

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Свінціцький Владислав Віталійович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГРУНТООБРОБНИХ
ЗНАРЯДЬ ЗА КРИТЕРІЯМИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ**

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

_____ **Свінціцький В.В.**

Керівник роботи

Грабар І.Г.

д.т.н., професор

АНОТАЦІЯ

Свінцицький Владислав Віталійович. Підвищення надійності ґрунтообробних знарядь за критеріями зносостійкості. – 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 для формування оптимальної глибини та структури зносостійкого шару та серцевини виливків слід використовувати високоміцний чавун з низьким вмістом марганцю та кремнію, а також низьким значенням кремнієвого еквівалента евтектики.

Найбільше напрацювання показали долота з вибіленим шаром у ріжучій частині до 120 га, проте мартенсит у металографічній структурі підвищував крихкість, через що спостерігалися часті злами долота. Долота, зміцнені термоциклічним гартуванням ($\epsilon = 2,8$) мали напрацювання на відмову до 88 га, при цьому долота зберігали цілісність протягом усього часу спостереження.

Рекомендації до виробництва. З метою забезпечення високих показників довговічності доліт чизельних ґрунтообробних знарядь, а також скорочення витрат на чизелювання ґрунту, рекомендується застосовувати як матеріал для їх виготовлення високоміцний чавун з наступним термоциклічним гартуванням для раціонального структурування робочих зон з метою отримання у фронтальній ріжучій частині металографічної структури стійкої до інтенсивного абразивного зношування, з твердістю по Брінеллю більше 400 НВ; у перехідній зоні, для опору ударним згинальним навантаженням – 220 - 260 НВ; у кріпильній частині долота, для виконання механічної обробки та запобігання зламу у небезпечному перерізі, внаслідок ударних навантажень – твердістю в межах 130 – 140 НВ.

Ключові слова: надійність, зносостійкість, долото, чавун, ґрунтообробні знаряддя.

ANNOTATION

Svintsitsky Vladislav Vitalievich. Improving the reliability of tillage tools by wear resistance criteria. – 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.

The qualification work established that high-strength cast iron with low manganese and silicon content and a low value of the silicon equivalent of the eutectic should be used to form the optimal depth and structure of the wear-resistant layer and core of castings.

Bits with a bleached layer in the cutting part up to 120 ga showed the highest service life, but martensite in the metallographic structure increased brittleness, which led to frequent bit breakage. The bits hardened by thermocyclic quenching ($\varepsilon = 2.8$) had a time between failures of up to 88 ha, while the bits retained their integrity throughout the observation period.

Recommendations for production. In order to ensure high durability of chisel tillage tools bits, as well as to reduce the cost of chiselling the soil, it is recommended to use high-strength cast iron as a material for their manufacture, followed by thermocyclic hardening for rational structuring of working zones in order to obtain a metallographic structure in the front cutting part resistant to intensive abrasive wear, with Brinell hardness of more than 400 HB; in the transition zone, to resist shock bending loads - 220 - 260 HB; in the fastening part of the bit, for machining and preventing fracture in a dangerous section due to shock loads - with a hardness in the range of 130 - 140 HB.

Keywords: reliability, wear resistance, bit, cast iron, tillage tools.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНИХ ПЛУГІВ.....	9
РОЗДІЛ 2. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	21
РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА ЗА КРИТЕРІЯМИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Відповідно до Доктрини продовольчої безпеки, розробка та реалізація програм технічної та технологічної модернізації, у тому числі впровадження нової техніки та технологій, які забезпечують підвищення продуктивності праці, енергоефективність, ресурсозбереження та зниження втрат у сільському господарстві, є основним напрямком державної політики у сфері забезпечення продовольчої безпеки.

Сучасне рослинництво має високу енергоємність, що має тенденцію до швидкого зростання. У рослинництві витрачається до 80 % всіх енергетичних витрат у сільському господарстві. Основні витрати (до 40%) припадають на ґрунтообробку, тому що для підтримки високої родючості ґрунту як основного засобу виробництва культурних рослин потрібно виконувати низку технологічних операцій, пов'язаних із структуруванням родючого шару.

Найбільш енергоємними є операції основного обробітку ґрунту, до яких можна віднести відвальне оранку і чизелювання.

Дані операції характеризуються високими динамічними та силовими навантаженнями на робочі органи, що суттєво впливає на їхній ресурс.

Високі навантаження на робочі органи в сукупності з високим процентним вмістом абразивних частинок у ґрунтах критично знижують ресурс робочих органів. Актуальність проблеми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних знарядь зростає з кожним роком у зв'язку з швидкістю виконання операцій, продуктивністю та інтенсивністю експлуатації машинно-тракторних агрегатів, що безперервно збільшується.

Від ступеня зносу робочих органів знарядь для основного обробітку ґрунту залежить якість процесу різання ґрунту з урахуванням технологічних агрономічних і мінімальних витрат енергії. На якість різання впливає сталість геометричної форми різальних поверхонь у процесі експлуатації.

Сучасні дослідження показують, що напрацювання на відмову лемешів відвальних плугів та доліт чизельних плугів з урахуванням ґрунтів з різним гранулометричним складом при сучасному рівні інтенсифікації є явно недостатнім.

Нині значно зросли постачання сільськогосподарської техніки імпортного виробництва та запасних частин до неї, у тому числі й робочих органів. Широкого поширення набули чизельні плуги марок John Deere (США), GregoireBesson і UNIA (Польща), Lemken (Німеччина), Kuhn (Франція), відвальні плуги марок Kverneland (Норвегія), Vogel-Noot (Австрія) та ін.

Слід зазначити, що імпортні моделі робочих органів переважно виготовляють методами ливарних технологій та використовують при цьому високовуглецеві сплави.

У вітчизняному сільгоспмашинобудуванні для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин використовують сортовий прокат вуглецевої або малолегованої сталі. Зносостійкість ріжучих елементів робочих органів забезпечують об'ємним або локальним загартуванням (при достатньому вмісті вуглецю в сталі) або наплавленням різними зносостійкими матеріалами.

Використання високовуглецевих сплавів під час виготовлення робочих органів бачиться перспективнішим напрямом підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь. Пов'язано це з особливістю високовуглецевих сплавів: залежно від режимів кристалізації або подальшої термічної обробки отримувати різноманіття структур різних за своїми міцності та триботехнічних характеристик.

Все це свідчить про те, що роботи спрямовані на застосування високовуглецевих сплавів у технологіях зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин для підвищення їх довговічності, є актуальними.

Мета роботи – розробка концептуальних основ використання високовуглецевих сплавів у технологіях зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- Вивчити особливості формування зносостійких структур у високовуглецевих сплавах, що мають більш прогресивні триботехнічні характеристики.
- Обґрунтувати режими термічної обробки робочих органів клиноподібної форми з урахуванням їх геометричних, масових та термодинамічних характеристик.

Об'єкт дослідження: зміцнюючі технології робочих органів ґрунтообробних знарядь виконаних із високовуглецевих сплавів.

Предмет дослідження: показники довговічності робочих органів ґрунтообробних знарядь, виконаних із високовуглецевих сплавів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Свінціцький В.В., Венглівський І.І. Підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023” 01 – 03 червня 2023 р. Вінниця. [Електронний доступ] : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2023/paper/view/18350>

2. Грабар І.Г., Свінціцький В.В. Аналіз особливостей конструкції та матеріалів, що застосовуються для виготовлення робочих органів чизельних плугів. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значимість полягає у запропонованих рекомендаціях, які можуть бути використані підприємствами агропромислового комплексу для підвищення довговічності робочих органів, виконаних з високовуглецевих сплавів як на стадії виготовлення, так і в процесі подальшої експлуатації, а також отримувати достовірну інформацію про їхній залишковий ресурс

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 39 сторінок комп'ютерного тексту, містить 24 рисунки та 6 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНИХ ПЛУГІВ

Серйозною проблемою ґрунтообробних агрегатів для глибокого безполицевого обробітку є низький ресурс їхніх робочих органів, зокрема доліт. Під час глибокого розпушування ґрунтів різного виду та фізичного стану їхнє напрацювання становить близько 5 га. Робочі органи швидко зношуються зі зміною геометричної форми, що призводить до порушення якості безполицевого обробітку.

Конструктивні особливості, а також вид зміцнення робочої поверхні доліт чизельного плуга, безпосередньо впливають на собівартість виконання безвідвального обробітку, а також на якість технологічної операції.

Наразі на території України безполицевий обробіток ґрунту здійснюють вітчизняними та зарубіжними чизельними плугами фірм "Kuhn", "Kverneland", "Vogel&Noot", "John Deere", "Lemken" та ін.

