

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВИХ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН З ДОСЯГНЕННЯМ ЕФЕКТУ САМОЗАГОСТРЮВАННЯ

Борак Костянтин Вікторович

доктор технічних наук, професор
Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0002-5611-4707
koss1983@meta.ua

Куликівський Володимир Леонідович

кандидат технічних наук, доцент
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0002-4652-0285
kylikovskiyv@ukr.net

Сукманюк Олена Миколаївна

кандидат історичних наук, доцент
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0003-2485-488X
sukmanyukolena@gmail.com

Боровський Віктор Миколайович

старший викладач
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0000-0002-1759-8155
borovskiyvm@gmail.com

Бистрицький Богдан Петрович

здобувач освіти ОС «Бакалавр»
Поліський національний університет, м. Житомир, Україна
ORCID: 0009-0003-5382-2729
bohdanbystrytskyi@gmail.com

Робота присвячена підвищенню довговічності робочих органів дискових ґрунтообробних машин шляхом формування зносостійких шарів ручним електродуговим наплавленням з реалізацією ефекту самозагострювання ріжучих кромки. Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення ресурсу дискових робочих органів, що в умовах інтенсивного абразивного зношування ґрунтовими частинками та агресивного середовища є одним із найважливіших напрямів розвитку сучасного аграрного машинобудування. Використання технології зміцнення поверхонь для підвищення довговічності і забезпечення ефекту самозагострювання дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування, підвищити ефективність польових робіт та знизити споживання пального.

Метою дослідження в статті є підвищення довговічності робочих органів дискових ґрунтообробних машин шляхом ручного електродугового наплавлення з реалізацією ефекту самозагострювання.

Методика дослідження передбачала аналіз конструкцій та умов експлуатації дискових робочих органів, визначення характеру їхнього зношування, експериментальне наплавлення зміцнювальних шарів ручним дуговим зварюванням, лабораторне оцінювання триботехнічних характеристик отриманих покриттів, а також проведення польових досліджень з подальшим вимірюванням геометричних параметрів леза й визначенням ефекту самозагострювання. Для оцінювання стійкості до зношування застосовано лабораторні методики визначення хімічного складу наплавлених шарів, інтенсивності масового зношування та твердості, а також натурні випробування в експлуатаційних умовах.

У ході досліджень отримано загальну характеристику роботи зміцнених дисків, підтверджено підвищення їхньої довговічності та енергетичної ефективності, а також встановлено, що наплавлені шари забезпечують стійке самозагострювання ріжучої кромки протягом усього періоду експлуатації. Застосування технології ручного електродугового наплавлення дозволяє збільшити ресурс дискових робочих органів та зменшити експлуатаційні витрати під час ґрунтообробних операцій, що підтверджує практичну значущість і перспективність впровадження отриманих результатів у виробничі процеси аграрних підприємств.

Ключові слова: дискові робочі органи, зносостійкість, самозагострювання, абразивне зношування, електродугове наплавлення, триботехнічні властивості, ґрунтообробні машини.

Вступ. Дискові ґрунтообробні машини традиційно становлять приблизно 40 % парку машин сільського господарства України (Heruk et al., 2009; Borak, 2021), оскільки забезпечують ефективний обробіток ґрунту. Проте у процесі експлуатації номінальні розміри дискових робочих органів змінюються через абразивний знос, що негативно впливає на якість обробітку ґрунту і як наслідок, на врожайність і енерговитрати (Denysenko, 2023). Зношення дисків призводить до «затуплення» ріжучих кромки, збільшення сили опору агрегатам, перевитрат палива та погіршення якості обробітку. Так, у разі затуплених ріжучих елементів плугів, дискових борін, культиваторів та сівалок агрегат із трактором потребує на 15–20 % більше пального (Borak, 2021).

З економічної точки зору проблема зношення робочих органів є надзвичайно гострою. Внаслідок інтенсивного абразивного зношування сільськогосподарські підприємства щороку витрачають на підтримання машин у справному стані понад 17–20 млрд грн (Denysenko, 2023). Ці витрати включають затрати на запчастини, ремонти і заміну зношених деталей. Водночас заміна спрацьованих дисків та інших елементів ускладнює технологічний процес: зменшується продуктивність машин, зростають простой через ремонти, що прямо впливає на рентабельність агробізнесу (Denysenko, 2023). В умовах обмеженого фінансування і суттєво зношеного парку техніки підвищення зносостійкості та продовження ресурсу машин вимагає постійної уваги і застосування інноваційних технологій зміцнення.

Натомість традиційні методи зміцнення ріжучих елементів мають низку недоліків. Класичне зміцнення з малою легованістю утворює суцільний твердий шар, котрий з часом нерівномірно стирається і втрачає гостроту. У високоміцних наплавлених шарах часто виникають мікротріщини через утворення ледебуритної структури – це небажаний побічний ефект, який пояснює високу твердість покриття. До того ж значні термовпливи при наплавленні можуть спричинювати деформації деталей і знижувати їх механічну міцність. Як наслідок, такі шари швидко руйнуються і не забезпечують тривалого ресурсу в умовах абразивного зносу.

