

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

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Шевчук Богдан Леонідович**

**УДК 631.31**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І  
МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЕМЕША З  
ПІДВИЩЕНОЮ ЗНОСОСТІЙКІСТЮ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Шевчук Б.Л.

**Керівник роботи**

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

*Шевчук Богдан Леонідович. Обґрунтування конструктивних і матеріалознавчих параметрів лемеша з підвищеною зносостійкістю. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі встановлено, що лемеші плугів, які серійно випускаються у вітчизняному виробництві, мають низькі показники технічного рівня за якістю технологічного процесу (особливо за заглиблювальною здатністю, стійкістю ходу за глибиною), питомими енергетичними параметрами, міцністю і ресурсом. Розроблений відповідно до робочої гіпотези новий леміш з евольвентним профілем накладним долотом, з наплавочним нижнім зміцненням як леза лемеша, так і долота, виготовлений з високоміцних сталей (типу 30 ХГСА) у різних ґрунтових умовах має ресурс, що в 3,5...5,5 разів перевищує серійний аналог, з гарантією від поломки завдяки використанню комплексу нових конструктивних і матеріалознавчо-технологічних рішень.

Як зміцнювальне наплавочне покриття обрано суміш залізовуглецевого сплаву марки ПГ-ФБХ-6-2 з добавкою (до 30...35%) литого карбїду вольфраму (WC). Рекомендований обґрунтований технологічний спосіб нанесення зносостійкого покриття на леміш і долото – плазмове дугове наплавлення в середовищі стисненого повітря.

Виходячи з аналізу значень критеріїв граничного стану лемеша, умов поліпшеного формоутворення леза лемеша і долота, динаміки лінійного зношування обґрунтовано параметри товщини та ширини: за товщиною: на лезі лемеша – 2,6...2,8 мм; на долоті – 3,3...3,6 мм; за шириною: на лезі лемеша – 22...24 мм; на долоті – 35...42 мм.

*Ключові слова: леміш, долото, зміцнення, зношування, ресурс, наплавлення.*

## ANNOTATION

*Shevchuk Bohdan Leonidovych. Substantiation of design and material science parameters of a ploughshare with increased wear resistance. – Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, it was established that the ploughshares mass-produced in domestic production have low technical level indicators in terms of process quality (especially in terms of ploughing capacity, depth stability), specific energy parameters, strength and service life. A new ploughshare with an involute profile and an overhead chisel, with bottom surfacing strengthening of both the ploughshare blade and the chisel, made of high-strength steels (type 30 XГCA), developed in accordance with the working hypothesis, has a service life that is 3.5...5.5 times longer than the serial analogue in various soil conditions, with a guarantee against breakage due to the use of a set of new design, material science and technological solutions.

A mixture of iron-carbon alloy ПГ-ФБХ-6-2 -6-2 with an addition (up to 30...35%) of cast tungsten carbide (WC) was chosen as a hardening surfacing coating. The recommended substantiated technological method for applying a wear-resistant coating to a ploughshare and a bit is plasma arc surfacing in a compressed air environment.

Based on the analysis of the values of the criteria for the limiting state of the ploughshare, the conditions of improved shape formation of the ploughshare blade and chisel, and the dynamics of linear wear, the parameters of thickness and width are substantiated: thickness: on the ploughshare blade – 2.6...2.8 mm; on the chisel – 3.3...3.6 mm; width: on the ploughshare blade – 22...24 mm; on the chisel – 35...42 mm.

*Keywords: ploughshare, chisel, hardening, wear, resource, surfacing.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ПАРАМЕТРИ ЛЕМЕШІВ ПЛУГІВ ВІТЧИЗНЯНИХ І ПРОВІДНИХ ЗАРУБІЖНИХ ВИРОБНИКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	7
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЛЕМЕШІВ ІЗ ПОХИЛИМ (КОСОВСТАНОВЛЕНИМ) ДОЛОТОМ.....	20
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЕМЕШІВ.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Незважаючи на досить широке впровадження в останні десятиліття ґрунтозахисних технологій, оранка лемішно-відвальними плугами поширена як найефективніший (хоча й найзатратніший) вид основного обробітку ґрунту.

Своєю чергою, леміш є найбільш навантаженою і важливою деталлю, від параметрів якої переважною мірою залежать якісні, енергетичні та економічні показники технологічної операції оранки.

Уже понад сотню років світові виробники ґрунтообробної техніки, відповідні наукові та конструкторські організації, приділяють величезну увагу та докладають значних зусиль для розв'язання проблеми підвищення ефективності лемешів, що використовуються в плугах.

Роботи з удосконалення конструктивних, технічних, матеріалознавчих характеристик лемешів провідними профільними фірмами ведуться не припиняючись. На теперішній час тільки на дослідницькі роботи з проблеми вдосконалення параметрів одного типу деталі-лопата плуга 15-20 найбільшими світовими виробниками сумарно виділяються кілька мільйонів доларів США щорічно. Останній фактор не тільки підтверджує важливість характеристик даної деталі для процесу обробітку ґрунту та якісно-економічних показників виробництва більшості видів сільськогосподарської продукції, а й доводить, що дана проблема не є простою, хоча суто зовнішньо конструкції лемешів і корпусу плуга не виглядають особливо складними.

Слід зазначити, що в Україні серійно виробляють лемеші із застарілими конструктивно-технологічними параметрами, зі сталей невисокої міцності та зносостійкості, зниженого (до 3-х до 7-ми разів), як порівняти з найкращими зарубіжними аналогами, сумарного ресурсу. Цей факт ще раз підтверджує гостру необхідність проведення в нашій країні дослідницьких і прикладних робіт з

підвищення експлуатаційно-ресурсних характеристик лемешів для вітчизняних конструкцій плугів.

**Мета роботи** – обґрунтування параметрів вітчизняних лемешів плугів, що забезпечують підвищені характеристики працездатності та довговічності.

**Об'єкт дослідження** процеси взаємодії лемішних корпусів із ґрунтом, умови їх абразивного зношування.

**Предмет дослідження** способи підвищення експлуатаційних, агротехнічних і ресурсних характеристик лемешів вітчизняних плугів.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Куликівський В.Л, Шевчук Б.Л. Конструктивні та матеріалознавчі параметри лемешів плугів вітчизняних і провідних зарубіжних виробників та їх аналіз. Збірник тез ІХ-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 269-273.

2. Куликівський В.Л, Шевчук Б.Л. Обґрунтування вибору технологічних способів зміцнення (наплавлення) лемешів. Проблеми надійності та міцності машин і споруд: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 11–12 травня 2023 р. Державний біотехнологічний університет. Харків, 2023. С. 25-28.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для аграрних підприємств України представляє розробка нового лемеша плуга з поліпшеними на 10...35% агротехнічними характеристиками та підвищеним щонайменше в 3..4,5 рази ресурсом.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 13 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп'ютерного тексту, містить 18 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### КОНСТРУКТИВНІ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧІ ПАРАМЕТРИ ЛЕМЕШІВ ПЛУГІВ ВІТЧИЗНЯНИХ І ПРОВІДНИХ ЗАРУБІЖНИХ ВИРОБНИКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

У світі існує велике різноманіття конструкцій лемешів плугів. Умовно конструкції лемеша можна поділити на 3 узагальнених види за параметрами основи лемеша: долотоподібний, прямої трапеції та косої трапеції. Ці види включають велику кількість відмінностей і різновидів: цілісний; з прямою, криволінійною, евольвентною формою; з накладним або складеним (приставним) долотом тощо. Природно, є відмінності в матеріалах лемешів, їхній товщині, видах кріплення до корпусу (черевика) плуга, конструктивних параметрах доліт, видах і параметрах заточування, режимах і умовах термообробки, методах зміцнення тощо.

В Україні у великосерійному виробництві випускається леміш П-702 єдиної долотоподібної конструкції з носовою частиною, що виділяється приблизно на 22-25 мм носовою частиною (рис. 1.1). Накладне або приставне долото відсутнє, що значно знижує загальний ресурс лемеша, ресурс такого виробу варіюється від 2 до 20 га залежно від властивостей ґрунту. Профіль лемеша (так званий "лемішний") має невелику евольвентну кривизну. Вітчизняний серійний леміш випускають із низькоякісних матеріалів за застарілими технологіями. Матеріал лемішного профілю - сталь Л53 або сталь 65Г. Від провідних світових виробників аналогічних виробів є істотне відставання за технічним рівнем.

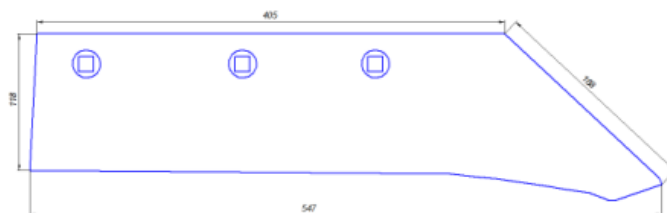


Рис. 1.1. Серійний леміш П-702.

До числа провідних зарубіжних виробників лемешів плугів належать такі відомі європейські та американські фірми: Lemken, Німейер, Оверум, Вентукі, Регент, Рабе, Хуард, Еберхардт, Дін і ВН, Ландсберг, Kverneland", Кроне, Інк, Vogel & noot, Unia, Kun, Джон Дір. Найбільш поширеними в Росії є лемеші плугів Lemken, Kverneland, Unia, Kun, Vogel & noot.

