

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Прохорчук Віктор Анатолійович

УДК 631.31

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

208 “Агроінженерія”

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

Керівник роботи

Грудовий Р.С.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Прохорчук Віктор Анатолійович. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин завдяки підбору сталей і режимів термічної обробки.

Розроблено режими термічної обробки для розроблених сталей, що містять у собі: гарячу прокатку за температури 1000 °С, загартування за температури 900 °С і подальше відпускання за температури 280 °С; гарячу прокатку за температури 1000 °С, загартування за температури 210 °С тривалістю 100 с і розподіл за температури 350 °С із часом витримки 1000 с.

Розроблено технологію зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин шляхом закріплення на зонах інтенсивного зношування, зносостійких пластин, ресурс яких у 1,5 рази вищий за серійні.

Зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин, виготовлених із рекомендованої сталі 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti, що працюють в умовах супіщаного ґрунту, вища за серійні на 20 %.

Ключові слова: сталь, термічна обробка, зміцнення, зносостійкість, робочі органи.

ANNOTATION

Viktor Anatoliyovych Prokhorchuk. Increasing the durability of tillage machines' working bodies. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The qualification work solves the urgent scientific and practical problem of increasing the wear resistance of tillage machine working parts by selecting steels and heat treatment modes.

The heat treatment modes for the developed steels were developed, which include: hot rolling at a temperature of 1000 °C, quenching at a temperature of 900 °C and subsequent tempering at a temperature of 280 °C; hot rolling at a temperature of 1000 °C, quenching at a temperature of 210 °C for 100 s and distribution at a temperature of 350 °C with a holding time of 1000 s.

The technology of strengthening the working bodies of tillage machines by fixing wear-resistant plates in areas of intensive wear, the service life of which is 1.5 times higher than that of the standard ones, has been developed.

The wear resistance of the working bodies of tillage machines made of the recommended steel 0.35C-1.77Si-1.35Mn-0.58Cr- 0.20Mo-0.04Nb-0.031Ti, operating in sandy loam soil conditions, is 20% higher than that of the standard ones.

Keywords: steel, heat treatment, hardening, wear resistance, working bodies.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	16
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН З ПІДВИЩЕНИМ РЕСУРСОМ.....	27
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Обробіток ґрунту під час виробництва сільськогосподарської продукції є основною ланкою технологічного процесу. Він змінює якість і структуру ґрунту, забезпечує насичення ґрунту киснем, забезпечує життєдіяльність мікробіологічних процесів, рівномірно розподіляє добрива з метою насичення його макро- та мікроелементами, знищення бур'янів і шкідників, накопичення й утримання вологи в ґрунті.

Робочі органи ґрунтообробних машин під час використання за призначенням і зберігання піддаються інтенсивному зношуванню під впливом кліматичних та експлуатаційних чинників.

Саме склад, агрегатні стани та фізико-механічні властивості ґрунту визначають його зношувальну здатність. Ступінь абразивності залежить головним чином від гранулометричного складу і змінюється залежно від виду ґрунту. Наявність кам'янистих включень спричиняє руйнування робочих органів. Присутність у ґрунті вологи, а також корозійно-агресивних хімічних елементів унаслідок застосування агрохімії спричиняє електрохімічну корозію і, як наслідок, призводить до корозійно-механічного зношування робочих органів.

Конструкційні параметри робочих органів, що розробляються, не задовольняють сучасним вимогам, оскільки швидкість обробітку ґрунту значно збільшується з кожним роком, за зростання маси сільськогосподарських машин. Підвищення маси СГТ підвищує ущільнюваність ґрунтів, навантаження на робочі органи орних агрегатів у результаті зросли приблизно в 4 рази, хоча самі робочі органи не змінилися [4].

До теперішнього часу проблеми працездатності робочих органів для ґрунтообробних машин розв'язували зарубіжними поставками продукції зарубіжних фірм. Тому розробка інноваційної технології зміцнення

низьколегованих сталей сприятиме підвищенню терміну служби робочих органів ґрунтообробних машин.

Об'єкт досліджень – процес зношування робочих органів ґрунтообробних машин під час впливу кліматичних та експлуатаційних чинників.

Предмет досліджень – вплив хімічного складу сталей і термічної обробки на триботехнічні властивості.

Метою досліджень є підвищення зносо- і корозійностійкості робочих органів ґрунтообробних машин за рахунок оптимізації хімічного складу сталей і режимів термічної обробки низьколегованих сталей.

Завдання дослідження:

Провести лабораторні та стендові дослідження фізико-механічних властивостей рекомендованих сталей;

Розробити технологію зміцнення робочих органів методом закріплення на ділянках, найбільш інтенсивного зношування зносостійких пластин;

Оцінити зносостійкість і працездатність робочих органів, виготовлених із розробленої сталі, у польових умовах у супіщаному ґрунті.

Методи наукового дослідження. Дослідження базуються на основі всебічного аналізу досліджуваної проблеми, постановці мети та завдань досліджень, статистичній обробці експериментальних даних та аналізі отриманих результатів. Теоретичні дослідження виконано з використанням фізико-математичних законів, основ трибології, термодинаміки та надійності машин. Експерименти проводилися із застосуванням сучасних методик і ДСТУ на сучасному обладнанні. Результати підтверджено лабораторними, стендовими, польовими випробуваннями. Обробка результатів експериментальних досліджень проводилася з використанням математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р. С., Прохорчук В. А., Герасимчук Д. В. Методи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської

механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 48-51.

2. **Прохорчук В.**, Прищепа А., Грудовий Р. Розробка технології виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин з підвищеним ресурсом. Актуальні аспекти розвитку науки і освіти: збірник матеріалів IV Міжнародної науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та молодих науковців, 24 - 25 жовтня 2024 р., Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2024. С. 178-182.

3. Грудовий Р. С., **Прохорчук В. А.** Вплив термічної обробки на механічні властивості сталей. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції»,(22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для аграрного виробництва представляє оптимізований технологічний режим термічної обробки сталей, що дає змогу отримати одночасно високу міцність і ударну в'язкість.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 19 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 42 сторінки комп'ютерного тексту, містить 25 рисунків та 5 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обробіток ґрунту є поширеною технологічною операцією, метою якої є створення сприятливих умов для зростання та розвитку сільськогосподарських культур. У будь-якому технологічному процесі обробітку ґрунту, оранка, культивування, боронування, луцення становлять не менше 70 % всього обсягу механізованих робіт. Під час експлуатації, більшість робочих органів ґрунтообробних машин піддаються динамічним навантаженням, абразивному зносу та хімічному впливу середовища.

При взаємодії з ґрунтом, робочі органи ґрунтообробних машин піддаються інтенсивному зношуванню, внаслідок чого змінюється їх форма та стан, що негативно позначається на функціональних властивостях робочих органів.

Інтенсивне зношування робочих органів, крім витрат коштів у їх ремонт і виготовлення запасних частин, викликає простої під час експлуатації. Тому підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин є однією з актуальних проблем технічного прогресу.

1.1. Характер та інтенсивність зношування деталей машин

Деталі машин, що зношуються в абразивному середовищі, порівняно швидко змінюють свої розміри та форму. Швидкість руйнування робочих органів та інших деталей машин визначається умовами їхньої роботи.

Найбільшого абразивного зношування схильні робочі органи ґрунтообробних машин. Механізм зношування лемешів, лап культиваторів, розпушувачів та ін. типовий, та його закономірності можуть виявлятися також під час роботи будівельних, дорожніх та інших машин [7].

Інтенсивність та характер зношування металу залежать від природи та властивостей абразивної маси, а також від умов взаємодії з нею робочих органів ґрунтообробних машин.

Як основні фактори, що визначають знос робочих органів, зазвичай виділяють механічний склад, вологість, щільність і однорідність ґрунту, швидкість руху і форму робочих органів, а також властивості матеріалів, з яких вони виготовлені. Чинники, які стосуються властивостей ґрунту, є змінними.

У різних ґрунтово-кліматичних умовах зазначені фактори можуть суттєво різнитися, і відповідно інтенсивність зношування одних і тих самих матеріалів на різних ділянках ґрунту за інших рівних умов не буде однаковою.

Для виявлення характеру та інтенсивності зношування робочих органів у різних ґрунтових умовах проводять вибіркові спостереження за найбільш типовими робочими органами плугів, культиваторів, луцильників, борін, сівалок, машин для посадки та збирання овочів – всі вони мають найбільш короткий термін служби, широко поширені у сільському господарстві і кожен з цих робочих органів представляє певну групу однотипних деталей, що працюють у схожих умовах [7].