Незалежно від фірми і країни виготовлення робочих органів плугів розпушувачів, їхня конструкція може бути фронтального кріплення, бути плоскою, або бічного кріплення, у вигляді наконечника, рисунок 1.1.

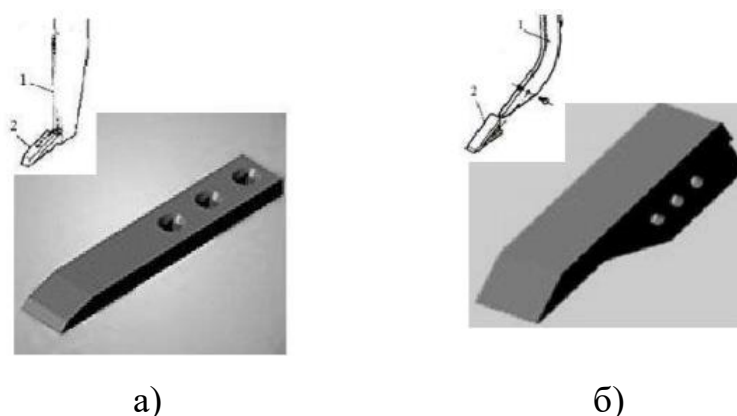


Рис. 1.1. Особливості конструкції долота з фронтальним (а) і бічним (б) кріпленням: 1 – стійка; 2 – робочий орган чизельного плуга

Виготовлення робочих органів чизельного плуга плоскої форми, рис. 1 а – значно технологічніші на стадії виготовлення, проте під час експлуатації ускладнюється процес їхньої заміни в польових умовах. Робочі органи, що мають бокове кріплення, рис. 1 б, мають кращий показник ремонтпридатності, легко демонтуються в польових умовах. Однак технологічно такі долота значно складніші. Для отримання просторових конструкцій зі сталевих сортamentу необхідні додаткові технологічні операції зварювання та кування. За рахунок використання зварювання в технологічній операції виготовлення долота, значно скорочується вибір сталей до низьковуглецевих, які не піддаються термічній обробці, а отже мають низьку зносостійкість. Підвищити зносостійкість можливо за рахунок додаткового впровадження операцій наплавлення, однак це значно підвищить собівартість продукції.

Застосування сталей середньовуглецевих, із вмістом вуглецю понад 0,35 % для унеможливлення тріщиноутворення під час зварювання потребує попереднього нагрівання зварюваних частин, що ускладнить масове виробництво.

Найбільшим попитом користуються робочі органи чизельного плуга, виконані з низьковуглецевого малолегованого листового або смугового прокату. Фірми "Vogel&Noot" і "Kverneland" виробляють долота плоского форм-фактора, рисунок 1.2, 1.3.



Рис. 1.2. Робочий орган чизельного плуга, "Vogel&Noot"

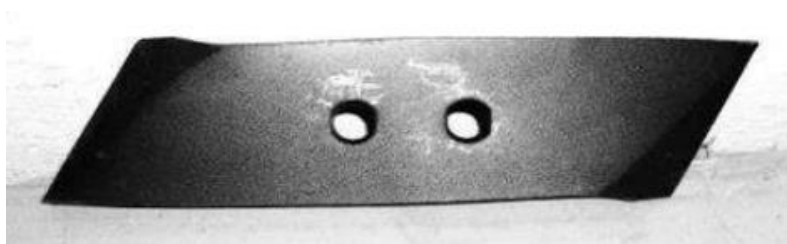


Рис. 1.3. Робочий орган чизельного плуга, "Kverneland".

Виробник доліт "Vogel&Noot" використовує спеціальне високоміцне наплавлення "Diamant", "Kverneland" свої долота виготовляє зі сталі 60 ПП, з поверхневим термозміцненням.

Плоска форма долота фронтального кріплення випускається виробниками з різними технологічними підходами підвищення ресурсу: "GregoireBesson", рис. 4; "UNIA", рис. 5; "Lemken", рис. 6; "Kuhn", рисунок 1.7;



Рис.1.4. Робочий орган чизельного плуга фірми "GregoireBesson", у складі сталі бор

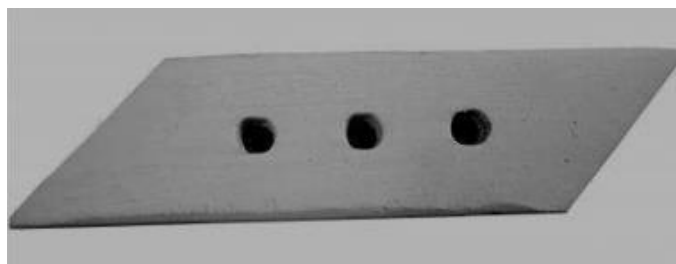


Рис. 1.5. Робочий орган чизельного плуга фірми "UNIA" (високолегована сталь)

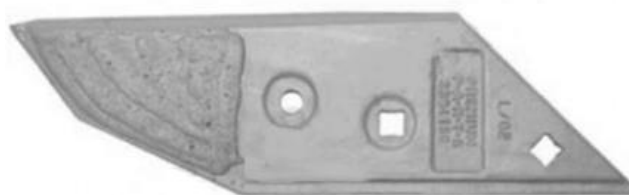


Рис. 1.6. Робочий орган чизельного плуга фірми "Lemken" (наплавлення Vulcan).

Фірмою "John Deere" випускаються долота-наконечники бічного кріплення для чизельних знарядь складної форми, рисунком 1.8, які виготовляються методом лиття з використанням високоміцного чавуну з отриманням бейнітної структури. структури (технологія CAD).



Рис.1.7. Робочий орган чизельного плуга фірми "Kuhn" зі сталі Huard с наплавленням.



Рис. 1.8. Долото фірми "John Deere".

Розглянуті робочі органи чизельного плуга, представлені на вітчизняному ринку, зміцнені зносостійкими наплавленнями та термооброблені, мають високу вартість.

Ресурс, залежно від технології зміцнення, відрізняється, однак, у більшості випадків, залишається недостатнім. Рекомендовані значення напрацювання для робочих органів:

- для доліт чизельних плугів, що не мають зносостійкого наплавлення - 20 га;

- для доліт чизельних плугів зі зносостійким наплавленням - 30 га, не у всіх випадках виконуються, тому підвищення ресурсу робочих органів є актуальним і важливим заходом. Завдання підвищення ресурсу можливо вирішити, як за рахунок вдосконалення конструкції, так і матеріалознавчими підходами.

Для робочих органів ґрунтообробних знарядь визначено гранично допустимі зноси, при яких відбувається порушення технології основної обробки.

Черевики ґрунту, зокрема, при відвальній обробці граничні знос лемеша не дозволяє заглиблюватися плугу, при чизельній обробці – відбувається значне збільшення опір переміщенню зброї, порушується якість розпушування. Однак прогнозувати ресурс робочих органів у реальних умовах експлуатації спираючись лише на дані, отримані у певних умовах їхньої роботи, в умовах одного поля, однакової вологості та гранулометричного складу, є скрутним.

Інтенсивність зношування металевих робочих органів в абразивному середовищі залежить від великої кількості змінних, що мають між собою тісний зв'язок.

Зниження вологості підвищує твердість ґрунту та його інтенсивність зношування, отже, зростає тиск на робочі поверхні та швидкість ковзання частинок по них.

Безперервно мінливі сили на поверхні тертя, складна динаміка взаємодії робочої поверхні та частинок ґрунту ускладнюють опис процесу зносу.

У своїх роботах Тененбаум М.М. та Розенбаум О.М. пропонують аналітичне рівняння динаміки зношування складати за миттєвою швидкістю зношування, яка представлена рівняннями:

$$\frac{dW_1}{d\tau} = \frac{m_1(W_1 \dots W_n)}{\varepsilon_u} \Phi_1 \left[\frac{P_1(W_1 \dots W_n)}{F_1(W_1 \dots W_n)} \right] \mu_1(W_1 \dots W_n),$$

$$\frac{dW_n}{d\tau} = \frac{m_n(W_1 \dots W_n)}{\varepsilon_{in}} \Phi_i \left[\frac{P_1(W_1 \dots W_n)}{F_1(W_1 \dots W_n)} \right] \mu_1(W_1 \dots W_n),$$
(1.1)

де: W - значення лінійного зношування робочої поверхні, що визначає працездатність, мм; τ - напрацювання робочого органу в одиницях часу, шляхи чи роботи; $\Phi_1 \left[\frac{P_1(W)}{F_1(W)} \right]$ відношення, що показує вплив питомого тиску на швидкість зношування; $P_{1(W)}$ - функція залежності значення нормального зусилля робочої поверхні від величини зносу W ; $P_{1(F)}$ - функція залежності площі поверхні робочого органу від значення зносу W ; $m_{i(n)}$ - функція зміни здатності

середовища до зношування від величини зносу W ; $\mu_{i(n)}$ - функція залежності переміщення за одиницю часу від величини зносу W ; $\varepsilon_{i(n)}$ - коефіцієнт відносної зносостійкості випробуваного зразка у фіксованих умовах.