Актуальним є використання сучасних зносостійких покриттів, які забезпечують ефект «самозагострювання» ріжучих крайок під час експлуатації. Суть цього підходу полягає врівнюванні швидкості зношування внутрішньої і зовнішньої сторони диска, що підтримують оптимальну гостроту робочої кромки протягом довгого часу. Цей принцип вже застосовують, наприклад, у складних наплавлених шарах з карбідами, де більш м'яка матриця стирається швидше за тверді включення. У дослідженні передбачено порівняти ефективність різних типів електродів (Т-590, Т-620, Bohler UTR DUR 600, ESAB ОК 84.78) для формування таких покриттів. Застосування цих і подібних високолегованих матеріалів дозволяє створювати наплавлений метал з особливим складом легуючих елементів і структурою, яка забезпечує саме бажаний ефект самозагострювання. Таким чином, сучасні зносостійкі наплавлення відкривають перспективу істотного збільшення довговічності ґрунтообробних знарядь.

Важливість цієї теми підкреслюється глобальними трендами ресурсозбереження та енергоефективності. Продумане зміцнення робочих органів безпосередньо збільшує термін служби машин і знижує потребу у нових запасних частинах, що зменшує витрати матеріалів і енергії на їх виготовлення. Впровадження самозагострювальних робочих органів сприяє стабільній якості обробітку ґрунту і дозволяє економити паливе за рахунок зниження сил опору агрегату. У сукупності ці заходи забезпечують підвищення ефективності сільгоспвиробництва, збереження природних ресурсів та мінімізацію експлуатаційних витрат.

Дискові ґрунтообробні машини становлять важливий сегмент машино-тракторного парку аграрних підприємств України. За даними авторів (Heruk et al., 2009), дискові знаряддя становлять близько 40% парку ґрунтообробних машин України, а ефективність обробітку ґрунту значною мірою залежить від геометрії дисків (Heruk et al., 2009). Під час експлуатації номінальні розміри диска змінюються внаслідок абразивного та ударного зношування, що погіршує якість обробітку і збільшує енерговитрати. Наприклад, шестирічні польові випробування агрегату ДЛ-2,5 показали, що фронтальні диски стерлися на 21,1 мм (60,2% від ресурсу), а задні – на 11,5 мм (32,8%), прогнозований залишковий ресурс становить лише 39,8% і 67,2% відповідно (Khalin et al., 2023). Це призводить до зменшення робочої швидкості, нерівномірного заглиблення, підвищеного тягового зусилля та потреби у частій заміні або відновленні деталей. Загалом, вихід з ладу компонентів, які працюють в умовах абразивного зношування, до яких належать дискові робочі органи, відповідає за понад 50% усіх відмов сільгосптехніки (5). Таким чином, зношення дисків – ключова проблема, що вимагає дослідження умов, причин і методів її вирішення.

В багатьох роботах (Borak, 2021; Wang et al., 2023; Cardei et al., 2018; Borak, 2013) відзначається, що взаємодія ґрунту з дисковими робочими органами ґрунтообробних машин є надзвичайно складною з точки зору трибології. Підвищити тривалість служби та стійкість до спрацювання дискових робочих органів ґрунтообробних машин можливо лише за умови глибокого усвідомлення закономірностей їхнього зношування. У процесі роботи такі елементи функціонують у середовищі ґрунту, що характеризується високою абразивністю, тому вони зазнають інтенсивного руйнування. В зоні взаємодії відбувається комплекс механічних, фізичних і хімічних явищ, а співвідношення швидкості та масштабів їх перебігу визначає тип і особливості прояву абразивного зношування.

Абразивне зношування традиційно класифікують на два основні типи: зношування за участю закріплених частинок (two-body abrasive wear) та зношування за участю вільних частинок (three-body abrasive wear) (Borak, 2021). У першому випадку абразив взаємодіє з поверхнею шляхом ковзання, утворюючи борозни (grooving abrasion), тоді як у другому – тверді частинки вільно переміщуються між поверхнями, що рухаються одна відносно одної (rolling abrasion). Цей механізм

відносять до так званого «закритого» абразивного зношування (closed abrasion), на відміну від «відкритого» (open abrasion), коли потік незакріплених абразивних частинок рухається по твердій поверхні. На погляд деяких дослідників (Borak, 2021, Aulin, 2005) така класифікація абразивного зношування не охоплює всіх аспектів даного процесу і може вважатися неповною.

В роботі (Borak, 2021) стверджується, що зношування робочої поверхні ґрунтообробних машин відбувається за рахунок взаємодії поверхні тертя із закріпленими, незакріпленими та «напівзакріпленими» абразивними частинками. Підтвердженням одночасного протікання різних видів зношування на поверхні робочих органів дискових ґрунтообробних машин є типова поверхня тертя (рис. 1).