Дослідження зношування лемешів і лап культиваторів проводять у різних ґрунтових умовах, що розрізняються за механічним складом, вмістом солей та органічних речовин. Широкий діапазон зміни властивостей ґрунту вибирають з метою зіставлення цих властивостей з характером зношування лемешів та культиваторних лап, а також для вивчення характеру зносу лез, зміни інтенсивності лінійного зносу та конфігурації лез лемешів та лап культиваторів.

Процес зношування робочих органів має дві умовні стадії. У першій спостерігається криволінійна залежність, при якій інтенсивність зношування у міру збільшення виробітку зменшується. Це пояснюється зміною конфігурації попередньо заточеного леза у процесі різання ґрунту.

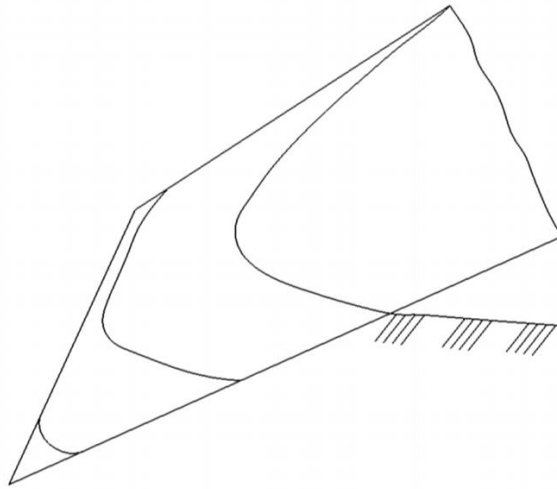


Рис. 1.1. Схема зміни форми леза леміша при зношенні.

На рис. 1.1 схематично показана найбільш типова зміна форми леза леміша під час зношування. Ширина потиличної фаски в міру зношування збільшується, і ріжуча здатність леза знижується. Коли зона заточування в результаті зношування повністю зникає, профіль леза в процесі зношування леміша практично не змінюється, що зазвичай відповідає найбільшому ступеню затуплення. Настає друга стадія процесу зношування, за якої лінійний знос леза збільшується пропорційно виробленню.

Лезо необхідно заточити до початку другої стадії зношування [7].

Типова залежність між зносом і напрацюванням показана на рис. 1.2.

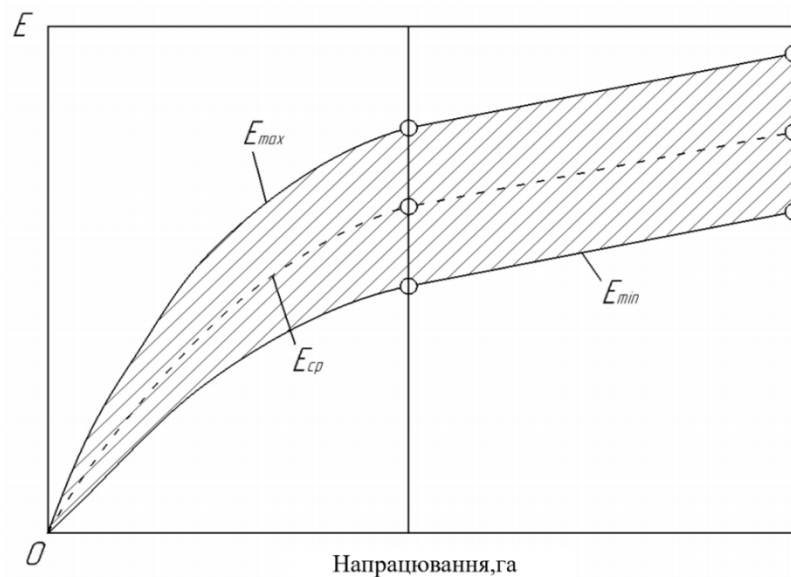


Рис. 1.2. Характер зміни інтенсивності зношування E робочих органів у процесі роботи

Криві на рис. 1.2 відповідають максимальній E_{max} і мінімальній E_{min} інтенсивності зношування леза для даних ґрунтових умов за різної вологості та густини ґрунту в різні пори року. Унаслідок зношування конфігурація однорідного леза робочого органа безперервно змінюється.

Таблиця 1.1 – Види зношування робочих органів ґрунтообробних машин [5].

Деталь	Вид зносу
Леміш плуга	- лінійний знос по висоті носка; - лінійний знос по ширині деталі; - знос леза по товщині.
Відвал	- наскрізне протирання в зоні стику відвала з лемішем; - знос головки кріпильного болта; - знос польового обрізу.
Польова дошка	- знос п'яти; - знос нижньої частини.
Лапа культиватора	- - лінійний знос носової частини; - - лінійний знос крил лапи по ширині; - - збільшення товщини леза до граничної величини..
Дискові робочі органи	- радіальний знос по діаметру; - затуплення леза.

З даних таблиці видно, що найпоширенішим є зношування, спричинене твердими частинками, - абразивне зношування, яке характеризується різколокалізованою механічною дією цих частинок на поверхневий шар деталі в умовах можливого нагріву його під час тертя та фізико-хімічної дії довкілля.

1.2 Методи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин

Нині широкого поширення набули такі методи підвищення зносостійкості деталей машин, що представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.2 – Методи зміцнення робочих органів

Номер групи	Найменування груп методів	Методи
1	Термічна, хіміко-термічна, термодифузійна обробка деталей	Загартування – відпуск Цементация Азотування Ціанування Дифузійна металізація
2	Наплавлення на найбільш зношувані ділянки зносостійкого шару	Ручне електродугове Індукційне Плазмове Лазерне Контактне наварювання
3	Газотермічне напилення на найбільш зношувані ділянки зносостійкого шару	Газополум'яне Електродугове Плазмове Детонаційне Високошвидкісне
4	Закріплення зносостійких накладних елементів на найбільш зношувані ділянки	Зі зносостійкої сталі З технічної кераміки
5	Нанесення композиційних покриттів, наплавочних армувальних валиків на ділянки, що найбільш зношуються	Клеї, епоксидні склади, наповнювачі із зерен кварцу, корунду, карбїду кремнію тощо. Нанесення наплавочних армувальних валиків.

Найпоширеніший вид термічної обробки – загартування є універсальним методом підвищення довговічності деталі шляхом створення на її поверхні

певної твердості. Воно полягає в нагріванні деталі до певної температури і подальшому швидкому охолодженні її у воді, оливі або іншим способом. З метою зняття внутрішніх напружень, створення в загартованій деталі певної ударної в'язкості, її відпускають. Для цього деталь знову нагрівають до певної температури і повільно охолоджують на повітрі або в печі.

Хіміко-термічна обробка полягає найчастіше в насиченні поверхні деталі вуглецем (цементация), азотом (азотування), одночасно вуглецем і азотом (ціанування).

Термодифузійна обробка полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару виробу різними металами, найчастіше хромом, титаном, вольфрамом та іншими. У поєднанні з одним із таких елементів виробу як С, В, N або Si, утворюються карбідні, боридні, нітридні або силіцидні покриття, що мають високу зносостійкість.

Процес насичення поверхні сталі зазначеними елементами полягає, як правило в тому, що в середовище, яке містить той чи інший елемент (у твердому, газовому або рідкому стані), поміщають деталь і проводять нагрів її разом із середовищем до температур від 500...560 °С у разі азотування в середовищі аміаку, 900...950 °С у разі цементації в твердому, газовому або рідкому карбюраторі та до 1200...1300 °С при дифузійному хромуванні, титануванні, боруванні та витримці певного часу при зазначених температурах.

Зміцнення ручним наплавленням здійснюється зазвичай електричною дугою і наплавлювальними електродами типу Т-590, ОЗИ-6, ОЗИ-3, ЕН-60Н та ін. Головні параметри режиму ручного наплавлення: діаметр електрода, сила струму, напруга, швидкість наплавлення, довжина дуги.

Індукційне наплавлення здійснюється на високочастотних установках.

Плазмове наплавлення може здійснюватися двома способами:

- зміцнення матеріалів у твердому агрегатному стані;
- зміцнення здійснюється на розплавлену підкладку.

Масового використання набув спосіб плазмового зміцнення без оплавлення поверхні через можливість задавати необхідні властивості модифікованої деталі без шкоди для якості зміцненого шару.

Найбільшого поширення нині набули кілька видів плазмового зміцнення:

- насичення поверхневого шару легувальними елементами;
- загартування без оплавлення поверхні;
- процес швидкого оплавлення із загартуванням за умови кристалізації вище критичної швидкості охолодження.

