

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра загальнотехнічних дисциплін**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Підвищення ресурсу плужних лемішів наплавленням зносостійким  
матеріалом»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 6  
Жук Антон Олександрович  
Керівник: Антонець А. В.  
Рецензент: Іванкова О. В.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Операції, пов'язані з обробкою ґрунту, є важливими і найбільш трудомісткими при виробництві сільськогосподарської продукції. Якість виконання цих операцій залежить від параметрів і стану робочих органів сільськогосподарських машин і устаткування. Експлуатація робочих органів ґрунтообробних машин здійснюється в умовах постійного абразивного і ударно-абразивного зношування. Тому, 70-80% несправностей припадає на знос робочого органу, а решта 20-30% припадають на їх деформацію [1].

Плужний леміш є однією з найбільш відповідальних і швидко зношуваних деталей плуга, середнє напрацювання на відмову якого, в залежності від видів ґрунтів, коливається від 2 до 20 га. Аналіз робіт [2-5] показав, що серед всіх способів зміцнення найбільш широке поширення набуло наплавлення зносостійкими твердими сплавами. Практично при всіх застосовуваних способах для отримання зміцнених покриттів використовуються зносостійкі сплави або їх композиції, що мають досить високу вартість. Серед сучасних способів розробки нових порошкових матеріалів і зносостійких покриттів, перспективним є застосування композицій на основі чавуну, або відходів цього матеріалу, які в достатній кількості утворюються після механічної обробки виливків деталей. Тому створення нових порошків на основі чавуну, за допомогою яких сплав зміцнюється в залежності від зношувальної здатності ґрунту, перспективне і сприяє підвищенню зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

У зв'язку з цим розробка заходів, що забезпечують підвищення ресурсу плужних лемешів формуванням зносостійкого покриття на основі чавуну, становить практичний інтерес, а дослідження цих питань є актуальними.

**Мета дослідження.** Підвищення ресурсу плужних лемешів наплавленням зносостійким порошком на основі чавуну.

**Об'єкт дослідження.** Процес зношування плужного лемеша, що має зносостійке покриття на основі чавуну.

**Предмет дослідження.** Закономірності перебігу процесу зношування плужного лемеша, що впливають на його ресурс.

**Методика досліджень** передбачає застосування теорії ймовірності та надійності, методів математичного аналізу і системного підходу, що забезпечують аналітичний опис ефективного використання ґрунтообробної техніки при виконанні технологічних процесів, застосування стандартних методик стендових і експлуатаційних випробувань на сучасному обладнанні.

**Наукова новизна.** Підхід розгляду плуга як складної системи, нижчим елементом якої є робочі поверхні лемеша, дозволив визначити цільове призначення робочих поверхонь з точки зору надійності реалізації процесу оранки. Розроблено методику оцінки ефективності застосування різних варіантів лемешів, яка враховує кратність збільшення ресурсу і вартості лемешів.

**Практична значимість.** Запропоновано спосіб відновлення робочих поверхонь лемешів шляхом наплавлення зносостійких порошків на основі чавуну.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Види обробки ґрунту і основні агротехнічні вимоги до них

Обробка ґрунту – найважливіший елемент системи агротехнічних заходів для вирощування сільськогосподарських рослин. Механічний вплив робочими органами машин і знарядь на ґрунт формує в ній умови, найбільш сприятливі для зростання сільськогосподарських культур [6].

Найважливішими загальними питаннями механічної обробки ґрунту є також її способи (з обертанням – відвальний, без обертання оброблюваного шару – безвідвальний) і глибина обробки (поверхнева, дрібна, основна, глибока), поглиблення і окультурення орного шару, різноглибинна обробка ґрунту в сівозмінах, терміни, техніка, швидкості руху ґрунтообробних агрегатів і якість обробки ґрунту.

Обробка характеризується різноманітністю і універсальністю впливу не тільки на ґрунт, а й на рослину, створюючи однорідний за родючістю орний шар, що сприяє швидкому формуванню розвиненої кореневої системи з перших фаз росту. У процесі механічної обробки будь-якої частини орного шару в ґрунті формується оптимальна будова. Це забезпечує потужний розвиток і зростання сходів культурних рослин і зумовлює хороший стан стеблостою посівів.

Система обробки ґрунту являє собою сукупність науково обґрунтованих прийомів обробітку ґрунту під культури в сівозміні.

Система основного обробітку ґрунту традиційно складається з відвальної оранки, чизелювання, дискування, боронування і луцення. Основні агротехнічні вимоги, що пред'являються до основних видів обробки ґрунту, представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Види обробки ґрунту і основні агротехнічні вимоги

№ п/п	Вид обробки	Агротехнічні вимоги
1	Оранка	Глибина оранки 22-40 см. Відхилення середньоарифметичного значення фактичної глибини оранки від заданої не повинно перевищувати $\pm 5\%$ . Відхилення ширини захвату плуга $\pm 10\%$ . При оранці необхідно, щоб ширина і товщина пластів були однаковими, рослинні залишки і добрива повністю зароблені, а гребені пластів мали висоту не більше 4 см.
2	Культивация	Глибина 5-7 см; поверхня поля повинна бути рівна; висота гребенів і глибина борозен – не більше 4 см; кількість грудок не перевищує 10 шт/м <sup>2</sup> , розмір не більше 5 см; колеса агрегату повинні проходити від рядка рослин на відстані не менше 10 см.
3	Боронування	Боронування проводиться впоперек оранки. Кожен прохід повинен перекривати попередній на 10-15 см, огріхи не повинні перевищувати 10 м <sup>2</sup> /га. Величина грудок після боронування не повинна перевищувати 3 см, кількість таких грудок не повинно бути більше 10 шт/м <sup>2</sup> . Борони повинні рівномірно рихлити ґрунт на глибину 5-8 см.
4	Чизельна обробка	Обробка на глибину 28-30 см для вирівнювання поверхні поля.
5	Лущення	Глибина обробки 6-14 см в залежності від ґрунту. Відхилення $\pm 2$ см; висота гребенів не більше 4-5 см; число непідрізаних бур'янів до 80%; огріхи не більше 10 м <sup>2</sup> /га.
6	Дискування	Швидкість руху 7-12 км/год. Глибина обробки 6-12 см. Рихлення ґрунту складає не менше 80%. Підрізання бур'янів і рослинних залишків 100%.

Агротехнічні вимоги (АТВ), що пред'являються до обробки ґрунту характеризують стан орного шару, при якому можливе виконання

технологічного процесу обробки ґрунту, і визначають необхідні величини якісних показників цієї обробки [7].

Ефективність виконання технологічного процесу оранки і витрат ресурсів будуть визначатися конкретним ґрунтообробним знаряддям, тобто в якому обсязі якість робіт, що виконуються ґрунтообробним знаряддям, відповідає агротехнічним вимогам, а також які при цьому будуть фінансові витрати. Тому питання зниження витрат і підвищення ефективності технологічного процесу в результаті буде зводитися до вдосконалення параметрів, форми, матеріалу, технології виготовлення, вартості виготовлення елементів або деталей ґрунтообробного знаряддя. У нашому випадку – леміш лемішно-відвального плуга, від якого в основному залежать енергетичні та якісні показники виконання технологічного процесу, тобто експлуатаційно-технологічні показники роботи орного агрегату.

## **1.2 Аналіз конструктивних особливостей плужних лемешів**

Леміш – найбільш складний, металомісткий і швидкозношуваний орган плуга. Основні вимоги до нього [8]:

- термін служби до вибракування або ремонту не менше сезону;
- дотримання основних агротехнічних вимог протягом терміну служби: хороша заглиблюваність, рівномірна глибина оранки;
- забезпечення мінімальних енерговитрат при оранці (мінімальний тяговий опір);
- технологічний у виготовленні і відносно дешевий.

Як показує практика, більшість з цих вимог не виконується, в результаті стали створюватися лемеші різних форм і типів.

Геометрична форма лемеша дуже впливає на тяговий опір плуга. Все це визначило необхідність вивчення роботи лемеша, пошуку нових конструкцій, способів запобігання зносу і методів підтримки їх працездатності. Основні типи лемешів представлені на рис. 1.1.



Рис.1.1. Види лемешів

Найбільш простим по конструкції є трапецевидний леміш, лезо якого паралельно його спинці (рис. 1.2, а.). Основними перевагами цього лемешу є його технологічність і дешевизна конструкції, обумовлені можливістю його виготовлення з листового прокату. Найбільш істотним недоліком його є швидка втрата заглиблюючої здатності і, як наслідок, зниження рівномірності глибини оранки, тобто порушення одного з головних критеріальних показників його роботи.

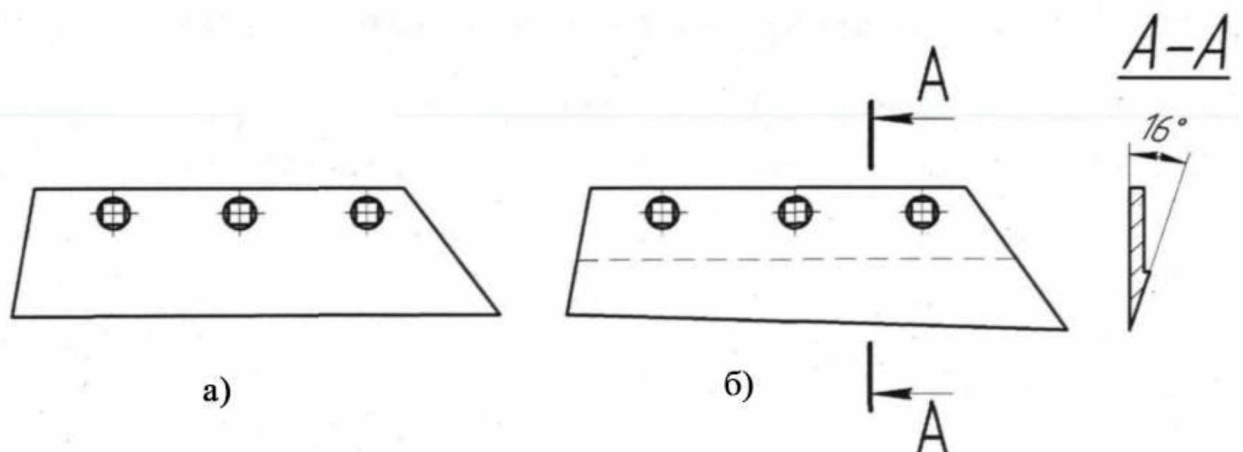


Рис.1.2. Конструкції лемешів: а) трапецевидний; б) трапецевидний зі змінною шириною

Трапецевидний леміш (рис. 1.2, б.) містить ріжучу частину з прямолінійним лезом, ребро жорсткості з боку неробочої поверхні, розташоване паралельно лезу і виконане по всій його довжині. Ширина лемеша збільшується від п'яти до носка. Для збільшення міцності зносостійкості лемеша проводиться місцеве гартування.

Відмінною особливістю лемеша в порівнянні з серійним лемешем є те, що він виконаний трапецевидним зі змінною шириною, має ребро жорсткості для збільшення міцності і виготовлений з лемішної смуги постійного профілю. Остання обставина робить цей леміш більш технологічним при виготовленні.

Недоліком його є збільшення маси в порівнянні з серійним на 0,35 кг і недостатня міцність і зносостійкість в носовій частині.

Оборотний леміш (рис. 1.3) має форму паралелограма з ріжучими крайками на його довгих протилежних сторонах і ряд кріпильних отворів, розташованих на одній осі. Леміш має і другий ряд кріпильних отворів, розташованих по іншій осі. Осі рядів отворів паралельні один одному і розташовані під гострим кутом до ріжучих крайок так, що відстань від осей до різальних крайок виконано збільшеною в напрямку гострих кутів паралелограма. Ріжучі кромки можуть бути виконані з кутами заточування, зменшуються в напрямку гострого кута паралелограма [9].

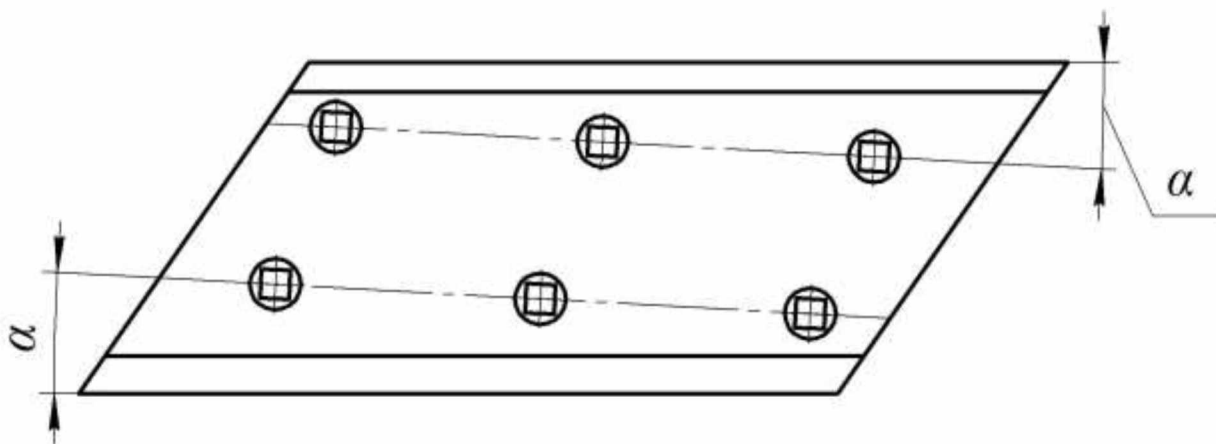


Рис. 1.3. Оборотний леміш

Долотоподібний леміш (рис. 1.4, а, б) має подовжений носок у вигляді долота, завдяки чому він краще заглиблюється і більш стійкий в роботі. На

тильній стороні леза і носка леміш має запас металу (магазин), призначений для відтягнення металу в зону зносу при ремонті. Так як в даний час ковальська відтяжка лемешів не застосовується, запас металу виконує роль ребра жорсткості, що забезпечує лемешу велику міцність на вигин.

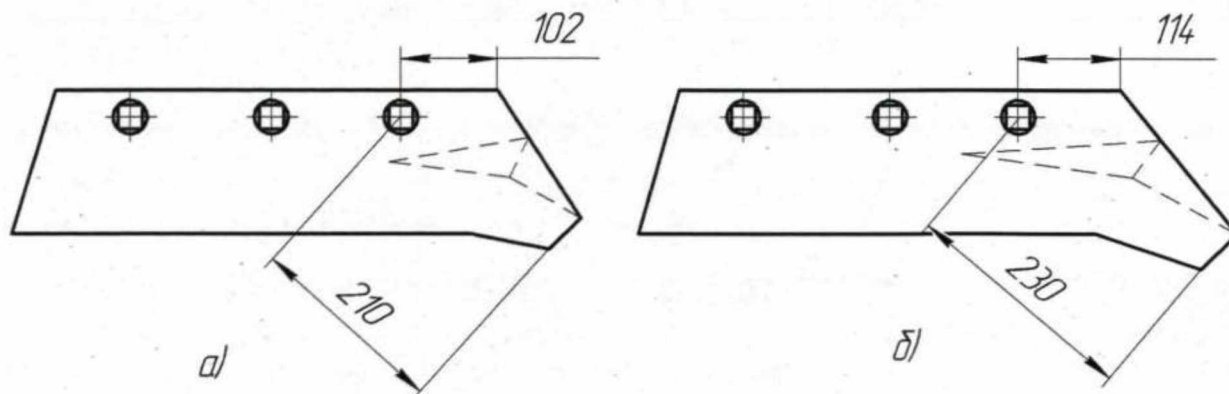


Рис.1.4. Конструкції лемешів: а) долотоподібний П-702; б) долотоподібний ПНЧС-702

Виготовляється долотоподібний леміш зі спеціального лемішного періодичного прокату в двох виконаннях: П-702 і ПНЧС-702. У зв'язку з тим, що у лемеша ПНЧС-702 збільшено плече дії згинального сили, зосередженої на кінці носка, з 210 до 230 мм, ці лемеші схильні до більш частого вибракування в процесі експлуатації через вигин і поломки щодо небезпечного перетину в зоні першого кріпильного отвору. Матеріал для їх виготовлення – сталь Л-53 з місцевим загартуванням і відпуском на твердість 39...42 HRC [10].