Однак рішення цієї системи рівнянь не запропоновано. Також дана залежність не враховує такі залежності, як зношує здатність абразивних частинок від тиску та відносна зносостійкість матеріалу.

М.М. Севернев займався питанням прогнозування зносу робочих органів ґрунтообробних знарядь у реальних умовах експлуатації шляхом порівняння з еталонним матеріалом в еталонних умовах, а саме: швидкість переміщення зразка $V_{отн}$ - 1 см/с; одиниця часу - 1; площа зіткнення при терті $S = 1 \text{ см}^2$; тиск $P = 1 \text{ МПа}$. Це припущення виражається рівнянням:

$$\Delta G_{эм} = K \frac{p V_{отн} \cdot t \cdot S \gamma}{H_{эм}}, \quad (1.2)$$

де: K - коефіцієнт пропорційності; p - питома сила дії абразиву;

γ - значення об'ємної ваги еталонного зразка; $H_{эм}$ - значення твердості еталонного зразка;

Показники зносу будь-яких інших матеріалів за названих умов дорівнює:

$$\Delta G = \Delta G_{эм} \cdot m \cdot \varepsilon \frac{K_{\gamma}}{K_{н}} \quad (1.3)$$

де: $\Delta G_{эм}$ - значення питомого зносу еталонного зразка еталонним ґрунтом; ε - значення відносного зносу матеріалу; m - коефіцієнт відносної зношування здатності ґрунту, що є ставленням інтенсивності зносу зразка даними абразивними частинками до інтенсивності зносу того ж зразка до еталонного абразивного середовища; K_{γ} - значення об'ємної ваги зразка до об'ємної ваги еталонного зразка $K_{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_{ет}}$; $K_{н}$ - відношення твердості застосовуваного матеріалу до твердості еталонного зразка $K_{н} = \frac{H}{H_{ет}}$;

Аналітична вираз довговічного робочого органу, запропонована М.М. Северневим, має недолік, зокрема, щодо питомого зносу еталонного зразка

еталонним ґрунтом параметром, визначальним різну зношування матеріалу, була твердість. Однак, при безперечному взаємозв'язку між твердістю матеріалу та його зносостійкістю, їх взаємозв'язок не має прямої кореляції. Значною мірою зносостійкість залежить від металографічної структури. Аналітичний вираз також не враховує умови роботи, зокрема, тиск абразиву. Практичне визначення виразу не може методикою визначення коефіцієнта «m».

П.М. Львов у своїх дослідженнях запропонував аналітичним способом визначити коефіцієнт зносостійкості металевих зразків з урахуванням мікротвердості його структурних складових.

$$K = \frac{1,11\eta \cdot H_{Дк} + (1-\eta)H_{До}}{1,11\eta' H'_{Дк} + (1-\eta')H'_{До}}, \quad (1.4)$$

де: K – порівняльна зносостійкість; η η' - відсоткова частина зерен високої твердості суми еталонного та випробуваного матеріалів; $H_{Дк}$ – мікротвердість найбільш твердого включення у складі випробуваного металу; $H_{До}$ - мікротвердість матриці у випробуваному металі; $H_{Дк}$, $H_{До}$ - значення мікротвердості найбільш твердого включення та матриці еталона.

Однак показники величини зносу та довговічності за допомогою коефіцієнта визначити важко.

І.В. Крагельським запропоновано метод оцінки зношування зразків, заснований на визначенні питомої зношування матеріалу:

$$i_{И} = \frac{V_1}{S_{\phi} \cdot d'}, \quad (1.5)$$

де: I_i - показник лінійної питомої зношування; V_1 - обсяг випробуваного матеріалу; S_{ϕ} - площа контактної поверхні; d' - середній діаметр контактної поверхні.

Параметр J інтенсивності зношування І.В. Крагельським запропоновано пов'язати з номінальною S_n та фактичною S_{ϕ} площами взаємодії абразивних частинок з поверхнею металевого зразка, також враховуючи номінальний P_n та фактичний S_n тиск:

$$J = i_H \frac{S_{\phi}}{S_n} = i_H \frac{P_n}{P_{\phi}}, \quad (1.6)$$

Дане рівняння містить показники, методика визначення яких дуже трудомістка і точна умовно, що ускладнює визначення довговічності, у тому числі робочих органів ґрунтообробних знарядь.

С.А. Сидоров запропонував знос робочих органів ґрунтообробних знарядь визначати за відомою формулою:

$$W = C \cdot p \cdot \tau, \quad (1.7)$$

де: W – знос, мм; p – тиск, МПа; C - коефіцієнт, що змінюється, який залежить від властивостей ґрунту, характеристик матеріалу та ін, мм/МПа; τ - значення напрацювання на робочий орган, га.

Серед розглянутих вище аналітичних способів розрахунку зносу дане рівняння є найбільш допустимим, проте методи отримання коефіцієнтів поправки і деяких параметрів носять дискусійний характер. Наприклад, висунуто думку, що підвищення тиску частинок абразиву на поверхню робочих органів знижує коефіцієнт відносної зносостійкості матеріалу. Цей факт у своїй роботі В.С. Новіков критикує, звертаючи увагу, що підвищення тиску як мінімум не знижується, а в якихось випадках і підвищується.

В.С. Новіков запропонував аналітичний спосіб визначення показників зносу робочих органів ґрунтообробних знарядь за допомогою зношування зразка еталонного матеріалу за еталонних умов.

$$w_{эм} = K \frac{m_{эм}}{\epsilon_{эм}} P_{эм} \cdot V_{отн.эм} \cdot S_{эм} \cdot t_{эм}, \quad (1.8)$$

де: W_{em} - показник відносної здатності, що зношує; ϵ_{em} - відносна зносостійкість; P_{em} - значення тиску абразивної маси на поверхню, що зношується, МПа; $V_{отн}$ - значення швидкості абразивної маси щодо зразка; S_{em} - площа поверхні зіткнення зразка та абразивної маси, см²; t_{em} - показник тривалості зношування, год; коефіцієнт пропорційності

$$K = \frac{w_{\text{зм}} \cdot \varepsilon_{\text{зм}}}{m_{\text{зм}} \cdot P_{\text{зм}} \cdot V_{\text{отн.зм}} \cdot S_{\text{зм}} \cdot t_{\text{зм}}} \quad (1.9)$$

Знос іншого матеріалу в будь-яких інших умовах пропонується знаходити з рівняння:

$$w = K_{\varepsilon} \frac{m_{\text{зм}} \cdot \eta_1}{\varepsilon_{\text{зм}} \cdot \eta_2} P \cdot V_{\text{отн}} \cdot S \cdot t, \quad (1.10)$$

де: η_1 - коефіцієнт зміни зношування ґрунту; η_2 - коефіцієнт відносної зносостійкості матеріалу зразка.

З урахуванням прямо пропорційної залежності обсягу матеріалу та його маси та зворотної пропорційної залежності щільності, і прийнявши площу зіткнення абразивного матеріалу та зразка $S = 1\text{см}^2$, отримаємо рівняння визначення лінійного зносу:

$$h = K_{\eta} \frac{m_{\text{зм}} \cdot \eta_1 \cdot P \cdot V_{\text{отн}} \cdot t}{\varepsilon_{\text{зм}} \cdot \eta_2}, \quad (1.11)$$

де: h – величина лінійного зносу, см; η_1 - коефіцієнт залежності зношувальної здатності ґрунту від тиску абразивного матеріалу; η_2 - коефіцієнт залежності відносної зносостійкості зразка від абразивного тиску матеріалу.

Запропоновано визначення інтенсивності зношування:

$$\frac{w}{t} = K_{\varepsilon} \frac{m_{\text{зм}} \cdot \eta_1}{\varepsilon_{\text{зм}} \cdot \eta_2} V_{\text{отн}} \cdot P, \quad (1.12)$$

або

$$\frac{h}{t} = K_{\eta} \frac{m_{\text{зм}} \cdot V_{\text{отн}} \cdot p \cdot \eta_1}{\varepsilon_{\text{зм}} \cdot \eta_2}. \quad (1.13)$$

Розраховавши значення граничного зносу визначали термін служби робочих органів ґрунтообробних знарядь за формулою:

$$T = \frac{\Delta h_{np} \cdot \varepsilon_{эм} \cdot \eta_2 \cdot \chi \cdot A}{K_n \cdot m_{эм} \cdot \eta_1 \cdot \varepsilon_{эм} \cdot p \cdot V_n}, \quad (1.14)$$

де: h_{np} – значення граничного зносу робочого органу ґрунтообробної зброї в місці максимального зносу, що спостерігається, см; $m_{эм}$ - показник відносної зношує здатності ґрунту відповідно до механічного складу з еталонним тиском абразиву; p - тиск абразивного матеріалу в місці максимального зносу робочого органу, що спостерігається, МПа; V_n - швидкість переміщення робочого органу у ґрунті, км/год; t - тривалість виконання операції робочим органом, год; χ - відношення швидкості переміщення робочого органу у ґрунті до швидкості руху пласта ґрунту по поверхні робочого органу; A - продуктивність одного корпусу ґрунтообробної зброї, га/год.