Як бачимо на рис. 1. при зношуванні на піщаних ґрунтах в більшій мірі наявні чіткі сліди мікрорізнання поверхні в порівнянні з поверхнею, яка зношувалася в умовах глинистих ґрунтів. На обох поверхнях наявні каверни, що свідчить про наявність ударно-абразивного зношування.

Попередні наукові праці свідчать, що основним чинником втрати працездатності робочих органів ґрунтообробних машин є їхній лінійний та масовий знос (Borak, 2021; Aulin et al., 2005). Відтак, ключову роль у забезпеченні довговічності та стійкості до спрацювання відіграють фактори, що визначають інтенсивність абразивного руйнування поверхонь.

Для встановлення впливових чинників необхідно проаналізувати властивості елементів трибосистеми «робочий орган – ґрунт» (2). Як правило, робочі органи ґрунтообробної техніки виготовляють зі сталей (чавуни та інші сплави використовуються здебільшого експериментально і в обмежених обсягах).

У більшості промислово розвинених країнах для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин, протягом останніх десятиліть, переважає застосування низьколегованих сталей – передусім борвмісних та вуглецевих із вмістом вуглецю в межах 0,4–0,7 % (Kalacska et al., 2020; Dizdar et al., 2013; Lemecha et al., 2019; Pérez et al., 2010; Graff et al., 2007; Miller, 1980; Horvat et al., 2008).

Забезпечення високої довговічності та стійкості до зношування робочих органів ґрунтообробних машин

є одним із ключових напрямів сучасного машинобудування та ефективної експлуатації агротехніки. Важливість цього завдання зумовлена не лише потребою у зменшенні витрат матеріалів, а й прагненням скоротити витрати на технічне обслуговування та мінімізувати простої обладнання, пов'язані з заміною зношених елементів.

На підставі численних досліджень встановлено, що збільшення ресурсу та підвищення зносостійкості деталей і робочих органів машин можливе завдяки трьом основним підходам: технологічному, конструкційному та експлуатаційному (рис. 2) (Borak, 2021).

Попри значний обсяг досліджень у сфері підвищення довговічності дискових ґрунтообробних машин, чимало аспектів досі залишаються недостатньо вивченими.

Серед експлуатаційних підходів до підвищення довговічності й зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки найчастіше застосовують оптимізацію режимів їх роботи.

У ряді досліджень (Borak, 2021; Belousov et al., 2020) висловлено пропозиції щодо зміни геометричних характеристик робочих органів ґрунтообробних машин з метою підвищення їхньої довговічності. Водночас більшість таких рішень залишаються нереалізованими в масовому виробництві, тому під час розроблення заходів для підвищення ресурсу та зносостійкості доцільно орієнтуватися на геометричні параметри серійних деталей. Винятком є кут загострення робочих органів, який може бути змінений безпосередньо в умовах аграрних господарств.

Найбільший інтерес інженерів та дослідників у питаннях підвищення зносостійкості деталей і робочих органів машин, що працюють в умовах абразивного спрацювання, зосереджений на технологічних методах. Переважна більшість робіт присвячена вибору оптимальних режимів обробки матеріалу або визначенню ефективних способів і матеріалів зміцнення поверхні, яка зазнає дії абразивного середовища.

Наразі застосовується широкий спектр технологічних методів, спрямованих на покращення зносостійкості та продовження строку служби робочих органів ґрунтообробних машин.

Найбільший інтерес для аграрних підприємств України представляє метод підвищення довговічності



а)



б)

Рис. 1. Поверхня тертя: а) зношування на піщаних ґрунтах, б) зношування на глинистих ґрунтах

