадіях в зоні горіння дуги і в польоті крапля являє собою закриту систему, в якій надходження та відведення металу не відбувається:

$$\frac{g_{nl} \cdot [O]_0}{100} - \frac{g_{omv} \cdot [O]}{100} = 0.$$

Додаткове рівняння для знаходження концентрації кисню на поверхні краплі  $[O]'$  виходить з умови рівності дифузійних потоків на межі розділу фаз:  $I_z = I_{Me}$ .

Дані дифузійні потоки знаходяться через парціальні тиски і концентрації кисню в газі і рідкому металі:

$$I_z = \beta_z \cdot (C_{O_2}^0 - C'_{O_2}) = \frac{\beta_z}{2 \cdot R \cdot T} \cdot (P_{O_2} - P'_{O_2}); \quad (3.2)$$

$$I_{Me} = \beta_{Me} \cdot (C_{[O]}^0 - C'_{[O]}) = \frac{\beta_{Me} \cdot \rho}{M_O} \cdot ([O]' - [O]). \quad (3.3)$$

Фізична модель надходження кисню в краплю при ДМ показана на рис. 3.2. При поверхневій концентрації кисню  $[O]'$ , меншій межі насичення  $[O]_{Fe}^{nac}$ , відбувається розчинення кисню в рідкому металі [21]:

$$\lg [O]_{Fe}^{nac} = -6320/T + 2,734. \quad (3.4)$$

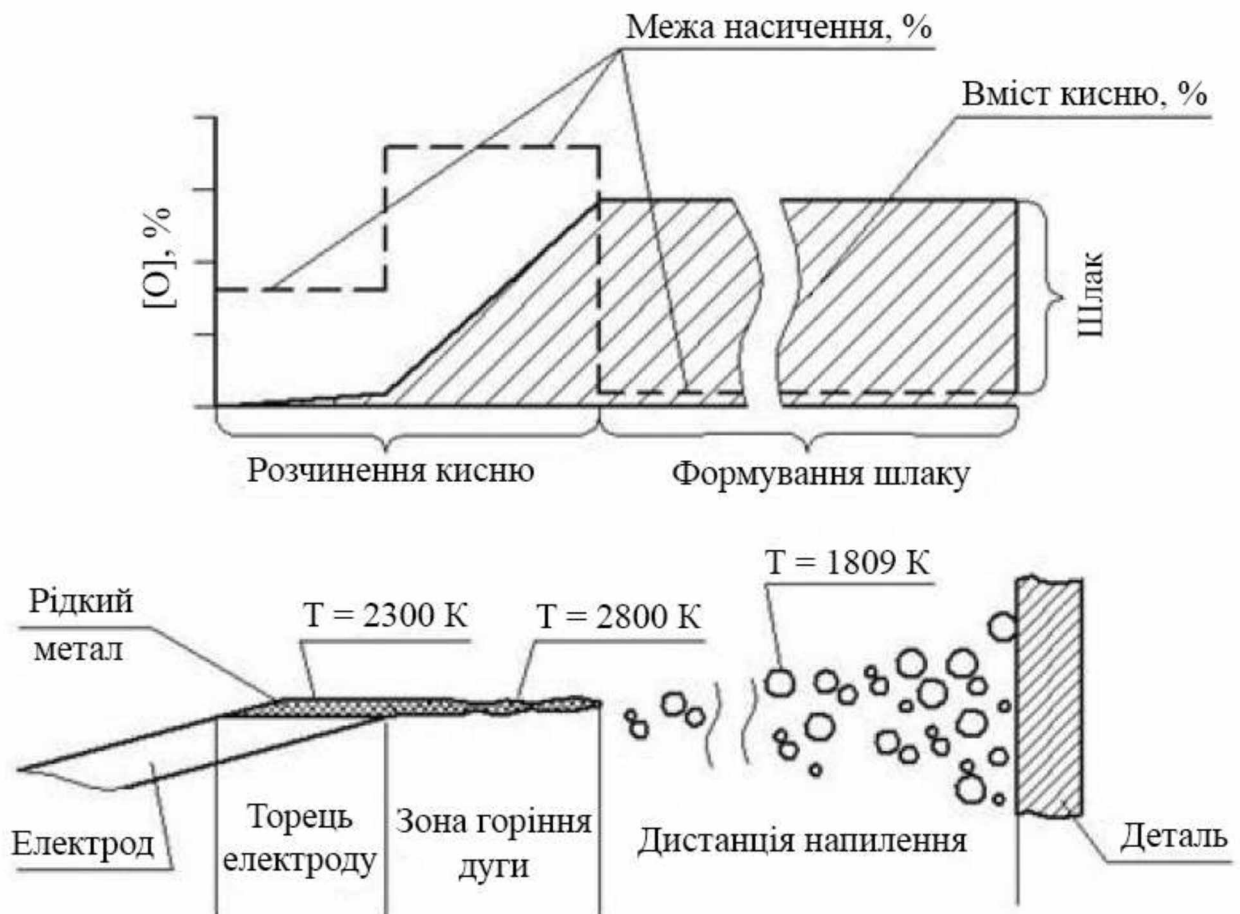


Рисунок 3.2 – Фізична модель надходження кисню при дуговій металізації

Внаслідок високих температур на торці електроду і в зоні горіння дуги, межа розчинності кисню в металі значно вище, ніж при польоті крапель

по дистанції, при цьому питома поверхня крапель в зоні горіння дуги значно більша в порівнянні з площею торця електрода. Таким чином, в зоні горіння дуги створюються найбільш сприятливі умови для надходження кисню в метал. На першій і другій стадіях кисень, що надходить розчиняється в рідкому металі. На третій стадії температура крапель знижується до температури плавлення, що призводить до зниження межі розчинності і до виділення кисню з розчину.

Виділений кисень зв'язується в оксиди, що утворюють шлакову плівку на поверхні краплі. За рахунок впливу потоку транспортуючого газу шлак відтісняється з кормової частини краплі в носову, залишаючи її відкритою для вступу кисню, рис. 3.3. У носовій частині відбувається перерозподіл елементів між шлаком і металом. У розрахунках прийнята частка поверхні, вільної від шлаку,  $L = 0,5$ .



Рисунок 3.3 – Схема надходження кисню в краплю при дуговій металізації

При  $[O]' > [O]_{Fe}^{нас}$  весь кисень, що поступає з атмосфери йде на утворення шлаку. Вміст кисню в металі визначимо при  $[O]' = [O]_{Fe}^{нас}$ . Дифузійний потік з газу в метал  $I_2$  дорівнює:

$$I_2 = \beta_2 \cdot \left( P_{O_2} - \left( [O]_{Fe}^{нас} / k \right)^2 \right) / (2 \cdot R \cdot T). \quad (3.5)$$

Додатково кисень виділяється з перенасиченого розчину при зниженні температури крапель поза зоною горіння дуги. Додатковий дифузний потік  $I_{\text{доо}}$  дорівнює:

$$I_{\text{доо}} = \beta_{Me} \cdot \rho \cdot ([O]_{\text{нас}} - [O]) / (100 \cdot M_O). \quad (3.6)$$

Кількість шлаку, що утворюється в носовій частині на кроці  $\Delta\tau$ :

$$\Delta m_{\text{ш}} = (I_e + I_{\text{доо}}) \cdot F \cdot \Delta\tau \cdot L \cdot M_{FeO} \cdot (FeO) / 100. \quad (3.7)$$

У порівнянні з попереднім кроком маса рідкого металу зменшиться за рахунок переходу заліза в шлак:

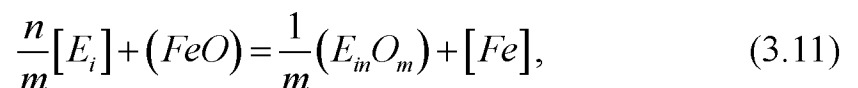
$$m_{Me}^{n+1} = m_{Me}^n - \Delta m_{\text{ш}} \cdot M_E / M_i. \quad (3.8)$$