До недоліків цих лемешів слід віднести наступне:

- носова частина лемеша має недостатньо міцний переріз. Товщина і кут заточування леза в носовій частині такі ж, як і на лезовій частини, тому, при оранці піщаних, супіщаних і легких суглинних ґрунтів лицьова сторона носка інтенсивно зношується, особливо при наявності кам'янистих включень, в результаті чого леміш має обмежений ресурс навіть в разі зміцнення його наплавленням із зворотного боку;

- від кінця носка до першого кріпильного отвору досить велика відстань, а значить, і великий згинальний момент сприймає леміш в перерізі,

що проходить через цей отвір, тому при наїзді на різні перешкоди має місце деформація і поломка носка.

Практичний інтерес представляє складний долотоподібний леміш зі змінним долотом (рис. 1.5).

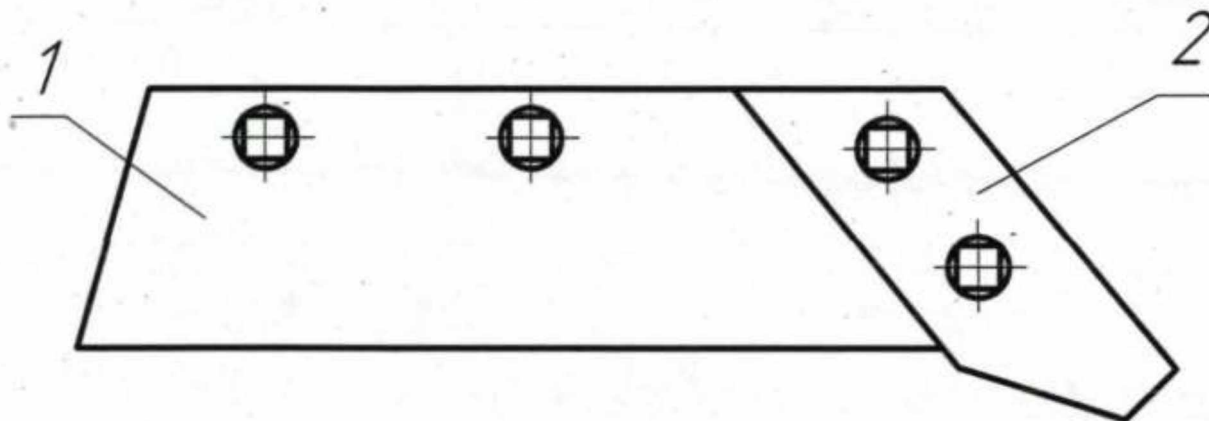


Рис.1.5. Складний долотоподібний леміш зі змінним долотом: 1 – корпус лемеша з лезом; 2 – змінне долото

Основною перевагою лемеша зі змінним долотом є те, що він дозволяє більш ефективно використовувати метал корпусу лемеша з лезом. Так як інтенсивність зношування носка значно перевищує інтенсивність зношування леза, за термін служби одного леза може бути встановлено два або більше доліт. Крім того, при вигині або зламі носка необхідно замінити один носок, а не весь леміш повністю.

Недоліками його є зниження технологічності при виготовленні за рахунок додаткової механічної обробки поверхонь з'єднання корпусу лемеша долота, а також необхідність зміни конструкції башмака і стійки серійного плуга [5, 11].

Трикутні лемеші (рис. 1.6) застосовують на деяких спеціальних плугах, картоплекопачах, канавокопачах і розпушувачах, коли потрібно створити великий тиск леза на відрізуваний ґрунтовий пласт.

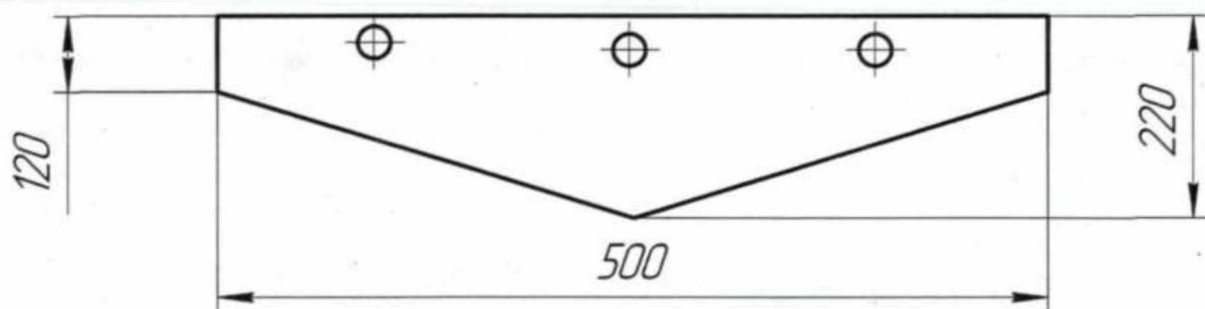


Рис.1.6. Конструкція трикутного лемеша

Для оранки кам'янистих ґрунтів, розкорчованих ділянок при великій глибині оранки застосовують посилення лемеша з щогою, привареною знизу до носку, а також лемеші з долотом.

Цікавим є конструкція лемеша представлена на рис 1.7 [12]. Для зміцнення носка і підвищення його зносостійкості на лінії, проведеної з початку носка до першого кріпильного отвору, виштампуване ребро жорсткості і нанесена наплавка у вигляді смуг, паралельних осі симетрії носка, а на тильній стороні паралельно польовому обрізу.

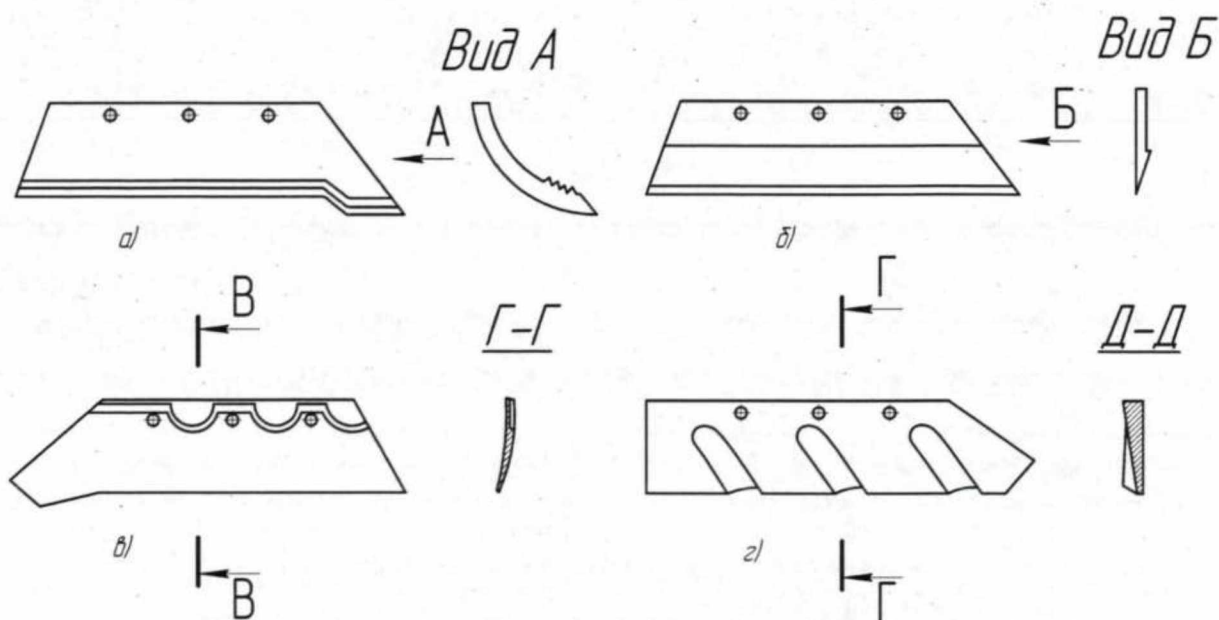


Рис.1.7. Плужний леміш з криволінійною ділянкою вигину

Наплавка нанесена по всій товщині основи лемеша на польовому обрізі і на обох сторонах леза точковою наплавкою зносостійкого елемента.

Смугова і точкова наплавка на протилежних сторонах розміщена зі зміщенням (переріз Б-Б, рис. 1.7, б).

Недоліками цього лемеша є порівняно швидке затуплення його леза при оранці щільного, низької вологості суглинистого і глинистого ґрунту, необхідність його неодноразової перезаточки, технологічна складність його виготовлення.

Порівняльний аналіз конструкцій лемешів показав, що вимогам по простоті конструкції, функціональній надійності, технологічності, експлуатаційної економічності найбільш повно відповідають цільні трапецевидні лемеші, виготовлені із смугового або періодичного прокату. Їх недоліком є невеликий ресурс в порівнянні з іншими.

### **1.3 Способи підвищення ресурсу плужних лемешів**

Основні способи підвищення ресурсу робочих органів, на підставі аналізу літературних джерел [2-6, 11, 13-16], представлені на рис. 1.8.

Застосування зносостійких матеріалів при виготовленні, досліджено А.Н. Розенбаумом [12]. Вивчався вплив кремнію, титану, ванадію, кремнію спільно з марганцем. Результати досліджень показали, що зносостійкість сталі при абразивному зношуванні тим вище, чим більше в ній міститься вуглецю. Найбільш сильний вплив на зносостійкість надає присутність в структурі сталі карбідів. Кремній надає позитивний вплив на зносостійкість сталей, але через низьку твердість ці сталі для лемешів не застосовуються. Сприяють підвищенню зносостійкості сталі титан, ванадій і вольфрам. Рекомендується також при односторонньому загартуванні лемешів застосовувати сталі з максимально високим вмістом вуглецю [15].

Застосування чавуну для виготовлення лемешів дозволяє виготовляти закінчені вироби по найбільш короткому циклу: рідкий метал – готовий виріб.



Рис. 1.8. Способи підвищення зносостійкості плужних лемешів

Дослідження щодо застосування високоміцного чавуну для виготовлення лемешів проводилися в трьох напрямках:

- одержання тришарового лемеша з вибіленої поверхнею, вибіленим лезом і з в'язкою серцевиною в сирому (без відпалу) стані;
- одержання лемеша з наскрізним відбіленням, наступним відпалом спинки і збереженням вибіленого леза;

- одержання лемеша відпалом всього вибіленого вилівка із загартуванням леза [16].

За першим варіантом отримали вибілену зносостійку кірку, товщина якої від 1,0-1,5 мм у верхній частині зростала до 3,0-3,5 мм в напрямку до леза. Саме лезо мало наскрізний відбіл. Однак тришаровий чавунний леміш при польових випробуваннях не показав ні необхідної міцності, ні високої зносостійкості [16].

Другий варіант – вилівок лемеша з наскрізним відбіленням і подальшим відпалом кріпильної його частини – спинки. У цьому випадку місце кріплення виходить в'язким, а робоча частина - лезо – твердим і зносостійким при раціональному використанні початкової твердості вилівка. Польові випробування показали малу міцність даних лемешів.

Третій варіант передбачав вилівання лемешів із суцільним відбіленням, шляхом термообробки отримали перлітну структуру загартуванням леза. Випробування цих лемешів показали задовільні результати [16].

Лемеші, виготовлені даним способом, через їхню невисоку міцності не отримали широкого застосування [17].

Для збільшення зносостійкості при абразивному зношуванні робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема лемешів, фірми «Lodpe Ceramic» і «Morgan Matrok» (Великобританія) приступили до випуску керамічних лемешів, термін служби яких по зносостійкості перевершує сталеві в 12 разів, однак вартість їх виготовлення дуже велика.

У процесі використання виявилися недоліки цих лемешів: при динамічному навантаженні з'являються відколи, що призводять до утворення тріщин [18].

Аналізуючи матеріали і технології, що застосовуються для виготовлення лемешів, можна зробити наступний висновок. Основним матеріалом для виготовлення лемешів, є залізовуглецеві сплави – сталь і чавун. Для підвищення їх зносостійкості і міцності проводять їх легування

різними хімічними елементами. Високі ціни на високолеговані сталі і складні технології виготовлення лемешів, що вимагають застосування спеціального дорогого устаткування, є підставою для пошуку нових технологічних рішень для виготовлення дешевих лемешів.

Одним із способів термічної обробки матеріалів робочих органів є поверхневе гартування. Для поверхневого гартування лемешів, виготовлених з профільної сталі Л53, застосовувалася киснево-ацетиловий пальник. Загартована смуга розташовувалася уздовж ріжучої кромки лемеша. Твердість після гартування становила HRC 65-67. В результаті випробувань встановлено, що поверхнево загартовані лемеші показали найбільш задовільні результати роботи [18].

Ізометрична обробка дозволяє отримати більш високу зносостійкість (на 20-30%), ніж звичайне гартування з подальшим відпуском. Сталь 65Г, оброблена ізотермічно, має зносостійкість в 1,7 рази більшу, ніж при звичайному загартуванні. Але після ремонту лемешів ці переваги зникають, тому що в умовах ремонтних підприємств ізотермічне загартування виконати практично неможливо.

Одним з нових напрямків підвищення довговічності робочих органів є застосування металокерамічних покриттів [5, 17].

Технологія зміцнення керамічними матеріалами в загальному випадку полягає в тому, що поверхні робочих органів, котрі піддаються найбільшому впливу ґрунту, а отже, і найбільш зношуються, захищаються керамічними пластинами. Кріплення пластин на поверхнях робочих органів здійснюється за допомогою високоміцного клею.

Відомий також спосіб нанесення комплексних покриттів електроімпульсним припіканням. Для зміцнення деталей машин методом припікання широко використовуються порошкові матеріали. Серед них механічні суміші, що складаються з металевих порошоків матриці (на основі заліза, нікелю, міді та ін.) і наповнювачів (карбідів, оксидів, сплавів на основі заліза, графіту, дисульфиду молібдену, полімерів та ін.) [11]. Нанесення

комплексних покриттів електроімпульсним припіканням забезпечується електричним нагріванням порошку, розміщеного між деталлю і електродом, за рахунок теплової енергії, що виділяється електричним струмом на ділянці активного опору. Використання механічних сумішей дає можливість, варіюючи складом суміші (хімічним і кількісним) і розмірами частинок, досягати необхідної якості і властивостей покриття.

Перераховані традиційні способи зміцнення поверхні ґрунтообробних деталей дозволяють отримати твердість наплавленого шару порядку HRC 50-70 і збільшують ресурс деталі в середньому в 2-5 разів.

На підставі аналізу можна зробити висновок, що, незважаючи на велику різноманітність застосовуваних методів для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, необхідно розробити універсальний, економічний і ефективний спосіб підвищення ресурсу робочих органів.

#### **1.4 Аналіз застосовуваних наплавлювальних матеріалів**

Серед усіх способів відновлення і зміцнення широкого поширення набула наплавка зносостійким твердим сплавом [5, 10-12].

Основними видами наплавлювальних матеріалів є: сталевий зварювальний дріт, порошковий наплавочний дріт, наплавочні стрічкові електроди, наплавочні литі прутки, плавлені карбіди вольфраму, флюси для наплавлення, гнучкі шнури, електроди, порошки з сплавів для наплавлення.

Широке поширення отримали порошки зі сплавів для наплавлення. Порошки, призначені для нанесення захисних покриттів методами наплавлення, є специфічним продуктом порошкової металургії. До них пред'являються вимоги, представлені на рис. 1.9.