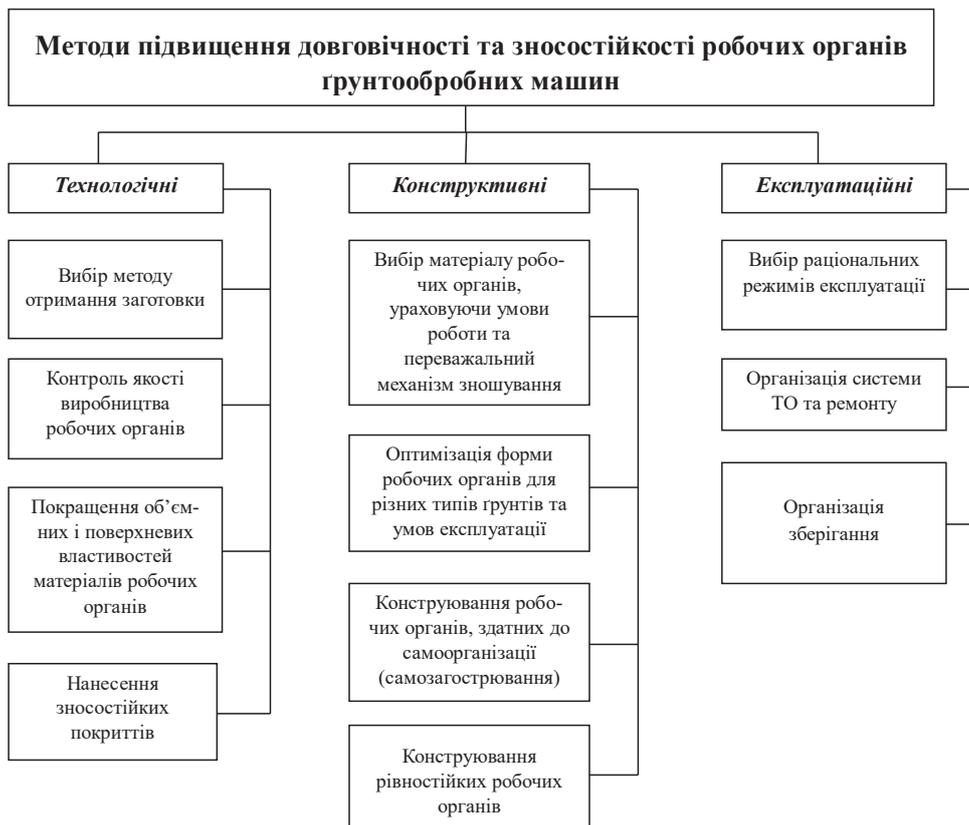


Рис. 2. Методи підвищення довговічності дискових робочих органів ґрунтообробних машин (Ворак, 2021)

дискових робочих органів ґрунтообробних машин шляхом ручного електродугового наплавлення зносостійкого покриття, оскільки такий метод має ряд переваг: висока зносостійкість зміцненого шару; можливість локального відновлення; доступність обладнання і технології; простота виконання; висока гнучкість процесу; широкий і доступний вибір електродів; підвищення ресурсу деталей у 1,5–3 рази і більше; можливість комбінування з іншими методами зміцнення; економічна ефективність.

Незважаючи на ряд позитивних переваг даного методу залишається не визначена можливість підвищення зносостійкості дискових робочих органів ґрунтообробних машин даним методом у поєднанні з реалізацією ефекту самозагострювання.

Мета дослідження: підвищення довговічності робочих органів дискових ґрунтообробних машин шляхом ручного електродугового наплавлення з реалізацією ефекту самозагострювання.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження в роботі виконували у відповідності до стандартних та розроблених методик.

Хімічний склад наплавленого шару визначали за допомогою методу атомно-емісійної спектроскопії.

Твердість наплавленого шару визначали за допомогою портативного твердоміра Т-УД2 (рис. 3). Визначення твердості здійснювали згідно зі стандартом ASTM A1038, який є оптимальним для оцінювання твердості зміцнених поверхневих шарів, оскільки глибина занурення індентера зазвичай становить 30–50 мкм.

З огляду на потребу максимально точно імітувати реальні умови зношування дискових робочих органів ґрунтообробної техніки під час лабораторних випробувань зразків на зносостійкість використовували метод «крильчатки» (рис. 4). Масову втрату зразка визначали за допомогою лабораторних терезів моделі СР 34001 S. Матеріал дослідних зразків сталь 65Г.

До постійних параметрів було віднесено такі показники: швидкість руху – 125,28 м/хв, а тиск абразивної суміші на зразок – 122,6 кПа. Як робоче середовище використовували кварцовий пісок із розміром зерен 50...100 мкм, при цьому коефіцієнт форми абразивних частинок становив $K_{\phi} = 114,18$.

Експлуатаційні дослідження зміцнених та серійних дисків проводили на дисковій бороні БДВП-7,2 (рис. 5) в умовах Коростенського району Житомирської області протягом 2024-2025 років.

Дослідження проводили на вирізних сферичних дисках діаметром 655 мм (рис. 6). Вибракування проводили при досягненні граничного стану (граничний стан для даних дисків визначений в роботі (7) діаметра 546 мм). Диск виготовлений зі сталі 65Г.

Зміцнення проводили електродами ESAB ОК 84.78 (ОК Weartrode 60 T), UTR DUR 600, T-590 та T-620. Було виготовлено 16 дослідних дисків, які встановлювалися в першому ряду та в рандомному порядку. Нанесення зносостійкого покриття виконували на дискові робочі органи, виготовлені зі сталі 65Г (рис. 6).

Данні лабораторних та експлуатаційних досліджень обробляли методом математичної статистики.



Рис. 3. Твердомір Т-УД2



а)



б)

Рис. 4. Розроблена установка для дослідження зносостійкості наплавленого покриття:
а – загальний вигляд, б – вал для кріплення дослідних зразків



Рис. 5. Експлуатаційні дослідження зміцнених та серійних робочих органів, які встановлені на БДВП-7,2



Рис. 6. Варіанти нанесення зносостійкого покриття на дискові робочі органи

Результати. При проведенні лабораторних та експлуатаційних досліджень дотримувалися режимів нанесення зносостійкого покриття, які вказані заводом виробником. Результати визначення хімічного складу нанесеного зносостійкого покриття вказані в табл. 1.