Леміш фірми Lemken (Німеччина), складається з трапецієподібного (прямої трапеції) леза (основи лемеша) і долота. Із розглянутих типів лемешів у його конструкції використовується приставне (на відміну від накладного) змінне долото. У інших типів розглянутих зарубіжних лемешів долото накладне. Однією з переваг приставного долота є менша забиваність лемеша бур'янистими рослинами порівняно з аналогічним лемешем із накладним долотом (особливо після оранки полів із залишками кукурудзи та соняшнику). Товщина долота варіюється від 14 до 19 мм залежно від ґрунтових навантажень. Перевагою лемешів із виокремленим (накладним, приставним) долотом є більша заглиблювальна здатність, краща якість обробітку пласта і дещо менша зношуваність. обробітку пласта та дещо менше зношування (внаслідок меншого навантаження на основу) основи лемеша - леза. Кут розчину лемеша фірми Lemken має дещо більшу величину порівняно з конструкціями інших лемешів - 136 замість 134 . У вітчизняного долотоподібного лемеша - 135 . Товщина основи лемеша - 10 мм. Лезо лемеша вальцьоване і має товщину ріжучої кромки - 3...3 мм. кромки - 3...3,5 мм. Леміш по довжині леза має евольвентну форму, унаслідок чого чого кут різання (кут кришіння) по довжині лемеша від носка до п'яти різний і варіюються від 26° до 19°. Габаритні розміри лемеша і долота представлені на рис. 2. За шириною леза, його товщина є змінною поступово збільшуючись від 3 до 10 мм.



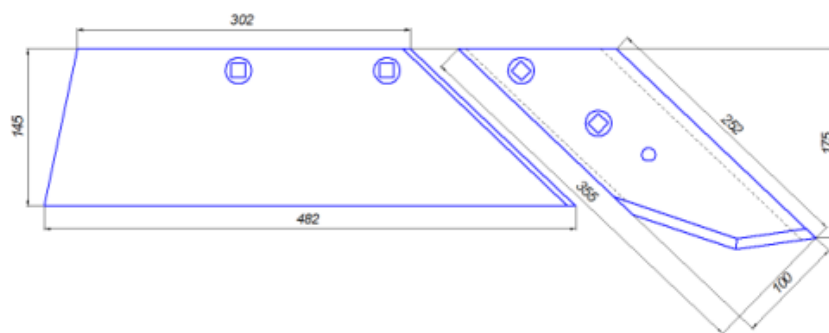


Рис. 1.2. Леміш фірми Lemken (Німеччина)

Кут загострення долота на носку -  $25^\circ$ . Долото і леміш випускаються як з наплавленням так і без нього. Обидві деталі піддаються термообробці на твердість 52...55 HRC. За час експлуатації одного напавленого лемеша змінюється - 2-3 долота; ненапавлених до 5. Ресурс лемеша варіюється в межах 70...150 га (ненапавленого 60...100 га.), ресурс долота: ненапавленого – 20...23, напавленого – 32...42 га.

Леміш, вироблений норвезькою фірмою Kverneland, складається з двох частин: лезо (основи) з вираженим носком і накладного оборотного долота. Габаритні розміри наведено на рис. 1.3.

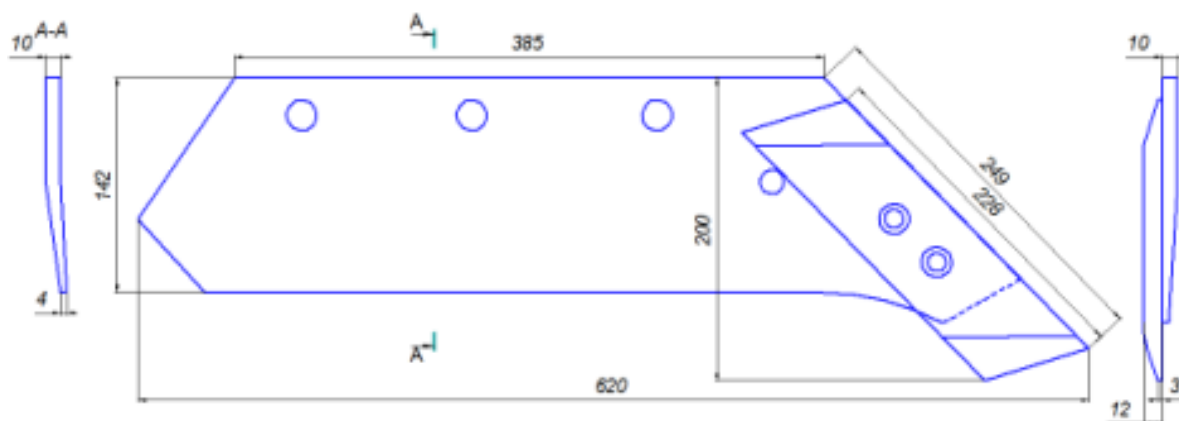


Рис. 1.3. Леміш норвезької фірми Kverneland

Представлений тип лемеша має змінний кут різання по довжині та шириною леза: Кут нахилу леза (кут подрібнення або різання) у носовій частині відносно горизонтальної поверхні поля перевищує кут нахилу в середній частині лемеша і значно перевищує кут нахилу на п'яті лемеша.

Змінний кут різання, отриманий шляхом створення евольвентного профілю в перерізі лемеша, дає змогу поліпшити якість роботи робочого органу під час

оранці, тобто отримати хороше заглиблення носової частини і домогтися зниження питомого (по відношенню до глибини обробки) тягового опору за рахунок низького кута подрібнення (різання) в зоні леза і п'яти, і інших поліпшених параметрів профілю лемеша (кривизни, змінного перетину та ін.). Кут різання (кут кришіння) на носку –  $20^\circ$  плавно змінюється по довжині леза і на п'яті наближається до 2-3. Кут борозенного обрізу лемеша (розчину) –  $134^\circ$ . Товщина основи лемеша – 10 мм. Товщина леза в межах – 3,5-4,5 мм.

Оборотне накладне долото має товщину 12 мм. Кріпиться до лемеша двома болтами. У разі досягнення граничного зносу долото знімають із лемеша, перевертають на  $180^\circ$  і встановлюють на колишнє місце, тим самим відновлюючи працездатність лемеша. За час експлуатації одного лемеша змінюється 1...2 оборотних долота. Ресурс лемеша варіюється в межах 60...130 га, ресурс долота – 22...25 га.

Леміш польської фірми Unia складається з трьох частин: трапецієподібного леза, з'єданого за допомогою зварного шва з приставним необоротним долотом (ці дві частини утворюють основу лемеша) і третьої частини - накладного оборотного долота, що кріпиться на приставному долоті за допомогою двох болтів. Габаритні розміри представлені на рис. 1.3.

Конструкцію лемеша фірми Unia можна порівняти з конструкцією двох лемешів наведених відомих фірм: лезо лемеша і приставне (додаткове приварене) долото конструктивно аналогічне виробам фірми Lemken, водночас леміш має значний змінний кут різання за довжиною і шириною, близький до конструкції лемеша фірми Kverneland.

Кут борозенного обрізу не відрізняється від кута борозенного обрізу розглянутих лемешів із накладним долотом і становить  $134^\circ$ .

Товщина лемеша в районі спинки і приставного привареного долота становить 12 мм. Товщина леза лемеша в межах - 3,5...4,5 мм. Накладне долото має товщину 12...16 мм, також на відміну від приставного воно перевертається на  $180^\circ$  і можна далі продовжувати роботу. Задній кут різання (кут зазору) по

довжині лемеша різний і варіюються від  $20^\circ$  на носку до  $6^\circ$  на п'яті, задній кут різання (кут зазору) приставного, приварного долота становить  $26^\circ$ . Кут різання (кут кришіння) накладного оборотного долота у встановленому робочому положенні на лемеші становить  $45^\circ$ . За час експлуатації одного лемеша з приставним, приварним долотом змінюється 1-2 оборотних долота. Ресурс лемеша варіюється в межах 65-140 га, ресурс долота залежно від товщини - 24-28 га.

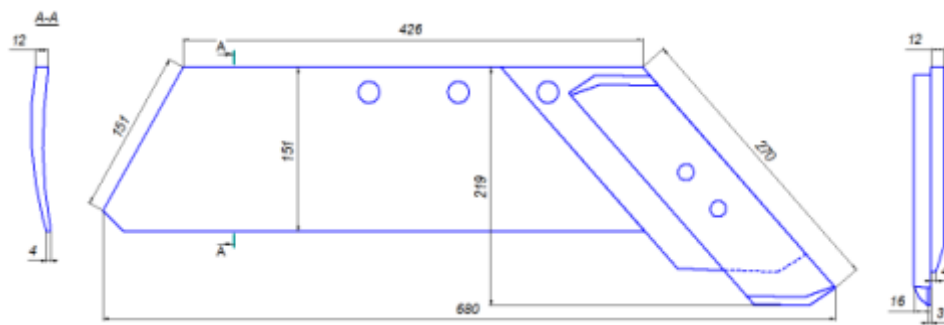


Рис. 1.4. Леміш польської фірми Unia

Леміш зі змінним долотом відомого французького виробника фірми Kup: складається з трапецієподібної основи та накладного долота. Долота випускаються двох видів: Z-подібне долото завтовшки 12 мм і пряме долото завтовшки 16 мм. З числа розглянутих фірм максимальну товщину листа накладного долота мають фірми Kup – 16 мм і Unia – 16 мм. На рис. 5 представлено габаритні розміри лемеша із Z-подібним долотом.

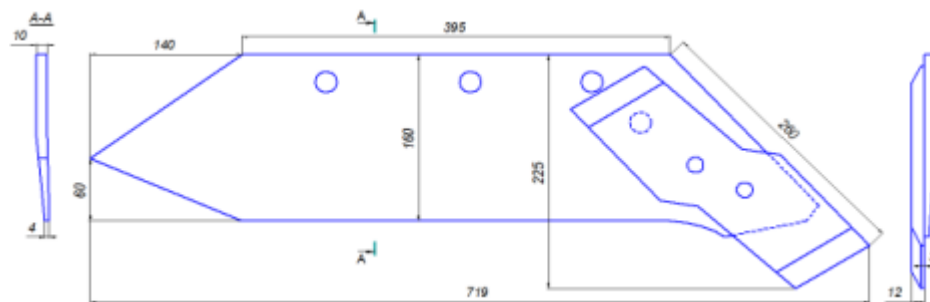


Рис. 1.5. Леміш французької фірми Kup

Леміш Kup порівняно з розглянутими лемешами має найбільшу ширину леза лемеша, тобто найбільший запас на зношування. Також як і лемеші Kverneland, Vogel і Nood, Unia леміш Kup має змінний кут різання по довжині і ширині леза. Унаслідок чого кут різання (кут кришіння) теж змінний: на носку

він становить  $20^\circ$ , незначно змінюється по довжині леза лемеша і на п'яті становить  $17^\circ$ . Кут різання (кут кришіння) долота у встановленому робочому стані –  $36^\circ$ . Кут борозенного обрізу (розчину) - не відрізняється від розглянутих лемешів із накладним долотом і становить –  $134^\circ$ . Товщина лемеша по спині така ж як у Lemken і Kverneland - 10 мм. Товщина леза лемеша в межах – 3...4,5 мм. оборотне долото кріпиться до лемеша двома болтами. Після граничного зносу долото перевертається на  $-180^\circ$  і встановлюють на колишнє місце і можна продовжувати роботу. За час експлуатації одного лемеша змінюється – 2...3 Z-обертових долота, 1...2 прямих долота. Ресурс лемеша варіюється в межах – 80...160 га, Ресурс долота варіюється в межах: Z-подібне долото 21...23 га, пряме долото 24...28 га.