У дослідженнях покриттів, отриманих плазмовим загартуванням, наводяться дані про їхні механічні властивості зокрема зазначається, що властивості покриттів різняться від кількості вуглецю в сталевій підкладці, відсотка легування її твердості [1].

Приміром, мікротвердість поверхні сталей після плазмового загартування із вмістом вуглецю менше ніж 0,3 %, не перевищує 6600 МПа. При вмісті вуглецю в сталях у діапазоні 0,4-0,6 %, спостерігається значне збільшення мікротвердості поверхні. Значення мікротвердості мартенситу в загартованій за запропонованою технологією сталі 20 не перевищувала 6000 МПа, тоді як сталь 45 мала до 8000 МПа [1].

Технологія плазмового легування заснована на можливості насичення металевих поверхонь різними хімічними елементами зокрема, кремнієм, хромом, азотом та іншими елементами.

Наприклад, під час насичення металевої поверхні вуглецем (цементация), одночасно проводиться її загартування. Для цього використовують гази, що мають у своєму складі цей елемент, наприклад вуглекислий газ. У результаті цього технологічного прийому твердість поверхні сталі 45 підвищується до 720 HV, для сталі 65Г до 810 HV [1].

Особливостями технології плазмового легування є: недостатня глибина (до 0,5 мм) зміцнення поверхневого шару для робочих органів ґрунтообробних знарядь, утворення напружень стиснення у зміцненому шарі.

Сутність газотермічного напилення полягає в тому, що на заздалегідь підготовлену поверхню деталі наносять за допомогою струменя стисненого повітря або іншого газу дрібні частинки металу в розплавленому або пластичному стані. Під час удару об поверхню деталі частинки металу деформуються, впроваджуються в пори та нерівності поверхні деталі й утворюють покриття. З'єднання частинок металу з деталлю і між собою має як механічний характер, так і характер зварювання. Охолоджуючись, частинки металу тверднуть і стискаються, зчіплюючись з основним металом.

Зміцнення методами закріплення на найбільш зношуваних ділянках робочих органів зносостійких пластин, накладок, інших елементів за допомогою зварювання, клею, пайки, гвинтів застосовують для лемешів, польових дощок плугів, стрілочастих лап культиваторів. Методи характеризуються як малопродуктивні, проте вони забезпечують, як правило високий ресурс робочих органів [2].

Композиційні (клеєабразивні) покриття застосовують для зміцнення швидкозношуваних ділянок таких деталей, як відвал, польова дошка, лицьова поверхня носової частини лемеша, дискові робочі органи. Сутність цього методу полягає в заміні тертя метал-грунт на тертя грунт-грунт або композиційне (клеєабразивне) покриття – грунт. Наплавочні валики або композиційні покриття забиваються ґрунтом і захищають робочий метал органу від зношування. У цьому разі дещо підвищується коефіцієнт тертя робочий орган-грунт, проте економія на витратах на заміну робочих органів унаслідок їхнього спрацьовування може переkritи збільшення витрат на паливе внаслідок опору переміщенню ґрунтообробної машини.

Розглянуті методи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин мають свої переваги та недоліки, однак дають змогу зробити висновок про необхідність розроблення нових зносостійких сталей і способів термічної обробки з мінімальними економічними витратами.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛЕЙ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Вплив термічної обробки на механічні властивості сталей

Обробка Q&P є перспективною для широкого промислового застосування, оскільки вона дає змогу підвищувати пластичність та ударну в'язкість за допомогою TRIP-ефекту (TRIP – transformation induced plasticity – пластичність, наведена перетворенням) у порівняно недорогих низьколегованих сталях. Як правило, таку обробку застосовують для низько- або середньовуглецевих сталей (0,10 – 0,45 % C), що також містять 1,5 – 3,0 % Mn, до 0,5 % Cr, 0,006 – 1,0 % Al і 1,5 – 2,5 % Si. Для високовуглецевих сталей обробка Q&P використовується рідше.

Обробка Q&P дає змогу не тільки отримувати структуру, що складається з мартенситу і залишкового аустеніту, а й контролювати об'ємну частку цих складових. Таку структуру отримують за допомогою термічної обробки, що складається з трьох ступенів (рис. 2.1).

На першому ступені сталь нагрівають до температури на 30-50 K вище точки A_{c3} для аустенітизації. Другий ступінь є загартуванням (стадія «Quenching») у гарячому середовищі, в якості якого виступає розплавлена сіль або олово, нижче за температуру початку мартенситного перетворення M_s , але вище за температуру закінчення мартенситного перетворення M_f для отримання мартенситу і залишкового аустеніту. На третьому ступені обробки сталь нагрівають у гарячому середовищі до температури, за якої швидкість дифузії вуглецю достатня для його перерозподілу (від англ. Partitioning) з мартенситу в залишковий аустеніт.

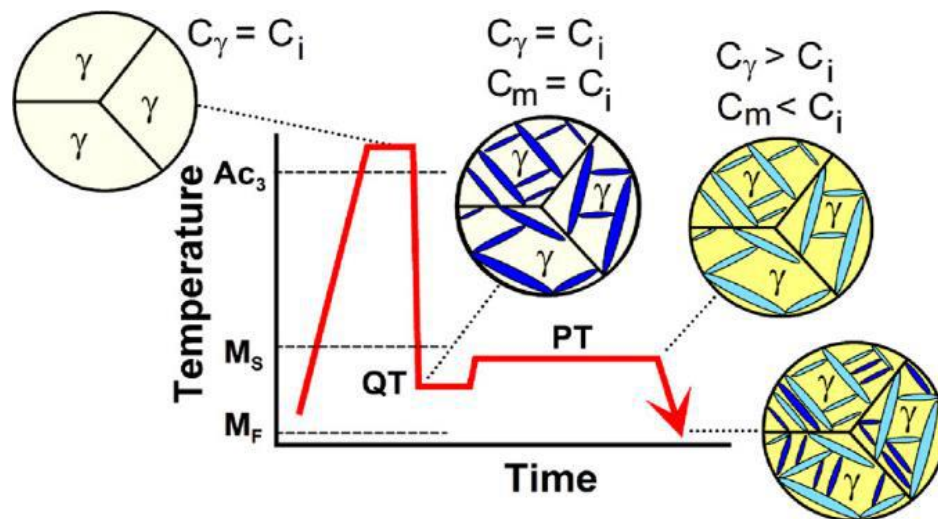


Рис. 2.1. Схематичне зображення процесу обробки «Q&P» для отримання мартенситної матриці із залишковим аустенітом у вигляді плівок. C_i , C_γ і C_m - вміст вуглецю у вихідному стані, в аустеніті та в мартенситі, відповідно. QT – температура загартування, PT – температура розподілу (вуглецю).

У деяких випадках температура розподілу дорівнює температурі загартування, тоді сталь витримують для розподілу вуглецю при температурі загартування. У цьому випадку обробка буде двоступеневою. Далі сталь охолоджують на повітрі. У разі насичення аустеніту вуглецем на стадії розподілу, його термодинамічна стабільність збільшується, тому під час охолодження він зберігається в мікроструктурі. За допомогою такої обробки можна досягти межі міцності до 2000 МПа при збереженні величини подовження після розриву близько 25 %. У роботі [1] показано, що перерозподіл вуглецю від мартенситу до тонких плівок залишкового аустеніту відбувається під час охолодження або під час ізотермічної витримки сталей, які містять легувальні добавки, після мартенситного перетворення. Концентрація вуглецю в залишковому аустеніті може досягати значень 1,04 %, за середнього вмісту в сталі 0,27 мас. %.

У роботі [1] було оцінено кількість вуглецю в залишковому аустеніті, яка становила близько 0,55-1,0 мас. % вуглецю за його середнього вмісту в сталі 0,27 мас. %. У роботі [1] показано, що вміст вуглецю в плівках залишкового аустеніту і пластинах мартенситу становив 1,03 мас. % і 0,08 мас. %, відповідно, за середнього вмісту вуглецю в сталі 0,2 мас. %. Так само раніше, була зафіксована

різниця 1,9 ат. % у концентрації вуглецю між мартенситною матрицею і тонкою плівкою залишкового аустеніту після відпуску мартенситу в 1,0 ат. % вуглецевої сталі.

Обробка Q-P-T (загартування з розподілом і відпусткою) рекомендується, коли необхідно отримати більш високі міцнісні властивості сталі [1].