З метою врахування технологічних властивостей ґрунту, а саме вологості, В.С. Новиковим запропоновано запровадити поправочний коефіцієнт η_3 , який враховуватиме інтенсивність зношування від вологості. Тоді рівняння набудуть вигляду:

$$h = K_n \frac{m_{эм} \cdot \eta_1}{\varepsilon_{эм} \cdot \eta_2} P \cdot V_{отн} \cdot t \cdot \eta_3,$$

$$T = \frac{h_{д} \cdot \varepsilon_{эм} \cdot \eta_2}{K_n \cdot m_{эм} \cdot \eta_1 \cdot p \cdot V_{отн} \cdot \eta_3}. \quad (1.15)$$

Однак методика визначення деяких параметрів у реальних умовах експлуатації, наприклад, відношення швидкості переміщення робочого органу в ґрунті до швидкості руху шару ґрунту по поверхні робочого органу - χ , а також поправочних коефіцієнтів η_1 η_2 η_3 - коефіцієнта залежності зношувальної здатності ґрунту від тиску абразивного матеріалу, коефіцієнта залежності відносної зносостійкості зразка від тиску абразивного матеріалу, коефіцієнта, що враховує інтенсивність зношування від вологості відповідно, задоволена складна, відповідно значення коефіцієнтів можуть мати

Протягом певного часу як критерій абразивного або іншого механічного зношування металевих зразків була твердість.

Дане твердження ґрунтувалося на кореляції інтенсивності механічного зношування та твердості сталей одного складу, твердість якої змінювалась рахунок термічної обробки.

Результати наукової діяльності останнього часу доводять, що абразивне зношування набагато складніший і не має прямої залежності від твердості (рисунок).

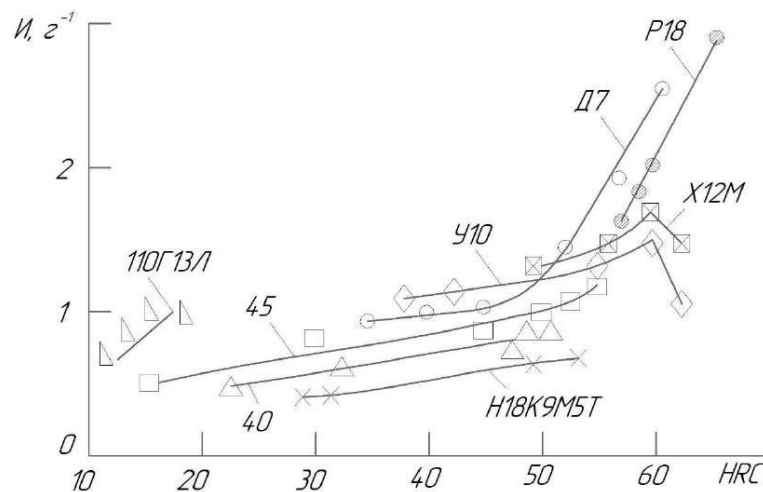


Рис. 1.9. Залежність зносостійкості сталей від їх твердості HRC

Висновки по розділу

При виборі матеріалу для робочих органів ґрунтообробних знарядь завжди враховують його зносостійкість. Однак доведеної залежності між зносостійкістю та механічними властивостями не виявлено. Зносостійкість матеріалів і металевих робочих органів ґрунтообробних знарядь зокрема, це величина, яка залежить від безлічі факторів – механічних властивостей матеріалу робочого органу та абразиву, навантаження, металографічної структури матеріалу, геометричної форми тощо. При незначному збільшенні питомого навантаження у плямі контакту робочого органу та абразивного матеріалу зносостійкість може змінюватись кратно.

Абразивне зношування є головною причиною втрати працездатності деталей робочих органів знарядь сільськогосподарського призначення.

Безсумнівно, підвищення твердості металу підвищує зносостійкість поверхні, проте істотне значення набувають такі показники, як структура металевої основи, наявність карбідних включень та ін, тому зносостійкість поверхні не має прямої кореляції з твердістю металевої поверхні.

На сьогоднішній день математичні методи не можуть враховувати в розрахунках такі вхідні величини, як фізико-механічні властивості матеріалів, металографічну структуру, вид термообробки, тому залишається актуальним питання прогнозування надійності робочих органів типу леміш та долото в реальних умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА РОЗРОБЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Як об'єкт дослідження виступали робочі органи чизельного плуга, виконані з високоміцного чавуну з різними режимами як об'ємного температурного впливу, так і поверхневого модифікування опаленням та без опалення, рисунок 2.1.

Як предмет дослідження служила залежність режимів і видів зміцнювального термічного впливу, у тому числі з опаленням поверхні, та ресурсу, в умовах інтенсивного абразивного зношування, порівняно з долотами, широко представленими на ринку запасних частин, виконаними із сталі 65Г.



а)



б)

Рис. 2.1. Спосіб кріплення робочих органів чизельного плуга: а, б

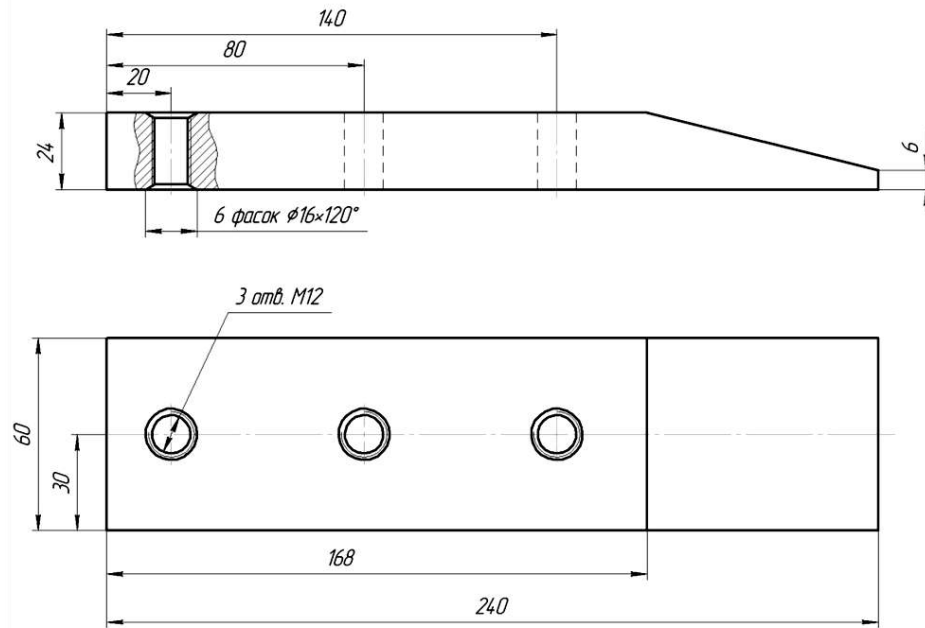


Рис. 2.2. Основні параметри робочого органу чизельного плуга

У випробуваннях брали участь серійні та розроблені робочі органи із наступними режимами термообробки, таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Види термічної обробки долота

Показники	Значення показників для експериментальних партій				
	№1 Серійні долото	№2	№3	№4	№5
Марка матеріалу	Ст 65г	ВЧ 50	ВЧ 50	ВЧ 50	СЧ 20
Вид термічної обробки	Об'ємне закалювання з низьким відпуском	Об'ємне закалювання з низьким відпуском	Дискретне закалювання з низьким відпуском	Дискретне закалювання з низьким відпуском + лазерне зміцнення	Локальне закалювання робочої частини нагріванням ТВЧ+ оплавлення поверхні вольфрамовим електродом

Режими термічної обробки експериментальних доліт наведено у табл..2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри режимів термічної обробки експериментального долота плуга

№ партії	Закалювання		Лазерна обробка в середовищі CO ₂			Відпуск
	Нагрівання	Охолодження	Потужність, Вт	Швидкість руху променю мм/хв	Перекриття доріжок, %	
1 серійна	Пічне T _з =830°C, τ _{выд} =60 хв	масло	-	-	-	T _{отп} =20 0°C τ=90 хв --
2	Ступінчатий до 600°C в печі по 100°C в 15 хв , далі до 900°C в соляній ванній , τ _{выд} =40 хв	масло	-	-	-	T _{отп} =24 0°C τ=130 хв
3	Пічне T _з =830°C, τ _{выд} =60	Дискретне 15с - повітря, 1с - вода, 10с - повітря, 6с - вода, 15с- повітря, 40с - вода, до 20°C зжати́м повітрям	-	-	-	T _{отп} =18 0°C τ=90 хв
4	Пічне T _з =830°C, τ _{выд} =60	Дискретне 15с - повітря, 1с - вода, 10с - повітря, 6с - вода, 15с- повітря, 40с - вода, до 20°C зжати́м повітрям після відпуску	2100	480	30	T _{отп} =18 0°C τ=90 хв
5	ТВЧ, T _з =900°C, τ _{выд} =20с	вода	-	-	-	-

З метою оптимізації режимів термоциклічного гарту регулювали час знаходження носової частини долота в гартовому середовищі та час її саморозігріву від основної частини, а також кількість циклів.