Австрійський леміш фірми Vogel і Noot складається з двох частин: леза (основи) лемеша, аналогічно лемешу Kverneland, з вираженим носком і накладного оборотного долота, що кріпиться до леза лемеша двома болтами.

Габаритні розміри представлено на рис. 1.6.

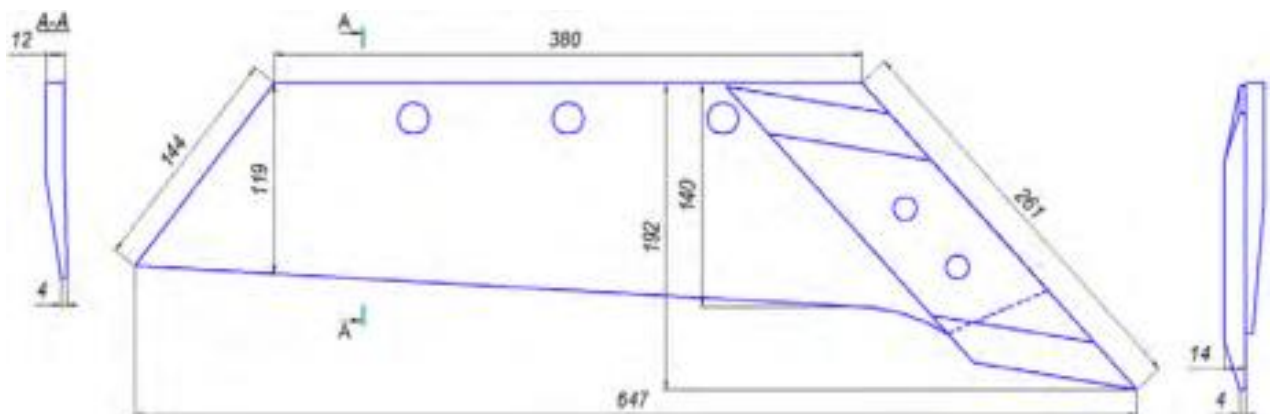


Рис. 1.6. Леміш фірми "Vogel і Noot"

Має трапецієподібну форму з евольвентним профілем у перерізі та однаковим кутом різання по довжині леза від носка до п'яти  $20^\circ$ , кут різання (кут подрібнення) накладного долота у встановленому робочому положенні на лемеші –  $42^\circ$ . На відміну від лемеша фірми "Kverneland" профіль лемеша "Vogel і Noot" має менш виражену кривизну по центру лемеша (близьку до плоскої форми) і, однаковий кут різання в перетинах лемеша. Кут борозенного обрізу (розчину) –  $134^\circ$ . Товщина основи лемеша – 12 мм. Товщина леза в межах -

3,5...4,5 мм. Оборотне накладне долото має товщину 14 мм. Долото лемеша "Vogel i Nood" має більш гостру заточку порівняно з розглянутими виробниками. Так само як і у всіх оборотних накладних долот, після граничного зносу, долото перевертається на  $180^\circ$  і леміш відповідно продовжує перебувати в працездатному стані. За час експлуатації одного лемеша змінюється 2...3 оборотних долота. Ресурс лемеша варіюється в межах – 70...130 га, ресурс долота – 15...18 га.

Аналіз наведених конструкцій лемешів показує, що провідні виробники ґрунтообробної техніки випускають лемеші, які складаються переважно з двох деталей: основи (лезової частини) і долота (приставного або накладного). При цьому лезова частина (основа) лемеша має евольвентний профіль зі змінним кутом різання: на п'яті задній кут різання (кут зазору) має значення від 2 до  $7^\circ$  в середині леза –  $9...13^\circ$  на носовій частині –  $18...29^\circ$ . Долото також має не плоску форму. Слід зазначити, що пряме копіювання конструктивних параметрів лемешів провідних зарубіжних виробників на вітчизняному корпусі плуга практично неможливе, з огляду на той факт, що вітчизняний корпус плуга ("черевик") має більший кут кришіння (різання) на  $7-8^\circ$ . У процесі роботи над дисертацією, на її початковому етапі, спроби копіювати зарубіжні лемеші, встановлені на вітчизняний корпус, були, але вони закінчилися невдало.

Плуги з такими лемешами надмірно заглиблювалися, заривалися в землю, "виляли" у поперечній площині, тобто були непрацездатними.

На жаль, ні у вітчизняній, ні в зарубіжній літературі, конкретних даних, що обґрунтовують параметри нового лемеша з накладним долотом не наводяться.

У відомій теорії різання ґрунтів (ґрунтів) відзначені лише узагальнені закономірності. Наукових обґрунтувань значень евольвентного профілю, параметрів вильоту долота лемеша, кута його нахилу до стінки борозни, умов формоутворення такого лемеша.

Специфічні умови роботи ґрунтообробних робочих органів сільгосптехніки (знакозмінні навантаження, удари, абразивне спрацьовування,

корозія) спричиняють швидке затуплення ріжучих крайок, зміну форми та зменшення розмірів, що призводить до скорочення їхнього терміну служби, збільшення часу й трудомісткості обслуговування ґрунтообробних агрегатів і зниження економічної ефективності агрозаходів, тому їхню поверхню часто піддають зміцненню різними способами.

На даний момент відоме велике різноманіття різних способів зміцнення лемешів плугів сільськогосподарських машин, з використанням високозносних сталей. У нас у країні та за кордоном зміцненням робочих органів ґрунтообробних машин займаються досить давно (з середини 30-х років).

Існуючі способи зміцнення лемешів можна розділити за напрямками:

- термічна обробка;
- наплавочні способи нанесення твердих сплавів.
- застосування різних видів біметалевих з'єднань;

Термічна обробка різних видів сталей є ефективним способом підвищення міцності деталей. При її використанні, зносостійкість, як правило, підвищується, але недостатньо. Тому, при обов'язковому застосуванні термічної обробки часто використовують додаткові методи зміцнення.

Під час вибору методу зміцнення робочих органів необхідно враховувати різні критерії [5]:

- умови експлуатації деталей (питомий тиск, ударні навантаження та їхній рівень тощо);
- матеріал деталі та його властивості;
- геометричні розміри і конфігурацію робочої поверхні деталі;
- величина і характер зносу деталей;
- можливість виключення механічної обробки зміцнюваних поверхонь;
- характеристики способів, технічно можливих до застосування (продуктивність, можливість отримання шарів із заданими службовими властивостями, простота технології, можливість механізації та автоматизації виробництва, економічний фактор та інше);

- можливість певної зміни конструкції деталі, внаслідок застосовуваного методу зміцнення (товщини леза, сторони заточування, зміни форми та інше).

Методи напилення як зміцнювальні покриття робочих органів ґрунтообробних машин не знайшли широкого застосування через низьку міцність зчеплення покриття з основою (не більше 3...7 МПа). Метод напилення з оплавленням, близький за своєю сутністю до методу наплавлення, іноді використовується для зміцнення і відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. Але собівартість нанесення оплавлених покриттів дуже висока з таких причин:

- по-перше, технологія напилення з оплавленням складається з двох окремих операцій - 1<sup>ї</sup> напилення і 2<sup>ї</sup> оплавлення покриття, що істотно підвищує вартість процесу нанесення зносостійких матеріалів.

- по-друге, внаслідок високої ціни матеріалів, що наносяться, оскільки оплавленню підлягають тільки порошки на нікелевій основі, що "самофлюсуються", а нікелеві порошки є наддорогими. Ціна сплавів на нікелевій основі приблизно в 5 разів вища за аналоги на залізній основі; при цьому зносостійкість нікелевих порошків в умовах жорсткого абразивного зносу ґрунтового зношування нижча за зносостійкість у тих самих умовах порошкових сплавів на основі високолегованих чавунів;

На даний момент найбільше застосування у виробництві (і відновленні) робочих органів ґрунтообробних машин знайшли наплавочні методи зміцнення.

З 1933 року в СРСР інтенсивно проводили експериментальні роботи з наплавочного (зварювального) зміцнення твердими сплавами швидкозношуваних деталей. Відомо застосування різних марок твердих сплавів: стеллит, зміна №1 і №2, сормайт, ВІСХОМ-5, ВІСХОМ-9, спартан, вокар, блекор тощо. Покриття наносили електродуговим і газополум'яним методом. Стосовно до зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин ці методи були низькопродуктивними і механічно важко оброблюваними.

Як зміцнювальні способи для робочих органів ґрунтообробних машин, і лемешів зокрема, найбільшого поширення (з 60-70-х років) набуло індукційне (струмами високої частоти) наплавлення твердих сплавів. Це економічний і продуктивний метод, що піддається механізації. Однак, він має суттєві недоліки та обмеження, особливо за товщиною шарів, що наносяться, і хімічним складом наплавлювальних матеріалів.