Крім того, мартенситні сталі, оброблені технологією Q-P-T, мають частку залишкового аустеніту вищу, ніж у Q&T сталей, що призводить до більш високої пластичності. Мікроструктура сталей після обробки Q-P-T зазвичай містить близько 5% залишкового аустеніту, причому значна частка міститься між дрібнозернистим рейковим мартенситом, що містить дисперсні комплексні карбіди та нанорозмірні карбонітриди. Підвищення міцності досягається, здебільшого, за рахунок механізму дисперсійного зміцнення через виділення однорідно розподілених частинок карбідів і карбонітридів у процесі відпуску. Відомо, що рейковий мартенсит дає обмежену в'язкість. Тому в сталях, оброблюваних за режимом Q-P-T, в'язкість залежить від кількості залишкового аустеніту і його розподілу. Пластини аустеніту товщиною ~ 10 нм, які розташовуються між рейками мартенситу, сприяють підвищенню пластичності та тріщиностійкості сталей.

Під час відпуску з мартенситної матриці відбувається виділення нанорозмірних карбідів, що забезпечують дисперсійне зміцнення в сталях. Для утворення наночастинок, сталі, що обробляються за режимом Q-P-T, повинні містити карбідоутворювальні елементи, такі як ніобій, ванадій та/або молібден. Також, Nb, Mo і V сприяють подрібненню зерен, додатково забезпечуючи зернограничне зміцнення. Сталі, що обробляються за режимом Q-P-T, повинні містити менше 0,5 мас. % вуглецю, щоб уникнути утворення цементиту, який може спричинити крихкість під час загартування та відпуску.

Термомеханічну обробку, що включає деформацію сталі в області метастабільного аустеніту, називають аусформінгом. Під час аусформінгу деформація здійснюється в інтервалі температур від A_{r1} до M_s , після чого

відбувається загартування на мартенсит для унеможливлення бейнітного/перлітного перетворення. У вітчизняній літературі технологія аусформінгу також відома як низькотемпературна термомеханічна обробка.

Структурні механізми, відповідальні за підвищення міцності після аусформінгу, пов'язані з успадкуванням мартенситом дефектів, що утворилися в процесі гарячої обробки аустеніту. Було показано, що успадкована дислокаційна структура деформованого аустеніту забезпечує підвищення міцності незалежно від подрібнення зеренної структури аустеніту. Найбільш важливими успадкованими структурними/субструктурними елементами є дислокаційні клубки, субкордони та дрібнодисперсні частинки карбідів. Таким чином, аусформінг контролюється двома основними процесами, а саме пластичною деформацією метастабільного аустеніту і подальшим мартенситним перетворенням. Пластична деформація під час аусформінгу може здійснюватися різними методами, такими як прокатка і кування для великосерійного виробництва.

Найважливішими параметрами обробки є температура і ступінь деформації. Різний вплив гарячої деформації на подальший процес деформації на мартенситне перетворення пов'язане зі зміною механізму цього перетворення. На формування пластинчастого мартенситу майже не впливає попередня гаряча обробка, тоді як формування рейкового мартенситу може бути стримане за рахунок стабілізації аустеніту за умови попередньої деформації зі ступенем понад 20 %. Такий різний вплив попередньої гарячої деформації на мартенситне перетворення пояснюється різним впливом дислокаційної субструктури аустеніту на зростання мартенситних пластин і рейок. При цьому міцність рейкового мартенситу істотно залежить від ступеня наклепу аустеніту в царині малих деформацій, де густина дислокацій сильно залежить від ступеня деформації. Температура M_s збільшується зі збільшенням ступеня попередньої деформації до критичного значення, а потім зменшується з виходом на постійний рівень.

Підвищення температури аусформінгу може призводити до небажаних перетворень, як-от утворення грубозернистого та/або пластинчастого бейніту, що збільшує розмір кристалітів і знижує зміцнення. Навпаки, зниження температури аусформінгу підвищує ефективність гарячої деформації для формування субструктури з високою щільністю дислокацій в аустеніті. Ба більше, зменшення температури сприяє подрібненню мікроструктури, що позитивно позначається на ударній в'язкості. Температура і ступінь деформації під час аусформінгу мають бути оптимізовані для отримання найменшого розміру зерен аустеніту з високою густиною дислокацій і зменшення робочого навантаження.

Підвищений попит на високоміцні низьколеговані сталі з високою ударною в'язкістю за знижених температур стимулював дослідження різних режимів аусформінгу. Це дало змогу знайти оригінальне рішення проблеми зниження ударної в'язкості. Воно полягає в гарячому прокатуванні сталей у діапазоні температур стабільного аустеніту з подальшим загартуванням до мартенситу і подальшим відпуском. Такий метод обробки отримав назву модифікованого аусформінгу, щоб відрізнити його від класичного аусформінгу, що містить у собі гарячу обробку метастабільного аустеніту. Модифікований аусформінг також відомий як високотемпературна термомеханічна обробка.

2.2. Методи проведення досліджень

Для оцінки зносостійкості сталей використовували метод випробувань матеріалів на зносостійкість під час тертя об нежорстко закріплені абразивні частинки [4].

Відповідно до ДСТУ як абразивний матеріал використовували - електрокорунд білий 25А (шліфзерно) 0.212 - 0.425 (F60).

Шліфзерно із синтетичного корунду з найвищим вмістом оксиду алюмінію (Al_2O_3) до 99 %, що визначає показник твердості 9 за шкалою Мооса (дев'ятий

природний еталонний мінерал мінералогічної шкали твердості з десяти - корунд) [3]. Як еталонний матеріал прийнято зразок зі сталі 45 у стані постачання твердістю $HV = 200$, відносна зносостійкість якого прийнята $\varepsilon_{ст} = 1$.

Випробуваний зразок встановлюють у тримач і притискають важелем до ролика із зусиллям $44,1 \pm 0,25$ Н. Абразивні частинки з дозувального пристрою, потрапляючи на зразок, впроваджуються в гумовий обертовий ролик і, протягуючись через зону контакту, зношують випробовуваний матеріал [4]. Дозуючий пристрій забезпечує безперервне надходження абразивного матеріалу в зону контакту.

Тривалість випробування визначається твердістю випробовуваного матеріалу і забезпечується рекомендованою кількістю обертів ролика (табл. 2.2).

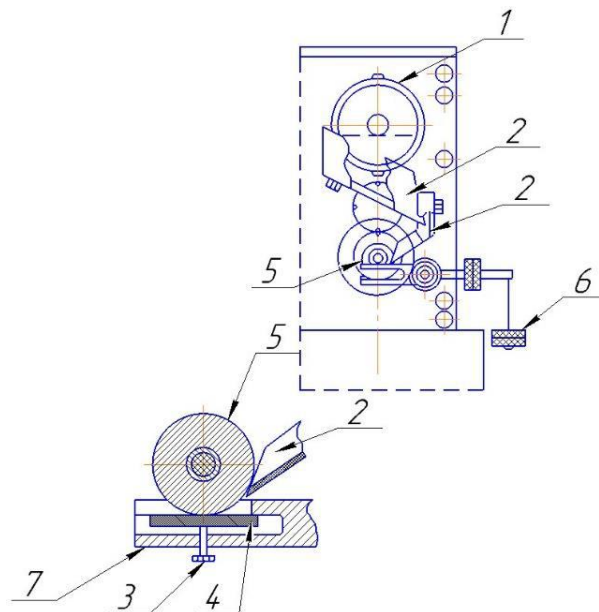


Рис. 2.2. Схема станда ИМ-01 1 – барабан; 2 – жолоб; 3 – гвинт; 4 – випробуваний зразок; 5 – еластичний ролик; 6 – вантаж; 7 – тримач.

Таблиця 3.1 – Рекомендована кількість обертів ролика залежно від твердості зразків

Твердість зразків, HV	Кількість обертів ролика, $хв^{-1}$
До 400	600
400 - 800	1800
Більше 800	3600

Перед проведенням випробувань визначають твердість зразків за методом Віккерса [2]. Потім зразки промивають і зважують на аналітичних вагах «ВЛ-224» з точністю до 0,001 грама.

Як критерій оцінки та порівняння матеріалів за зносостійкістю прийнято відносну зносостійкість, що визначається відношенням зносу еталона до зносу випробовуваного зразка, з урахуванням щільності досліджуваних матеріалів.

Для оцінки корозійної стійкості зразків проводили випробування за методом прискорених корозійних випробувань згідно з ДСТУ [5].

Сутність обраного методу №5 «Метод випробувань за підвищених значень відносної вологості та температури без конденсації вологи», полягає в прискоренні корозійного процесу підвищенням відносної вологості повітря та температури без конденсації вологи.