Після кожної експериментальної обробки контролювали твердість у перерізі робочого органу та металографічну структуру за функціональними зонами.

Для порівняння ресурсу експериментальних робочих органів, виконаних з чавуну та термозміцнених відповідно до запропонованих режимів та серійних доліт, виготовлених із сталі 65Г, провели польові випробування.

Випробування на довговічність здійснювалося при чизелювання ґрунтів, типових для Житомирської області, з характерним рельєфом, гранулометричним складом, з установкою робочих органів одному агрегаті.

Проведення робіт виконувалось на базі ТОВ «Аграрні технології» (Бердичівський район), поля якого розташовані на світло-каштанових ґрунтах, вміст гумусу не перевищував 2%, вологість ґрунту коливалася в районі 8...10% (рис.2.4).



Рис. 2.3. Конструкція чизельного плуга ОЧО-5х40

Установка розроблених та серійних доліт проводилася відповідно до номера партії, зазначеної в табл. 2.1, на один чизельний плуг ОЧО-5х40, тим самим забезпечуючи однакові умови проведення випробувань.

Висновки по розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи розроблені параметри режимів термічної обробки розроблених долот плуга.

РОЗДІЛ 3

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА ЗА КРИТЕРІЯМИ ЗНОСОСТІЙКОСТІ

Експериментальні робочі органи, виконані з чавуну та сталі, представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матеріал експериментальних доліт та режими їх термічної обробки

Номер та матеріал зразка	Параметри режимів термообробки
№ 1. Чавун ВЧ50	Ізотермічна загартування від $t = 950$ °С з витримкою в соляній ванні при $t = 400$ °С протягом $\tau = 2$ год., далі охолодження повітрі
№ 2. Чавун ВЧ50	Термоциклічне загартування від $t = 950$ °С шляхом 5-кратного занурення носової частини у воду на 1 - 3 с. з перервами для саморозігріву до червоного свічення, далі охолодження у воді
№ 3. Чавун ВЧ50	За режимом № 2 + лазерна термічна обробка (ЛТО): перекриття доріжок 30%, потужність $P = 2$ кВт, швидкість обробки $V = 480$ мм/хв, діаметр променя $d = 9$ мм
№ 4. Чавун СЧ20	За режимом № 2 + загартування струмами високої частоти (СВЧ) з оплавленням робочої поверхні
№ 5. Сталь 65Г	Загартування від $t = 820$ °С, далі охолодження в олії та відпустка при $t = 350$ °С
№ 6. Сталь Hardox 400	Термічна обробка від виробника

Мікроструктура зразка № 1, після ізотермічного гарту представляє верхній бейніт та включення кулястого графіту (рисунок 3.1), мікротвердість металевої

основи $H50 = 3511 \pm 715$ МПа, загальна твердість – $HRC 37 \pm 1,2$, а ударна в'язкість $KC = 43$ Дж/см². За структурою та властивостями зразок № 1 відповідає чавуну ADI зарубіжних аналогів. Дискретно-циклічним гартуванням, в металевій матриці носової частини вилівка була отримана структура нижнього бейніту з твердістю – $HRC 44 \pm 1,5$, у центральній частині – структура сорбіту, основна частина – $HRC 33 \pm 1,7$. Морфологія, розміри та кількість графітових включень не змінилися.

Перевага термоциклічного гарту в порівнянні з ізотермічним полягає в тому, що її проведення не вимагає застосування екологічно небезпечного обладнання, такого як соляні ванни.

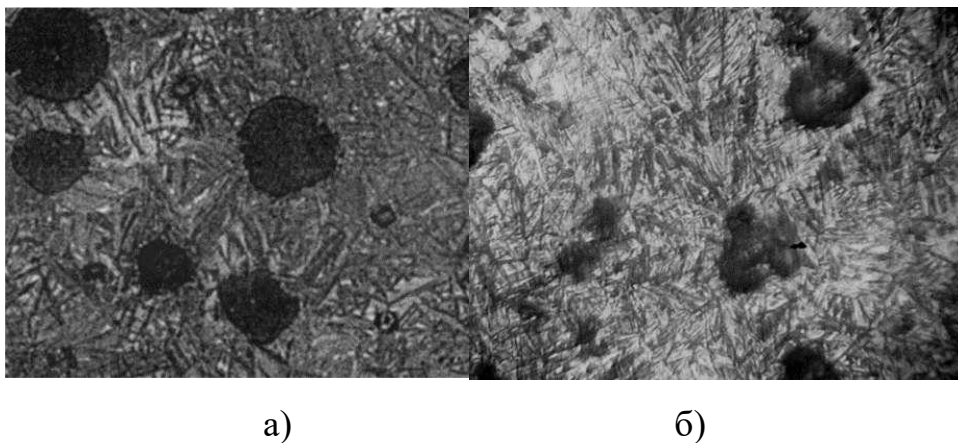
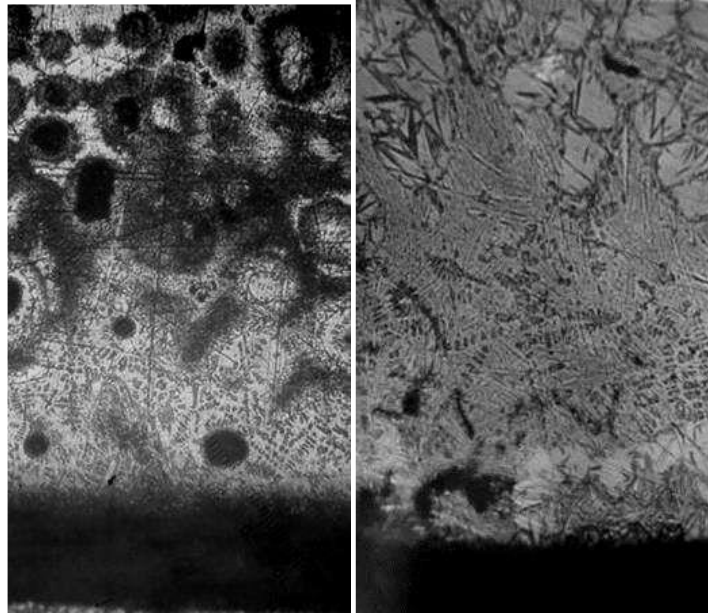


Рис. 3.1. Мікроструктура чавуну ВЧ50: а – зразок № 1 ($\times 800$); б - зразок № 2 ($\times 500$)

Високоміцний чавун з бейнітною структурою металевієї основи, сформованої в ізотермічних умовах при температурах пластичного деформування, не поступається чавуну з мартенситною матрицею у зносостійкості, але не схильний до утворення тріщин, які виникають через високу напругу в результаті різкого гартованого охолодження в інтервалі температур пружного деформування.

Зміцнення зразків з чавуну ВЧ 50 і СЧ 20 створенням з їхньої поверхні вибіленого шару, що з цементитної евтектики – ледебуриту, здійснювалося локальним швидким нагріванням до розплавлення металу при ЛТО (зразок № 3) і загартуванні ТВЧ (зразок № 4). За всіх трьох видів теплового впливу основна

маса металу залишалася холодною. Тому після відключення джерела тепла тонкий розплавлений поверхневий шар внаслідок інтенсивного тепловідведення на велику холодну масу твердів із сильним переохолодженням щодо евтектичного солідуса з утворенням ледебуриту (рис. 3.2).