Хімічний склад нанесеного зносостійкого шару відповідає показникам, які зазначені заводами виробниками наплавочних електродів. Хімічний склад покриття не дозволяє об'єктивно оцінити триботехнічні характеристики отриманого покриття, для цього слід визначити його твердість та зносостійкість.

Результати визначення твердості нанесеного зносостійкого покриття на дослідні зразки виготовлені зі сталі 65Г представлено на рис. 7.

В результаті нанесення зносостійкого покриття електродами за допомогою ручного дугового наплавлення твердість поверхні, яка піддається абразивному зношуванню суттєво підвищилася і варіюється в межах 59-62 HRC. В багатьох роботах відзначається, що твердість поверхні не може бути об'єктивним показником

зносостійкості. Зносостійкість покриття є комплексним показником і залежить від твердості, хімічного складу та мікроструктури матеріалу. Тому для об'єктивної оцінки необхідно визначити зносостійкість напавленої поверхні як в лабораторних так і в експлуатаційних умовах. Слід також відзначити, що підвищення твердості поверхні тертя при ударно-абразивному зношуванні може мати негативний характер і призводити до зменшення зносостійкості поверхні тертя

Для визначення зносостійкості нанесеного покриття були проведені лабораторні дослідження у відповідності до вище наведеної методики. Результати лабораторних досліджень представлено на рис. 8.

Порівнюючи результати досліджень твердості (рис. 7) напавленого шару та інтенсивності його зношування (рис. 8) можна зробити висновок, що відсутня пряма пропорційна залежність між зносостійкістю поверхні та її твердістю. В свою чергу це можна пояснити різним хімічним складом напавленого шару (табл. 8) та структурою отриманого покриття. Зносостійкість напавленого шару

Таблиця 1

Хімічний склад напавленого металу (масова частка елемента, %)

Марка електроду	C	Mn	Si	Cr	S	P	B	Ti
T-590	3,32	1,24	2,43	23,42	0,024	0,025	0,87	-
T-620	3,38	1,32	2,47	22,84	0,023	0,02	1,22	1,35
ESAB OK 84.78 (OK Weartrode 60 T)	3,56	1,48	1,05	34,51	<0,01	<0,01	-	-
UTR DUR 600	0,53	0,4	2,3	9,0	<0,01	0,02	-	-

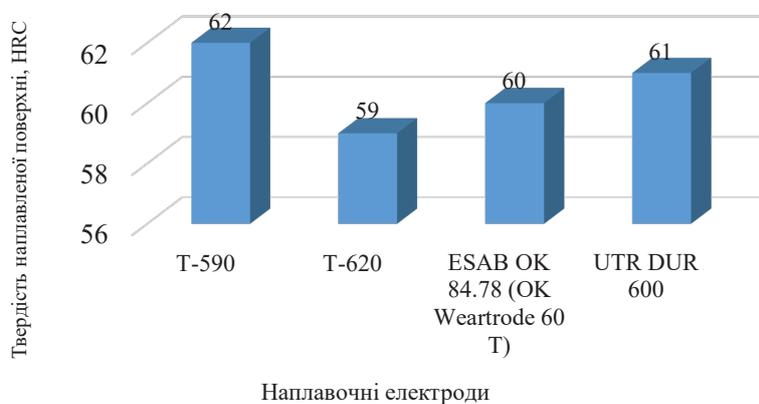


Рис. 7. Твердість нанесеного зносостійкого покриття

в реальних умови зношування може суттєво відрізнятися від зносостійкості в лабораторних умов, що пов'язано з наявністю факторів, які можуть впливати на інтенсивність зношування (кам'янисті включення, рослинні рештки, волога і т.д.).

В результаті проведення досліджень становлено, що варіанти нанесення зносостійкого покриття на дискові робочі органи (рис. 6) ґрунтообробних машин не мають визначального впливу на їх довговічність. Різниця між показниками знаходиться в межах статистичної похибки (до 2,5 %) Вищу інтенсивність зношування демонструє зразок 2 (рис. 6), що обумовлено істотно меншим об'ємом нанесеного зносостійкого шару порівняно з іншими зразками дискових робочих органів ґрунтообробних машин.

Визначальним фактором підвищення зносостійкості є матеріал який застосовувався для нанесення зносостійкого покриття на поверхню робочих органів дискових ґрунтообробних машин (рис. 9)

В результаті нанесення зносостійкого матеріалу ручним електродувим наплавлення спостерігається

підвищення довговічності робочих органів дискових ґрунтообробних машин в порівнянні з серійними робочими органами. Так нанесення покриття електродами Т-590 призводить до підвищення довговічності, в порівнянні з серійними робочими органами виготовлених зі сталі 65Г, на 61%, Т-620 – на 75%, ESAB ОК 84.78 (ОК Weartrode 60 Т) – на 75% та UTR DUR 600 – на 48%

Низька довговічність серійних дискових робочих органів ґрунтообробних машин обумовлена протікання найбільш негативних явищ абразивного зношування на поверхні тертя – мікрорізання. Сліди процесу мікрорізання можна чітко спостерігати на кромці дискового робочого органу (рис. 10). Сліди мікрорізання були відсутні на кромках робочих органах, які були зміцненні наплавочними електродами. Це явище пояснюється суттєвим підвищенням твердості поверхні тертя, що унеможливує проникнення абразивних частинок в матеріал робочого органу та унеможливує зняття стружки з матеріалу робочого органу дискових ґрунтообробних машин.