Під час випробувань застосовували плоскі зразки, розміром $50 \times 50 \times 1,5$. Для досягнення необхідної довірчої ймовірності результатів випробувань, кількість зразків на одне випробування становила три штуки [2].

Випробування проводилися в камері соляного (морського) туману КСТ-18/001 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Камера соляного туману КСТ-18/001.

Програма випробувань експериментальних зразків на круговому ґрунтовому стенді включає: вагову оцінку зразків; оцінку лінійних розмірів зразків; оцінку ґрунтового середовища для випробувань: вологість, щільність (після проходження котків, що коткують); опрацювання та оцінку результатів випробувань.



Рис. 2.4. Зовнішній вигляд ґрунтового кругового станда

Об'єктами випробувань є зразки низьколегованих сталей та еталонного зразка рис. 2.5.

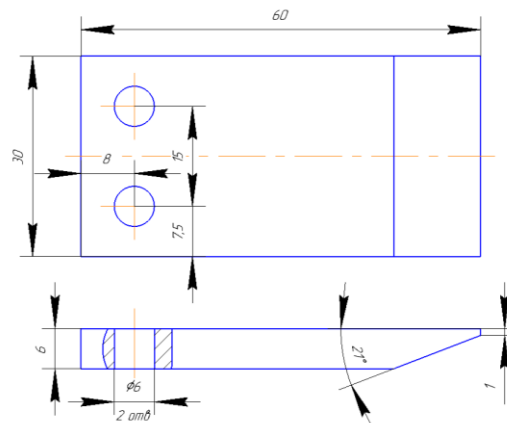


Рис. 2.5. Креслення моделі лезового ґрунторізального робочого органа

Перед початком роботи станду проводиться оцінка твердості моделей ґрунторізальних робочих органів на твердомірі МЕТОЛАБ 421 за методом Віккерса згідно з ДСТУ [2].

Перед початком і після закінчення кожних 8 годин роботи стенду проводиться вагове оцінювання на аналітичних вагах AND HR-150AZG випробовуваних зразків моделей ґрунтообробних робочих органів, з метою визначення зносостійкості за втратою у вазі.

А також проводиться оцінка лінійних розмірів зразків моделей ґрунтообробних робочих органів, з метою визначення зносостійкості за втратою в лінійних параметрах. У таблицю заносяться всі вихідні, проміжні та остаточні дані щодо зносу порівнюваних зразків.

Контроль параметрів під час випробувань на «Круговому ґрунтовому стенді»:

- кут установки зразка до дна поверхні 30°;
- робоча глибина 15 см;
- вологість ґрунту 6-7%;
- швидкість роботи 1,9 м/с;
- через кожні 4 години заміряють вологість ґрунту, у разі невідповідності доводять до робочої вологості 6-7 %;
- після закінчення кожних 8 годин відбувається замір зразків і перемішування ґрунту;
- після закінчення кожних 16 годин проводиться часткова заміна ґрунту, змінюється 50 %;
- після закінчення кожних 32 годин проводиться повна заміна ґрунту, змінюється 100 %;
- після закінчення випробувань складається акт або протокол проведення випробувань.

Натурні (польові) випробування проводилися на прикладі стрілчастих лап культиватора. Лапи встановлювали на культиватор стрілчастий навісний КОН-2,8 (рис. 2.6) із шириною захвату 2,8 м: 11 стрілчастих лап, навішування на три точки або на трикутник. Універсальні стрілчасті лапи використовують для

підрізання бур'янів і розпушування ґрунту. Вони мають ширину захвату від 220 до 385 мм, кут розчину лез 60...70° і кут підйому, що дорівнює 23...30°. Глибина обробітку ґрунту цими лапами сягає 14 см.



Рис. 2.6. Культиватор КОН-2,8.

Для польових випробувань були виготовлені пластини завдовжки 190 мм, завширшки 50 мм і завтовшки 3 мм. Пластини були піддані термічній обробці за режимом: загартування з температури 900 °С і відпустка за температури 280 °С протягом 1 год. Термооброблені пластини були очищені від окалини в піскоструминному апараті та приварені до серійної лапи культиватора КРН-220. На рис. 2.7 показано серійну лапу культиватора КРН-220 з привареними пластинами до випробувань.



Рис. 2.7. Виготовлена лапа культиватора КРН-220.

За аналогічною методикою було виготовлено та приварено до серійних лап пластини зі сталей 30ХГСА, 55С2, що застосовуються в сільському господарстві, і в цьому дослідженні їх використовували для порівняння.

Для оцінки зносостійкості проводили зважування лап із привареними пластинами до і після випробувань. Знос являє собою втрату маси деталі під час випробування. Крім того, для порівняння було визначено знос серійної лапи зі сталі 30 без приварених пластин.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН З ПІДВИЩЕНИМ РЕСУРСОМ

3.1 Результати дослідження експлуатаційних характеристик сталей

Підвищення твердості матеріалу під час абразивного зношування в більшості випадків призводить до зниження інтенсивності зношування. Однак твердість не завжди є однозначним показником зносостійкості. Хімічний склад і термічна обробка металу багато в чому визначає зносостійкість і є факторами, що визначають механічні властивості матеріалу.

Результати дослідів наведено у вигляді графіка (рис. 3.1), з якого випливає, що інтенсивність зношування термічно оброблених легованих сталей перебуває у зворотній залежності від їхньої твердості. Зі збільшенням її інтенсивність зношування зменшується.

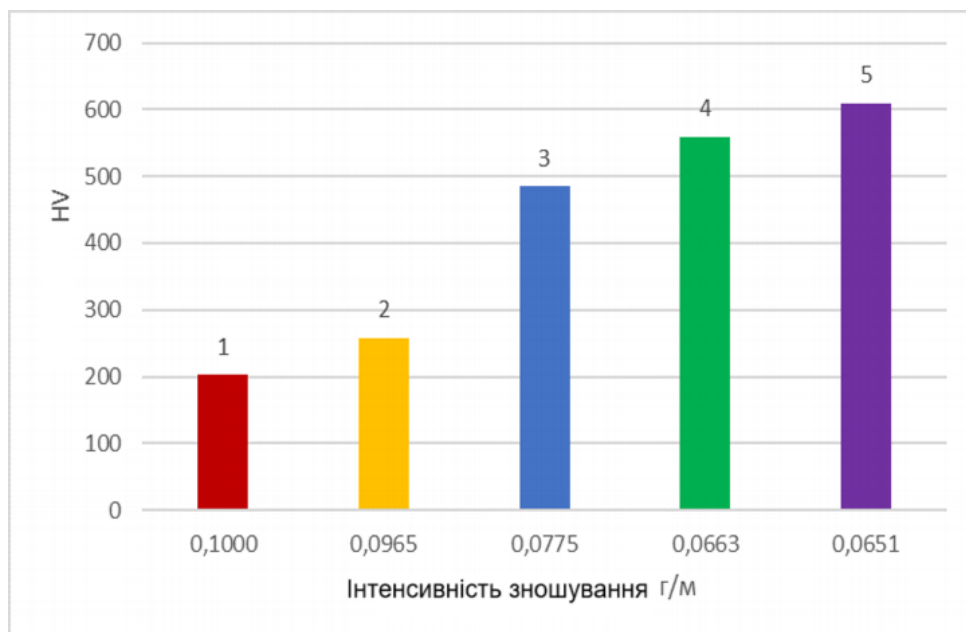


Рис. 3.1. Залежність інтенсивності зносу від твердості зразків сталі: 1) 45; 2) 65Г; 3) 0,33С-1,86Si-1,44Mn-0,59Cr; 4) 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti; 5) 0,44С-1,60Si-0,01Mn-1,2Cr-0,95Mo-0,08V-0,05Nb- 0,05Ti

Результати дослідження на круговому ґрунтовому стенді зі встановлення величини зносу робочих органів від напрацювання наведені в таблиці 3.1 і рис. 3.2 – 3.5.

Таблиця 3.1 – Результати масового зносу сталей після 160 годин випробувань

№ п/п	Зразок	Твердість, HV	Маса до випробовування, г	Знос, г
1	Сталь 45	210,4	70,9681	26,3571
2	Сталь 65Г	458	69,4750	23,8992
3	30ХГСА	328,9	60,3901	29,8539
4	0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr-0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti	556,9	65,5871	16,8111
5	0,33С-1,86Si-1,44Mn-0,59Cr	472	69,8281	18,4859
6	0,44С-1,60Si-0,01Mn-1,2Cr-0,95Mo-0,08V-0,05Nb- 0,05Ti	567	69,4151	18,4371

Отримані дані зносу показують збільшення зносостійкості в 1,9 раза для сталі 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr-0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti після термічного оброблення, яке містить загартування за температури 900 °С та відпустку за температури 280 °С упродовж 1 години, як порівняти зі сталлю 45.