У 80-х роках для деяких видів ґрунторіжучих робочих органів та їхніх поверхонь (носка лемеша плуга, носової частини лапи та культиваторного долота тощо) застосовували такий спосіб наплавлення, як "наморожування" ("занурення") [5], який є, на нашу думку, одним із видів індукційного наплавлення. Сутність наплавлення наморожуванням полягає в послідовному затвердінні сплаву на очищеній від окисної плівки поверхні заготовки, зануреної в розплав. Наплавлення наморожуванням не є універсальним методом, далеко не всі поверхні деталей цим методом можливо зміцнювати. Для зміцнення лезових поверхонь він малоефективний. Метод вимагає ретельної підготовки поверхні деталі, на яку наноситься покриття. Одностороннє зміцнення поверхні цим методом ускладнене, тому що вимагає "захисту" (наклейки спеціального струмонепровідного матеріалу та ін.) іншого боку. Також є суттєві обмеження щодо товщини матеріалів, що наносяться.

Відомий спосіб зміцнення плужних лемешів зварювальним армуванням, у якому наплавлення на всю робочу поверхню деталі здійснюють шляхом нанесення (приварювання) паралельних один одному валиків, кожний з яких наносять зі швидкістю, що забезпечує утворення загартувальних структур, після охолодження попередніх [4].

Наплавлення здійснюється по лініях армування на всю глибину зі створенням стискаючих напружень під час охолодження [3]. Стискальні напруження створюються в результаті охолодження на повітрі наплавленого шару від температури кристалізації до нормальної температури. Після



наплавлення виконують механічну обробку наплавленого покриття для отримання необхідної шорсткості.

Недоліками цього способу є: ускладнення технологічного процесу через формування ребра жорсткості та наплавлення по-різному розміщених валиків по обидва боки носка та на польовому обрізі; термічний вплив на деталь, здатний спричинити її викривлення; створення додаткових залишкових напружень та загартованих структур в усьому тілі лемеша, що знижують стійкість до руйнування, сильний термічний вплив та додаткову витрату електроенергії.

Є відомості про застосування наплавлення для зміцнення ґрунторізальних деталей за допомогою електронного прискорювача [7]. Це перспективний метод, але для його використання потрібне наддороге обладнання і певні заходи щодо захисту від радіації.

Проводилися роботи зі зміцнення робочих органів електроімпульсним нарощуванням чавуну [1], застосуванням електромеханічної обробки [4], електромагнітного напилення тощо. Ці методи зміцнення малопродуктивні, мають суттєві обмеження за товщиною зміцненого шару, зносостійкість деталей збільшувалася не більше ніж у 1,5-1,8 рази.

У ІМЕСГ було розроблено та випробувано метод "контактного плакування", сутність його полягала в приварюванні по ріжучій кромці робочих органів зносостійкої стрічки з інструментальної сталі Х6ВФ. Плакування здійснювалося на установці, виготовленій на базі контактної машини МШПР 300/1200. Зносостійкість ґрунтообробних робочих органів підвищувалася до 2,5 разів, але цей спосіб також має низку суттєвих недоліків:

- у процесі експлуатації часто відбувається відрив стрічки;
- дорожняча процесу зміцнення, за рахунок необхідного за цього методу очищення травленням із подальшим промиванням і сушінням стрічки, перед плакуванням різальні кромки робочих органів, що вельми значно.
- продуктивність приварювання стрічки невисока (0,18-0,23 см/сек).

У нашій країні в 60-70-ті роки паралельно з різними методами зміцнення проводилися широкі дослідження щодо застосування для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин двошарового прокату (виробленого методом вибуху та ін.), в основному зі сполук сталей Х6Ф1 + сталь 50 і Х6ВФ + сталь 50. Хоча, в ряді випадків, були отримані позитивні результати - зносостійкість деталей підвищувалася до 2-х і більше разів, але загалом стабільності властивостей двошарового прокату домогтися не вдалося. Крім того, використання двошарових сталей для виготовлення ґрунторіжучих робочих органів, за нашими даними, має суттєві технологічні (трудомісткість процесу) та економічні (дорожнеча виробництва двошарового прокату) обмеження:

Також проводилися роботи [5] щодо підвищення зносостійкості лемешів, виготовлених зі сталі 60С2А. Після надання лемеху відповідної форми його піддавали попередній термообробці до твердості 40-48 HRC, потім на робочу поверхню наплавляють електродом смужки і проводять хіміко-термічну обробку азотом із забезпеченням твердості 55-62 HRC на робочій поверхні. Цей спосіб підвищує зносостійкість, за даними авторів, у 1,5 раза. При цьому використовується також малопродуктивні та тривалі технологічні методи. Крім того, підвищення ресурсу, як порівняти із серійним лемешем, не настільки значне.

За кордоном зміцнення деталей ґрунтообробних машин переважно здійснюються плазмовим дуговим наплавленням, наплавленням порошковим дротом, у середовищі вуглекислого газу, заморожуванням та іншими методами. Іноді застосовується напаявання металокерамічних пластин на леза лемешів та інших деталей, а також кріплення і наклейка мінералокерамічних ( $Al_2O_3$  та ін.) матеріалів.

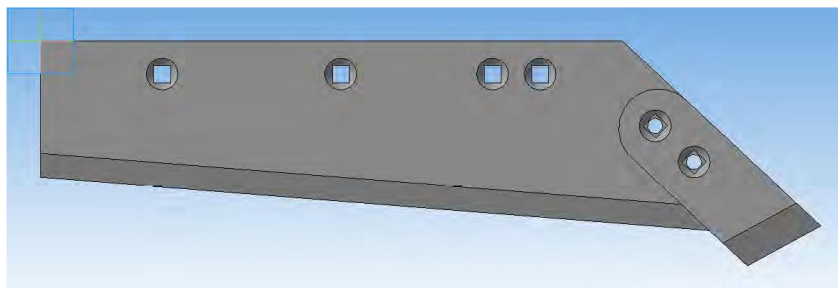
## **Висновки по розділу**

З вище викладеного можна зробити висновок, що для підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин і лемешів плугів найефективнішими є наплавочні дугові способи нанесення твердих сплавів.

Вибір наплавочних матеріалів, визначення та обґрунтування геометричних характеристик зміцнювального шару та зміцнювальної поверхні, економічні показники техпроцесу є галузями дослідження, зокрема цієї кваліфікаційної роботи.

**РОЗДІЛ 2**  
**ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЛЕМЕШІВ ІЗ ПОХИЛИМ (КОСОВСТАНОВЛЕНИМ)**  
**ДОЛОТОМ**

Під час розроблення нових лемешів було запропоновано варіант конструкції евольвентного лемеша, який має поряд із прямим, паралельно встановленим до борозенчатого обрізу долота долотом лемеша (рис. 2.1) ще й можливість установалення долота з нахилом до борозенчатого обрізу лемеша (рис. 2.2).

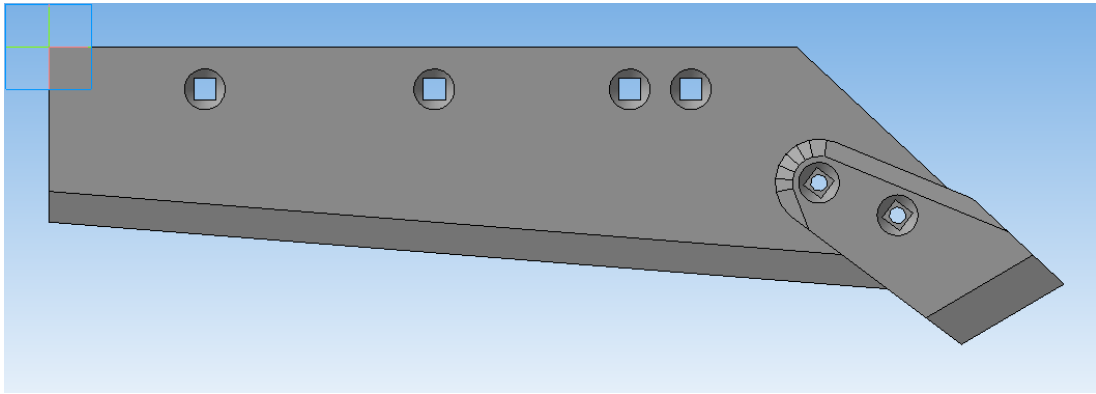


а)



б)

Рис. 2.1. а, б – Леміш із прямим паралельно встановленим до борозенного обрізу долотом



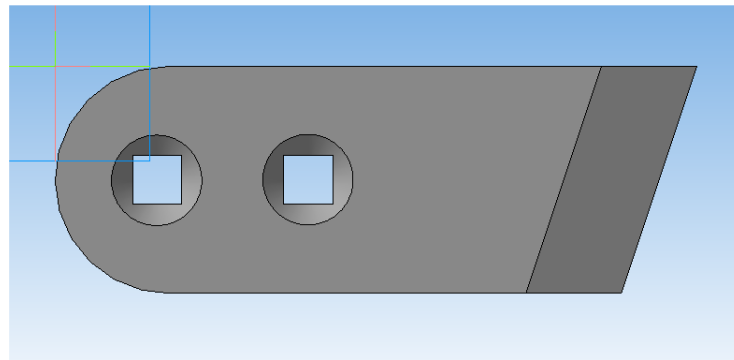
а)



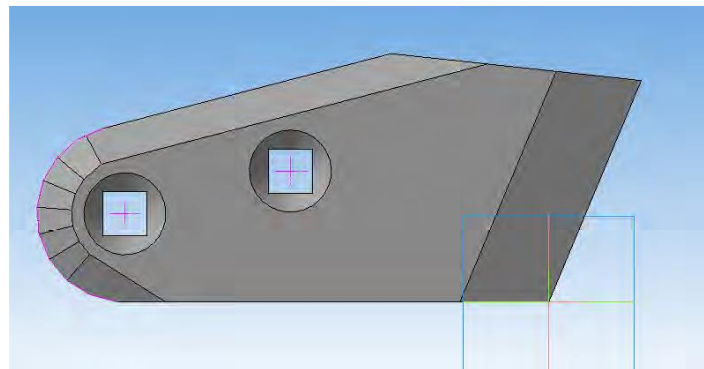
б)

Рис. 2.2 а, б – Леміш із нахилом долотом до борозенного обрізу

І ті й інші долота можуть встановлюватися на одні й ті самі лемеші з евольвентним профілем, які мають для похилого косовстановленого долота додаткові отвори на носовій частині лемеша. Прямі та косовстановлені (похилі) долота мають деякі конструктивні відмінності (рис. 2.3).