а)

б)

Рис. 3.2. Мікроструктура вибіленого шару, отриманого внаслідок оплавлення та швидкого охолодження поверхні чавуну: а – ВЧ 50, ЛТО ($\times 250$), б – СЧ20, СВЧ ($\times 500$)

Мікротвердість вибіленого ледебуритного шару, сформованого на чавуні у зразках № 3, № 4, була приблизно однаковою $H_{50} = 10210 \pm 1403$ МПа. Основною відмінністю була товщина вибіленого шару. У процесі ЛТО на максимальних режимах вдалося отримати вибілений шар завтовшки до 0,12 мм, при ТВЧ вибілений шар становив 1,2 мм і більше.

За ледебуритом розташовувався шар, загартований на мартенситно-аустенітну структуру металевої основи, в цьому шарі були включення кулястого графіту, оскільки метал не відчував розплавлення (рисунок 3.3). У міру просування до центру загартовані структури трансформувалися в троостит, сорбіт, і на відстані 0,7 мм від поверхні лазерної термообробки втратила свій

вплив на структуру чавуну, яка залишилася, як і у всьому іншому обсязі виливки, перлітно-феритної з твердістю HB 217 ± 1.1 .

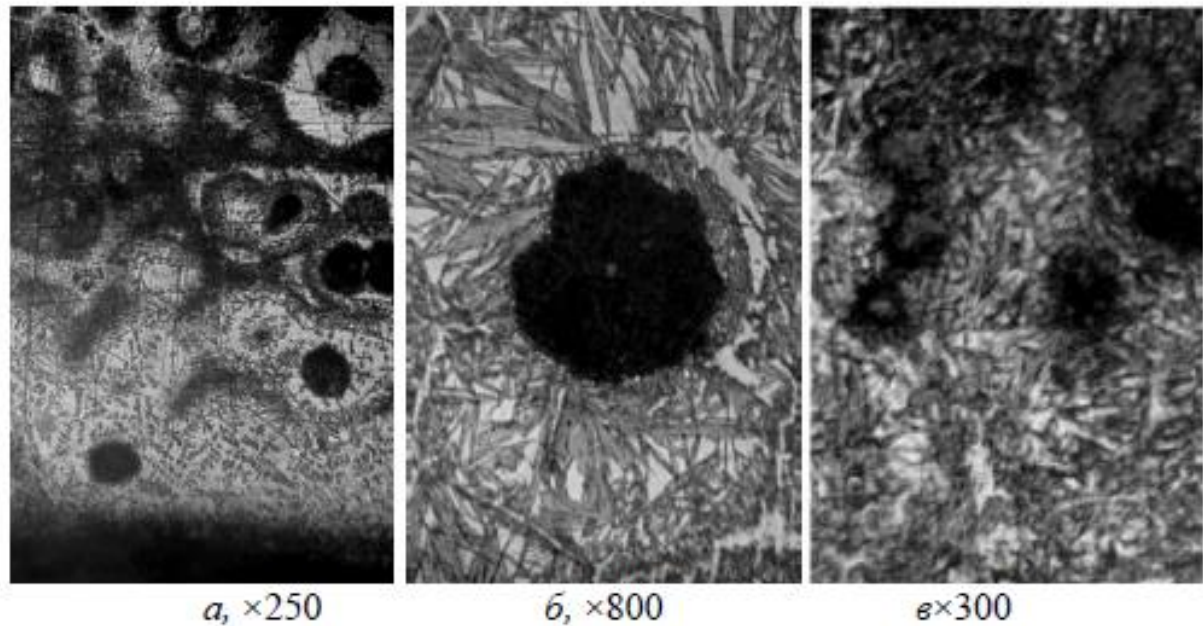


Рис. 3.3. Мікροструктура зміцненого ЛТО шару на поверхні на чавуні ВЧ 50: а – вибілена зона зі структурою ледебуриту; б – перехідний шар, що не піддавався розплавленню, зі структурою мартенситу і графітом; в – продовження перехідного шару зі структурою матриці, що переходить від мартенситу до трооститу.

Зразок № 5 із сталі 65Г (рисунок 3.4, а) після гарту та відпустки мав мікροструктуру відпущеного середньогольчастого мартенситу (бал 5 за ДСТУ 8233- 56) (рисунок 6.3 а), твердість становила HRC $47 \pm 1,8$, а ударна в'язкість КСУ - 31 Дж/см².

Сталь Hardox 400 (зразок № 6) при виготовленні долота термічної обробки не піддавали, оскільки вона поставляється в термічно обробленому стані, режими термічної обробки виробником фірми не розкриваються. Мікροструктура сталі Hardox 400 є тросто-сорбіт високої дисперсності (рисунок 3.4, б), твердість сталі - HB $411 \pm 4,7$.

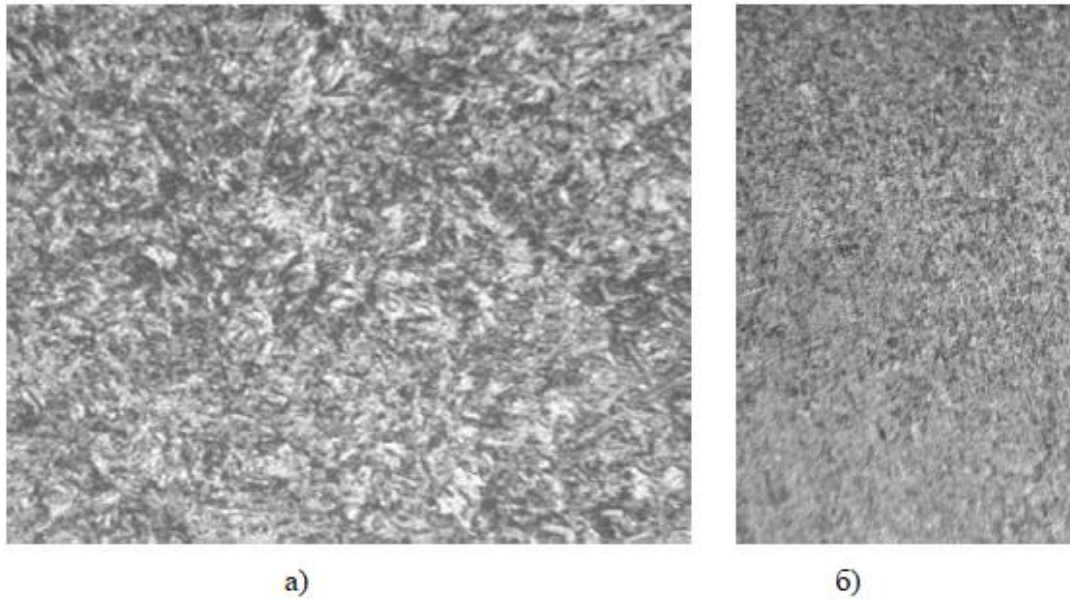


Рис. 3.4. Мікроструктури зразків №5 та №6 ($\times 100$): а – сталь 65Г у стані загартування та відпустки; б – сталь Hardox 400. У даній час у науковій сфері з'явилися дослідження, що рекомендують як матеріал для виробництва робочих органів чизельного плуга сталь зі Швеції Hardox 400, що успішно використовується на даний момент в кар'єрній техніці, наприклад, для виготовлення ковшів. Високі показники зносостійкості досягаються заводською термічною обробкою зі збереженням властивостей до 250°C (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Якісні показники сталі Hardox 400

Товщина листа, мм	Вміст елементів макс., %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	
10-20	0,14	0,70	1,60	0,025	0,010	0,30	0,25	0,25	0,004	
	Механічні якості в стані поставки									
	Твердість, НВ			σ_b , МПа		σ_T , МПа		δ , %	KCV, Дж/см ²	
	370-430			1250		1000		20	45	

Для відпрацювання питання раціональності використання цієї сталі для робочих органів ґрунтообробних знарядь було прийнято рішення про виготовлення дослідної партії доліт чизельного плуга із сталі Hardox 400.

Дослідження, виконані на базі навчального науково-виробничого центру «Гірська поляна» показали, що напрацювання даних робочих органів не

перевищувало 4 га, а зношування різальної частини вздовж поздовжньої осі досягало 20 мм, рисунок 3.5.



Рис. 3.5. Зношене долото чизельного плуга на фоні контуру вихідних розмірів

Після демонтажу зношених доліт із сталі Hardox 400 визначали значення твердості у точках, вказаних на рисунок 3.6.