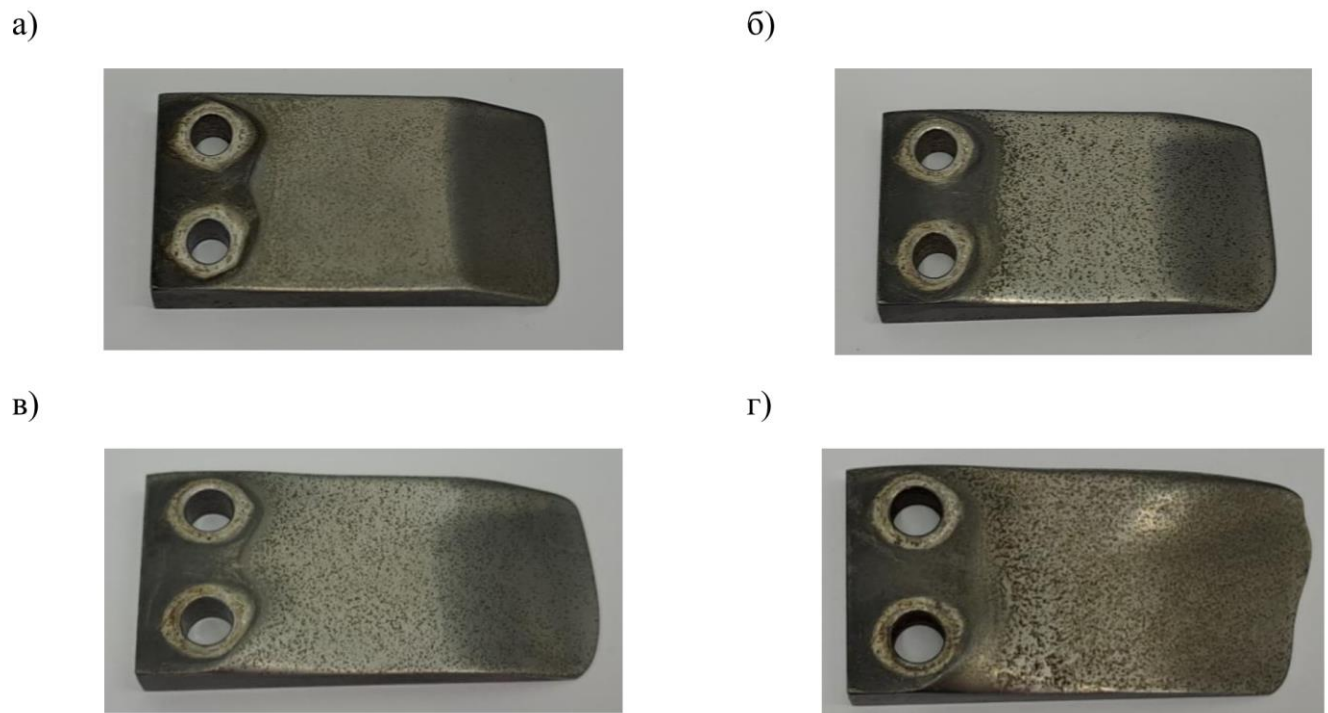


Рис. 3.2. Сталь 45 після: а) 40 годин; б) 80 годин; в) 120 годин; г) 160 годин випробувань

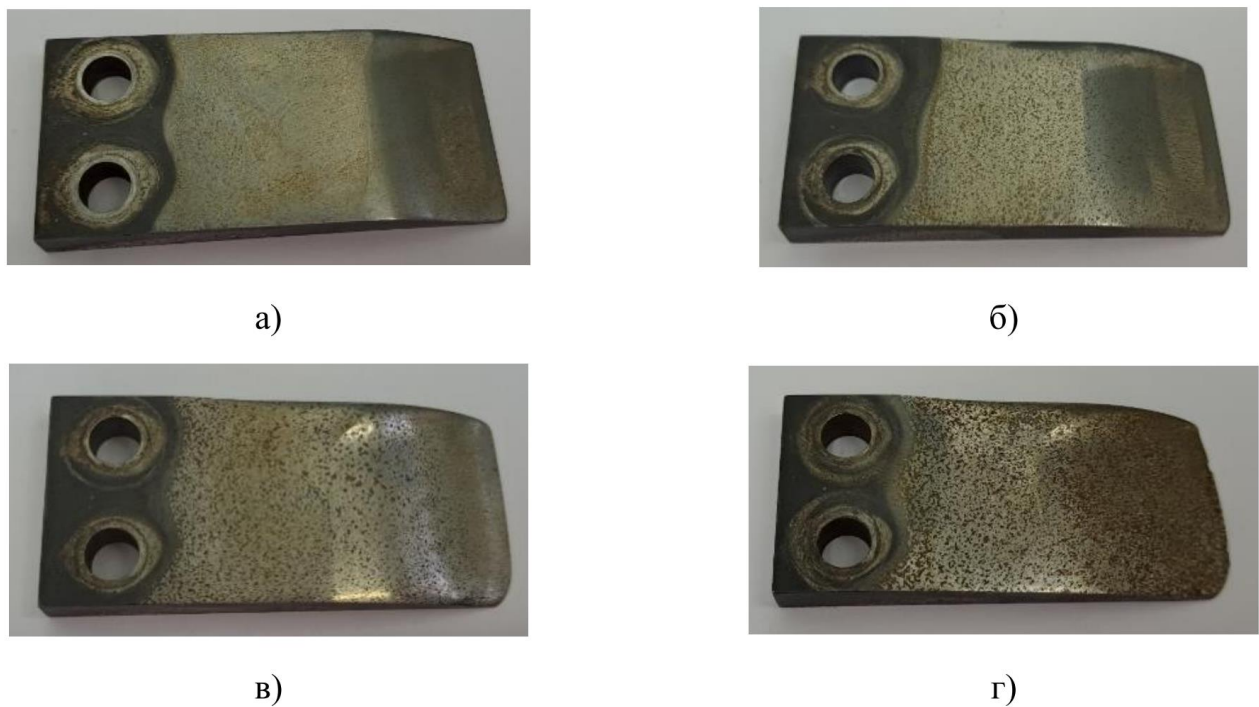


Рис. 3.3. Сталь 0,35C-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti після: а) 40 годин; б) 80 годин; в) 120 годин; г) 160 годин випробувань.

Зносостійкість сталі 0,44C-1,60Si-0,01Mn-1,2Cr-0,95Mo-0,08V-0,05Nb-0,05Ti після термічної обробки, яка передбачає загартування за температури 900

°C і відпустку за температури 280 °C упродовж 1 години, вища за еталонний зразок зі сталі 45 у 1,7 рази.



Рис. 3.4. Сталь 0,44C-1,60Si-0,01Mn-1,2Cr-0,95Mo-0,08V-0,05Nb- 0,05Ti після: а) 40 годин; б) 80 годин; в) 120 годин; г) 160 годин випробувань.

Зносостійкість сталі 0,33C-1,86Si-1,44Mn-0,59Cr після термічного оброблення, що містить загартування з температури 900 °C і відпустку за температури 280 °C упродовж 1 години, вища за еталонний зразок зі сталі 45 у 1,4 раза.

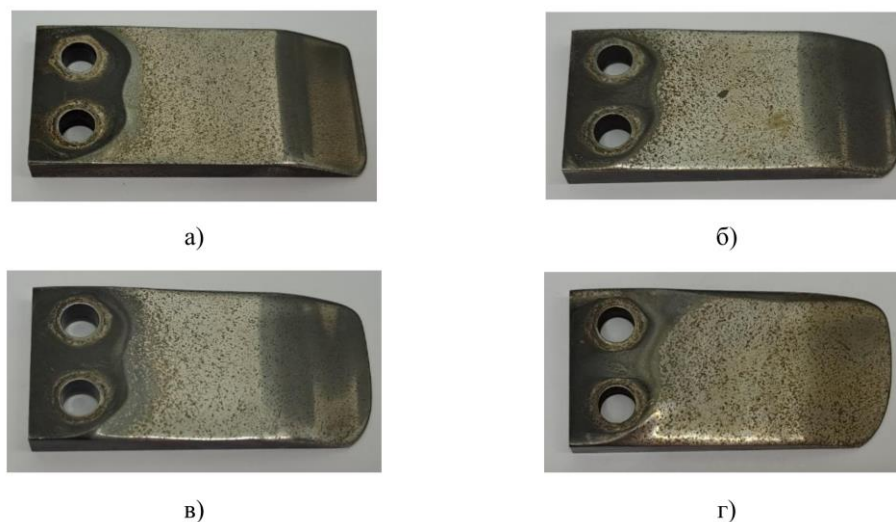


Рис. 3.5. Сталь 0,33C-1,86Si-1,44Mn-0,59Cr після: а) 40 годин; б) 80 годин; в) 120 годин; г) 160 годин випробувань

Для підтвердження отриманих лабораторних результатів із визначення зносостійкості розроблюваних сталей було проведено натурні випробування з визначення зносостійкості в реальних умовах експлуатації. Під час проведення польових випробувань було оброблено поле площею 6,5 га, швидкість руху трактора становила 12 км/год, агротехнічний прийом - міжрядний обробіток.