Кількість шлаку додається до вже утвореного шлаку. Вміст компонентів шлаку на кроці після процесів в кормовій частині:

$$(FeO)^{n+1} = \left( (FeO)^n \cdot m_{\text{ш}} / 100 + \Delta m_{\text{ш}} \right) / (m_{\text{ш}} + \Delta m_{\text{ш}}). \quad (3.9)$$

$$(E_k O_m) = (E_k O_m) \cdot m_{\text{ш}} / ((m_{\text{ш}} + \Delta m_{\text{ш}}) \cdot 100). \quad (3.10)$$

Крім утворення шлаку буде йти його взаємодія з металом, при цьому в першому наближенні можна знехтувати впливом реакцій між шлаком і газовою фазою. Основи аналітичного опису кінетики процесу викладені в роботі [21]. Взаємодія металу і шлаку на межі розділу описується комплексом реакцій окислення домішок із загальним реагентом  $FeO$ :



де  $[E_i]$  – реагенти.

З умови, що перебіг кожної реакції супроводжується споживанням певної кількості  $FeO$ , сумарний дифузійний потік компонентів дорівнює дифузійному потоку  $FeO$ :

$$I_{FeO} = I_1 + I_2 + \dots + I_i + \sum I_i = \sum \frac{n}{m} I_{E_i}. \quad (3.12)$$

Виразимо  $I_{FeO}$  і  $I_{E_i}$  через змінну  $x$ , використовуючи рівняння:

$$x = \frac{(FeO)'}{[Fe]'} = \frac{1}{K_i} \frac{(E_{in}O_m)^{1/m} \cdot (1 + I_{E_{in}O_m} / I_{E_{in}O_m}^{\Pi})^{1/m}}{[E_i]^{n/m} \cdot (1 - I_{E_i} / I_{E_i}^{\Pi})^{n/m}};$$

$$I_{FeO} = \left( \frac{(FeO)'}{[Fe]'} - x \right) \Bigg/ \left( \frac{x}{I_{Fe}^n} + \frac{(FeO)'}{[Fe]'} \cdot I_{FeO}^{\Pi} \right); \quad (3.13)$$

при  $n = 1$ ,

$$I_{E_i} = \left( x^m - \frac{1}{K_i^m} \frac{(E_iO_m)}{[E_i]} \right) \Bigg/ \left( \frac{x^m}{I_{E_i}^{\Pi}} + \frac{(E_iO_m)}{K_i^m [E_i]} \cdot I_{E_iO_m}^{\Pi} \right); \quad (3.14)$$

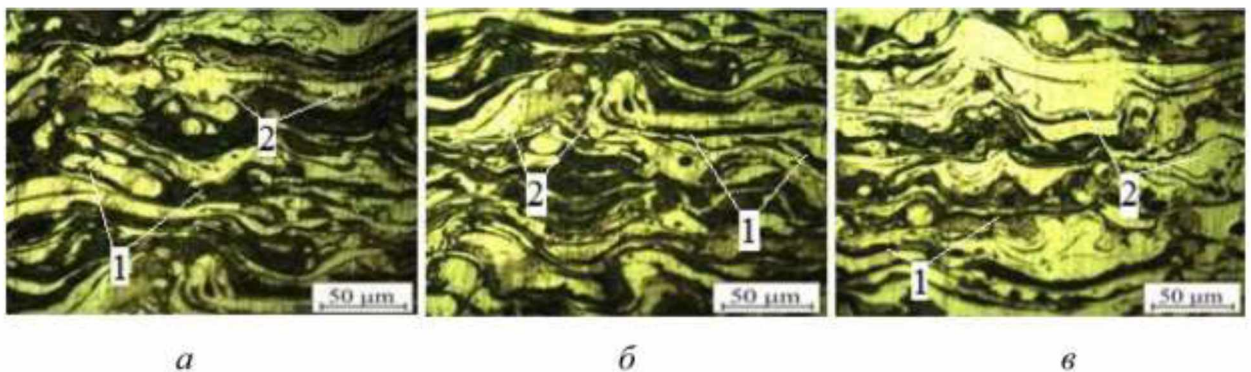
при  $n = 2$ ,

$$I_{E_i} = I_{E_i}^{\Pi} \left[ 1 + b_i \frac{I_{E_i}^{\Pi}}{4 \cdot I_{E_i2O_m}^{\Pi}} - \sqrt{\left( 1 + b_i \frac{I_{E_i}^{\Pi}}{4 \cdot I_{E_i2O_m}^{\Pi}} \right)^2 - 1 + b_i} \right]. \quad (3.15)$$

У випадку використання порошкових дротів для дугової металізації дану модель необхідно доповнити з урахуванням зміни системи легування дротів і процесів тепломасопереносу на їх торці.