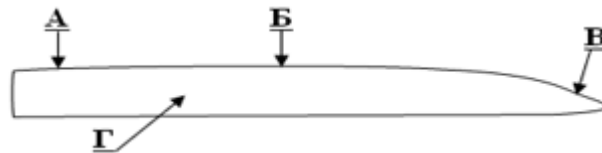


Рис. 3.6. Точки визначення значень твердості зношеного робочого органу, виконаного із сталі Hardox 400

Отримані значення заносилися до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення твердості зношеного робочого органу, виконаного із сталі Hardox 400

Номер вимірювання	Твердість НВ в зонах вимірювання			
	зона А	зона Б	зона В	зона Г
1	406	385	347	374
2	406	374	347	375
3	417	380	344	375
4	413	373	-	-
5	417	-	-	-
6	409	-	-	-
Середнє значення	411	378	346	375

У носовій частині робочого органу на ділянках максимального зносу (В) значення твердості мали мінімальне значення. Вищі показники твердості реєструвалися у зоні незначного зносу (Б), але в ділянці долота (А) фіксувалися

найбільші значення твердості. На ділянці (Г), розташованому на бічній частині долота, твердість мала менші значення порівняно з ділянкою (А).

Проведені польові випробування зразків доліт із сталі Hardox 400 показали, що їхній ресурс не відповідає вимогам до робочих органів ґрунтообробних знарядь, що зазнають інтенсивного абразивного зносу.

Програма проведення експериментальних досліджень передбачала періодичну оцінку втрати маси досвідчених зразків. Фізично даний показник був ставленням маси долота, що визначається на кожному етапі експерименту, до маси даного робочого органу до установки на ґрунтообробну зброю. На рис. 3.7 подано результати експерименту.

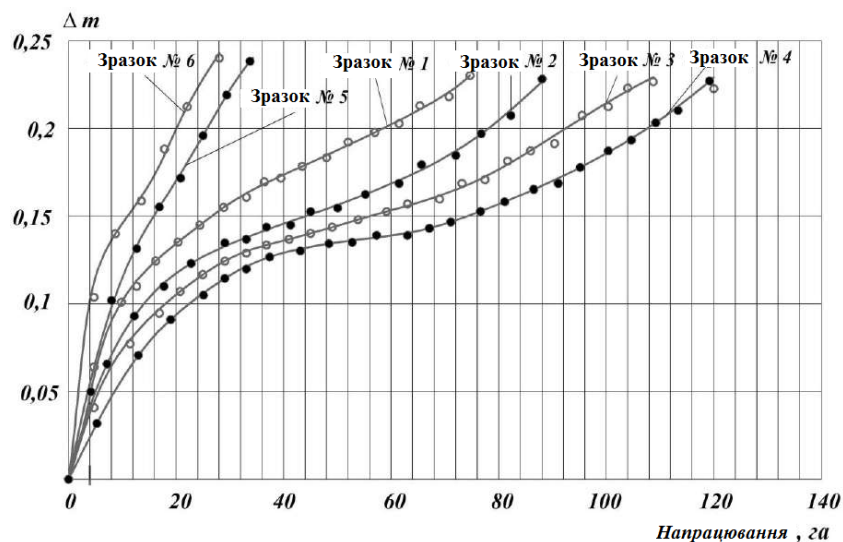


Рис. 3.7. Зміна маси експериментальних зразків, у частках відсотка, залежно від напрацювання

В результаті аналізу даних експерименту спостерігали найбільшу зносостійкість у доліт із чавуну ВЧ 50 з відбілом поверхні при дії лазера.

Цей спосіб термічного зміцнення підвищує ресурс робочих органів у середньому до 4 разів. На графіці спостерігається нелінійний вид кривої зносу, що пояснюється зношуванням верхнього вибіленого шару долота після 80 га чизельної обробки, після чого інтенсивність зносу помітно збільшується.

Напрацювання доліт, ріжуча частина яких була оплавлена за рахунок струмів високої частоти, також показали високу напрацювання 110 га, перевищуючи показник робочих органів із сталі 65Г в 3,5 рази.

Робочі органи з високоміцного чавуну, ріжуча частина яких зазнала термоциклічного загартування на бейніт, зіставні за вартістю виготовлення зі сталлю 65Г, проте мають ресурс у 2,8 рази вищий і напрацювання до 88 га.

Проведені польові випробування підтвердили значення відносної зносостійкості, отримані за умов лабораторних досліджень експериментальних зразків.

Оцінка зміни лінійних розмірів робочого органу проводилася за перерізом А-А, що проходить симетрично поздовжньої осі в перпендикулярній площині і перерізу В-В, що проходить по бічній межі долота чизельного плуга, рисунок 3.1.

На рисунках 3.8-3.13 показано динаміку зміни лінійних розмірів спостережуваних перерізів долота. Вісь ординат позначена відносним лінійним зносом, що є ставленням значення лінійного розміру вимірюваний період конкретної напрацювання до значення лінійного розміру при встановленні долота на випробування. Вибракування доліт здійснювалося при досягненні граничного значення $\Delta = 0,2 \dots 0,22$ у перерізі А-А. У разі продовження роботи долота спостерігалася початок процесу зносу стійки ґрунтообробної зброї, що є неприпустимим.

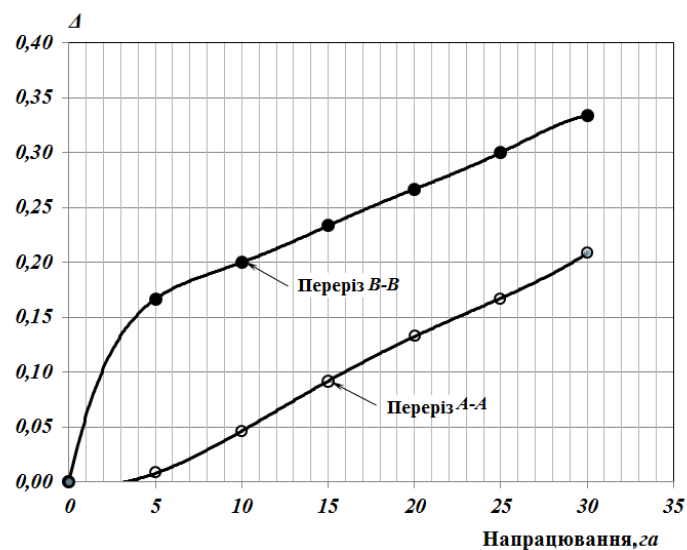


Рис. 3.8. Вплив напрацювання робочого органу зміну лінійного значення контрольованого перерізу зразка №5

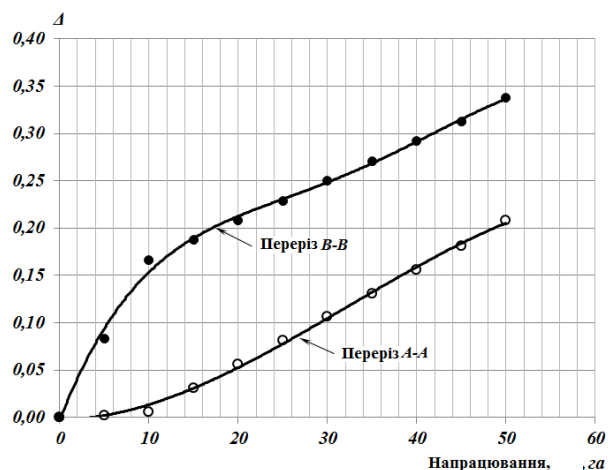


Рис. 3.9. Вплив напрацювання робочого органу зміну лінійного значення контрольованого перерізу зразка №1

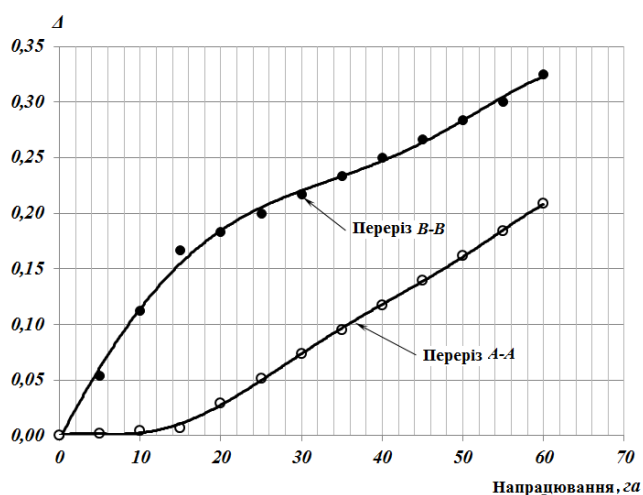


Рис. 3.10. Вплив напрацювання робочого органу зміну лінійного значення контрольованого перерізу зразка №2