Для польових випробувань обрано сталь $0,35\text{C}-1,77\text{Si}-1,35\text{Mn}-0,58\text{Cr}-0,20\text{Mo}-0,04\text{Nb}-0,031\text{Ti}$, з якої було виготовлено пластини завдовжки 190 мм, завширшки 50 мм і завтовшки 3 мм. Далі пластини були піддані термічній обробці за режимом: загартування за температури $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відпуск за $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 1 год.

Термооброблені пластини були очищені від окалини в піскоструминному апараті та приварені до серійної лапи культиватора КРН-220. На рис. 3.6 (а) показано серійну лапу культиватора КРН-220, виготовлену зі сталі 30, а на малюнку 3.6 (б) ту саму лапу з привареними пластинами до випробувань. За аналогічною методикою були виготовлені та приварені до серійних лап пластини зі сталей 30ХГСА, 55С2, які застосовуються в сільському господарстві і в цьому дослідженні використовувалися для порівняння.

Для оцінки зносостійкості проводили зважування лап із привареними пластинами до і після випробувань. Знос являє собою втрату маси деталі під час випробування. Крім того, для порівняння було визначено знос серійної лапи зі сталі 30 без приварених пластин. На малюнку 3.6 (а) показано серійну лапу КРН-220, а на малюнку 3.6 (б) лапу з привареними пластинами після випробувань. Результати польових випробувань сталей та їхні термічні обробки наведено в таблиці 3.2. Найменше зношування 15,22 г було отримано для експериментальної сталі $0,35\text{C}-1,77\text{Si}-1,35\text{Mn}-0,58\text{Cr}-0,20\text{Mo}-0,04\text{Nb}-0,031\text{Ti}$ після термічної обробки, яка охоплювала загартування з температури $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відпустку за $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж 1 год.

Таблиця 3.2 – Результати польових випробувань сталей та їхні термічні обробки

№ п/п	Тип зразка	Відносна зносостійкість
1	30ХГСА, загартування 880°С в оливі, відпуск 550°С, 1 година, вода	0,88
2	30ХГСА, загартування 880°С в оливі, відпуск 250°С, 1 час, вода	0,83
3	0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti, загартування 900°С в воді, відпуск 280°С, 1 година	1,20
4	55С2, загартування 880°С в масло, відпуск 400°С, охолодження у воді	0,61
5	Сталь 30	1,00



а)



б)

Рис. 3.6. Лапа культиватора КРН-220 до випробувань: а – серійна деталь, б – деталь із привареними пластинами.



а)



б)

Рис. 3.7. Лапа культиватора КРН-220 після випробувань: а – 30ХГСА з привареними пластинами, б – 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti з привареними пластинами.

Цей результат підтверджує доцільність застосування розроблених сталей для виготовлення робочих органів сільськогосподарської техніки.

3.2. Розробка технології виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин з підвищеним ресурсом

Під час виконання робіт були проведені плавки у відкритій індукційній печі ІСТ 016 з основним футеруванням тигля і ємністю 50 кг. Особливості індукційної плавки такі, що в процесі плавки практично неможливо проводити рафінувальні процеси (крім розкислення), тому для одержання металу високої якості було обрано метод сплавлення чистих (і особливо чистих) шихтових матеріалів.

Як шихту використовували: залізо типу «Армко» з особливо низьким вмістом сірки і фосфору; металевий хром Х99; марганець металевий (електролітичний) марки Мн998; нікель електролітичний марки Н1; молібден металевий марки МШВ; ніобій марки НБШ; кремній марки Кр00; феррованадій марки ФВд80 і як розкислювачі застосовували алюміній марки А99, феробор

марки ФБ20 і мішметал марки МЦ 50Ж6 з розрахунку на 0,01 % алюмінію і церію.

Перед початком плавки проводили повний розрахунок шихти і заносили його в плавильну карту.

Виплавка у відкритій індукційній печі ІСТ 016 представлена на рис. 3.8. Температуру металу під час виплавки і розливання підтримували на рівні 1600-1610 °С.



Рис. 3.8 Процес виплавки сталі у відкритій індукційній печі ІСТ 016

Метал з ОПІ зливали в розливний ківш, попередньо підігрійтий до 900 °С. З ковша відбирали пробу металу для проведення хімічного аналізу, потім метал заливали в заздалегідь підготовлену «земляну» форму з прибутковою надставкою (рис. 3.9). Прибуток зверху присипали екзотермічною сумішшю, щоб якнайповніше вивести усадочну мушлю в прибуток для збільшення виходу придатного металу і підвищення якості металу електрода.

У результаті розливання металу з відкритої індукційної печі отримано витратні електроди діаметром 75 мм, масою з прибутковою надставкою приблизно 54-55 кг кожен, заданих хімічних складів, придатних для подальшого електрошлакового переплаву. Після кристалізації металу і охолодження виливки, електрод роздягали, оглядали поверхню, відрізали прибуткову частину, вирізали

затравку для електрошлакового переплаву, зачищали поверхню, якщо було потрібно і готували для переплаву на установці ЕШП.



Рис. 3.9. Відливання електродів відкритої індукційної виплавки

Після електрошлакового переплаву були отримані злитки, зовнішній вигляд яких представлений на рис. 3.10. Поверхня злитків гладка, без перетисків.



а)



б)

Рис. 3.10. Процес «роздягання» (а) і зовнішній вигляд (б) злитків ЕШП.

Після охолодження зливки ЕШП масою до 40 кг готували до подальшого кування. Перед куванням від кожного злитка відрізали нижню частину із затравкою (на висоту затравки ~ 20 мм), решту передавали на кування.

Злиток завантажували в теплу піч ($T \sim 800$ °С), нагрівали до температури ~ 1180 °С і витримували протягом двох годин. Заготовки кували від температури 1180 °С до 900 °С, потім заготовку знову завантажували в піч.

Кування злитків виконували плоскими бойками на молоті з масою падаючих частин 750 кг.

Кування злитка на сутунку заданого розміру завтовшки 65+4 мм, завширшки 140+8 мм, максимально можливої довжини проводили за три виноси зі зменшенням до заданої товщини.



Рис. 3.11. Різання злитка ЕШП.

Потім, згідно з такими технологічними операціями, отримують високоміцний гарячекатаний лист:

1) Нагрівання заготовки низьковуглецевої сталі в муфельній печі до температури деформації 1080 °С і витримка протягом 1 години;

2) Прокатка в інтервалі температур 1100 °С - 900 °С з обтисненням 60 % і подальшим охолодженням на повітрі. З листового прокату вирізають і зачищають пластини (рис. 3.12) з метою подальшого приварювання на ріжучі кромки робочих органів ґрунтообробних машин.



Рис. 3.12. Різання заготовки (пластини)

Основним параметром режиму ручного дугового зварювання є величина зварювального струму. Зі збільшенням струму зростають довжина і ширина зварювальної ванни, а також глибина проплавлення металу. Під час призначення струму враховують товщину деталей, що зварюються, діаметр електрода, тип шва і положення його в просторі, рід і полярність струму.

Приварювання низьколегованих сталей здійснюють електродами типу Е46 марки ОЗС-12 (рис. 3.13) і електродами типу LB-52U. Метал шва, виконаний цими електродами, забезпечує високу ударну в'язкість і стійкість до розтріскування.