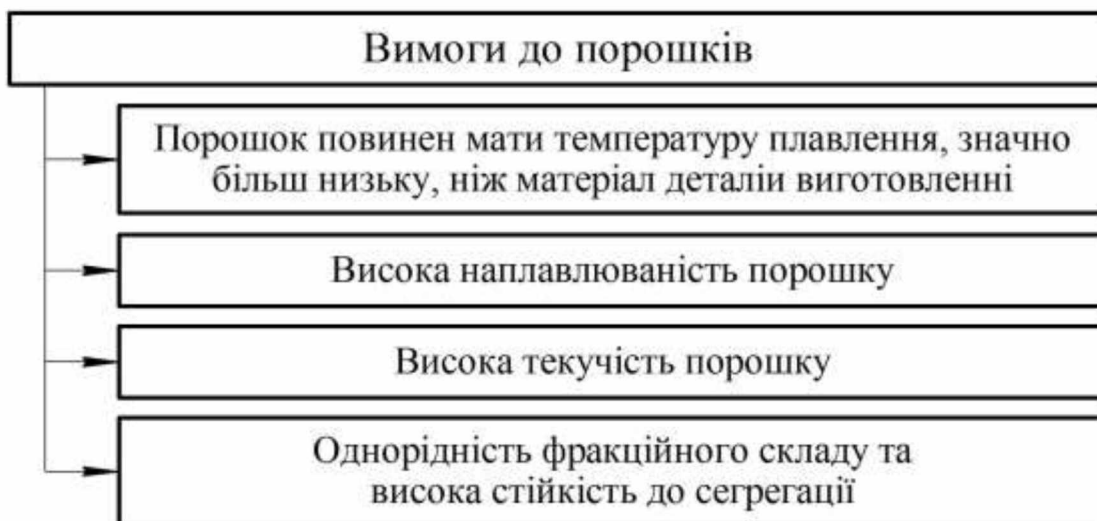


Рис. 1.9. Вимоги до порошоків

Найбільш повно зазначеним вимогам відповідають самофлюсуючі сплави. Самофлюсуючі сплави називаються тому, що вони можуть бути оплавлені в окислювальному або нейтральній атмосфері в щільне, безпористе покриття. Це забезпечується наявністю в їх складі компонентів, що мають високу величину термодинамічного потенціалу утворення оксиду, значно більшу, ніж наплавляється метал. До числа елементів, що активно відновлюють оксидні плівки на сталях, відносяться Н, В, С, Mg, Al, Si, Mn. Найбільше застосування для отримання самофлюсуючих порошоків отримали В, Si, рідше Mn. Бор відносять до флюсуючих елементів тому, що при взаємодії з кисневими сполуками він веде себе як активний відновник. Більшість оксидів металів легко відновлюються бором при високій температурі. Бор і кремній виконують роль флюсуючих добавок, так як захищають від окислення розігріту на плавлячу поверхню і наплавляється сплав.

В даний час найбільш поширені самофлюсуючі сплави на нікелевій основі.

Поряд з незаперечними перевагами (високі технологічність, зносостійкість, корозійна стійкість, жаростійкість) самофлюсуючим

порошкам на нікелевій основі притаманний ряд серйозних недоліків, що значно знижують ефективність відновно-зміцнюючої технології;

1) висока вартість, обумовлена застосуванням дорогого металу основи – нікелю.

2) низька тріщиностійкість при нанесенні покриттів на сталеві деталі, обумовлена високим коефіцієнтом лінійного розширення  $(14,4...16,2) \times 10^{-6}$  [19];

3) нестабільність хімічного складу, будови і властивостей високолегованих металевих систем, якими є самофлюсуючі сплави [19];

4) висока чутливість до технологічних режимів нанесення покриття. Необхідний комплекс властивостей покриття досягається лише при збереженні однорідної дрібнодисперсної структури вихідного порошку. Навіть незначний перегрів різко знижує якість покриття [20].

Таким чином, структура, крихкість, тріщиностійкість, зносостійкість, економічні чинники часто обмежують застосування матеріалів на основі нікелю. Аналіз застосування цих сплавів дозволяє зробити висновок, що в більшості випадків деталі доцільно наплавляти менш дорогими матеріалами на залізній основі.

Можна виділити три етапи і відповідно три принципові напрями розробки самофлюсуючих сплавів. Спочатку велися розробки наплавочних сумішей, в яких частина дорогого нікелевого порошку була замінена залізними порошками. Таким чином вдалося знизити вартість матеріалу в 2-4 рази при достатньому рівні експлуатаційних властивостей покриттів. Проте, вартість суміші залишалася досить високою.

Тому створення нових зносостійких матеріалів на основі недорогих компонентів, за допомогою яких сплав зміцнюється нетрадиційними карбідними фазами, а, наприклад, боридами, перспективне і забезпечує підвищену зносостійкість деталей і зниження вартості.

## Висновки, мета і задачі дослідження

Огляд і аналіз літературних джерел дозволив зробити наступні висновки:

1. Аналіз видів обробки ґрунту показав, що оранка є найбільш важливою, дорогою і важкою. На її виконання витрачається до 40% енергетичних і 25% трудових витрат.

2. За вимогами: простота конструкції, функціональна надійність, і експлуатаційна економічність найбільш повно відповідають трапецеїдальні лемеші, виготовлені з періодичного прокату. Недоліком цих лемешів є невеликий ресурс в порівнянні з іншими.

3. До основних способів підвищення зносостійкості робочих органів, на підставі аналізу літературних джерел, можна віднести: застосування зносостійких матеріалів при виготовленні; термічну обробку; застосування різних видів зносостійких покриттів. Найбільш широкого поширення набуло застосування різних видів зносостійких покриттів. Практично при всіх застосовуваних способах наплавлення для отримання покриття використовуються зносостійкі сплави або їх композиції, що мають високу вартість.

4. Аналіз способів і вимог до наплавочних матеріалів показав, що одним з перспективних напрямків є створення нових зносостійких матеріалів на основі недефіцитних компонентів.

Метою даної роботи є підвищення ресурсу плужних лемешів наплавленням зносостійким порошком на основі відходів чавуну.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати спосіб підвищення ресурсу плужних лемешів за рахунок створення необхідних властивостей його робочих поверхонь, що контактують з ґрунтом;

- встановити взаємозв'язок між ресурсом плужних лемешів і витратами на виконання процесу оранки, що забезпечують надійну і ефективну роботу плуга;

- провести порівняльні випробування експериментальних плужних лемешів і визначити техніко-економічну ефективність пропонованих рішень.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма експериментальних досліджень

У відповідності з поставленими завданнями і для досягнення мети цієї роботи була прийнята наступна програма:

- отримання зносостійкого покриття на зразках;
- визначення твердості зразків,
- проведення металографічних досліджень зразків;
- проведення стендових випробувань зразків, виготовлених серійно і зміцнених різними способами;
- проведення експлуатаційних випробувань лемешів виготовлених серійно і зміцнених різними способами.

Загальна блок-схема проведення експериментальних досліджень представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Блок-схема проведення експериментальних досліджень

#### 2.2. Проведення металографічних досліджень

Для дослідження мікроструктури поверхні було взято 18 зразків по три зразка кожного виду лемеша.

З нарізаних фрагментів виготовляли зразки для шліфування (рис. 2.2). Отримані зразки встановлювали в шліфувально-полірувальний верстат і доводили до норми абразивною шкуркою 2000. Полірування проводилося на цьому ж верстаті, коли поверхня набувала дзеркальний вигляд і на ній не спостерігалися риски при перегляді на мікроскопі.

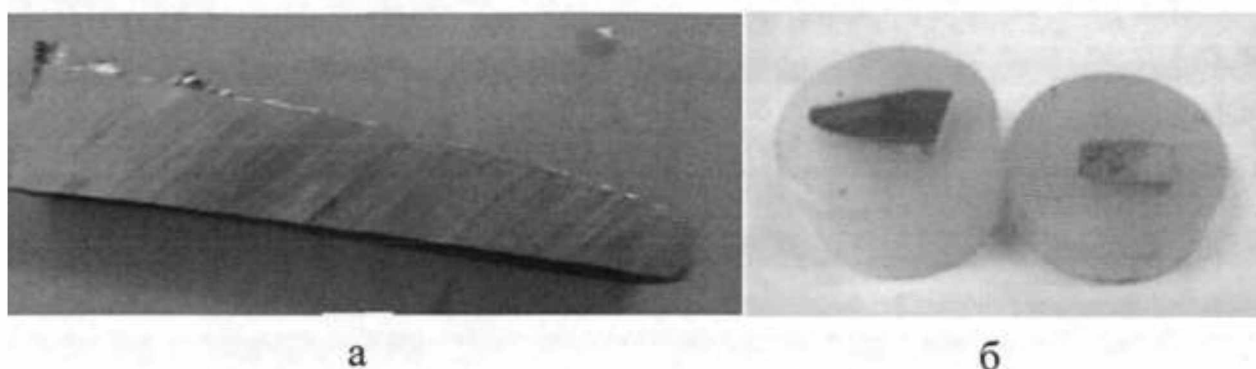


Рис. 2.2. Загальний вигляд: а – фрагмент лемешу; б – шліфи

Потім поліровані мікрошліфи промивали водою і просушували фільтрувальним папером. Просушені мікрошліфи труїли в реактиві «Марбле» (20г  $\text{CuSO}_4$ , 100 мл соляної кислоти, 100 мл води) протягом 5 секунд. Після травлення поверхню мікрошліфа промивали в спирті і просушували фільтрувальним папером. Якщо структура не виявлялася чітко, то мікрошліф труїли додатково.

На мікрошліфу за допомогою металографічного мікроскопа вивчали мікроструктуру зразків потім фотографували їх. На підставі розглянутих фотографій визначали зміну мікроструктури поверхні і глибину зміцненого шару відповідно до ГОСТ 5639-82.

Структуру отриманих покриттів досліджували на інвертованому металографічному мікроскопі. Дослідженням піддавали поверхні покриттів і поперечні шліфи при збільшенні від 25 до 1000 разів.

### 2.3. Дослідження твердості

Вимірювання твердості проводилося за методом Роквелла (ГОСТ 9013-59) на приладі HBRV-187,5 (рис.2.3).



Рис. 2.3. Загальний вигляд твердоміра HBRV-187,5

Вимірювання проводилося шляхом вдавнення в досліджувану поверхню алмазного конуса при прикладанні загальної випробувального навантаження 1471кгс. Заміри твердості зразків проводилися по поверхні (рис. 2.4) і по глибині (рис. 2.5). При вимірюванні твердості по глибині уколи проводили через 2 мм, а при вимірюванні твердості на поверхні через 15 мм.

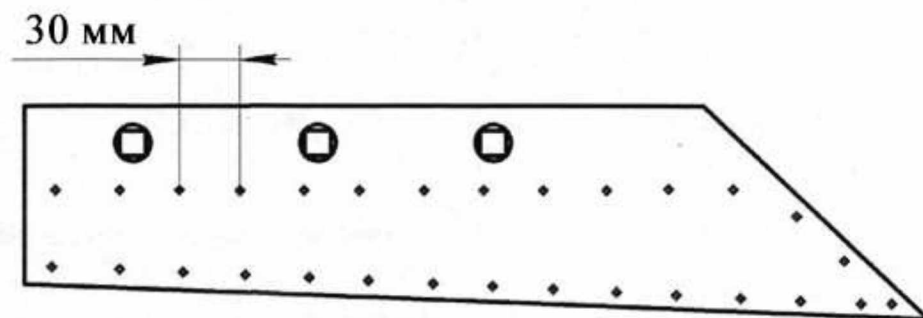


Рис. 2.4. Схема вимірювання твердості на поверхні

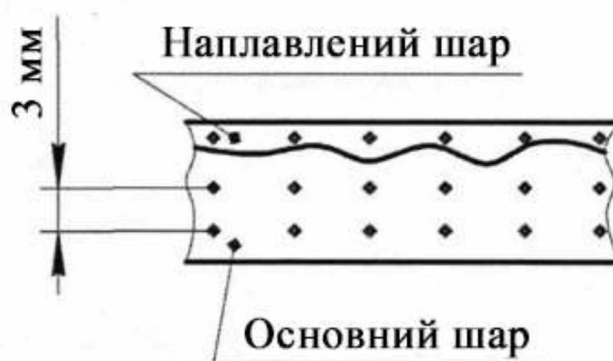


Рис. 2.5. Схема вимірювання твердості по глибині

#### 2.4. Методика експлуатаційних випробувань

Для оцінки експлуатаційних властивостей наплавлених лемешів були проведені їх польові випробування в господарствах східної зони Полтавської області. У дослідях порівнювалися шість видів лемешів. Серійні трапецеїдальні лемеші (№1) порівнювали з лемешами: леміш ПЛЖ-31702 (№2), леміш П-702 (№3), леміш наплавлений порошком на основі чавунної стружки (№4), леміш зміцнений ручним дуговим наплавленням порошком сормайт ( №5) і леміш фірмовий «VOGEL & NOOT» (№6) (рис 2.6).

Перед початком випробувань проводили первинну експертизу робочих органів на їх відповідність кресленням і технічним вимогам, для чого проводили 100%-й контроль лемешів за всіма розмірними параметрами, твердості матеріалу і геометрії заточення леза. Розміри робочих органів контролювали за параметрами, вказаними на рис. 2.7. Установка робочих органів на плуг проводилася за наступною схемою: серійний леміш на першій і третій стійці, а дослідний на другий і останній стійках.

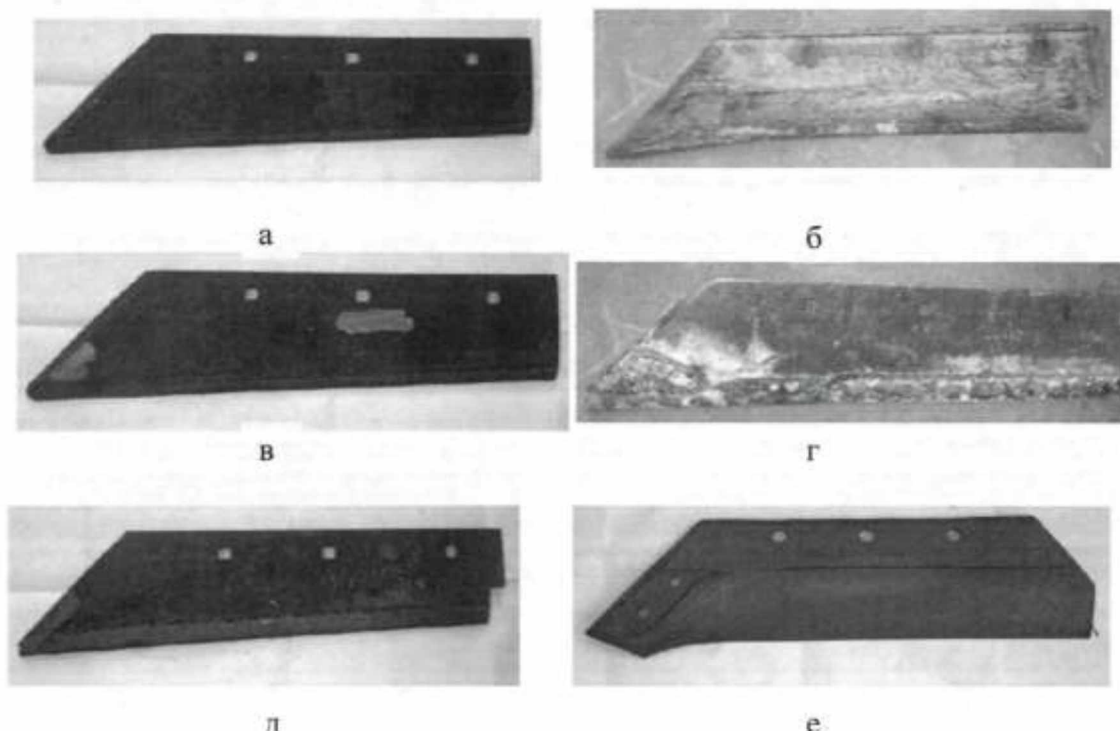


Рис. 2.6. Види лемешів, що пройшли випробування: а – серійний трапецеїдальний леміш; б – леміш ПЛЖ-31702; в – леміш П-702 наплавлений; г – леміш наплавлений порошком на основі чавунної стружки; д – леміш зміцнений ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт»; е – леміш фірмовий «VOGEL & NOOT»

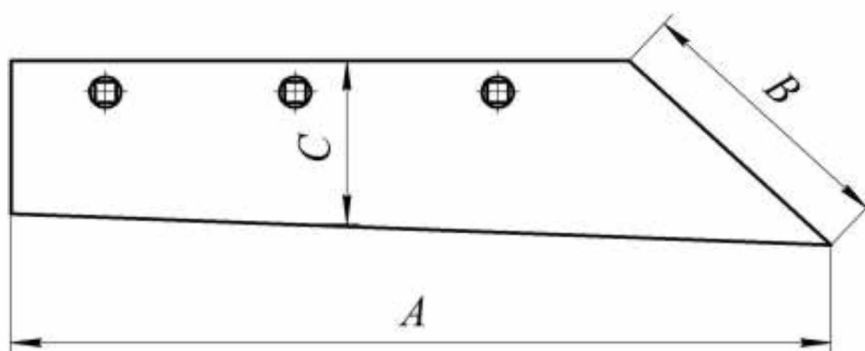


Рис. 2.7. Контрольовані параметри лемеша

При необхідності порівняння результатів випробувань серійних і дослідних робочих органів дана схема забезпечує достатню точність результатів випробувань, тому що навантаження на робочі органи плуга змінюється в бік зменшення від першого корпусу до останнього.