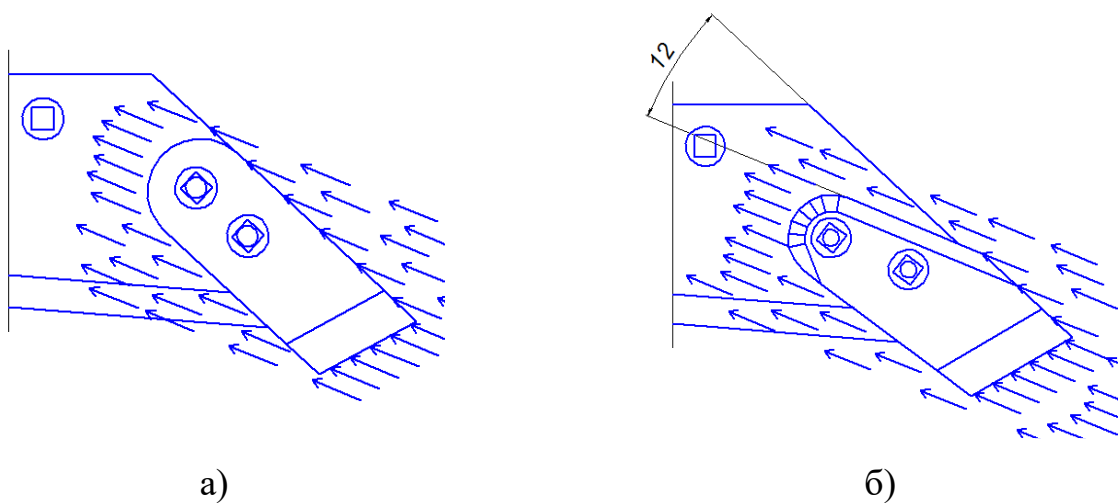
а)



б)

Рис. 2.3. Різновид долота: а) пряме. б) похиле (косоустановлене)

Теоретичною основою для розроблення лемешів із похилим косоустановленим до борозенчастого обрізу лемешів долотом є встановлення долота в напрямі близькому (паралельному) до ґрунтового потоку, який іде на лезо (основу) лемеша (рис. 2.4).



а)

б)

Рис. 2.4. Схема напрямку руху ґрунтових частинок у носовій частині лемеша: а) із прямим долотом, б) із похилим долотом.

Обґрунтований кут установлення похилих доліт (рис. 2.4 б) відносно борозенного обрізу лемеша становить  $10...15^\circ$ .

Значення кута отримано за лініями "променевого" зносу, наявними в процесі експлуатації на носовій частині лемеша.

При цьому зменшується згружування ґрунту в зоні долота, його налипання. Крім того, за нашими даними, косоустановлене долото здійснює первинний "підрив" не тільки з боку ґрунтового шару, а й з боку ущільненої стінки борозни, зменшуючи силу тертя борозенчастого обрізу лемеша і долота з боку стінки борозни.

Експериментальні дослідження показали, що переваг за заглиблювальною здатністю лемеші з косоустановленим долотом перед лемешами з прямим долотом не мають, але за тяговим опором деяка перевага є.

Однак, виходячи з результатів досить великих експлуатаційних порівняльних досліджень, проявляються ці переваги лемешів з косоустановленим долотом під час обробітку важких ґрунтів (понад  $3,0...3,5$  МПа).

Під час обробітку піщаних, суглинкових, легких суглинків істотних переваг експлуатації корпусів із лемешами, оснащеними косоустановленими долотами, перед аналогами з долотами, встановленими паралельно до борозенного обрізу, не зафіксовано.

Відзначено деякі переваги плугів із лемешами, оснащеними косоустановленими долотами, під час обробітку ґрунтів із великими (до 35 см. діаметром) кам'янистими включеннями.

У цьому разі прямий удар каменю по долоту замінюється косим, відповідно з меншими пошкодженнями лемеша і плуга.

## **Висновки по розділу**

Дослідні лемеші з косоустановленим накладним долотом мають перевагу перед аналогами з прямоустановленим долотом за питомим тяговим опором на важких ґрунтах (понад 3,0...3,5 МПа) на 3... 4%. На ґрунтах меншої твердості, а також за заглиблювальною здатністю переваги дослідних лемешів із косоустановленими накладними долотами не виявлено.

На ґрунтах, засмічених кам'янистими включеннями, особливо великими, застосування дослідних лемешів із косоустановленим накладним долотом є більш переважним, тому що прямий удар каменя по долоту замінюється косим, відповідно, з меншими пошкодженнями лемеша і плуга.



### РОЗДІЛ 3

## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВЧИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЕМЕШІВ

На підставі проведених апріорних досліджень під час виготовлення нових лемешів було використано такі конструктивні та металознавчі обґрунтовані зміни (нововведення).

Нові лемеші виготовляли з високоміцної сталі 30ХГСА, що має в термообробленому стані твердість 43...48 од. НРС, значення межі міцності на розрив  $\sigma_B=1530...1610$  МПа. Для випробувань використовувалися лемеші, виготовлені з листового прокату 10 і 12 мм. Як один із варіантів до носової частини лемешів із прокату 10 мм. додатково приварювали зміцнювальну косинку (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Зміцнення носової частини косинкою

Важливими конструктивно-технологічними параметрами лемеша плуга є кут загострення і товщина леза, вид заточування леза, характеристики зміцнювального шару лезової поверхні лемеша і долота. Основою для визначення більш ефективних параметрів леза лемеша є інформація про умови його навантаження та дані про питомі навантаження. Зокрема, встановлено, що на нижню (задню) грань леза лемеша діє в 4...6 разів (залежно від типу ґрунтів)

більші питомі навантаження, ніж на верхню (передню) грань. Це співвідношення дещо менше (1,8...3 рази) на носовій частині лемеша, але водночас, носова частина загалом навантажена у 3-5 разів більше, ніж лезвийна. Тому, для відносного зменшення різниці у зношуванні різних частин лемеша його носову частину (долото) доцільно виготовляти з металопрокату більшої товщини. Відповідно товщина леза на носку має становити 4...5 мм, на лезі – 2...3 мм.

Відомо, що одним із найважливіших чинників, які впливають на умови різання ґрунту, є утворення в процесі експлуатації на лезових частинах робочих органів ущільненого ґрунтового ядра.

Виходячи з аналізу впливу ґрунтового ядра на експлуатаційні характеристики лемешів, обирається місцезоташування наплавленого зміцнювального (ріжучого) шару на лезовій частині основи лемеша та його носка (долота). При цьому, для обмеження можливості проникнення ущільненого ядра ґрунту під нижню грань леза, що, за нашими даними, є однією з основних причин утворення "потиличної фаски", а також високих темпів зростання кута загострення леза на більшості видів ґрунтів, для захисту задньої грані леза зміцнення (наплавлення) доцільно та найефективніше здійснювати на нижньому (зовнішньому) боці різальної частини як леза, так і носка (долота) лемеша. Це підтверджується і дослідженнями А. Н. Розенбаума, який повідомляє, що найефективніше розташування зносостійкого шару "нижнє", тому що це супроводжується утворенням вужчої потиличної фаски, яка розташовується в межах твердого шару, що дає змогу використовувати деталі для роботи на щільних ґрунтах.

В узагальненому вигляді завдання підвищення ресурсних характеристик розроблюваних лемешів плугів з новими конструктивно-матеріалознавчими параметрами планується вирішувати на основі представленої нижче робочої гіпотези підвищення ресурсу вітчизняних лемешів плугів;

"Завдання підвищення характеристик міцності лемешів (захисту від деформацій і поломок) планується вирішити шляхом впровадження в

конструкцію вітчизняних лемешів плугів таких нововведень: - використання для виготовлення лемешів сталей із підвищеними, як порівняти зі сталями 45 і Л53, значеннями межі міцності (тимчасового опору розриву  $\sigma_B$ ) на 40-60% і достатнім значенням відносного подовження ( $\delta$  не менше 7%);

- використання накладного долота як фактора захисту максимально навантаженої зони небезпечного перерізу лемеша (у зоні переходу від леза до носка) від значного стирання металу лемеша в небезпечному перерізі і, відповідно, ослаблення його за товщиною, тобто захисту від так званого "променевого зносу";

- використання (в окремих випадках) приварювання додаткової накладки в зоні польового зразка лемеша, що підвищує міцнісні параметри його носової частини.

Прогнозується, що перераховані заходи дадуть змогу створити леміш із гарантією від поломок і деформацій на період вироблення повного ресурсу за критерієм зносостійкості.

Підвищення ресурсу за критерієм граничного зношування лемешів планується досягти шляхом впровадження в конструкцію лемеша наступних змін:

- розробити конструкцію нового лемеша з евольвентним профілем, який, зокрема, забезпечує зниження кутів різання (подрібнення) у лезовій частині лемеша за значенням заднього кута різання до  $4...11^\circ$  на відміну від серійного -  $22-25^\circ$ ; цей захід, згідно з апріорними науковими даними щодо впливу величин кутів різання (подрібнення, заднього кута різання) на значення загальних і питомих навантажень, дасть змогу зменшити питомі навантаження на лезову частину лемеша; при цьому з апріорних наукових даних відомо, що знос пропорційний питомим навантаженням; відповідно, знос лезової частини нового дослідного лемеша зі зниженими кутами різання буде меншим, як порівняти із серійним аналогом, за інших рівних умов;

- створити конструкцію лемеша з накладним висувним під певним підвищеним кутом подрібнення долотом на носовій частині; при цьому прогнозується, що виокремлене (на 2-6 см) долото буде забезпечувати "ефект випереджальної тріщини", що так само забезпечить потрапляння на лезо лемеша (внаслідок косого різання) значною мірою розпушеної ґрунтової маси, відповідно зі зменшеними (порівняно з серійним варіантом) питомими, зокрема, зношувальними, навантаженнями;

- зміцнити лезо та долото лемеша з нижнього боку новим (відмінним від серійного варіанту) твердосплавним покриттям із підвищеним коефіцієнтом відносної зносостійкості; параметри товщини твердосплавних покриттів на лезі й долоті є об'єктом дослідження як із погляду підвищення лінійної зносостійкості, так і з погляду поліпшення формоутворення леза й долота (в окремих випадках його "самозаточування"), тобто захисту від затуплення;

- розробити конструкцію висувного зміцненого накладного змінного долота, яка в процесі експлуатації (спрацьовування) впродовж усього періоду роботи, забезпечить виокремлення (виступ) носової частини лемеша для відповідного сталого заглиблення деталі та збереження її в працездатному стані до настання граничного стану за критерієм зменшення ширини леза (менше ніж 90 мм)".