### 3.3. Результати експериментальних досліджень

Отримані металізаційні покриття (рис. 3.4) мають характерну для методів газотермічного напилення ламелярно-пористу структуру, де світлі ділянки – металева основа, яка формується з крапель розплавленого металу, а темні – прошарки оксидів, що утворюються при окисленні крапель на дистанції напилювання. Покриття відрізняються значною мікрогетерогенністю і нерівномірним сплавленням окремих напилених частинок один з одним. Ймовірно, мікрогетерогенність структури покриттів обумовлена наявністю в порошкових дротах тугоплавких борвмісних компонентів.



1 – оксидні плівки; 2 – метал; *а* – ПД 60X13P5СИ; *б* – ПД 20X11P5C5И; *в* – ПД 20X11P5Ю3СИ

Рисунок 3.4 – Структура на поперечних шліфах покриттів:

Покриття з ПД 20X11P5Ю3СИ (рис. 3.4, *в*) мають меншу мікрогетерогенність, їх структура тонша, оксидних плівок менше, і вони дрібніші, що ймовірно пов'язано з меншим ступенем окислення покриттів.

У табл. 3.1 наведені результати вимірювань мікротвердості трьох покриттів, виконаних по перетину шліфів. З наведених даних випливає, що найбільшим рівнем середньої твердості характеризується покриття зі ПД 20X11P5Ю3СИ, а найменшим – покриття з ПД 60X13P5СИ.

Таблиця 3.1 – Мікротвердість покриттів

Матеріал покриття	Мікротвердість HV 0,3		
	середня	максимальна	мінімальна
ПД 60X13P5СИ	925±137	1117	636
ПД 20X11P5СИ	904±144	1229	603
ПД 20X11P5ЮЗСИ	1111±64	1255	945

Найбільшою однорідністю розподілу мікротвердості по товщині відрізняється покриття з ПД 20X11P5ЮЗСИ, що пояснюється рівномірним розподілом зміцнюючих фаз в твердому розчині і меншим ступенем окислення, що призводить до зниження товщини оксидного шару. Боридні складові в покритті обумовлюють високі показники твердості, що є одним з головних факторів, що впливають на зносостійкість. Це підтверджено результатами лабораторних досліджень.

В результаті визначення зносостійкості по закріпленому абразиву встановлено, що найбільшу втрату маси мають покриття з ПД 60X13P5СИ, а найменшу – покриття з ПД 20X11P5ЮЗСИ, при цьому зносостійкість покриттів з ПД 20X11P5ЮЗСИ в 3,58 рази вище зносостійкості покриттів з СД 20X13 і в 2,47 рази вище в порівнянні із зразками зі сталі 28MnB5, з яких виготовлені полільні лапи культиватора стерньового (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Втрата маси покриттів по закріпленому абразиву

Матеріал	Зменшення маси зразків			$\Delta m_{cp}$ , Г	Відносна зносостійкість, $\varepsilon$
	$\Delta m_1$ , Г	$\Delta m_2$ , Г	$\Delta m_3$ , Г		
СД 20X13	0,5548	0,5556	0,5517	0,5540	0,69
ПД 60X13P5СИ	0,1904	0,1896	0,1907	0,1902	2,01
ПД 20X11P5СИ	0,1618	0,1593	0,1624	0,1612	2,37
ПД 20X11P5ЮЗСИ	0,1568	0,1524	0,1548	0,1547	2,47
Зразок без покриття (28MnB5)	0,3948	0,3857	0,3671	0,3825	1

Високі показники зносостійкості покриттів з ПД в порівнянні з покриттями з СД 20X13 можна пояснити високою твердістю боридних

складових. Найменша гетерогенність і висока твердість покриття з ПД 20X11P5Ю3СИ обумовлюють його високу зносостійкість.