## **Висновки**

1. Прийнято програму експериментальних досліджень у відповідності з поставленими завданнями і для досягнення мети цієї роботи.

2. Для визначення параметрів технологічного процесу відновлення плужних лемешів та оцінки їх зносостійкості розроблена методика експериментальних досліджень з оцінкою їх довговічності.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Теоретичні передумови роботи плужного лемеша

Для розробки рекомендацій щодо вдосконалення технологічного процесу оранки за рахунок створення необхідних властивостей робочих поверхонь деталей машин скористаємося методикою, запропонованою А.Т. Лебедєвим [21]. Відповідно до цієї методики плуг для основного обробітку ґрунту представлений як самостійна складна технічна система, і для нього розроблена ієрархічна схема, зображена на рис. 3.1.

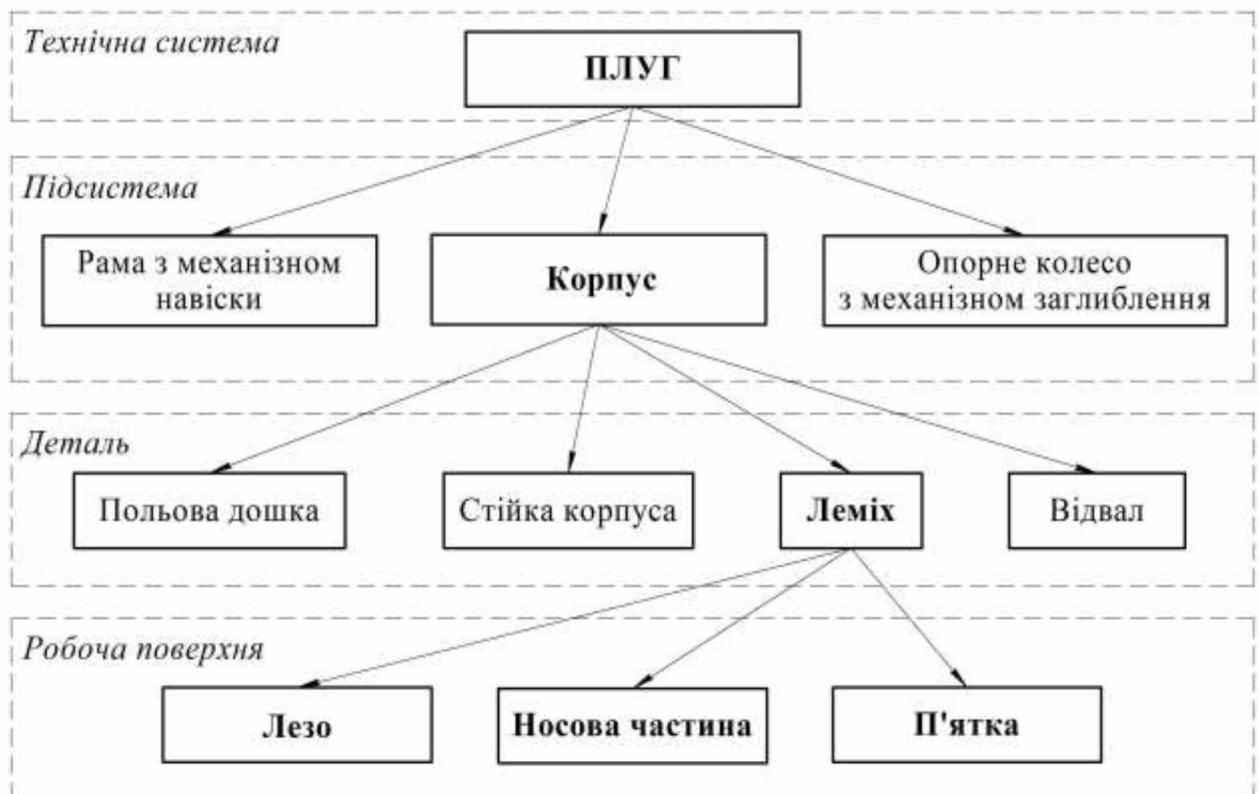


Рис. 3.1. Ієрархічна схема плуга

Відповідно до цієї схеми плуг складається з таких підсистем як, рама з механізмом навіски, корпус, опорне колесо з механізмом заглиблення, складовими частинами яких виступають вузли та деталі у вигляді польової дошки, стійки корпусу, лемешу та відвалу. Нижчими елементами ієрархічної схеми плуга є робочі поверхні цих деталей. Відповідно до загальної класифікації ключових процесів [21] дані робочі поверхні деталей плуга забезпечують поділ ґрунту і його транспортування, тому вони відносяться до робочих поверхонь, що контактують з матеріалом.

Основний тиск при взаємодії плуга з орним шаром доводиться на корпус плуга [22]. Експлуатація корпусу плуга здійснюється в умовах постійного абразивного і ударно-абразивного зношування. В процесі роботи 70-80% несправностей припадає на знос деталей корпусу, тому на ієрархічній схемі не розглянуті інші деталі підсистем. З основних деталей корпусу в процесі роботи швидше зношується леміш, тому що при взаємодії корпусу з орним шаром основний опір доводиться на них. Робочими поверхнями лемешу є (рис. 3.2): робоча поверхня леза, робоча поверхня носової частини і робоча поверхня п'яти. В процесі взаємодії лемешу з орним шаром його робочі поверхні зношуються неоднаково.

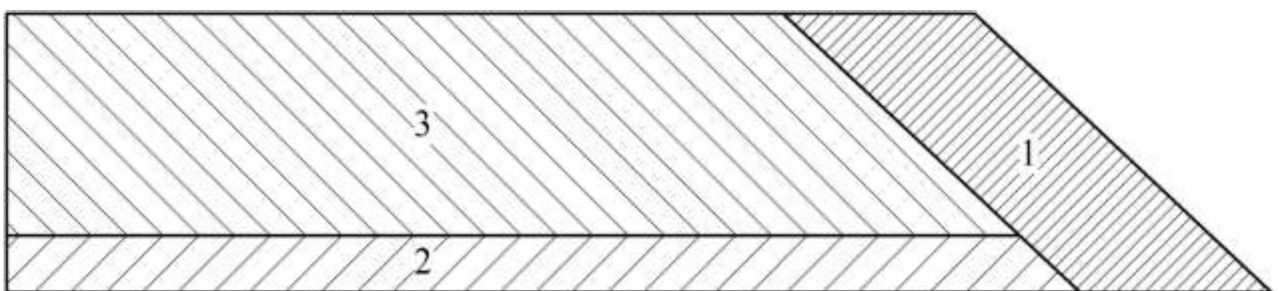


Рис. 3.2. Робочі поверхні лемеша: 1 – робоча поверхня носової частини; 2 – робоча поверхня леза; 3 – робоча поверхня п'яти

Тоді вище перераховані робочі поверхні деталей лемешів, які контактують з матеріалом, для забезпечення стабільності і надійності

реалізації технологічного процесу оранки повинні мати постійні геометричні параметри. Це і є цільове призначення робочих поверхонь деталей лемешів.

Робочі поверхні інших деталей корпусу також впливають на працездатність плуга, але не так значно. Після встановлення цільового призначення робочих поверхонь деталей лемешів, згідно узагальненої методики, необхідно встановити всі фактори, що впливають на оптимальну працездатність, і визначити функцію найвигіднішого рішення для підвищення ефективності технологічного процесу оранки. Для цього розглянемо більш детально роботу основних робочих поверхонь лемешів.

### 3.2. Теоретична модель підвищення ресурсу плужного лемешу

Для розробки способів підвищення ресурсу плужного лемешу розглянемо життєвий цикл існуючих серійних плужних лемешів. Зміна товщини різальної кромки до досягнення його граничного значення представимо графічно у вигляді кривої 1 (рис. 3.3).

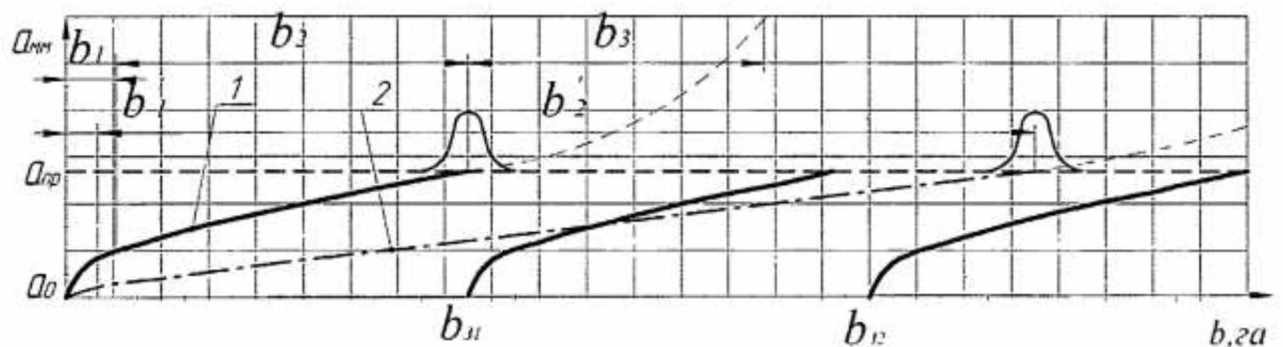


Рис. 3.3. Схема для серійного і пропонованого життєвого циклу плужних лемешів

У початковий період часу  $b_1$  відбувається приробіток робочих поверхонь, що характеризується інтенсивним зносом. Однак після цього періоду процес сповільнюється і починається нормальна робота з постійною інтенсивністю зношування у протягом часу  $b_2$  поки товщина різучої кромки

не перевищить гранично допустиме значення  $a_{np}$ . Період  $b_3$  характеризує роботу з затупленим лезом.

Досягнення цієї граничної величини можна розглядати як відмову лемешу тому що в цей період значно збільшується опір, а подальша експлуатація призводить до збільшення витрати палива, значного ущільнення плужної підшви і зниження надійності процесу оранки. Таким чином, період часу  $b_2$  можна розглядати як основний етап життєвого циклу плужного лемешу, після завершення якого необхідно його замінити. Тоді, приймаючи для робочої поверхні леза швидкість зношування постійною, ресурс серійного лемешу можна виразити наступною формулою:

$$b_{\text{л}} = b_1 + b_2 + b_3, \quad (3.1)$$

де  $b_1$  – період припрацювання серійного плужного лемеша;  $b_2$  – період нормальної роботи серійного плужного лемеша;  $b_3$  – період роботи з затупленим лезом серійного плужного лемеша.

Аналіз складових життєвого циклу лемешу показує, що визначальним періодом є період  $b_2$ . Тоді підвищення терміну служби лемешу можливо за рахунок збільшення цього періоду і виключення з життєвого циклу періоду  $b_3$ . В цьому випадку ресурс пропонованого плужного лемешу можна представити в наступному вигляді:

$$b'_{\text{лл}} = b'_1 + b'_2, \quad (3.2)$$

де  $b'_1$  – період припрацювання пропонованого лемеша;  $b'_2$  – період нормальної роботи пропонованого лемеша.

Ідеальним варіантом підвищення ефективності роботи пропонованого лемешу можна вважати збільшення одного нормального періоду експлуатації до терміну служби трьох серійних лемешів. Такий розвиток процесу стану робочих поверхонь лемешу описується кривою 2 на рис. 3.3.

Як було показано вище, термін служби серійного лемешу визначається середньою швидкістю зношування робочої поверхні леза. Тоді для реалізації запропонованого способу підвищення ефективності роботи пропонованого

лемешу необхідно забезпечити швидкість зношування робочих поверхонь лемешу в 3 рази менше, ніж у серійного лемешу.

Проаналізувавши раніше проведені дослідження [5, 6, 10-13] можна представити швидкість зношування робочих поверхонь лемешів в функції чотирьох узагальнених комплексів наступним виразом:

$$\gamma = f(A, B, C, D). \quad (3.3)$$

Швидкість зношування визначається комплексами конструктивних і технологічних параметрів робочого органу (А), фізико-механічних властивостей середовища (Б), фізико-механічних властивостей матеріалу і зміцненого шару (С) і умовами навантаження (Д).

### **3.3 Теоретичне обґрунтування тягового опору, пов'язаного з характером зміни геометричних параметрів плужного лемеша**

Продуктивність МТА залежить від багатьох чинників і умов, і в першу чергу від енергоємності процесу. Головним же показником енергоємності процесу є тяговий опір агрегатованої сільськогосподарської машини або знаряддя [18].

Як було сказано вище, основний опір в процесі оранки доводиться на плужний леміш, а саме на робочу поверхню носової частини і леза. В процесі роботи відповідно до моделей ресурсу (рис. 2.3) леміш зношується з тією чи іншою швидкістю, а його леза щоразу. Загальний опір, який долається клином, можна поділити на чотири види: опір ґрунту впровадження леза, опір ґрунту деформації, подолання сили тяжіння і сили інерції пласта (рис. 3.4).