Прогнозується, що набір представлених заходів дасть змогу підвищити сумарний ресурс серійного наплавленого вітчизняного лемеша до 4-х разів.

Вибір технології зміцнення лемешів є важливим завданням, що істотно впливає на характеристики їхньої довговічності. У розділі 1 було зазначено, що найефективнішими як за експлуатаційно-технологічними, так і економічними критеріями є наплавочні методи зміцнення. Широкого поширення у вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванні в 60-70-х роках минулого століття набуло індукційне наплавлення твердих сплавів. На жаль вона має низку технологічних недоліків і обмежень: Розглянемо це нижче. У процесі

роботи над темою дисертації проводилися дослідження різних методів зміцнення лез лемешів і долота. Досліджувалися такі методи зміцнення:

- індукційне наплавлення;
- плазмове дугове наплавлення;
- точкове електродугове наплавлення;
- приварювання (припаювання) пластин із твердих сплавів металокераміки;

Інші методи (напилення, спеціального термооброблення, електроконтактного плакування тощо) не розглядалися внаслідок функціонально-технологічних обмежень, високої вартості та низької ефективності (див. розд. 1).

Індукційне наплавлення - високопродуктивний процес, ефективний в умовах серійного виробництва. У промисловості застосовують два варіанти індукційного наплавлення: з використанням рідкого присадного металу, який виплавляють окремо і заливають на розігріту індуктором поверхню деталі, що наплавляється, та твердого присадного матеріалу (порошкової шихти, стружки тощо), який розплавляють індуктором безпосередньо на поверхні, що наплавляється.

Перевагою індукційного наплавлення є:

- висока продуктивність;
- можливість наплавлення тонких шарів;
- мала глибина проплавлення основного металу.

Недоліком індукційного наплавлення є:

- необхідність наплавлення тільки тих матеріалів, які мають температуру плавлення, нижчу за температуру плавлення основного металу;
- низький коефіцієнт корисної дії процесу;
- обмеження за товщиною наплавлення через розтікання;
- перегрів основного металу.

Точкове електродугове наплавлення в середовищі захисних газів, здебільшого вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), застосовується для отримання

зносостійких поверхонь шляхом нанесення точок порошковим дротом. Мета - створення при роботі лемеша пилкоподібного леза для більшої гостроти. Основними перевагами є:

- простота;
- можливість наплавляти шар металу невеликої товщини.

Основним недоліком є:

- велике розбризкування металу;
- підвищений знос через викришування фрагментів леза.

Приварювання (напаювання) металокерамічних пластин із твердих сплавів: Перевагами є:

- висока зносостійкість припаяних твердосплавних пластин

Недоліками цієї технології є:

- низька стійкість ріжучих пластин із твердих сплавів до впливу ударних навантажень (крихкість), тобто не можуть ефективно працювати на кам'янистих ґрунтах.

- складність і висока трудомісткість (зокрема собівартість) процесу припаювання твердосплавних пластин.

- висока вартість твердосплавних пластин.

За оцінкою результатів експлуатаційних випробувань і аналітичного аналізу (розділ 1) дійшли висновку, що наплавочні методи зміцнення мають більш стабільні характеристики і кращі в плані собівартості.

У процесі роботи над дисертацією було обрано спосіб підвищення ресурсу лезових частин лемешів плугів плазмовим дуговим наплавленням твердих сплавів у середовищі стисненого повітря. На підставі проведених досліджень цей метод на даний момент є найбільш ефективним для зміцнення лезових частин лемешів і доліт. також важливе значення мають режими термообробки та підбір співвідношень "несучого" і "ріжучого" (наплавленого) шарів за товщинами.

Плазмове наплавлення, на відміну від індукційного наплавлення та інших методів нанесення зміцнювального шару, має більш стабільні характеристики і високу зносостійкість.

За нашими даними перевага плазмового наплавлення перед іншими методами пояснюється такими металургійними особливостями процесу:

- при плазмовому наплавленні відбувається більш рівномірне нанесення покриттів за фізико-механічними критеріями;

- при плазмовому наплавленні залишається краща структура основного металу на відміну від індукційного через відсутність перегрівів основного металу;

- під час плазмового наплавлення знижується ймовірність викришування і переточування нанесеного покриття, тому що проплавлення основи лемеша відбувається на велику глибину з більшою товщиною зміцнювального шару (як порівняти з індустриальним наплавленням та ін. методами);

Також плазмове дугове наплавлення в середовищі стисненого повітря має додаткові переваги:

- для роботи на плазмовій установці не потрібні кваліфіковані фахівці;

- менша витрата наплавочного порошку на 16...22 % при плазмовому наплавленні на відміну від індукційного;

- важливим показником плазмового наплавлення є відсутність стікання сплаву;

- є можливість захисту від випромінювання екраном під час плазмового наплавлення, на відміну від індукційного, за якого має місце вплив струмів високої частоти на організм людини;

- найбільш істотна експлуатаційно-технологічна перевага плазмового наплавлення - це нанесення шарів високої товщини (до 4...4,5 мм);

- плазмове наплавлення забезпечує більш якісне нанесення покриття, через можливість регулювання тепла в широкому діапазоні;

- під час плазмового наплавлення можна використовувати наплавочний порошок будь-якого хімічного складу (на відміну тільки від немагнітних - для індукційного наплавлення);

З огляду на вище викладене, плазмове дугове наплавлення в середовищі стисненого повітря за експлуатаційними та технологічними властивостями має перевагу над іншими видами зносостійких наплавлених покриттів, що розглядаються.

На рис. 3.2, і 3.3 наведено загальні види технологічного процесу плазмового дугового порошкового наплавлення в середовищі стисненого повітря розроблених лемешів плугів і накладних доліт.



Рис. 3.2. Технологічний процес нанесення зносостійкого твердосплавного покриття плазмовим наплавленням у середовищі стисненого повітря на лезо лемеша





Рис. 3.3. Технологічний процес нанесення зносостійкого твердосплавного покриття плазмовим наплавленням у середовищі стисненого повітря на лезо долота

Матеріали лемеша (основи) і його долота вибирають виходячи з критеріїв максимальних (максимально можливих для даних реальних економічних, експлуатаційних, технологічних умов) значень міцності та зносостійкості.

Відповідно до прийнятої робочої гіпотези підвищення ресурсу вітчизняних лемешів плугів дослідні лемеші та накладні долота виготовляються з нижнім зміцненням, тобто двошаровими.

Як уже зазначалося, виходячи з переважно міцнісних критеріїв, як матеріал основи лемеша і долота за базовий варіант обрано вітчизняну серійну сталь 30ХГСА, термооброблену на твердість 44...49 од. НРС. При цьому показники межі міцності у цієї сталі перебувають у межах  $B=1530...1610$  МПа, що на 50...60% вище, як порівняти з показниками сталей Л53 і 65Г, з яких виготовляють серійні вітчизняні лемеші. Величина відносного подовження у термообробленої на представлену твердість сталі 30ХГСА становить 7...7,5%, що, виходячи з дослідних даних, гарантує таким лемешам достатню пластичність і достатньою мірою захищає від крихкого зламу.

Також як матеріал основи лемешів плугів і доліт можуть використовуватися інші, як правило, більш міцні та зносостійкі сталі: вітчизняна серійна 50ХФА; імпортна європейська борвмісна типу 30Mn5, вітчизняні дослідні 25ХГТЮР; Б 1700; Б 1500 та інші. Але одна з них іноземна, інші дослідні і в серійному виробництві відсутні; серійна ванадієвмісна високолегована листовая сталь 50ХФА випускається в країні малими партіями і досить дорога (в 1,5...1,8 дорожча за сталь 30ХГСА).

Тому, на даний час сталь 30ХГСА для виробництва лемешів і доліт найбільш доступна. Хоча з погляду міцності та зносостійкості існують, як наведено вище, кращі варіанти (за міцністю - на 10-20%, за зносостійкістю - на 15-45%).

Матеріал твердосплавного покриття вибирають, виходячи з характеристик технологічності та зносостійкості. Під технологічністю твердого сплаву розуміють можливість нанесення шару певної товщини (для леза й долота лемеша плуга, як правило, до 3,5 мм без явних тріщин, з достатніми (в експлуатаційних умовах) показниками адгезії та когезії тощо). тощо. показники технологічності твердого сплаву тісно пов'язані з технологією його нанесення.

Попередня оцінка порівняльної зносостійкості матеріалів (сталей; твердих) здійснювалася стендовим методом.