Таблиця 3.3 – Порівняння фізико-механічних властивостей покриттів з ПД\*

Марка ПД	ПД 20X11P5Ю3СИ (УИС)	PMet 296 (Polymet)	EuTronicArc 595 (CastolinEutectic)	TAFA 95MXC (Praxair TAFA)
Адгезія, МПа	43	43	40	40
Пористість, %	2,8	< 5,0	< 3,0	< 3,0
Мікротвердість, НV 0,3**	1111	~ 1200	~ 1000	~ 1100

\* По даних виробників порошкових дротів.

\*\* Отримано на основі таблиць переведення твердості.

За результатами дослідження показників фізико-механічних властивостей покриттів з ПД 20X11P5Ю3СИ можна зробити висновок про те, що вони мають порівнювані значення з покриттями із зарубіжних дротів аналогічного призначення (табл. 3.3). Це дозволяє рекомендувати їх для зміцнення робочих органів при обробці ґрунтів.

### 3.4. Результати експлуатаційних досліджень

Експлуатаційні дослідження виявилися завершальним етапом роботи, за результатами якого приймалося рішення про ефективність і доцільність підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Дослідження дозволили визначити зносостійкість деталей в залежності від напрацювання. Для зміцнених полільних лап напрацювання склало 40 га на один робочий орган.

Результати експлуатаційних досліджень зміцнених і серійних полільних лап представлені в табл. 3.4 і 3.5, графічне зображення на рис. 3.5.

Таблиця 3.4 – Втрата маси серійних полільних лап за результатами досліджень

Наробіток, га	Деталь *	Втрата маси полільних лап				$\Delta m_{cp}$ , Г
		$\Delta m_2$ , Г	$\Delta m_4$ , Г	$\Delta m_6$ , Г	$\Delta m_8$ , Г	
2	КЛ	72	69,5	58	84,5	71
	ДД	77,5	80,5	69	83	77,5
4	КЛ	168	152	176	180	169
	ДД	154	158	167	151	157,5
6	КЛ	284	271	263	290	277
	ДД	318	337	320	315	322,5
8	КЛ	530	517	535	520	525,5
	ДД	610	587	590	581	592
10	КЛ	903	884	853	862	875,5
	ДД	967	983	973	967	972,5
15	КЛ	1167	1032	1018	1029	1061,5
	ДД	1237	1194	1083	1016	1132,5
20	КЛ	1221	1184	1152	1219	1194
	ДД	1347	1369	1338	1396	1392,5
25	КЛ	1467	1426	1347	1396	1409,5
	ДД	1589	1638	1576	1583	1596,5

\* КЛ – крилоподібний леміш; ДД – двостороннє долото

Таблиця 3.5 – Втрата маси зміцнених полільних лап за результатами досліджень

Наробіток, га	Деталь *	Втрата маси полільних лап					$\Delta m_{cp}$ , Г
		$\Delta m_1$ , Г	$\Delta m_3$ , Г	$\Delta m_5$ , Г	$\Delta m_7$ , Г	$\Delta m_9$ , Г	
1	2	3	4	5	6	7	8
2	КЛ	28	29	30	23	25	27
	ДД	36	32	26	30	26	30
4	КЛ	53	58	61	48	45	53
	ДД	73	60	67	58	52	62
6	КЛ	84	73	62	73	88	76
	ДД	98	90	84	97	91	92
8	КЛ	125	119	122	117	107	118
	ДД	142	137	143	128	135	137
10	КЛ	137	128	134	121	132	131
	ДД	172	168	158	143	149	158
15	КЛ	209	203	198	187	193	198
	ДД	237	236	229	235	228	233
20	КЛ	281	279	283	274	273	278
	ДД	326	317	320	310	312	317

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
25	КЛ	342	336	329	324	339	334
	ДД	403	396	406	391	394	398
30	КЛ	403	397	409	389	382	396
	ДД	501	506	492	483	478	492
35	КЛ	476	467	472	452	463	466
	ДД	578	568	563	560	556	565
40	КЛ	533	530	526	519	517	525
	ДД	687	675	682	672	664	676

\* КЛ – крилоподібний леміш; ДД – двостороннє долото

Серійні полільні лапи при напрацюванні 20-25 га досягли граничного стану і були замінені на нові деталі, параметри яких в подальшому не враховувалися. Критеріями граничного зносу полільних лап були: для двостороннього долота – зменшення вильоту носка до переднього краю крилоподібного лемішу до 40 мм, для крилоподібного лемішу – зменшення ширини захвату до 420 мм.