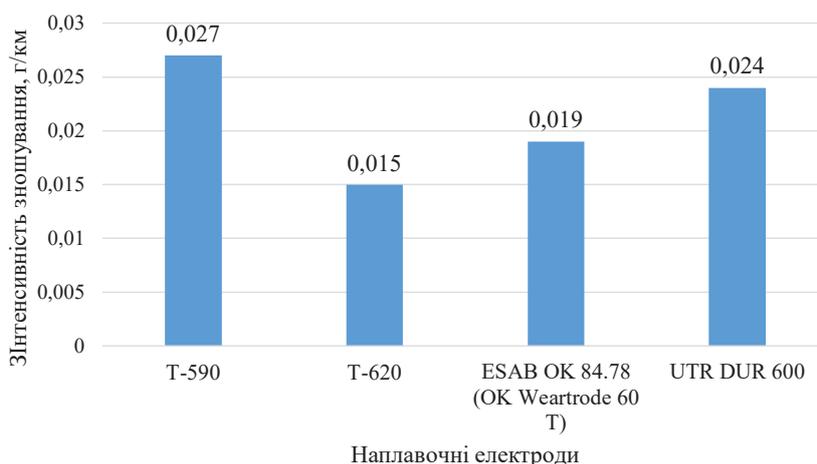


Рис. 8. Залежність інтенсивності масового зносу дослідних зразків, виготовлених зі сталі 65Г, від матеріалу зносостійкого шару

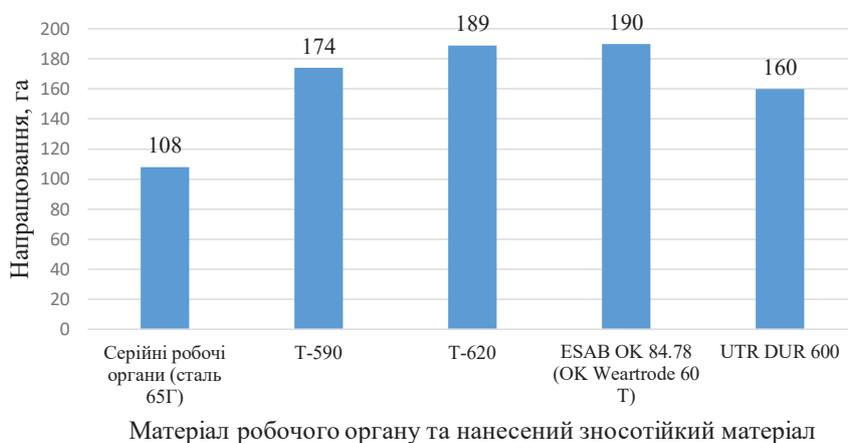


Рис. 9. Напрацювання дискових робочих органів ґрунтообробних машин до граничного стану

Спостереження за зміною профілю леза в процесі експлуатації здійснювали за допомогою зняття відбитків з кромки леза робочого органу дискових ґрунтообробних машин (рис. 11).

У всіх робочих органах, які зміцнювали ручним електродуговим наплавленням спостерігався ефект самозагострювання за рахунок зношування матеріалу основи і виступу твердого шару. У всіх варіантів окрім 1 (рис. 2.5 спостерігалось утворення пилоподібної форми, що позитивно впливає на якість виконання технологічної операції та зменшення тягового опору ґрунтообробного агрегату.

Доведено, що зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин ручним електродуговим наплавленням за запропонованими схемами забезпечує ефективне формування ефекту самозагострювання протягом усього строку служби. Проведені дослідження показали, що порівняно із серійними зразками, кут загострення ріжучих елементів зміцнених робочих органів є меншим для дискових робочих органів ґрунтообробних машин до 13 %.

Реалізація ефекту самоорганізації (самозагострювання) робочих органів ґрунтообробної техніки шляхом нанесення зносостійкого покриття забезпечила помітне



Рис. 10. Поверхня зношування на серійних робочих органах



Рис. 11. Загальний вигляд поперечного перерізу відбитка леза дискового робочого органу

зниження витрат пального під час роботи на та збільшення ресурсу у порівнянні зі стандартними серійними дисковими робочими органами.

Слід відзначити і негативні явище обломлювання виступаючого твердого шару при експлуатації ґрунтообробного агрегату на кам'янистих ґрунтах. На ґрунтах де відсутні кам'яністі включення явище обломлювання кромки леза дискових робочих органів ґрунтообробних машин не спостерігалось.