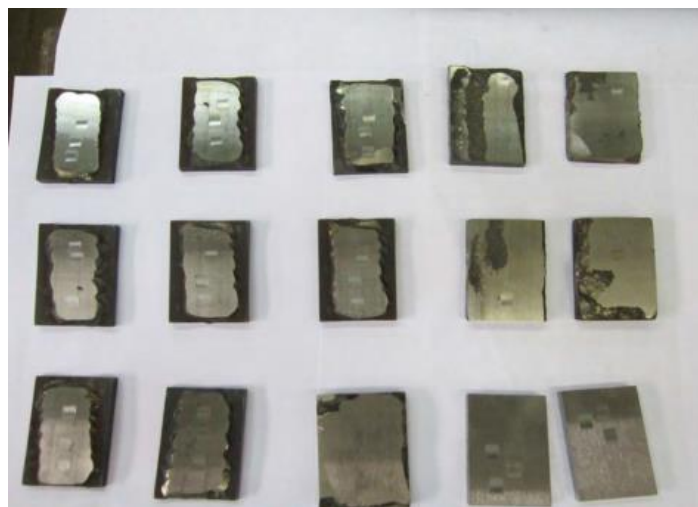


Рис. 3.4. Зразки, випробувані на машині тертя ІМ-01, на абразивну зносостійкість

Аналіз результатів лабораторних випробувань матеріалів показує, що за рахунок матеріалознавчого фактора, наявних матеріалів (матеріал основи деталі - сталь; матеріал зміцнювального шару - твердий сплав) можливе підвищення протизносних характеристик матеріалів ґрунторізальних деталей, зокрема лемешів плугів до 3,5-4,5 разів.

На підставі результатів проведених стендових випробувань як матеріалу зміцнювального шару леза і долота лемеша обрано порошкову суміш ПР-ФБХ-6-2 (68%) + WC (30%) + Al (2%). Коефіцієнт відносної зносостійкості даного виду сплаву перебуває в межах (при різних питомих тисках) 3,6-4,5.

Як матеріал основи нових лемеша і долота, як уже зазначалося, переважно за параметрами міцності, обрано сталь 30ХГСА. Вона також досить зносостійка - дещо перевершує показники зносостійкості сталі Л53 (аналог - сталь 45), що використовується для виготовлення серійних лемешів, і співставна за зносостійкістю з відомою високовуглецевою сталлю 65Г. При цьому за міцністю вона перевершує сталі Л53 і 65Г в 1,5-1,7 рази.

Слід зазначити, що "перенесення" результатів лабораторних випробувань на реальні умови зношування можливе лише з певним наближенням (на практиці воно досягає різниці в порівнюваних результатах у 30-35%). Це визначається як умовами лабораторних випробувань, так і реальною відмінністю у властивостях ґрунтів. Зокрема, в даному лабораторному процесі зношування моделюється, в основному, процес "мікрорізання" (особливо при використанні в якості абразивного матеріалу частинок корунду), в той час як в експлуатаційних умовах можливі, поряд з "мікрорізанням", і інші процеси зношування: "полідеформаційний", "втомного викришування", хімічний.

Таким чином, попередньо обґрунтовано вибір матеріалів основи і зміцнювального шару розроблюваних нових лемешів і доліт плугів. Необхідна перевірка властивостей обраних матеріалів в експлуатаційних умовах.

Також важливим фактором є вибір параметрів леза та долота лемеша (насамперед товщини).

Як уже частково зазначалося вище, однією з основних характеристик лемешів плугів, що значною мірою визначає показники їхнього ресурсу, є їхня лезова зносостійкість.

Слід розрізнити два види лезової зносостійкості лемешів; лінійну та конструкційну.

Під лінійною зносостійкістю розуміють величину зворотну до зносу, пов'язаного зі зменшенням лінійних параметрів лемеша, здебільшого по ширині основи лемеша і по довжині його долота.

В узагальненому плані конструкційна зносостійкість визначається значенням і характером розподілу питомих тисків, властивостями абразивної маси, розподілом зносу по робочим поверхням, відносною зносостійкістю різних матеріалів у заданих умовах експлуатації та багатьма іншими факторами, що залежать в експлуатаційних умовах від конструкції деталі.

У загальному плані зносостійкість робочих органів сільськогосподарських, зокрема ґрунтообробних машин, може бути підвищено:

- за рахунок використання матеріалу основи деталі підвищеної зносостійкості;
- за рахунок використання двошарових (переважно лезових) деталей з істотною відмінністю значень коефіцієнтів відносної зносостійкості шарів, що технологічно досягається зазвичай способами наплавлення твердого сплаву на матеріал основи деталі;
- за рахунок використання обох заходів, наведених вище.

Останній випадок найперспективніший, оскільки поряд з підвищенням зносостійкості дає змогу розв'язувати проблему міцності деталі, у зв'язку з тим, що здебільшого матеріал основи деталей підвищеної зносостійкості (зокрема, сталі), як правило, мають і підвищену міцність (тимчасовий опір розриву). Окремо в цьому ряду стоять проблеми в'язкості, крихкості та відносного подовження, які мають вирішуватися застосуванням тих чи інших матеріалознавчих технологій (режимів). Своєю чергою розв'язання проблеми

міцності дає змогу використовувати менш матеріаломісткі та більш працездатні деталі сільгосптехніки з поліпшеними експлуатаційними, агротехнічними та енергетичними характеристиками.

Підвищення "конструкційної зносостійкості" лемешів у спрощеному вигляді можна розуміти, як захист від "затуплення леза" і збереження форми лемеша (вильоту носка) в процесі зношування, близької до початкової.

Захисту від затуплення леза лемеша і його носової частини в процесі зношування можна домогтися двома основними способами: - зниженням товщини матеріалу основи (леза) лемеша; деякою мірою зниженням початкового кута загострення леза лемеша, що дає змогу домогтися певної гостроти леза в початковий період зношування. - створенням двошарових (з наплавленням, зміцненням) лез лемеша і долота (носка), які в процесі зношування мають поліпшені умови формоутворення (знижений темп затуплення леза, в окремих випадках можуть мати місце процеси, близькі до "самозаточування").

Застосування двошарових лемешів дає змогу, за правильно обраних параметрів деталі (переважно: співвідношень товщин основного металу і зміцненого шару; співвідношень коефіцієнтів відносної зносостійкості різномірних металів), домагатися поряд з лінійним підвищенням зносостійкості також збереження або значного зменшення темпу зміни (затуплення) форми леза. Тобто досягається ефект поліпшеного формоутворення, а також (іноді) самозаточування леза.

Термін "самозаточування" раніше застосовувався досить широко, але на практиці стійкий процес самозаточування, наприклад, ґрунторіжучого леза спостерігається лише на легких (за твердістю і щільністю), з високою абразивною зношувальною здатністю ґрунтах - піщаних і супіщаних.

Параметри і співвідношення товщин різномірних матеріалів леза лемеша визначальною мірою впливають як на показники лінійної, так і конструкційної (боротьба із затупленням) зносостійкості.

Зокрема, для вітчизняного лемеша плуга мінімальною шириною його леза (основи) є 90..95 мм, тобто допустиме зношування становить близько 30 мм.

Для різних конструкцій накладного долота гранична величина зносу перебуває в межах 50...60 мм. Ширину наплавленого шару з економічних міркувань зазвичай вибирають на 5...10 мм меншу за величини допустимого зносу.

Виходячи з викладеного, ширину наплавленого шару леза лемеша вибираємо в межах 22-24 мм, а долота 35-42 мм.

Розроблені лемеші та накладні долота з плазмовим наплавленням мають дуже значне напрацювання (понад 130 га на корпус). Цей факт пояснюється досить низькими в даній зоні абразивними властивостями ґрунту. Порівняно із серійними наплавленими індукційним способом (товщина наплавлення безвольфрамового твердого сплаву ПГ - С27 твердістю 51...55 од. НРС становила як на лезі так і на носовій частині лемеша 1,4...1,7 мм) лемешами з термообробленої сталі Л53 перевага за швидкістю зношування в зоні леза лемеша в дослідних лемешів становила до 4,0...4,5 разів (0,06...0,08 мм/га у дослідного лемеша і 0,27...0,36 мм/га у серійного лемеша), а в зоні носка (долота), власне до 3,6...4,3 разів (0,11-0,13 мм/га у дослідного лемеша і 0,43...0,58 мм/га у серійного).

Напрацювання на серійний наплавлений леміш навіть за таких відносно легких ґрунтових умов становило 27...35 га (без урахування поломок і деформацій), у яких після цього напрацювання наставав граничний стан унаслідок лінійного спрацьовування в зоні шкарпетки на величину близько 20 мм, з відповідним заокругленням зони шкарпетки. Плуг із серійними лемешами, що перебувають у такому зношеному стані, не заглиблювався. У дослідних лемешів, після зносу долота на величину 12...14 мм, що орієнтовно усереднено відповідало напрацюванню у 80...85 га, проводилася операція висування долота і лемеші продовжували стійку роботу. Навіть після переробки, що перевищує 130 га, дослідні лемеші залишалися працездатними.

При цьому долота виробили ресурс і були замінені на нові. Поломок і деформацій у дослідних лемешів не було. При цьому до 35...50% серійних лемешів або ламалися, або деформувалися, не виробивши й половини ресурсу по зносу, тобто зазвичай деформація наступала в межах наробітку 10...17 га на леміш. Таким чином, підвищення ресурсу і довговічності дослідних лемешів у даній ґрунтовій зоні, як порівняти із серійними наплавленими, становить більше ніж у 4 рази.

На рис. 3.11 наведено вигляд дослідного долота після наробітку понад 70 га на корпус плуга.



Рис. 3.5. Вигляд дослідного напавленого долота евольвентного лемеша вітчизняного плуга після напрацювання на корпус понад 70 га.

Експлуатації лемешів на значно важчих: супіщаних і суглинкових високої твердості(подекуди понад 5,0 МПа), призводить до зменшення ресурсу серійних вітчизняних лемешів – 3,5-3,9 га (див. рис. 3.6.) на плужний корпус, що більш ніж у 7-8 разів менше, ніж у ресурсі тих самих серійних лемешів на глинистих (і

важко-суглинкових) ґрунтах. Ресурс дослідних наплавлених лемешів і накладних доліт, виготовлених зі сталі 30ХГСА, перевершує серійні щонайменше в 3,2 рази з однією заміною долота



Рис. 3.6. Загальний вигляд не працюючого серійного лемеша, виготовленого зі сталі Л53 з індукційним напавленням після напрацювання 3,5 га на корпус у важких ґрунтових умовах.