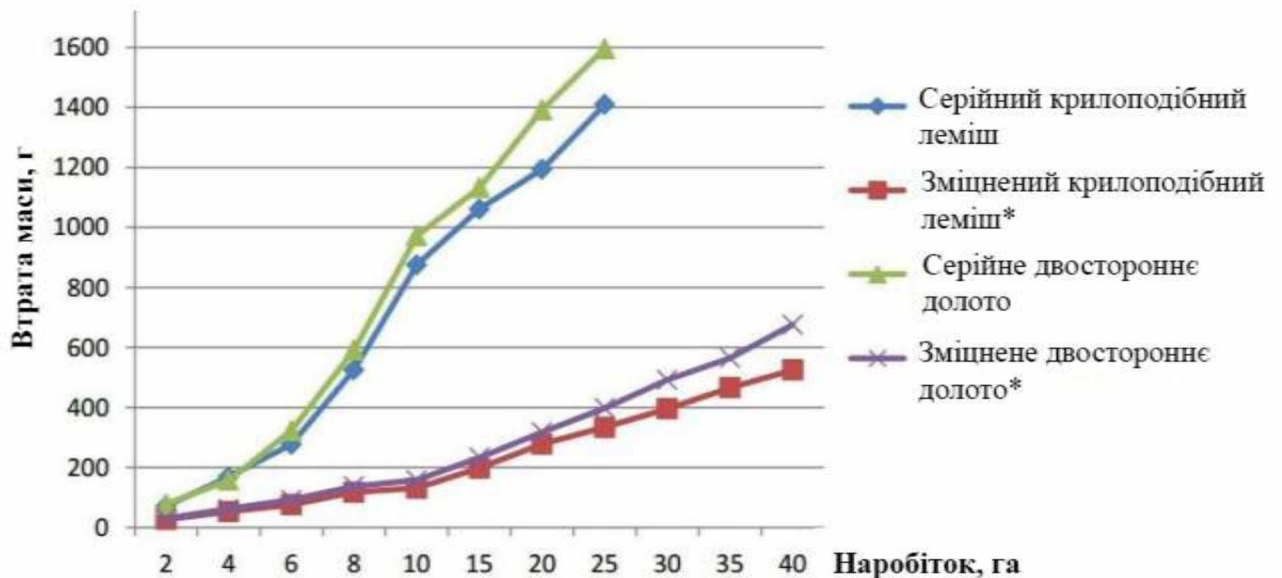


Рисунок 3.5 – Результати втрати маси серійних і зміцнених полільних лап за результатами експлуатаційних досліджень: \* з використанням порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ

Зміна геометричних параметрів лемішів крилоподібної форми, ймовірно, пов'язано з тим, що вони рухаються по колії трактора, де відбувається ущільнення ґрунту.

Експлуатаційні дослідження полільних лап показали, що відносна втрата маси при досягненні напрацювання 40 га зміцнених лемішів крилоподібної форми склала 2,03-2,66 рази, для долота – 1,96-2,37 рази в порівнянні з серійним (напрацювання 25 га), ресурс збільшений в 1,6 рази.

### **Висновки**

1. Показано, що адгезія металізаційних покриттів з порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ зростає зі збільшенням їх товщини, струму дуги, а також зі зменшенням дистанції напилювання

2. Досліджено залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів з порошкових дротів від системи легування. Адгезійна міцність покриттів з порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ в середньому в 1,29 рази вище, а мікротвердість і зносостійкість в 1,21 і 1,15 рази вище відповідно, ніж для покриттів з порошкового дроту 60X13P5СИ

3. Експлуатаційні дослідження культиваторних лап з покриттям з порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ показали, що відносна втрата маси зміцнених лемішів крилоподібної форми склала 2,03-2,66 рази, для долота – 1,96-2,37 рази по відношенню до серійних, що обумовлено високими показниками фізико-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів. Ресурс зміцнених полільних лап збільшений в 1,6 рази в порівнянні з серійними.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що зацікавлені у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою зацікавлених юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством екології та природних ресурсів України разом із Міністерством охорони здоров'я України.