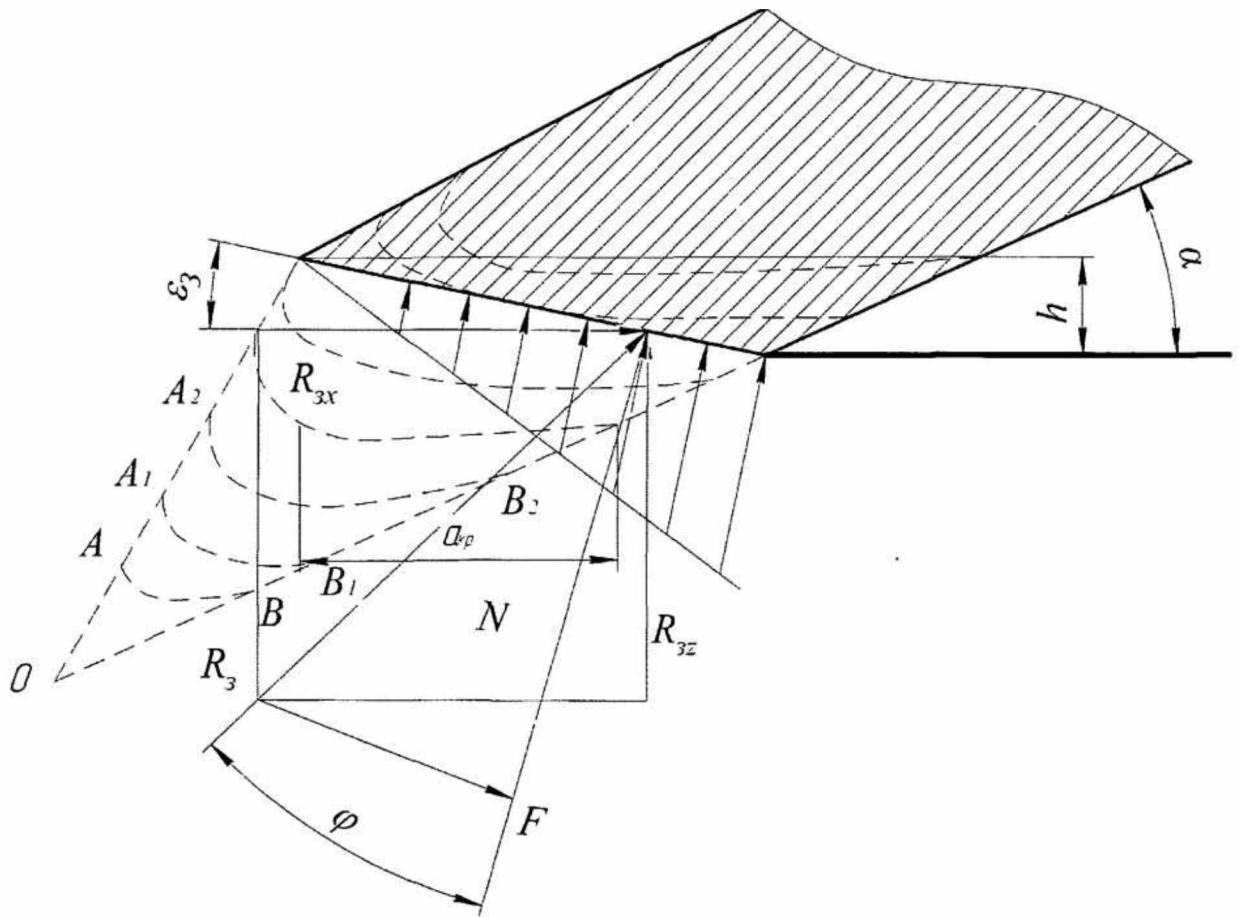


Рис. 3.4. Схема сил, що діють на двогранний клин

Загальна сила тяги двогранного клина, що рухається поступально з постійною швидкістю по ідеальним напрямних, буде дорівнювати:

$$R_X = R_{3X} + R_{КX} + G_X + F_X. \quad (3.4)$$

При наявності потиличної фаски на лезі маємо наступні залежності для складових сили  $R_3$ :

$$R_{3X} = 0,5qh^2x(\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon_3 + 1); \quad (3.5)$$

$$R_{3Z} = 0,5qh^2x(\operatorname{ctg}\varepsilon_3 - \operatorname{tg}\varphi), \quad (3.6)$$

де  $q$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м;  $h$  – висота потиличної фаски, м;  $x$  – довжина леза, м;  $\varepsilon_3$  – кут нахилу потиличної фаски до дну борозни.

Сила тяжіння пласта, що сприймається клином, може бути визначена по залежності:

$$G_X = h_6xy\rho\operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (3.7)$$

де  $h_g$  – глибина ходу, м;  $y$  – ширина клину, м;  $\rho$  – об’ємна вага ґрунту, кгс/м.

Динамічну складову сили опору можна розглядати як сумарну силу зіткнення часток ґрунту об площину клина, тоді її величину знаходимо за теоремою зміни кількості руху:

$$F_x = \frac{h_g x \rho}{g} v^2 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (3.8)$$

де  $v$  – швидкість руху агрегату, м/с.

Сила  $F_x$ , прикладена до робочої поверхні клина і врівноважується реакцією сили  $R_F$ , відхиленої на кут  $\varphi$  від нормалі до поверхні клина і підпору  $Q$  ґрунту, що знаходиться перед клином. Горизонтальна складова опору деформації пропорційна поперечному перерізу пласта.

$$R_{кх} = k_c x h_g, \quad (3.9)$$

де  $k_c$  – коефіцієнт, що враховує властивості ґрунту, а також геометрію клину, Н/м<sup>2</sup>.

Підставивши значення складових, отримаємо залежність сили тяги клина в розгорнутому вигляді:

$$R_x = 0,5qh^2x(\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon_3 + 1) + k_c h_g x + h_g x y \rho \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \frac{h_g x \rho}{g} v^2 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (3.10)$$

З рівняння 3.10 випливає, що на величину сили  $R_{3x}$ , яка прагне виштовхнути клин з ґрунту, найбільший вплив робить висота потиличної фаски  $h$  [22].

На нашу думку, найбільший вплив надає не висота  $h_{зам}$ , а ширина потиличної фаски  $a_{зам}$ .

$$S_{зам} = a_{зам} \cdot x, \quad (3.11)$$

де  $a_{зам}$  – ширина потиличної фаски.

Виконуючи заміну і перетворення в рівнянні (3.10), силу тяги двогранного клина можна представити залежністю:

$$R_x = 0,5qhS_{зам}(\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon_3 + 1) + k_c h_g x + h_g x y \rho \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + \frac{h_g x \rho}{g} v^2 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi). \quad (3.12)$$

В ході взаємодії плужного лемеша з ґрунтом відбувається знос ріжучої кромки. Початковий стан леза лемеша характеризується точкою  $O$  (рис. 3.4). Під час роботи відбувається знос ріжучої кромки з інтенсивністю  $\gamma$ , який призводить до зміни форми лемеша по лініях  $AB, A_1B_1 \dots A_nB_n$  і появи потиличної фаски. Перед лемешем утворюється ущільнене ядро, яке рухається перед лезом. Спочатку діаметр ущільненого ядра близький до ширини леза (рис. 3.5), потім воно збільшується. У процесі руху лемеша ущільнене ядро сходить з кромки і переміщається вниз або вгору щодо ріжучої кромки леза або руйнується під дією сил тертя і нормального тиску.

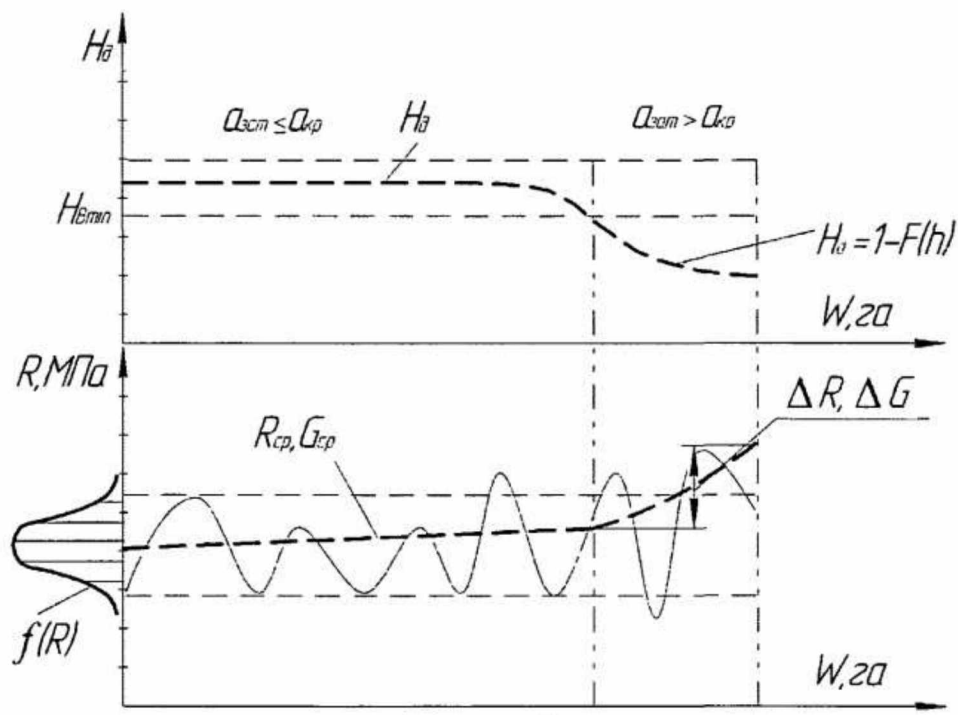


Рис. 3.5. Схема роботи лемеша

Характерною особливістю різання з утворенням ущільненого ядра є те, що, розташовуючись попереду ріжучої кромки, ущільнене ядро саме розсовує ґрунт і тим самим збільшує опір різання, так як коефіцієнт тертя ґрунт по ґрунту практично в два рази більший, ніж ґрунту по сталевій поверхні (0,8 ... 1,2 проти 0,4 ... 0,6 [23]). Цим можна пояснити зростання

тягового опору при роботі затупленим лемешем і нерівномірність ходу по глибині.

Ширина потиличної фаски впливає на всі складові загального опору і якість обробки. На нашу думку існує критичне значення потиличної фаски  $a_{кр}$ , при досягненні якого подальша експлуатація призводить до збільшення тягового опору, витрати палива і зниження якості оранки (рис. 3.5). Тоді умовно роботу лемешу можна розділити на два етапи. На першому етапі, коли  $a_{зам} \leq a_{кр}$  робота характеризується нормальним показником надійності процесу оранки  $H_\delta$ , усередненим показником тягового опору  $R_{cp}$ , середньою витратою палива  $G_{cp}$  для даного типу ґрунтів і складу агрегату. Показник надійності  $H_\delta$  по співвідношенню фактичної глибини обробки  $h_\phi$  до заданої  $h_3$  визначається виразом:

$$H_\delta = \frac{h_\phi}{h_3}. \quad (3.13)$$

Експлуатація лемешів після досягнення критичного стану, коли  $a_{зам} > a_{кр}$ , характеризується підвищенням тягового опору  $\Delta R$ , пов'язаного зі збільшенням ширини потиличної фаски, додатковою витратою палива, пов'язаних зі збільшенням нерівномірності ходу лемеша по глибині.

Робота лемешів на другому етапі призводить до зниження надійності процесу оранки, яке визначається виразом:

$$H_\delta = 1 - F(h_g), \quad (3.14)$$

де  $F(h_g)$  – інтегральна функція розподілу глибин оранки.

Визначення величини потиличної фаски і її вплив на інші складові тягового опору має складний характер, і його важко описати теоретично, тому необхідно визначити його за допомогою експериментів. Тоді ресурс лемеша до досягнення граничного стану за величиною потиличної фаски можна визначити за виразом:

$$b_{л} = \frac{a_{кр} - a_0}{\gamma}. \quad (3.15)$$

В результаті роботи лемеша з потиличною фаскою збільшується нерівномірність ходу по глибині і тяговий опір. При збільшенні глибини обробки на 1 см опір в середньому збільшується на 5 ... 12% [24]. Зростання потиличної фаски призводить до збільшення зони деформації (рис. 3.6). Збільшення зони деформації прямо пропорційно зростанню площі потиличної фаски.

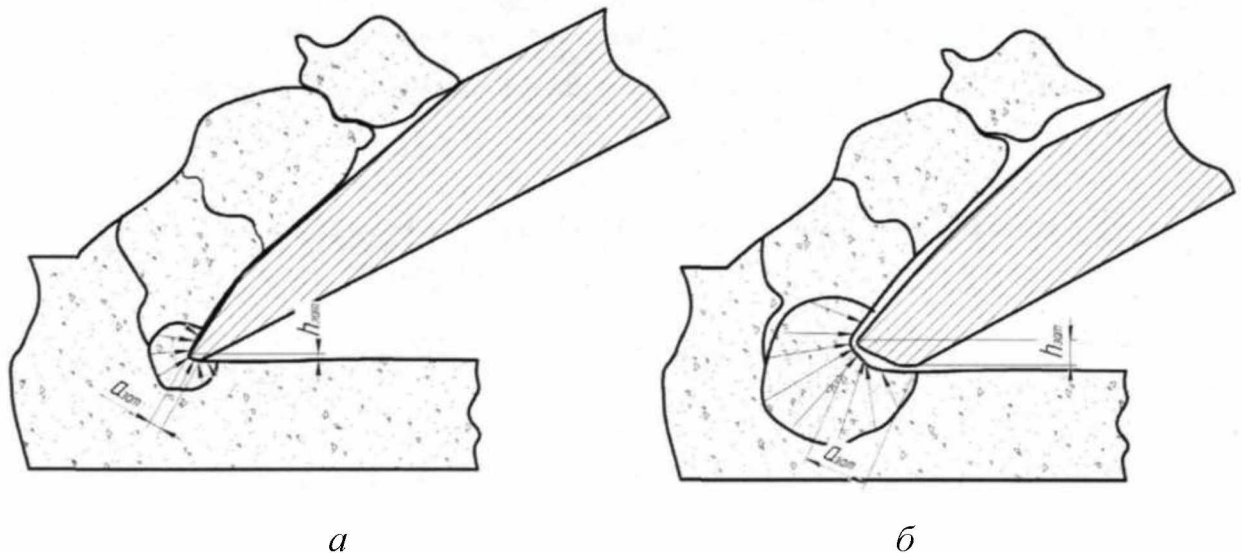


Рис. 3.6. Гіпотетична схема впливу леза лемеша на ґрунт: *a* – гостре лезо; *б* – затуплене з потиличною фаскою

Затуплення ріжучої кромки плужних лемешів – неминучий процес, що супроводжує експлуатацію ґрунтообробних машин. Тому необхідно встановити граничне значення потиличної фаски. Граничне значення потиличної фаски можна контролювати за допомогою шаблону.

### 3.4 Результати дослідження мікроструктури наплавлених шарів з різним вмістом легуючих елементів

Для оцінки властивостей нанесених покриттів були проведені дослідження мікроструктури наплавлених шарів.

Мікроструктура наплавленого шару з борованої стружки білого чавуну на поверхні є типово евтектичною (рис. 3.7).

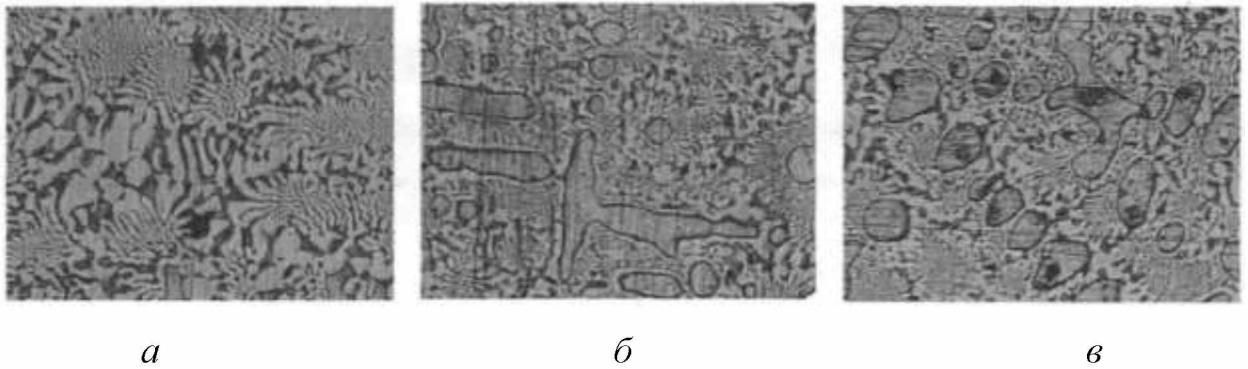


Рис. 3.7. Мікроструктура наплавленого шару з чавунної стружки, легована бором: *а* – вміст бору 1,5% маси; *б* – вміст бору 2,5% маси; *в* – вміст бору 3,5% маси (збільшення  $\times 500$ )

У міру наближення до підкладки збільшується кількість дендритів мартенситу (з незначною кількістю залишкового аустеніту). При утриманні бору в порошок до 3,5% мас заевтектичних структур після наплавлення не утворюється. Відомо, що в системі Fe-C-B вміст бору, відповідно евтектиці, так само 2,9% маси [19]. Високий ступінь легування чавуну хромом мабуть зрушує евтектичне значення вмісту бору в системі Fe-C-B-Cr в бік збільшення концентрації бору. Вміст бору 3,5% маси в чавуні такого складу недостатньо для утворення надлишкових боридів. Легування сплаву марганцем (рис. 3.8) призводить до значної аустенізації структури наплавленого шару.