Темп зношування як дослідних так і серійних лемешів на даних видах ґрунтів був істотно (до 12...15 разів) вищим порівняно з аналогічним темпом зношування лемешів на глинистих ґрунтах.

У зоні леза лемеша швидкість зношування дослідженого лемеша становила 1,1...1,4 мм/га, у серійного – 2,3...2,8 мм/га (перевага до 2 разів), у зоні носка у дослідженого – 4,4..4,7 мм/га, у серійного – 16...18 мм/га (перевага в 3,6...3,9 разів).

Тут також серійні лемеші досягли граничного стану внаслідок швидкого зношування (заокруглення) носової частини. При цьому серійний напавлений лемеш вибраковувався за наявності істотного запасу на спрацювання за шириною леза.



Але головною особливістю випробувань на таких важких ґрунтах (висока твердість, галька, кам'яністі включення) було практично масове (до 70-80%) вибракування серійних лемешів через деформації та поломки. У дослідних лемешів невеликої деформації (в зоні долота) зазнає лише одне леміш, під час наїзду плуга на валун. Для цих особливо важких умов передбачено або збільшення товщини прокату матеріалу лемеша до 12 мм (замість 10 мм), або приварювання зміцнювальної косинки.

З урахуванням гарантованої міцності дослідних виробів, виготовлених із високоміцних сталей, і масових поломок серійних аналогів (у представлених ґрунтових умовах) загальний ресурс експериментальних лемешів і доліт лемешів перевищує ресурс серійних виробів не менше ніж у 4 рази.

На рис. 3.7 і 3.8 представлено зношені дослідні лемеші та долота лемешів після зношування у важких ґрунтових умовах.



а)



Рис. 3.7. Загальний вигляд дослідних зношених розроблених евольвентних лемешів (а) і долотів (б), виготовлених зі сталі 30ХГСА з плазмовим наплавленням після напрацювання 7,5 га на корпус у важких ґрунтових умовах



Рис. 3.8. Порівняльний вигляд нового і зношеного наплавлених накладних доліт вітчизняних лемешів, виготовлених зі сталі 30ХГСА після напрацювання близько 7,5 га на плужний корпус у важких ґрунтових умовах.

За ресурсом дослідні лемеші мають перевагу перед серійними в 3,5...5,5 разів.

Аналіз швидкостей зношування порівнюваних виробів підтверджує відому закономірність деякого зближення темпів зношування (у межах від 4 до 2 разів) різних виробів у разі зростання питомого тиску (твердості ґрунту). При цьому найважливішим чинником є механічний склад ґрунту (насамперед відсотковий вміст піску та частки гальки), який на різних ґрунтових фонах може суттєво відрізнитися від установлених усереднених значень.

Для суттєвого підвищення ресурсу лемеш повинен мати трапецієподібний профіль (у плані), евольвентну форму (у перерізі), накладне (як варіант приставне), висувне змінне долото, яке виділяється в носовій частині. Кут нахилу трапецієподібної лінії (леза) до горизонталі – 3...5°.

Методика вибору кута різання лека лемеша і, відповідно, параметрів евольвенти в перерізі лемеша ґрунтується на даних щодо впливу величини кутів різання (подрібнення; заднього кута різання) лека лемеша на значення загальних та питомих навантажень, теоретичних положень про випереджувальну тріщину та ущільнене ґрунтове ядро й умов косоного різання клином.

Параметри евольвенти окружності леза лемеша в різних перерізах лемеша мають відповідати таким заднім кутам різання: - на п'яті лемеша –  $4^\circ$ ; у середині леза лемеша –  $10...11^\circ$ ; на носку лемеша –  $20...22^\circ$ . Лезо лемеша і його долото мають бути зміцнені твердосплавним наплавленим шаром з нижнього (тильного) боку.

У процесі досліджень розроблено такі узагальнені вимоги до сталей для матеріалів основи лемеша плуга з підвищеними характеристиками надійності та працездатності.

Сталь не повинна містити великої кількості ( $> 0,15\%$ ) наддорогих елементів (типу молібдену, титану і нікелю). Ціна сталі не повинна більш ніж на 20 % перевищувати ціну сталі 30ХГСА або на 50 % ціну сталі 65Г у разі серійного виробництва.

Рекомендовані конкретні марки сталей для виробництва лемешів плугів:

- Вітчизняні серійні: 30 ХГСА; 27ХГР; 40ХГР.
- Імпортні серійні: 30Mn5.
- Вітчизняні дослідні: 25ХГТЮР; 39Х5ГН5М1ТЮР.

Товщину наплавленого з нижнього боку шару леза лемеша і його долота вибирають, виходячи з трьох умов:

- максимальної зносостійкості;
- поліпшеного формоутворення лезової частини лемеша і долота;
- технологічних.

На практиці рекомендовані значення товщини наплавленого шару становлять: для двошарового леза лемеша –  $h=2,6...2,8$  мм; для двошарового долота лемеша –  $h = 3,3...3,6$  мм.

## Висновки по розділу

Як уже зазначалося в цьому розділі, перевага за ресурсом (зносостійкістю) дослідних лемешів перед серійними до 4 і більше разів досягнута за рахунок комплексного використання кількох чинників (нових розробок):

- наявності накладного висувного замінного долота, що дає змогу, зокрема, "послаблювати" тиск ґрунту на основну лемішну лезову поверхню, і, відповідно, дещо зменшити штамп зношування леза лемеша (ефект "випереджальної тріщини");

- наявності евольвентного профілю леза дослідного лемеша зі змінним зменшеним кутом різання (подрібнення), що також знижує значення питомого тиску ґрунту на лезо лемеша і темп його зношування;

- використання міцнішої (до 1,6 раза) та зносостійкішої (до 1,1 раза) сталі в дослідного розробленого лемеша з долотом порівняно із серійним варіантом.

- використання долота підвищеної товщини (12 мм) у дослідного розробленого лемеша порівняно з 9,5 мм у носовій частині серійного лемеша;

- використання більш товстого наплавленого шару (2,6-2,8 мм на лезі дослідного лемеша і 3,3-3,6 мм на його долоті, як порівняти з 1,4...1,7 мм у серійного лемеша) у дослідного розробленого виробу;

- використання більш зносостійкого (до 30%) твердого сплаву з вольфрамом, який містив вольфрам, для зміцнення дослідного лемеша і його долота.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Лемеші плугів, що серійно випускаються у вітчизняному виробництві, мають низькі показники технічного рівня за якістю технологічного процесу (особливо за заглиблювальною здатністю, стійкістю ходу за глибиною), питомими енергетичними параметрами, міцністю і ресурсом.

Розроблений відповідно до робочої гіпотези новий леміш з евольвентним профілем накладним долотом, з наплавочним нижнім зміцненням як лека лемеша, так і долота, виготовлений з високоміцних сталей (типу 30 ХГСА) у різних ґрунтових умовах має ресурс, що в 3,5...5,5 разів перевищує серійний аналог, з гарантією від поломки завдяки використанню комплексу нових конструктивних і матеріалознавчо-технологічних рішень.

Як зміцнювальне наплавочне покриття обрано суміш залізовуглецевого сплаву марки ПГ-ФБХ-6-2 з добавкою (до 30...35%) литого карбїду вольфраму (WC). Рекомендований обґрунтований технологічний спосіб нанесення зносостійкого покриття на леміш і долото – плазмове дугове наплавлення в середовищі стисненого повітря.

Виходячи з аналізу значень критеріїв граничного стану лемеша, умов поліпшеного формоутворення лека лемеша і долота, динаміки лінійного зношування обґрунтовано параметри товщини та ширини.

- за товщиною: на лезі лемеша – 2,6...2,8 мм; на долоті – 3,3...3,6 мм.

- за шириною: на лезі лемеша – 22...24 мм; на долоті – 35...42 мм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
2. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
3. Atmospheric Corrosion / Leygraf C., Wallinder I.O., Tidblad J., Graedel T. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2016. 397 p.
4. Stawicki T., Kostencki P., Białobrzaska B. Roughness of Ploughshare Working Surface and Mechanisms of Wear during Operation in Various Soils. *Metals*. 2018. № 8. 1042. <https://doi.org/10.3390/met8121042>.
5. Kostencki P., Borowiak P. Temperature of ploughshare material in the course of ploughing. *Bimonthly Tribologia* 2016. 266 (2). P. 45-59. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.7563>.
6. Pérez G., González H., Toro A. Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en un suelo franco arenoso. *DYNA*. 2010. Vol. 77, Núm. 162. p. 105-114.
7. Nalbant M., Palali A. T. Effects of different material coatings on the wearing of plowshares in soil tillage. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2011. № 35 (3): P. 215-223. DOI: 10.3906/tar-0904-30
8. Ayadi S., Hadji A. Effect of Heat Treatments on the Microstructure and Wear Resistance of a Modified Hadfield Steel. *Metallophysics and Advanced Technologies*. 2019. vol. 41, № 5, p. 607–620. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.05.0607>
9. Куликівський В.Л, Шевчук Б.Л. Конструктивні та матеріалознавчі параметри лемешів плугів вітчизняних і провідних зарубіжних виробників та їх аналіз. Збірник тез ІХ-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу

сільськогосподарських машин і знарядь». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 269-273.

10. Куликівський В.Л, Шевчук Б.Л. Обґрунтування вибору технологічних способів зміцнення (наплавлення) лемешів. Проблеми надійності та міцності машин і споруд: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 11–12 травня 2023 р. Державний біотехнологічний університет. Харків, 2023. С. 25-28.

11. Rabinowicz E., Dunn L.A., Russell P.G. A study of abrasive wear under three-body conditions. *Wear*. 1961. Vol. 4. P. 345-355 [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(61\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(61)90002-3).

12. Richardson R.C.D. The maximum hardness of strained surfaces and the abrasive wear of metals and alloys. *Wear*. 1967. Vol. 10(5). p. 353-382.

13. Ковальчук Ю. О. Лазерне зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь зі сталі 65Г. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 254. С. 174-182.