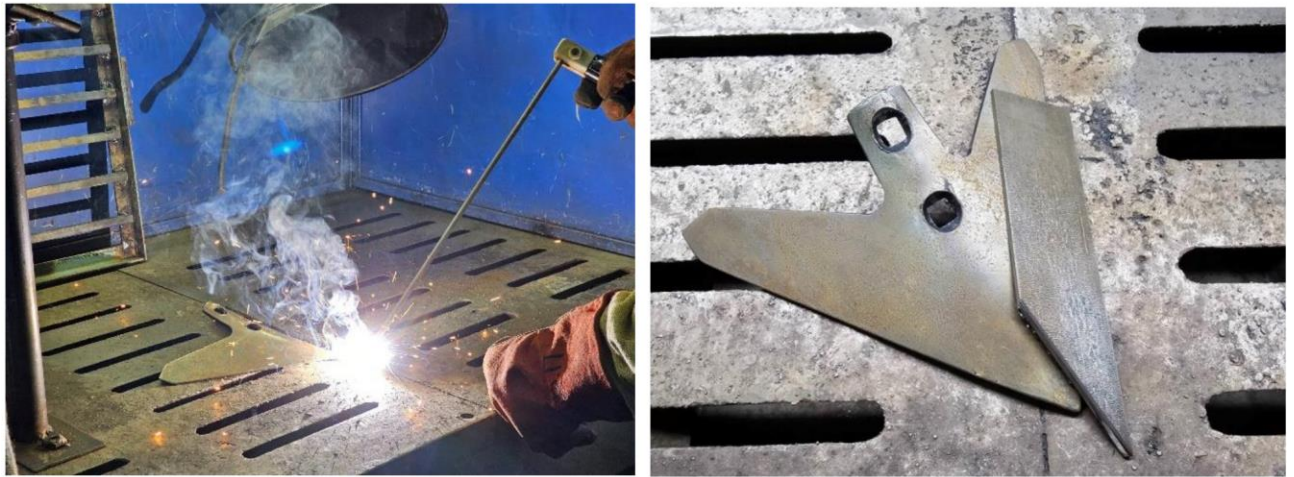


Рис. 3.13. Приварювання низьколегованих пластин.

Після приварювання пластин отриманий шов зачищають і перевіряють на наявність дефектів: підрізи, раковини, не провар тощо.

Для зняття внутрішніх напружень в отриманому виробі застосовують відпал з подальшою термічною обробкою згідно з такими режимами:

- 1) Відпал за температури 900 °С;
- 2) Загартування, що включає аустенізацію за температури 900 °С з витримкою протягом 300 секунд, охолодження в гарячому середовищі (соляному розплаві) за температури 220 °С протягом 30 секунд;
- 3) Розподіл за температури 350 °С протягом 60 секунд у соляному розплаві, з подальшим охолодженням на повітрі.

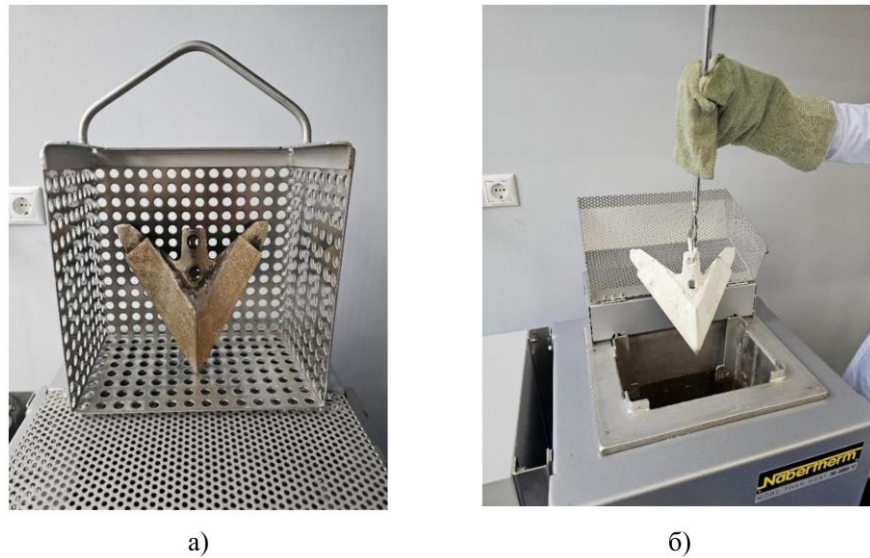


Рис. 3.14. Процес термічної обробки виготовленої лапи культиватора: а) до термічної обробки; б) після термічної обробки

Розроблені лапи культиватора, у разі досягнення граничного стану, можуть бути відновлені за допомогою заміни зношених елементів (нових різально-лезвийних частин), що виготовляються і приварюються внахлест замість відрізаних зношених частин. У результаті можливе щонайменше дворазове відновлення ресурсу лап культиватора, що дасть змогу виробникам сільськогосподарської продукції заощаджувати значні кошти на придбанні нових, дороговартісних робочих органів.

Висновки по розділу

Лабораторні дослідження відносної зносостійкості дослідних сталей, з режимом термічного оброблення загартування за температури 900 °С і подальшим відпуском за температури 280 °С показали зносостійкість у середньому на рівні, вищому за 27 % сталі 65Г.

Лабораторні стендові дослідження відносної зносостійкості сталей з режимом термічної обробки загартування за температури 900 °С і подальший відпустку за температури 280 °С показали зносостійкість сталей у середньому на

рівні, вищому за 30% сталі 65Г. Отримані дані свідчать про відтворюваність і достовірність отриманих результатів.

Натурні випробування низьколегованих сталей показали збільшення ресурсу сталі 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti у 2 рази. Цей результат підтверджує доцільність застосування розроблених сталей для виготовлення робочих органів сільськогосподарської техніки.

Під час проведених досліджень було розроблено технологію підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин за допомогою приварювання до них зносостійких пластин із низьколегованої сталі. Технологія може бути реалізована як у стаціонарних умовах на підприємствах, так і в невеликих майстернях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин завдяки підбору сталей і режимів термічної обробки.

Розроблено режими термічної обробки для розроблених сталей, що містять у собі:

1) гарячу прокатку за температури 1000 °С, загартування за температури 900 °С і подальше відпускання за температури 280 °С;

2) гарячу прокатку за температури 1000 °С, загартування за температури 210 °С тривалістю 100 с і розподіл за температури 350 °С із часом витримки 1000 с.

Розроблено технологію зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин шляхом закріплення на зонах інтенсивного зношування, зносостійких пластин, ресурс яких у 1,5 рази вищий за серійні.

Зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин, виготовлених із рекомендованої сталі 0,35С-1,77Si-1,35Mn-0,58Cr- 0,20Mo-0,04Nb-0,031Ti, що працюють в умовах супіщаного ґрунту, вища за серійні на 20 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Adams J. E., Smith R. K. Wear Resistance and Durability of Soil Tillage Tools. New York: Springer, 2020. 320 p.
2. Brown A., Johnson M. Advances in Material Technologies for Soil-Engaging Tools. London: Elsevier, 2019. 305 p.
3. Chen T., Li X. Improving Wear Resistance in Agricultural Machinery Components. Amsterdam: Academic Press, 2021. 298 p.
4. Davis M., Wilson K. Design and Optimization of Soil-Engaging Tools for Durability. Cambridge: Woodhead Publishing, 2020. 312 p.
5. Gupta R., Singh K. Wear and Friction in Tillage Equipment: Principles and Applications. Berlin: Springer, 2019. 285 p.
6. Hansen R. E., Lee J. Material Wear and Surface Engineering in Agricultural Machinery. Oxford: Wiley-Blackwell, 2020. 290 p.
7. Kim Y., Park H. Advances in Coating Technologies for Soil Tillage Tools. Tokyo: Springer Japan, 2021. 270 p.
8. Martinez J. M., Silva L. R. Durability and Performance of Soil-Cutting Tools. Amsterdam: Elsevier, 2020. 284 p.
9. Richardson A., Green S. Wear Mechanisms and Surface Treatments for Agricultural Machinery. London: Academic Press, 2019. 295 p.
10. Wilson T., Evans R. Design Solutions for Increasing the Longevity of Tillage Tools. New York: Routledge, 2021. 308 p.
11. 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.
12. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

13. Ляшенко П. А., Радченко І. Ю. Робочі органи ґрунтообробних машин: ресурсозбереження та довговічність. Київ: Аграрна освіта, 2020. 310 с.
14. Паламарчук В. О., Савчук Л. В. Конструктивні та матеріалознавчі рішення для підвищення ресурсу робочих органів. Львів: Афіша, 2019. 265 с.
15. Руденко П. С., Іванченко Г. М. Робочі органи ґрунтообробних машин: зміцнення та оптимізація. Харків: ІНЖЕК, 2018. 290 с.
16. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
17. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
18. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
19. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.