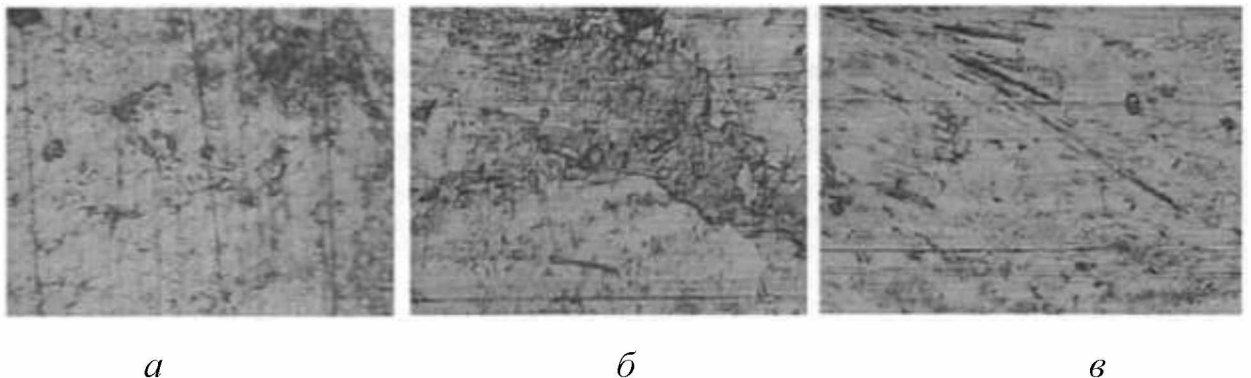


Рис. 3.8. Мікроструктура наплавленого шару з чавунної стружки, легована марганцем: *а* – вміст марганцю 2% маси; *б* – вміст марганцю 4% маси; *в* – вміст марганцю 6% маси (збільшення  $\times 500$ )

Не досягнута характерних для мартенситу значень мікротвердість матричної фази свідчить про переважно аустенитну складову. Утворена ледебуритна евтектика також не відрізняється високою мікротвердістю, що підтверджує неповне протікання мартенситного перетворення. Утворені в незначних кількостях вторинні карбіди не роблять значного впливу на твердість сплаву. Ймовірно, карбідоутворююча дія марганцю не проявляється через те, що практично весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді карбідів евтектики.

Комплексне легування сплаву бором і марганцем (рис. 3.9) призводить до отримання заевтектичних структур. Більш висока швидкість охолодження розплаву призводить до дещо іншої орієнтації карбідних включень (і фаз на їх основі) в поверхневих шарах. Надлишкові фази на карбідній основі (з певним змістом бору) в середині шару відрізняються відносно великими розмірами (до 30 ... 50 мкм). Проте укрупнення структурних складових навряд чи матиме значний вплив на зносостійкість сплаву, так як процес зношування наплавлених шарів не характеризується інтенсивними ударними навантаженнями, при яких великі карбіди розтріскуються і викришуються.

*a**б**в*

Рис. 3.9. Мікроструктура наплавленого шару з чавунної стружки, легована бором і марганцем: *a* – вміст бору 1,5% маси, марганцю 6,0% маси; *б* – вміст бору 2,5% маси, марганцю 4% маси; *в* – вміст бору 3,5% маси, марганцю 2% маси (збільшення x500)

Висока мікротвердість евтектики свідчить про значну повноту мартенситного перетворення і малу кількість залишкового аустеніту. Підвищення мікротвердості матричної фази понад звичайної пояснюється також і вмістом в евтектиці бору. Можлива присутність бору в фазах карбідного типу  $(Fe, Cr) 7C3$  і  $(Fe, Cr) 23C6$  істотно не впливає на рівень їх мікротвердості внаслідок незначної концентрації.

### 3.5 Результати дослідження твердості наплавлених шарів з різним вмістом легуючих елементів

Для дослідження твердості зміцнених плужних лемешів з різним вмістом легуючих елементів використовували прилад HBRV-187,5. Вимірювання твердості проводилося за методом Роквелла (ГОСТ 9013-59). Результати вимірювань твердості наплавлених шарів різним вмістом легуючих елементів представлені на рис. 3.10 і 3.11.

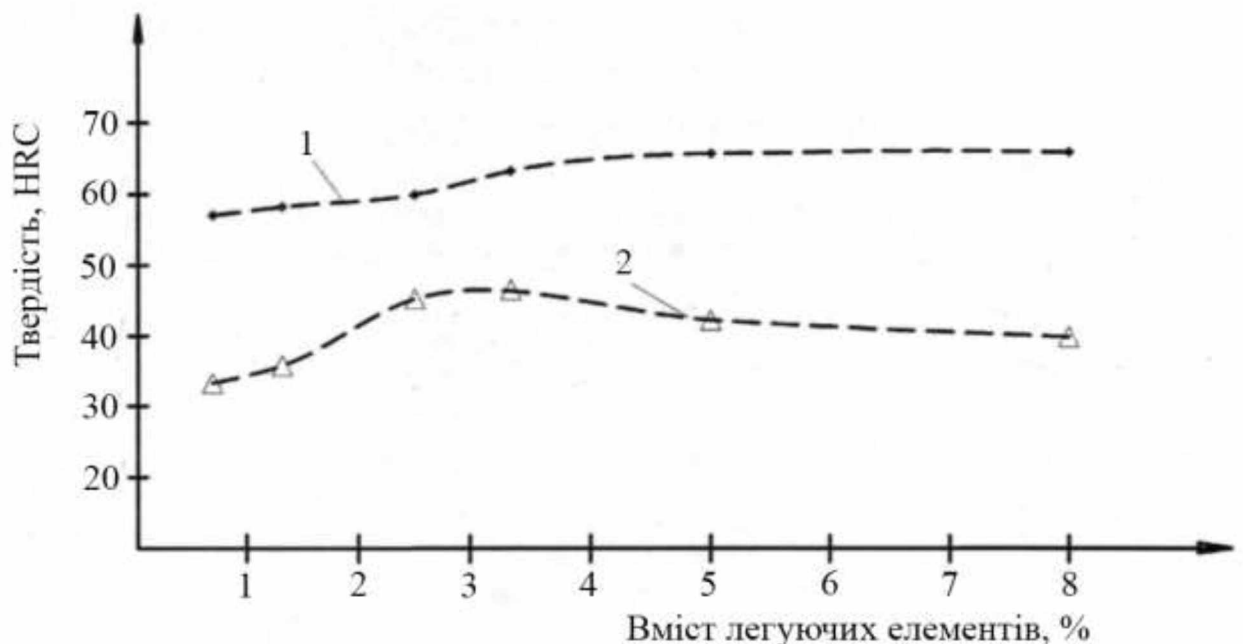


Рис. 3.10 Твердість наплавлених шарів з вмістом: 1 – B без Mn; 2 – Mn без B

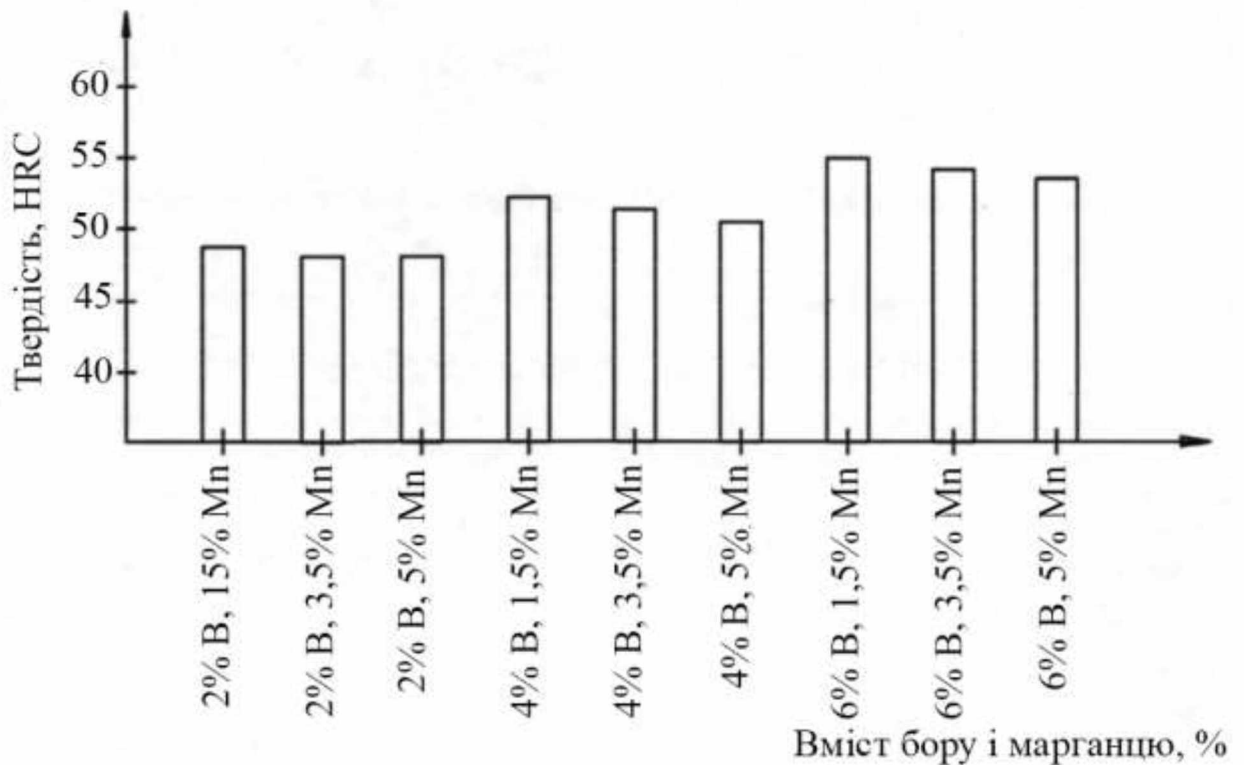


Рис. 3.11 Твердість наплавлених шарів з вмістом В і Mn

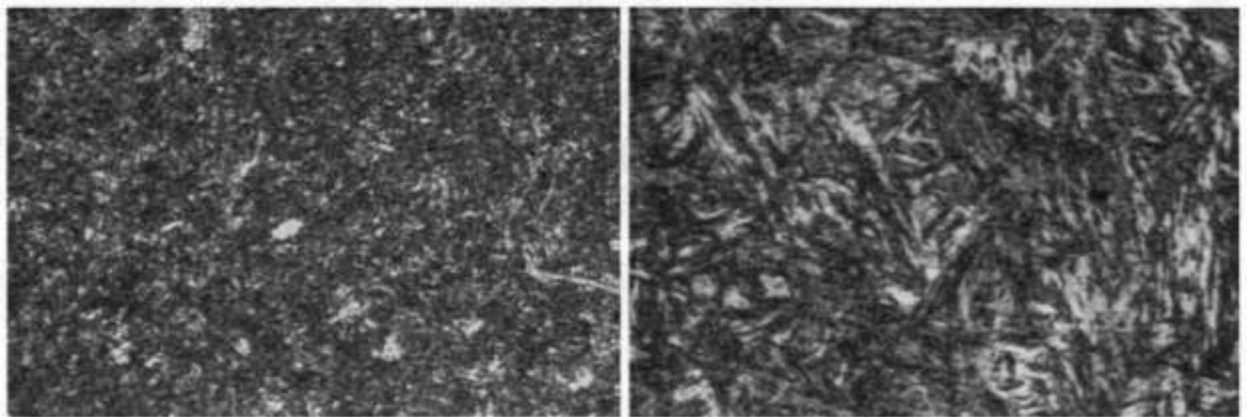
З графіка видно, що збільшення вмісту бору в чавунній стружці призводить до підвищення твердості шарів – це традиційний вплив бору [18]. Збільшення вмісту бору в чавунній стружці до 4% призводить до збільшення твердості до 65 HRC, подальше збільшення вмісту бору від 4% до 8% призводить до незначного збільшення твердості. Легування порошку бором від 4 - 8% економічно не виправдовує витрати, тому що вартість порошку збільшується, а збільшення твердості незначне.

Легування наплавочного порошку марганцем до 3% призводить до збільшення твердості на 31%. Подальше легування наплавочного порошку марганцем від 3% призводить до зниження твердості покриттів через аустенізацію структури матеріалу. Збільшення вмісту марганцю для сплаву на основі відходів чавуну призводить до підвищення пластичності, що позитивно позначається на масовому зносі.

Отримані дані свідчать про те, що зі збільшенням вмісту бору з 2 до 6% в наплавленому шарі з вмістом В і Mn його твердість збільшується.

### 3.6 Результати дослідження мікроструктури плужних лемешів виготовлених серійно і зміцнених різними способами

Дослідження мікроструктури покриттів зразків проводили інвертованим металографічним мікроскопом. Дослідженням піддавалися поверхні покриттів і поперечні шліфи зразків при збільшенні від 25 до 1000 разів. Дослідження мікроструктури серійного трапецеїдального лемешу (рис. 3.12, а) показали, що основний матеріал являє собою ферит плюс перліт що, відповідає Сталі 45 в початковому стані. Мікроструктура основного матеріалу лемеша П702 наплавленого (рис. 3.14 а), лемеша, зміцненого ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт» (рис. 3.16 а) і лемеші наплавлені порошком на основі чавунної стружки (рис. 3.15, а), аналогічна структурі, так як основою для всіх лемешів є Сталь 45. Дослідження мікроструктури лемешу фірми «VOGEL & NOOT» (рис. 3.12, б) показали, що матеріал основи має заевтектичну структуру з карбідними включеннями.



*а*

*б*

Рис. 3.12. Мікроструктура: *а* – серійного трапецеїдального лемеша; *б* – лемеші фірми «VOGEL & NOOT» (збільшення x500)

Дослідження мікроструктури лемешу ПЛЖ-31702 (рис. 3.13, а) показали, що основний матеріал являє собою ферит плюс сорбованих перліт, що відповідає сталі Л53 в початковому стані.

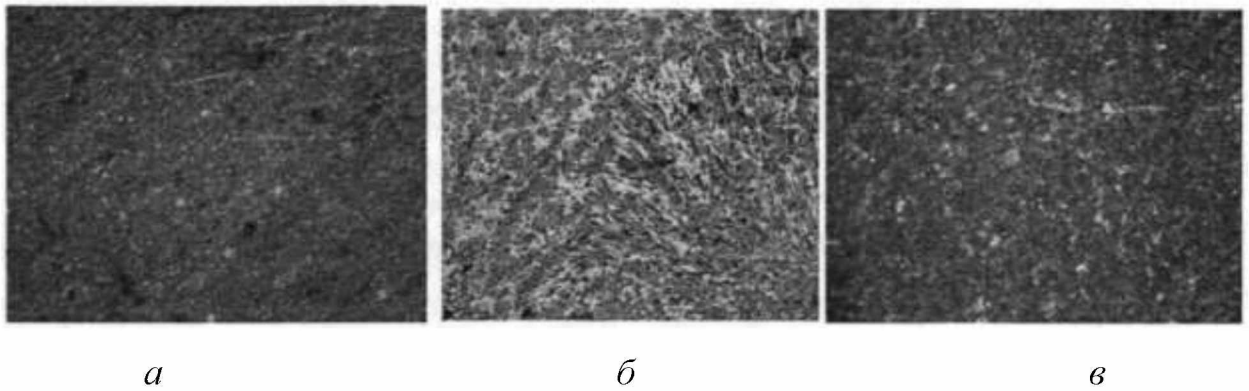


Рис. 3.13. Мікроструктура лемеша ПЛЖ-31702: *a* – основний матеріал, збільшення  $\times 100$ ; *b* – перехід збільшення,  $\times 500$ ; *в* – наплавлений шар, збільшення  $\times 500$

Мікроструктура наплавленого шару лемешу ПЛЖ-31702 (рис. 3.13, б) являє собою ледебурит з наявністю цементитної складової і невеликої кількості включень карбіду хрому.