Обговорення. Процес зношування дискових робочих органів ґрунтообробних машин є складним, оскільки

характер їх абразивного спрацювання може відрізнитися на різних ділянках поверхні, супроводжуючись додатковими механічними та хімічними процесами, а в окремих випадках – переходом до ударно-абразивного режиму руйнування. Тому завдання підвищення зносостійкості та довговічності таких робочих органів, що працюють у контакт з ґрунтом, не може бути вирішене виключно за рахунок застосування технологічних методів зміцнення.

Враховуючи результати проведених досліджень, вартість та доступність наплавочних матеріалів встановлено, що підвищення довговічності робочих органів

дискових ґрунтообробних машин слід проводити за рахунок нанесення зносостійкого шару ручним електродуговим наплавленням електродом Т-620 за схемами варіанта 3 та 4 (рис. 2.5). Використовувати зміцненні робочі органи дискових ґрунтообробних машин методом ручного електродугового наплавлення слід на ґрунтах, які не містять кам'янистих включень.

Висновки. На основі аналізу конструкцій та умов роботи дискових робочих органів встановлено, що їх зношування має комплексний характер, зумовлений одночасним впливом абразивного середовища, ударних навантажень та коливальних рухів у процесі обробки ґрунту.

Досліджено триботехнічні характеристики наплавлених шарів, сформованих ручним електродуговим наплавленням. Встановлено, що застосування зносостійких покриттів на базі електродних матеріалів забезпечує збільшення твердості та зниження масового зносу.

Польові експериментальні дослідження наплавлених дисків підтвердили доцільність застосування ручного електродугового наплавлення для підвищення їхнього ресурсу. В експлуатаційних умовах встановлено збільшення довговічності робочих органів порівняно з серійними аналогами на 48...75%.

У процесі експлуатаційних випробувань встановлено ефективну реалізацію ефекту самозагострювання. Сформовані наплавлені шари забезпечують спрямоване зношування м'яких ділянок із збереженням виступів зміцненого матеріалу, що дозволяє підтримувати менший кут загострення протягом усього строку служби диска. Це забезпечує зниження тягового опору та економію пального під час обробки ґрунту. Результати порівняння серійних та наплавлених робочих органів свідчать, що застосовані технологічні рішення дозволили зменшити кут загострення ріжучих крайок дисків до 13 % упродовж робочого періоду.

Бібліографічні посилання:

1. Aulin, V. V., Bobrytskyi, V. M., & Solovykh, Ye. K. (2005). Analiz kharakteru znoshuvannia lez gruntorizhuchykh detalei ta pidvyshchennia yikh resursu lazernymy tekhnolohiiamy. (Analysis of the wear characteristics of soil-cutting parts and increasing their service life using laser technologies.). Design, manufacture, and operation of agricultural machinery, 35, 153–157.
2. Aulin, V. V. (2010). Napruzhenno-deformovanyi stan ґрунту pry yoho vzaiemodii z ryzalnymy elementamy robochykh orhaniv ґрунтообробnykh mashyn. (Stress-strain state of soil during its interaction with cutting elements of working bodies of soil cultivation machines). Scientific Bulletin of Luhansk National Agrarian University, 3, 6–17. (in. Ukrainian).
3. Belousov S. V., Samurganov E. E. & Rodionenko A. I. (2020). Theoretical justification of the type of a flat-cutting working body of a ploughshare. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 709. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/709/3/033100>.
4. Borak, K. V. (2013). Pidvyshchennia znosostiikosti robochykh orhaniv dyskovykh ґрунтообробnykh znariad metodom elektroeroziinoi obrobky. (Improve of wear-resistance of working organs of disk tillage tools by the method of electrical erosive processing) : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.04 / Zhytomyrskyi natsionalnyi ahroekolohichnyi universytet. Zhytomyr, 217. (in. Ukrainian).
5. Borak, K. V. (2021). Kompleksnyi pidkhid pidvyshchennia dovhovichnosti ta znosostiikosti robochykh orhaniv ґрунтообробnykh mashyn (Integrated Approach to Service Durability and Wear Resistance Enhancement of the Working Tools of Tillage Machines) : dys. ... d-ra. tekhn. nauk : 05.05.11 / Poliskyi natsionalnyi universytet, m. Zhytomyr. 380. (in. Ukrainian).
6. Cardei, P., Vladutoiu, L C., Gheorghe, G., Fechet, T., & Chisiu, G. (2018). Multidisciplinary Investigations Regarding the Wear of Machine Tools Operating Into the Soil. 9th International Conference on Tribology (Balkantrib'17). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 012007. doi:10.1088/1757-899X/295/1/012007.
7. Denysenko, M. (2023). Vidnovlennia ta zmitsnennia detalei i robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn, pratsiuuchykh v abrazyvnomu seredovyshchi. (Restoration and strengthening of parts and working bodies of agricultural machines operating in abrasive environments). Design, manufacture, and operation of agricultural machinery, 53, 271–284. (in. Ukrainian).
8. Dizdar S. & Maroli B. (2013). Abrasive wear resistance of thermal surfacing materials for soil tillage applications. International Thermal Spray Conference and Exposition: Innovative Coating Solutions for the Global Economy, 107529. doi: 10.31399/asm.cp.itsc2013p0543.
9. Graff L., Roberge R. & Crowe T. (2007). Wear of Ripper Point Hardsurfacing. ASABE Section Meeting Presentation, RRV07120, 2–10.
10. Heruk, S. M., & Borak, K. V. (2009). Metodyka ekspluatatsiinykh doslidzhen znoshuvannia robochykh orhaniv dyskovykh ґрунтообробnykh znariad. (Methodology for operational studies of wear on the working parts of disc soil cultivation implements). Design, manufacture, and operation of agricultural machinery, 39, 392–396. (in. Ukrainian).
11. Horvat Z., Filipovic D. & Kosutic S. (2008). Reduction of mouldboard plough share wear by a combination technique of hardfacing. Tribology International, 41, 778–782. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2008.01.008>.
12. Kalacska A., Baets P., Fauconnier D., Schramm F., Frerichs L. & Sukumaran J. (2020). Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines. Wear. 203107. 442–443. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203107>.
13. Khalin, S., Shustik, L., Stepchenko, S., Sydorenko, S., & Haidai, T. (2023). Doslidzhennia znosu dyskiv ahrehata ґрунтообробnoho DL-2,5 za chas vyprobuvan v umovakh doslidnoi ekspluatatsii. (Study of wear on the discs of the DL-2.5 soil cultivation unit during testing under experimental operating conditions.). Agricultural machinery and equipment: forecasting, design, testing, 32, 74–83. doi: [dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32\(46\)-6](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32(46)-6). (in. Ukrainian).
14. Lemecha M., Napiórkowski J. & Ligierf K. (2019). Forecasting the Wearing of Ploughshares Parts Under Operating Conditions. Tribologia, 4 33–39. doi: 10.5604/01.3001.0013.5963.