Об'єктом даної екологічної експертизи є досліджувана технологія підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології дугової металізації зносостійких покриттів. Зокрема проведені дослідження по застосуванню дугової металізації для підвищення зносостійкості крилоподібних полільних лап і двосторонніх долот важкого стерньового культиватора з вибором оптимальних режимів технологічного процесу та з підбором порошкового дроту необхідного складу легуючих елементів. Встановлено залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів від складу порошкових дротів і режимів дугової металізації. Розроблено технологічний процес нанесення зносостійких покриттів на робочі поверхні лап культиватора.

При ремонті і відновленні деталей автотракторних двигунів основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- ПММ та продукти їх згорання, що утворюються під час обкатки двигунів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів, обкатувальних стендів та ін.

Визначено оптимальний склад порошкового дроту і параметри режиму дугової металізації. Встановлено ступінь окислення металізаційних

покриттів з порошкового дроту і визначені фізико-механічні та експлуатаційні показники.

Встановлено залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей покриттів від складу порошкових дротів і режимів дугового металізації. Розроблено технологічний процес нанесення зносостійких покриттів на робочі поверхні лап культиватора.

## **4.2. Охорона праці та безпека з надзвичайної ситуації**

### **4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях.**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як наука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об’єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов’язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров’я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров’я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

#### **4.2.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій**

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень небезпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Матеріальні системи поєднують у собі системи неорганічної природи (фізичні, хімічні, геологічні та ін.) і живі системи (клітини, найпростіші і високорозвинені організми, популяції, біологічні види, екологічні системи). Особливим класом матеріальних систем є соціальні системи (сім'я, колектив, державна політична система, суспільно-економічна формація). Ідеальною системою є поняття, гіпотеза, теорії, лінгвістичні і логічні побудови і т. ін. Штучною системою є система управління виробництвом, безпекою життєдіяльності і т. ін.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).



Рисунок 4.1. Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

#### 4.2.3. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2. Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

Схема поетапного аналізу умов виникнення і розвитку аварій наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій

Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основні принципи аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії та її наслідків)	Способи і засоби попередження, локалізації аварії
Виникнення пожежі	Оцінка й аналіз: можливих масштабів пожежі (площа, кількість горючих продуктів, склад продуктів згоряння, в т. ч. неповного); наявності й ефективності засобів гасіння пожежі; вміння персоналу діяти при ліквідації осередку займання; оперативності й оснащення ДПЧ; наявності і характеристик джерел запалювання	Виключення джерел запалювання; оснащення ефективними засобами гасіння пожежі, засобами сигналізації і зв'язку; дії персоналу і спецпідрозділів щодо рятування людей, гасіння пожежі
Травмування людей	Аналіз кількісних енергетичних характеристик пожежі (енергія випромінювання) та вибуху; наявність і кількість людей в зоні можливого ураження	Раціональне планування промислового майданчика. Розміщення поза межами зони можливого впливу пожежі будівель адміністративного, побутового призначення
Знос, утомленість матеріалу апарата	Перевірка вивченості корозійних властивостей застосовуваних речовин; наявність даних щодо швидкості корозії і зносу; відповідність матеріалу устаткування (трубопроводів), захисного покриття, ущільнювальних матеріалів. Наявність умов для механічного ушкодження устаткування	Застосування обладнання підвищеної надійності, ефективного захисного покриття і захисних пристроїв
Вихід параметрів за критичні значення	Перевірка вивченості властивостей застосовуваних речовин; їх аналіз; виявлення особливо небезпечних речовин; виявлення параметрів, які визначають небезпечність технологічних процесів і їх критичні значення; оцінка достатності оснащення засобами, які виключають вихід параметрів за припустимі межі, їх ефективність, надійність	Дооснащення технологічних процесів засобами контролю, управління й протиаварійного захисту, підвищення їх надійності й ефективності; удосконалення технологічних процесів
Підвищена вібрація	Перевірка надійності й вірності кріплення апаратів, машин, трубопроводів, співвісності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

#### 4.2.4. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

#### 4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Техніко-економічна оцінка проведена у відповідності з рекомендаціями щодо визначення економічної ефективності підвищення довговічності сільськогосподарських машин [32].