Дослідження мікроструктури лемешу П-702 наплавленого (рис. 3.14, в) показали, що наплавлений шар являє собою ледебурит з наявністю цементитної складової і невеликої кількості включень карбіду хрому. Розподіл компонентів наплавленого шару досить рівномірний. Товщина наплавленого шару склала в середньому 3 мм. Тріщини і пори в структурі наплавленого матеріалу і в перехідній зоні незначні.

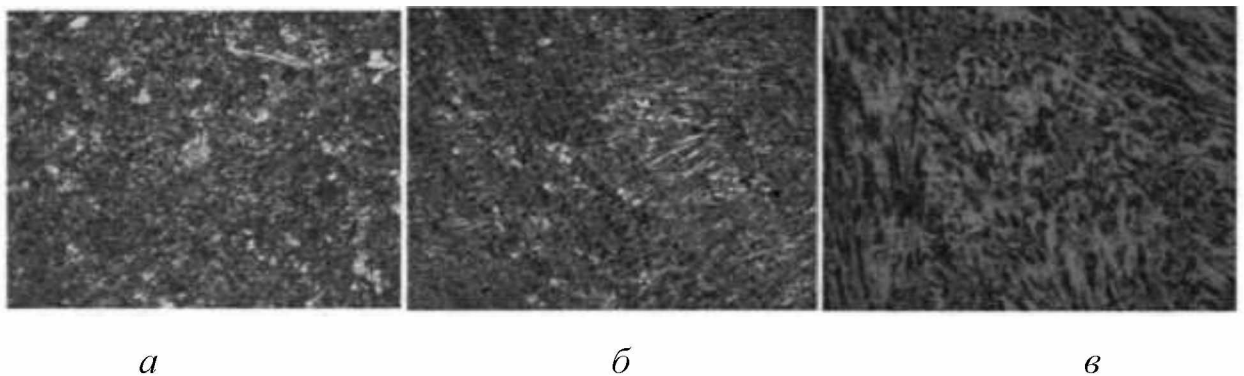


Рис. 3.14. Мікроструктура лемешу наплавленого: *a* – основний матеріал; *b* – перехід; *в* – наплавлений шар (збільшення  $\times 500$ )

Дослідження мікроструктури лемешу П-702 наплавленого порошком на основі чавунної стружки (рис. 3.15, в), показали, що наплавлений шар має

заевтектичну структуру з карбідними включеннями. Розподіл компонентів наплавленого шару досить рівномірний. Товщина наплавленого шару склала в середньому 3 мм. Тріщини і пори в структурі наплавленого матеріалу і в перехідній зоні незначні.

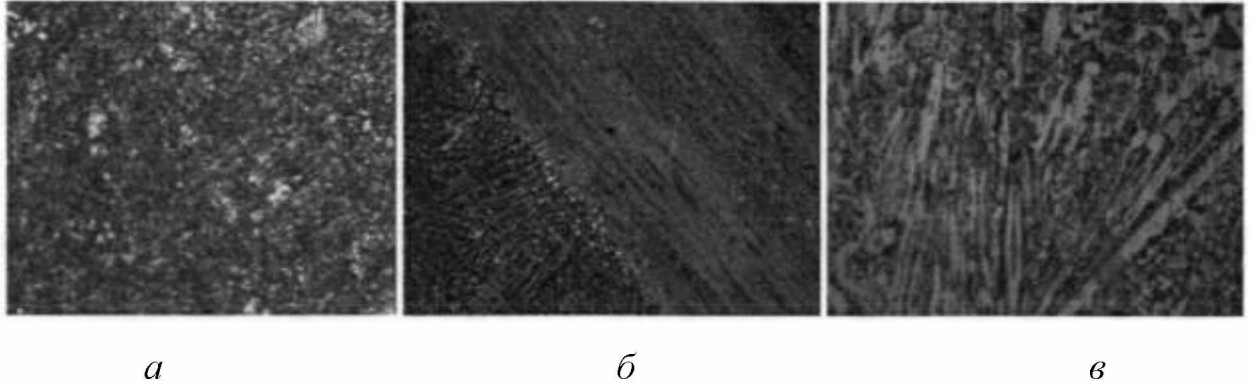


Рис. 3.15. Мікроструктура лемешу наплавленого порошком на основі чавунної стружки: *a* – основний матеріал, (збільшення  $\times 500$ ); *б* – перехід, (збільшення  $\times 100$ ); *в* – наплавлений шар, (збільшення  $\times 1000$ )

Дослідження мікроструктури лемешу зміцненого ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт» (рис. 3.16, в), показали, що наплавлений шар має евтектичну структуру з великою кількістю включень карбіду хрому.

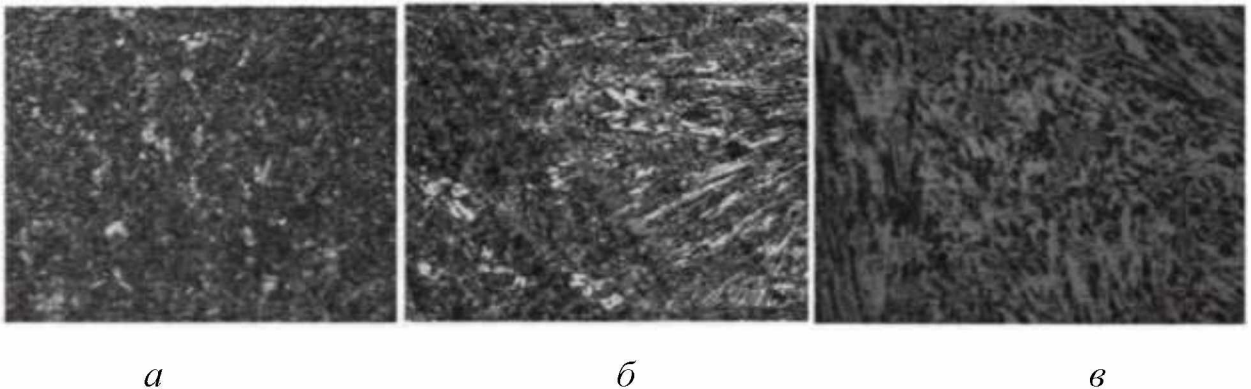


Рис. 3.16. Мікроструктура лемешу зміцненого ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт»: *a* – основний матеріал; *б* – перехід; *в* – наплавлений шар (збільшення  $\times 500$ )

Дослідження мікроструктури основного матеріалу і наплавлених покриттів зразків дозволили визначити, що тріщини і пори в структурі наплавленого матеріалу і в перехідній зоні незначні. Розподіл компонентів наплавлених шарів досить рівномірний.

### 3.7. Результати дослідження твердості плужних лемешів виготовлених серійно і зміцнених різними способами

Дослідження твердості зміцнених плужних лемешів різними способами проводили на приладі HBRV-187,5. Вимірювання твердості проводилося за методом Роквелла (ГОСТ 9013-59) за схемою, показаної на рис. 2.4.

Для вивчення твердості були обрані ті ж шість видів лемешів, на яких були проведені дослідження мікроструктури. Серійний трапецеїдальний леміш, леміш ПЛЖ31702 (№ 2), леміш наплавлений (№ 3), леміш наплавлений порошком на основі чавунної стружки (№ 4), леміш зміцнений ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт» (№ 5) і леміш фірмовий «VOGEL & NOOT» ( № 6). Результати дослідження твердості представлені на графіках 3.17-3.22. Аналіз досліджень, показав, що одним з параметрів, що впливають на зносостійкість леза, є його твердість. Тому коливання її значень буде впливати на рівномірність його швидкості зношування.

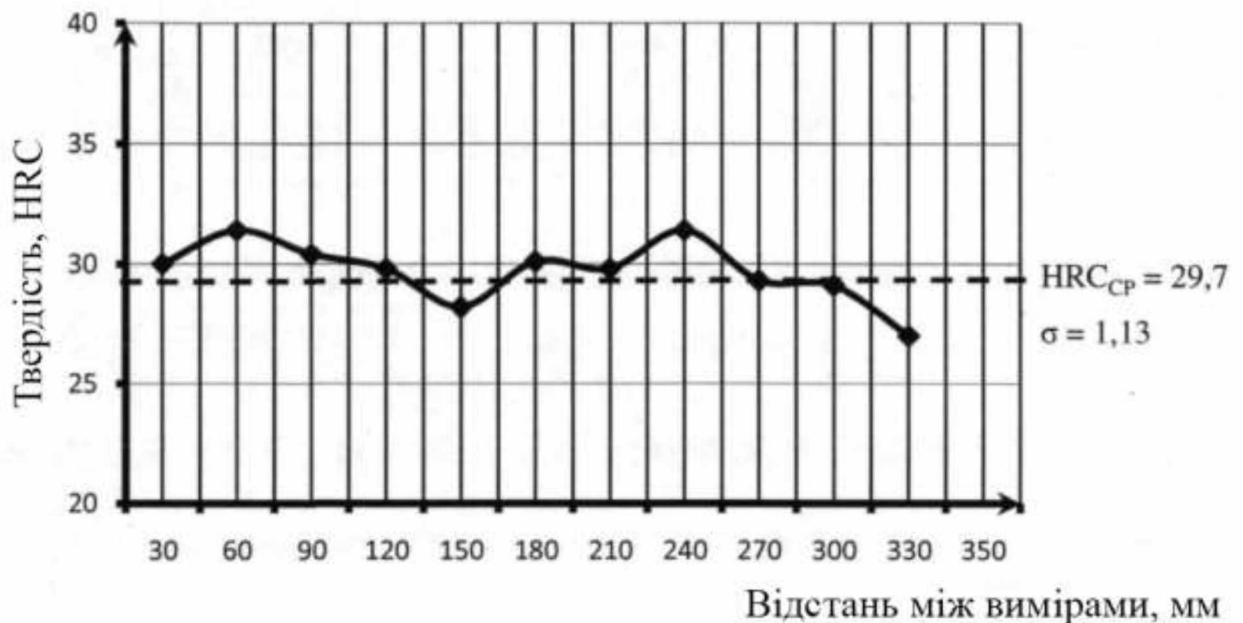


Рис. 3.17. Розподіл твердості основного матеріалу серійного трапецеїдального лемеша

На графіку 3.17 видно, що максимальне значення твердості склало 31,4 HRC, а мінімальне – 27 HRC при середньому значенні твердості 29,7 HRC.

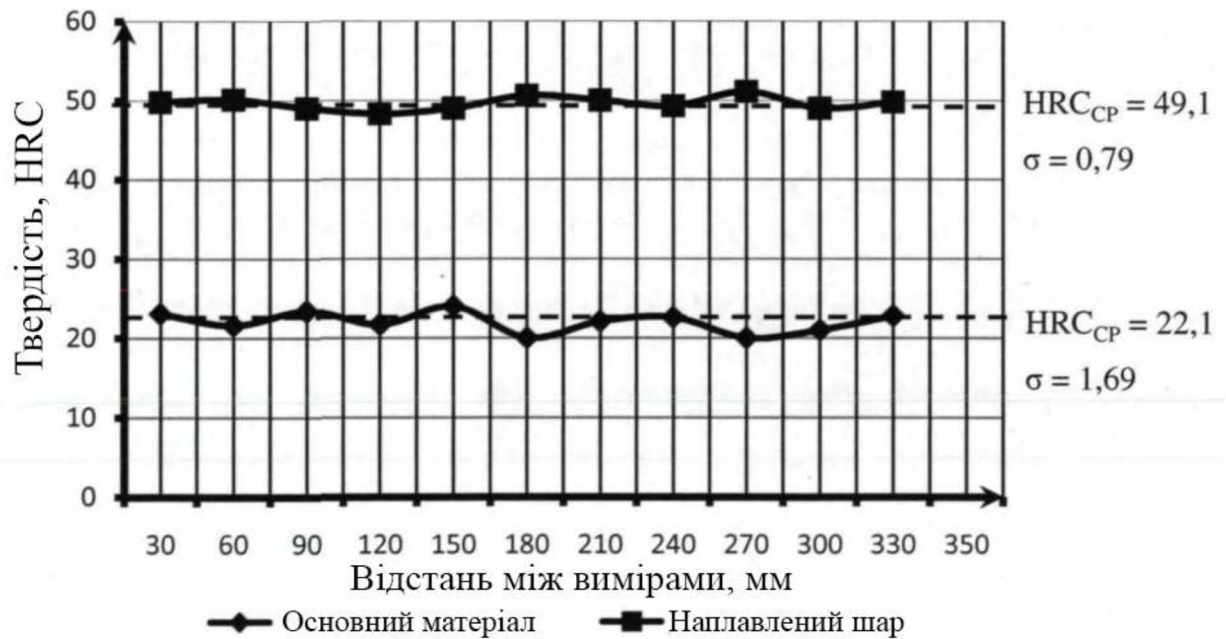


Рис. 3.18. Розподіл твердості основного матеріалу і наплавленого шару лемеша ПЛЖ-31702

Аналіз графіка показав, що максимальне значення твердості основного матеріалу складо 24 HRC, а мінімальне – 20 HRC при середньому значенні твердості 22,1 HRC. Максимальне значення твердості наплавленого матеріалу складо 51,1 HRC, а мінімальне 48,3 HRC при середньому значенні твердості 49,1 HRC.



Рис. 3.19. Розподіл твердості основного матеріалу і наплавленого шару лемеша

З графіка видно, що максимальне значення твердості основного матеріалу склало 31,4 HRC, а мінімальне – 26 HRC при середньому значенні твердості 29,4 HRC. Максимальне значення твердості наплавленого матеріалу склало 57,1 HRC, а мінімальне – 54 HRC при середньому значенні твердості 55,6 HRC.

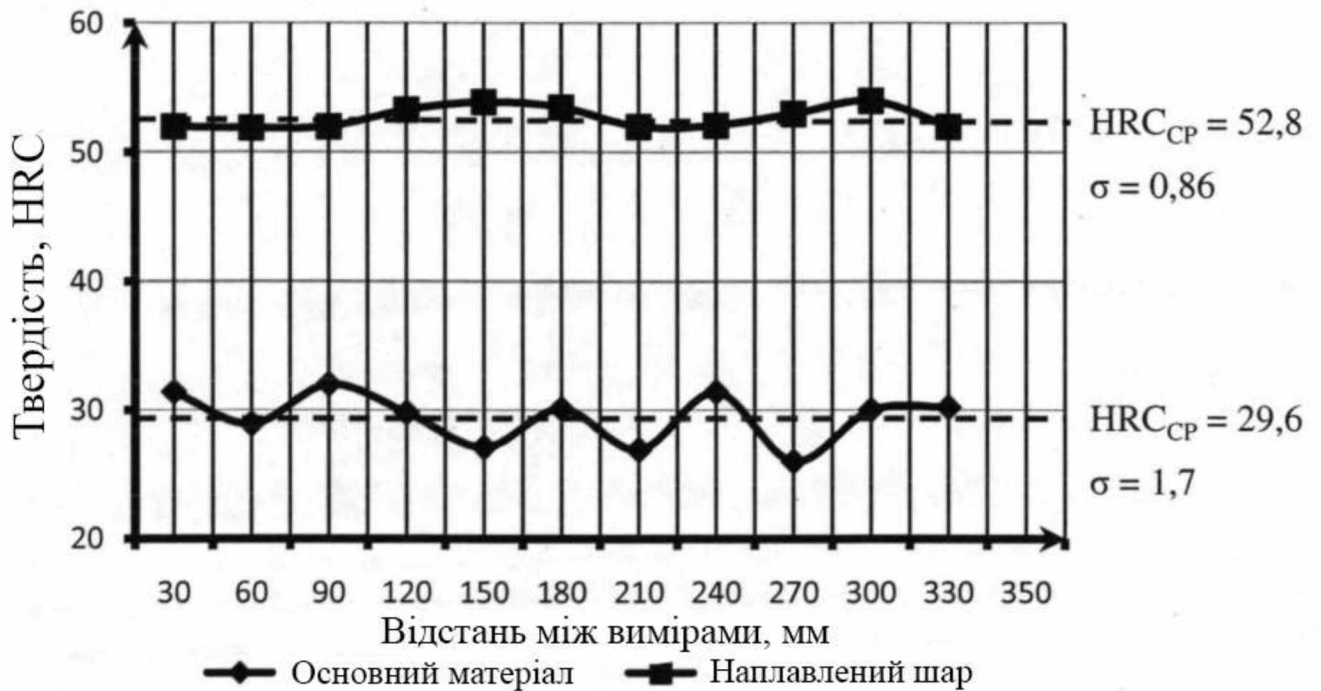


Рис. 3.20. Розподіл твердості основного матеріалу і наплавленого шару лемеша наплавленого порошком на основі чавунної стружки

З графіка видно, що максимальне значення твердості основного матеріалу склало 32 HRC, а мінімальне – 26,1 HRC при середньому значенні твердості 29,6 HRC. Максимальне значення твердості наплавленого матеріалу склало 54,1 HRC, а мінімальне – 52 HRC при середньому значенні твердості 52,8 HRC.