15. Miller A. E. (1980). Wear in tillage tools. *Wear Control Handbook*, 987–998.
16. Pérez G., González H. & Toro A. (2010). Desgaste abrasivo de cuchillas de arado rotativo en un suelo franco arenoso. (Abrasive wear of rotary plow blades on sandy loam soil). *DYNA*. 77, 105–114. (in Spanish).
17. Wang, Y., Li, D., Nie, C., Gong, P., Yang, J., Hu, Z., Li, B., & Ma, M. (2023). Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. *Materials (Basel)*, 16, 7646. doi: 10.3390/ma16247646.

Borak K. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Zhytomyr Agrotechnical Vocational College, Zhytomyr, Ukraine

Kulykivskiy V. L., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

Sukmanyuk O. M., Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

Borovskyi V. M., Senior Lecturer, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

Bystrytskyi B. P., Bachelor's Degree Candidate, Polissya National University, Zhytomyr, Ukraine

Increasing the durability of the working bodies of disc tillage machines by achieving the self-sharpening effect

The work is devoted to increasing the durability of working parts of disc soil cultivation machines by forming wear-resistant layers using manual electric arc welding with the implementation of the self-sharpening effect of cutting edges. The relevance of the research is determined by the need to increase the service life of disc working bodies, which, in conditions of intensive abrasive wear by soil particles and aggressive environment, is one of the most important areas of development of modern agricultural engineering. The use of surface strengthening technology to increase durability and ensure the self-sharpening effect allows to reduce maintenance costs, increase the efficiency of field work, and reduce fuel consumption.

The purpose of the study in the article is to increase the durability of the working parts of disc soil cultivation machines by means of manual electric arc surfacing with the implementation of the self-sharpening effect.

The research methodology included analysis of the designs and operating conditions of disc working parts, determination of the nature of their wear, experimental surfacing of strengthening layers by manual arc welding, laboratory evaluation of the tribotechnical characteristics of the coatings obtained, as well as conducting field studies with subsequent measurement of the geometric parameters of the blade and determination of the self-sharpening effect. To evaluate wear resistance, laboratory methods were used to determine the chemical composition of the deposited layers, the intensity of mass wear and hardness, as well as field tests under operating conditions.

During the research, the general characteristics of the reinforced discs were obtained, their increased durability and energy efficiency were confirmed, and it was established that the deposited layers ensure stable self-sharpening of the cutting edge throughout the entire period of operation. The use of manual electric arc surfacing technology allows increasing the service life of disc working bodies and reducing operating costs during soil cultivation operations, which confirms the practical significance and prospects of implementing the obtained results in the production processes of agricultural enterprises.

Key words: disc working bodies, wear resistance, self-sharpening, abrasive wear, electric arc welding, tribotechnical properties, soil cultivation machines.

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 12.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025