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n \kappa_1) - (c_2 + E_n \kappa_2)] B_T, \quad (4.1)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  – собівартість нової та відновленої культиваторної лапи дуговою металіцією їх робочих поверхонь;

$E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [32];

$B_T$  – річний обсяг відновлених лап за розробленою технологією, шт.

Затрати  $C_y$  на виготовлення установки для відновлення культиваторних лап дуговою металізацією їх робочих поверхонь визначали за такою залежністю:

$$C_y = C_k + C_{од} + C_{нд} + C_{сб} + C_{зв}, \quad (4.2)$$

де  $C_k$  – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{од}$  – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{нд}$  – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{сб}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{он}$  – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою витрати склали 51600 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях [32]:

$$k_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}}; \quad k_2 = \frac{C_{O2}}{B_{Г2}}, \quad (4.3)$$

де  $C_{O1}$  і  $C_{O2}$  – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології відновлення крилоподібних полільних лап;

$B_{Г1}$  і  $B_{Г2}$  – річна програма виготовлення та відновлення за розробленою технологією.

Питомі капіталовкладення склали  $k_1 = 1,81$  грн.;  $k_2 = 1,32$  грн.

Собівартість відновлення  $C$  лапи визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_m + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.з.} \quad (4.4)$$

де  $C_{з.п.}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

$C_m$  – витрати на використанні при відновленні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$  – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$  – накладні витрати, грн.;

$C_{i.e.}$  – інші витрати, грн.

Собівартість однієї нової культиваторної лапи складає  $C_1 = 320$  грн., а відновленої  $C_2 = 110$  грн.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(320 + 0,15 \cdot 1,81) - (110 + 0,15 \cdot 1,32)] \cdot 500 = 105000 \text{ грн.},$$

де  $B_T = 500$  – річний обсяг відновлення лап.

Економічний ефект на одиницю продукції становить 210 грн.

Основні показники техніко-економічної ефективності відновлення стрілочастих культиваторних лап наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показників	
	Існуюча технологія виготовлення	Розроблена технологія відновлення
1. Річний обсяг виготовлення і відновлення лап, грн.	500	500
2. Собівартість однієї лапи, грн.	320	110
3. Собівартість комплекту лап, грн.	2880	990
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	1,81	1,32
5. Річний економічний ефект, грн.		105000
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		210

## Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин на основі вдосконалення технології дугової металізації зносостійких покриттів є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами,

використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Вартість однієї крилоподібної полільної лапи, відновленої по розробленій технології в 2,9 рази нижча ніж вартість нової лапи. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 105000 грн. при річному обсязі впровадження 500 деталей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведеним аналізом результатів відомих досліджень встановлено, що надійність робочих органів ґрунтообробних машин в значній мірі визначається зносом лап культиваторів. Вирішення проблеми підвищення їх надійності слід здійснювати за рахунок використання ефективних технологій відновлення.

2. Лабораторними дослідженнями встановлено залежність фізико-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів з порошкових дротів від їх системи легування. Мікротвердість покриттів з порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ в середньому в 1,21 рази вище, пористість в 1,40 рази нижче, а зносостійкість в 1,15 рази вище, ніж для покриттів з порошкового дроту 60X13P5СИ.

3. Експлуатаційні дослідження культиваторних лап з покриттям з порошкового дроту 20X11P5Ю3СИ показали, що відносна втрата маси зміцнених лемішів крилоподібної форми склала 2,03-2,66 рази, для долота – 1,96-2,37 рази по відношенню до серійних, що обумовлено високими показниками фізико-механічних і експлуатаційних властивостей металізаційних покриттів. Ресурс зміцнених полільних лап збільшений в 1,6 рази в порівнянні з серійними.

4. Вартість однієї крилоподібної полільної лапи, відновленої по розробленій технології в 2,9 рази нижча ніж вартість нової лапи. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 105000 грн. при річному обсязі впровадження 500 деталей.