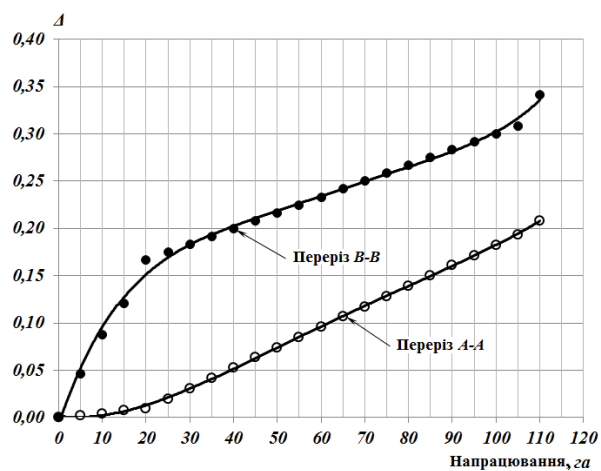


Рис. 3.11. Вплив напрацювання робочого органу зміну лінійного значення контрольованого перерізу зразка №4

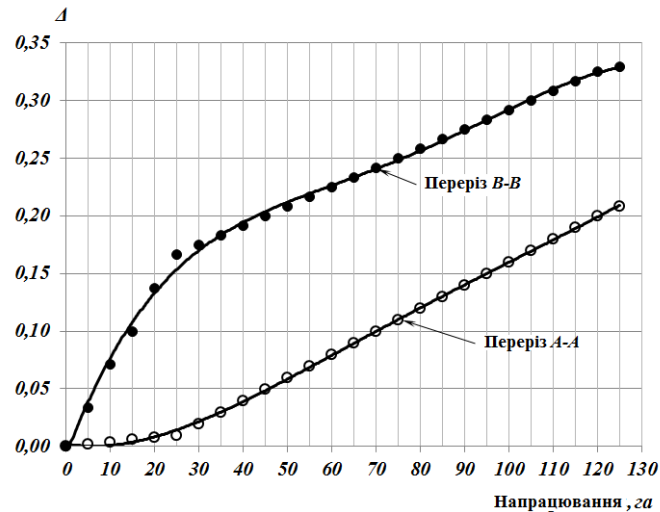


Рис. 3.12. Вплив напрацювання робочого органу зміну лінійного значення контрольованого перерізу зразка №3

Оцінка експериментальних даних, представлених на рисунках 3.8-3.12 показує, що зношування різальної частини складається з двох етапів. Перший етап являє собою підробіток бічних граней долота зі значним зносом в перерізі В-В, з формуванням у фронтальній частині геометрії, що забезпечує мінімальний опір переміщенню в ґрунті, при цьому значення лінійних розмірів перерізу А-А практично не змінюються. Відмінною особливістю другого етапу є триваліший час протікання і характеризується рівномірною зміною лінійних розмірів перерізів до граничного напрацювання.

Незалежно від використовуваних виготовлення робочих органів чизельного зброї матеріалів, спостерігався однаковий механізм зміни зносу з формуванням двох, описаних раніше, етапів, що підтверджується кривими залежності лінійних розмірів аналізованих перерізів від відносної напрацювання експериментальних доліт.

Термін відносна напрацювання характеризується ставленням фіксованого кожному етапі напрацювання робочого органу до найбільшої напрацювання на етапі вибракування робочих органів чизельного плуга.

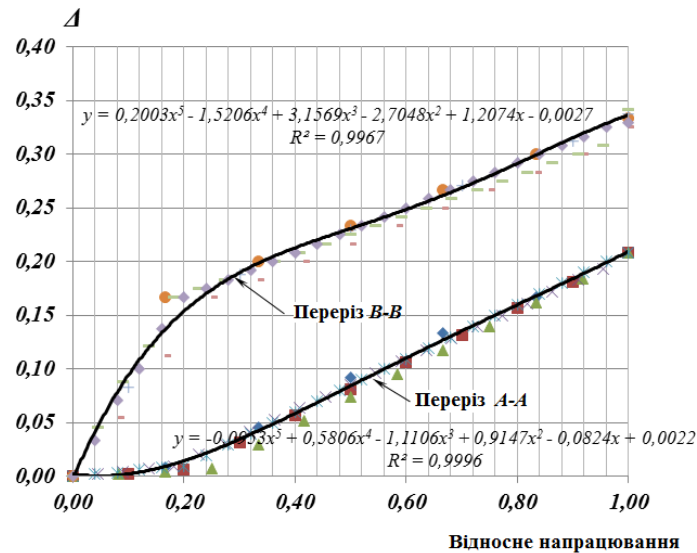


Рис. 3.13. Залежність відносного напруцювання робочого органу змїну лїнійного значення контрольованих перерїзів

Висновки по розділу

В результаті аналізу експериментальних даних робимо висновок, що запропонована запропоновані припущення по способу підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь – вірні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі проведеного аналізу робіт, присвячених процесам абразивного зносу, сформульовано критеріальну умову формування зносостійких структур: найбільшу зносостійкість мають структури, в яких найбільш тверді структурні складові залягають у вигляді ізольованих друг від друга включень, а найбільш в'язкі утворюють суцільну матрицю.

Для формування оптимальної глибини та структури зносостійкого шару та серцевини виливків слід використовувати високоміцний чавун з низьким вмістом марганцю та кремнію, а також низьким значенням кремнієвого еквівалента евтектики.

Найбільше напрацювання показали долота з вибіленим шаром у ріжучій частині до 120 га, проте мартенсит у металографічній структурі підвищував крихкість, через що спостерігалися часті злами долота. Долота, зміцнені термоциклічним гартуванням ($\varepsilon = 2,8$) мали напрацювання на відмову до 88 га, при цьому долота зберігали цілісність протягом усього часу спостереження.

Рекомендації до виробництва. З метою забезпечення високих показників довговічності доліт чизельних ґрунтообробних знарядь, а також скорочення витрат на чизелювання ґрунту, рекомендується застосовувати як матеріал для їх виготовлення високоміцний чавун з наступним термоциклічним гартуванням для раціонального структурування робочих зон з метою отримання у фронтальній ріжучій частині металографічної структури стійкої до інтенсивного абразивного зношування, з твердістю по Брінеллю більше 400 НВ; у перехідній зоні, для опору ударним згинальним навантаженням – 220 - 260 НВ; у кріпильній частині долота, для виконання механічної обробки та запобігання зламу у небезпечному перерізі, внаслідок ударних навантажень – твердістю в межах 130 – 140 НВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горбатюк Р.М., Скварок Ю.Ю., Чубик Р.В. Високоєфективні енергоощадні адаптивні вібромашини для віброабразивної обробки деталей. Дванадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові. 2015. С. 203.
2. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
3. Бойко А. І. Сучасні проблеми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Підвищення надійності деталей відновлюємих машин*. Випуск 15. Харків, 2003. – С.10 – 13
4. Василенко М.О. Відновлення лемешів плугів із застосуванням електроерозійного способу для їх загострення та зміцнення. Глеваха. 2001. Вип. 85. С. 262-264.
5. Василенко М.О. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів . *Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму «Теорія і практика розвитку АПК»*. Львів, 2006. С. 324–328.
6. Відновлення працездатності робочих органів ґрунтообробної техніки. С. Карабінюш, Є. Костюк, А. Новицький, В. Окаянюк. *Агроехперт: практичний посібник аграрія*. 2011. № 10. С. 58–62
7. Денисенко М.І. Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин. *Науковий вісник НУБІП України*. 2011, Вип. 166. (1). С. 175–183
8. Зазимко О. *Методи оцінки надійності деталей сільськогосподарських машин. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і*

технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць УкрНДІПВТ. Дослідницьке, 2004. Вип. 7 (21). С. 343 – 348.

9. Карабиньош С. Відновлення працездатності ґрунтообробних машин. Пропозиція. – 2012. – № 2. – С. 116-118.

10. Ковальчук Ю.О. Застосування лазерного зміцнення сталі 65Г для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2012. Вип. 25. Ч.І. С. 74-80.*

11. Комплект документів групового технологічного процесу відновлення та зміцнення стрілочастих лап культиваторів. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. 30с

12. Легкодух Н.Ф. Аналіз показників надійності техніки вітчизняного виробництва для обробітку ґрунту. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка : Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Випуск 80. Харків, 2009. С. 46 – 52.*

13. Луб П.М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Львів., 2006. 23 с.

14. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення. ДСТУ 2470-94. [Чинний від 01.01.95] Київ : Держспоживстандарт України. 1994.

15. Сенчук С.Р. Характеристика зони дії міжгосподарської ділянки ремонту тракторних двигунів. *Вісник Львівського державного аграрного університету : Агроінженерні дослідження. 1998. №2. С.38- 42.*

16. Борак К.В., Свінцицький В.В., **Венглівський І.І.** Підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. *Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023”. 01 – 03 червня 2023 р.*

Вінниця. [Електронний доступ] :

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2023/paper/view/18350>

17. Грабар І.Г., Свінцицький В.В. Аналіз особливостей конструкції та матеріалів, що застосовуються для виготовлення робочих органів чизельних плугів. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.