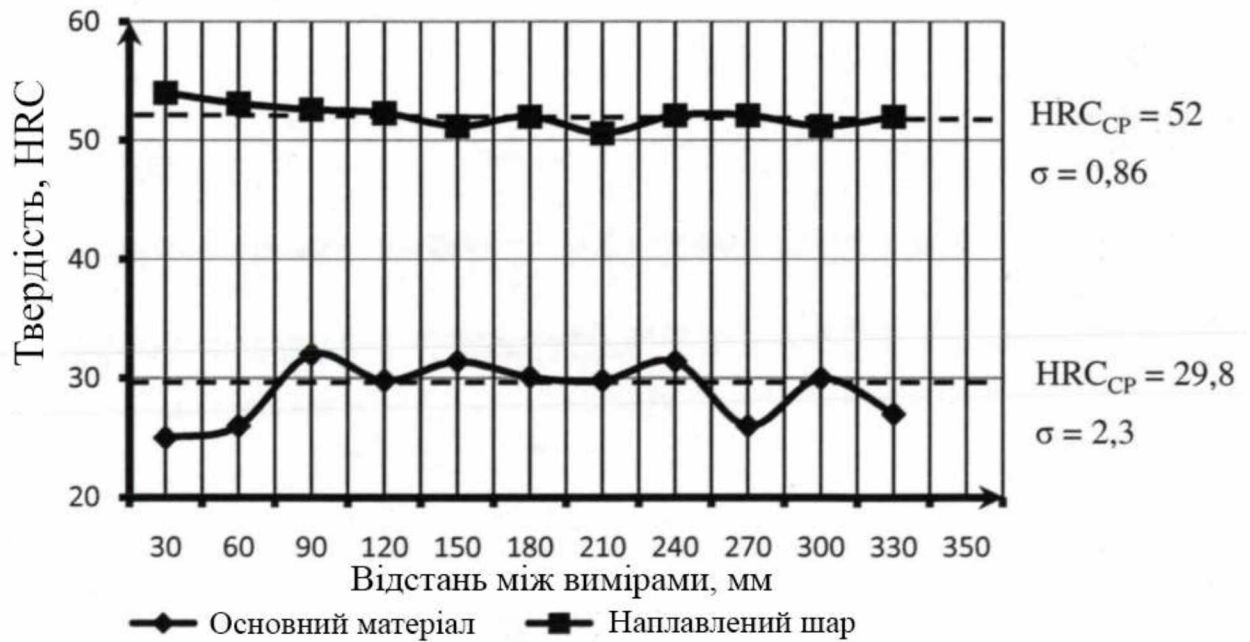


Рис. 3.21. Розподіл твердості основного матеріалу і наплавленого шару лемеша зміцненого ручним дуговим наплавленням порошком «Сормайт»

З графіка видно, що максимальне значення твердості основного матеріалу склало 32 HRC, а мінімальне – 25,2 HRC при середньому значенні твердості 29,8 HRC. Максимальне значення твердості наплавленого матеріалу склало 54 HRC, а мінімальне – 50,6 HRC при середньому значенні твердості 52 HRC.

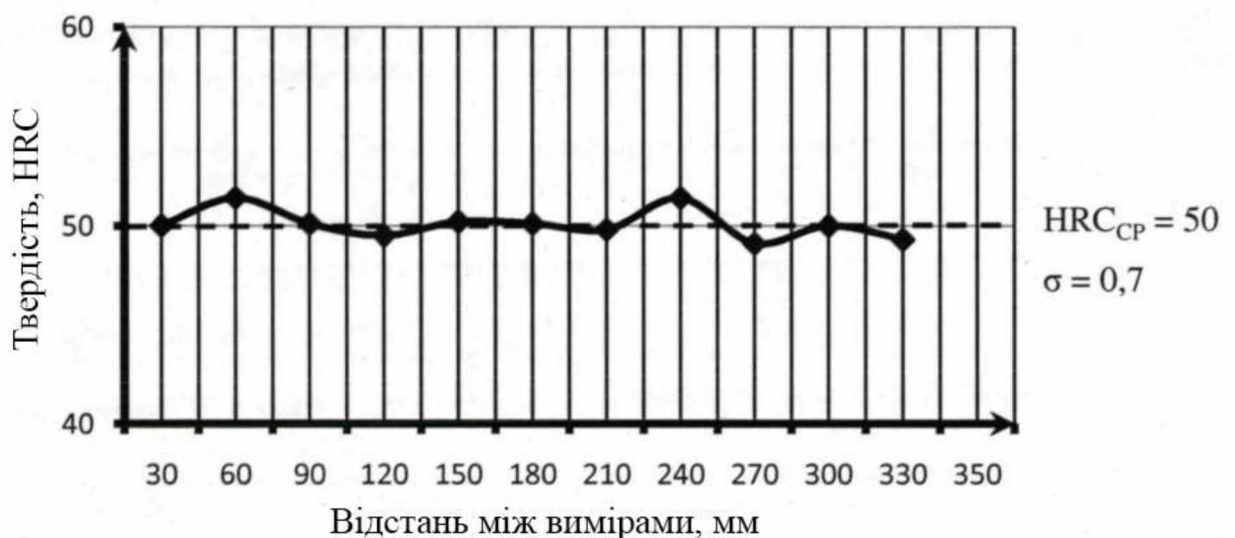


Рис. 3.22. Розподіл твердості основного матеріалу лемеша фірми «VOGEL & NOOT»

З графіка видно, що максимальне значення твердості складо 51,4 HRC, а мінімальне – 49,1 HRC при середньому значенні твердості 50 HRC.

Результати проведеного аналізу показали, що найменшим значенням середньоквадратичного відхилення твердості основного матеріалу 0,7 володіє леміш фірми «VOGEL & NOOT». Найменшим значенням середньоквадратичного відхилення твердості наплавленого матеріалу 0,86 володіє леміш зміцнений ручного дугового наплавкою порошком «Сормайт». Значення твердості цих лемешів більш стабільні в порівнянні з іншими зразками.

### 3.8. Результати експлуатаційних випробувань

Випробування проходили на піщаному ґрунті вологістю 10-15% і твердістю 0,8-1,2 МПа. Перед польовими випробуваннями плужні лемеші були заточені, відповідно до технічних вимог.

Випробування проводилися до досягнення кожним робочим органом граничного стану. Як умова для однакової оцінки роботи лемешів була встановлена товщина ріжучої кромки. Розрахункове значення ресурсу лемеша встановлювалося тоді, коли товщина ріжучої кромки леза у всіх спостережуваних зразків ставала більше 3 мм. Показники експлуатаційних випробувань лемешів представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники експлуатаційних випробувань лемешів

№ варіанту робочого органу	Середнє значення ресурсу, га	Середня швидкість зношування		
		по масі, кг/га	по ширині леза, мм/га	по висоті, мм/га
1	7,4	0,092	0,98	2,82
2	10,2	0,08	0,6	2,66
3	22,0	0,048	0,56	2,54
4	24,7	0,045	0,52	2,36
5	25,3	0,04	0,45	2,18
6	52,1	0,024	0,2	1,8

З даних табл. 3.1 видно, що ресурс серійного лемеша при оранці піщаних ґрунтів твердістю 2,0 МПа і вологістю 10-15% склав 7,4 га, при середній швидкості зношування 0,092 кг/га. Найвищий ресурс у лемешів фірми «VOGEL & NOOT» 52,1 га, при середній швидкості зношування 0,024 кг/га. Лемеші № 3, 4 і 5 показали приблизно однакові результати, і їх ресурс склав 22...26 га при середній швидкості зношування 0,04...0,048 кг/га.

### **Висновки**

1. Результати проведених досліджень наплавлених шарів з різним вмістом легуючих елементів дозволили визначити, що оптимальний вміст бору і марганцю становить 2 ... 4% і 1 ... 3% відповідно в залежності від хімічного складу чавунної стружки.

2. Результати дослідження впливу зносу лемешів на глибину обробки орного агрегату показали, що використання лемешів, які досягли граничного значення потиличної фаски призводить до порушення агротехнічних вимог і збільшення витрати палива на 11%.

3. Результати експлуатаційних випробувань дозволили встановити, що найвищий ресурс у лемешів фірми «VOGEL & NOOT» - 52,1 га, при середній швидкості зношування 0,024 кг/га. Лемеші № 3, 4 і 5 показали приблизно однакові результати, і їх ресурс склав 22 .. .26 га при середній швидкості зношування 0,04 .. .0,048 кг/га.

## 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 досліджуваний процес зношування плужного лемеша, що має зносостійке покриття на основі чавуну.

При ремонті і відновленні деталей робочих органів ґрунтообробних машин основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пи́л, 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.

Дослідженнями встановлено, що найбільш раціональним способом підвищення надійності лемешів ґрунтообробної техніки при відновленні є наплавлення порошком на основі чавунної стружки.

Результати експлуатаційних випробувань дозволили встановити, що найвищий ресурс у лемешів фірми «VOGEL & NOOT» - 52,1 га, при середній швидкості зношування 0,024 кг/га. Лемеші № 3, 4 і 5 показали приблизно однакові результати, і їх ресурс склав 22 .. 26 га при середній швидкості зношування 0,04 .. 0,048 кг/га.

## **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 фактора 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 безпеки 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).



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

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



Рис. 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 поетапного 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
1	2	3
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

1	2	3
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, співвідноності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

#### 4.2.3. 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-економічну оцінку зміцнення розглянемо відносно до серійного трапецеїдального лемеша.

Витрати на відновлення деталі розраховуються за формулою:

$$B = B_{\text{від}} + B_{\text{мат}} + B_{\text{ел}}, \quad (4.1)$$

де  $B_{\text{від}}$  – вартість відновлення деталі, грн.;  $B_{\text{мат}}$  – вартість матеріалів для відновлення, грн.;  $B_{\text{ел}}$  – вартість затраченої електроенергії, грн.

Вартість відновлення деталі враховує витрати на заробітну плату задіяних працівників на відповідних операціях (слюсар, зварювальник, токар та ін.) і розраховується за формулою:

$$B_{\text{від}} = Z_{\text{сл}} + Z_{\text{зв}} + Z_{\text{ток}}, \quad (4.2)$$

де  $Z_{\text{сл}}$ ,  $Z_{\text{зв}}$ ,  $Z_{\text{ток}}$  – заробітна плата відповідно слюсаря, зварювальника і токаря.

Заробітна плата по спеціальностям визначається за формулою:

$$Z = T_n \cdot C_z \cdot K_t, \quad (4.3)$$

де  $T_n$  – норма витрат часу на виконання відповідної операції, год.;  $C_z$  – годинна ставка відповідних робітників, (для розрахунку можна прийняти  $B_z = 30,5$  грн./год.);  $K_t$  – коефіцієнт, що враховує доплати до основної заробітної плати,  $K_t = 1,5$ .

У вартість матеріалів входять всі витрати на матеріали, які застосовують для відновлення даної деталі по всіх технологічних операціях:

$$B_{mat} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot C_i, \quad (4.4)$$

де  $g_i$  – маса використаного матеріалу, кг;  $C_i$  – ціна 1 кг матеріалу, грн.;

Ціна матеріалів визначається по прейскурантах з урахуванням індексу цін, прайс-листам або за даними підприємства.

Витрати на електроенергію розраховують по наступній формулі:

$$B_{el} = \frac{N_{\text{дв}} \cdot T_0 \cdot C_{el}}{100 \cdot \eta_{\text{об}}}, \quad (4.5)$$

де  $N_{\text{дв}}$  – встановлена потужність обладнання, кВт (для зварювального обладнання можна прийняти  $N_{\text{дв}} = U \cdot I$ );

$C_{el}$  – ціна 1 кВт·год. електроенергії, для підприємств  $C_{el} = 1,7$  грн./(кВт·год.);  $\eta_{\text{об}}$  – коефіцієнт корисної дії обладнання, приймається 0,7...0,8.

Коефіцієнт ефективності відновлення деталі розраховується за формулою:

$$K_{\text{еф}} = \frac{K_{\text{д}} \cdot B_{\text{нов}}}{B} \geq 1, \quad (4.6)$$

де  $K_{\text{д}}$  – коефіцієнт довговічності;  $B_{\text{нов}}$  – вартість нової деталі, грн.

Якщо коефіцієнт більше одиниці, то відновлення деталі по розробленому технологічному маршруту буде економічно вигідно.

Результати розрахунку економічної ефективності відновлення деталі представимо у вигляді табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку економічної ефективності відновлення лемеша

Найменування показника	Значення показника	
	Стандартний леміш	Удосконалений леміш
Вартість, грн.	215	320
Вартість відновлення, грн.	-	105
Річне навантаження, га	1000	1000
Ресурс, га	7,4	24,7
Коефіцієнт ефективності відновлення	-	1,7

Як видно з табл. 4.3 ресурс експериментального плужного лемеша в 3,34 рази вище в порівнянні зі стандартним, при цьому його ціна зростає в 1,48 рази, а питомі витрати знижуються в 0,42 рази. Окупність основних витрат при оранці 1000 га складе 0,73 року.

### **Висновки**

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія відновлення лемешів є екологічно безпечною.

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.

Окупність основних витрат при оранці 1000 га складе 0,73 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз процесу оранки з позиції розгляду плуга як складної системи, нижчим елементом якої в його ієрархічній схемі є робочі поверхні плужного лемеша, як деталь що найбільше зношується, дозволив визначити цільове призначення поверхонь плужного лемеша з точки зору надійності реалізації технологічного процесу оранки.

2. Результати проведених досліджень наплавлених шарів з різним вмістом легуючих елементів дозволили визначити, що оптимальний вміст бору і марганцю становить 2 ... 4% і 1 ... 3% відповідно в залежності від хімічного складу чавунної стружки.

3. Порівняльна оцінка показала, що незважаючи на високий ресурс лемешів фірми «VOGEL & NOOT», який склав 52,1га, найбільш переважними є лемеші, наплавлені порошком на основі чавуну легованого бором і марганцем в оптимальному співвідношенні, середній ресурс яких 24,7 га.

4. Результати техніко-економічних розрахунків показали, що використання плужних лемешів, наплавлених порошком на основі чавуну, при підвищенні його вартості в 1,48 рази за рахунок додаткових витрат на зміцнення, дозволяє знизити питомі витрати на виконання заданого обсягу робіт на 58%, при терміні окупності 0,73 року.