

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.31.02:621.793.927.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.86-99](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.86-99)**М.І. Денисенко**, доц., канд. техн. наук*ВСП «Немішаївський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України», смт. Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл.
e:mail:mdenisenko317@gmail.com*

До питання відновлення та зміцнення деталей робочих органів ґрунтообробної техніки

Актуальність проблеми підвищення довговічності деталей сільськогосподарських машин з кожним роком зростає. Це пояснюється тим, що підвищуються вимоги до надійності і довговічності сільськогосподарської техніки, зокрема деталей робочих органів ґрунтообробних машин.

Екологічні і агротехнічні вимоги до технічних засобів механізації землеробства постійно зростають та вдосконалюються, особливо в царині показників, що визначають шкідливий вплив на ґрунти, у тому числі, на межі допустимого засмічення їх металом від прискороного зносу робочих органів, і попадання у ґрунти продуктів зношування.

абразивне зношування, зносостійкі покриття, леміш плугу, лапа культиватора, диск борони, точкове зміцнення – дугове точкове зварення

Постановка проблеми. В Україні розроблено 103 варіанти підготовки ґрунту і конструкцій робочих органів машин з врахуванням вирощуваних культур, їх попередників, рельєфу поля, вологості ґрунту у польовій і ґрунтозахисній сівозмінах. Системою диференційованого ґрунтовологізберігаючого обробітку передбачено використання таких типів робочих органів: диски сферичні і прямі, суцільні і вирізні голчасті; лапи культиваторні, плоско різальні і стрільчасті; лемішно-полицеві корпуси плугів для обробітку дрібної, середньої глибини, глибокої оранки, чизельні; борони посівні, пружинні та інші (всього 21 тип робочих органів і 13 варіантів їх сполучень). Так, для підготовки ґрунту під зернові культури використовують ґрунтообробні агрегати 60 найменувань.

Основний обробіток ґрунту – це система заходів спрямованих на утворення сприятливих умов для росту і розвитку культурних рослин та сприяння одержанню високих врожаїв. Основний обробіток ґрунту включає полиневу і безполицеву оранки, щілювання, лущення, дискування, чизелювання, культивацію, боронування, коткування і вирівнювання ґрунту. Деталі ґрунтообробних, садильних і посівних машин працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування. Зі зростанням величини зносу зростає відносна нерівномірність глибини ходу робочих органів. На всьому етапі зношування безперервно порушується та змінюється встановлена глибина обробки. В залежності від кількості обробленої площі (га) і типу ґрунтів, змінюються терміни зносу за вагою і геометричною формою.

Величезний об'єм сільськогосподарської продукції виробляється як крупними господарствами, так і більш дрібними фермерськими. У створеній економічній ситуації спостерігається стале зростання фермерських господарств; зростання площі ріллі під зернові та інші агротехнічні культури, що, безперечно породжує попит на робочі органи сільськогосподарських машин.

Наприклад, тільки господарства півдня та південного сходу України щорічно споживають більше 400 тисяч лап культиваторів і лемешів плугів, не рахуючи пропозиції по іншим робочим органам. Найбільш навантаженими поверхнями ґрунтообробних машин і агрегатів являються робочі органи: у плуга – леміш, у культиватора – лапи, у борін диски або зуб'я. Причиною їх передчасної відмови в основному є прискорене абразивне зношування, котре обумовлено взаємодією з твердими (H_V 8-11 ГПа) частинками, що є у ґрунті. До робочих органів сільськогосподарської техніки належать: лемеші плугів, відвали плугів, диски важких борін, лапи культиваторів і сівалок, та багато інших деталей робочих органів.

Треба також відмітити, що різання ґрунту є найбільш розповсюдженою технологічною операцією в агропромисловому комплексі: оранка, культивація, боронування, збирання зернових і технічних культур, ці операції складають не менше 70% всього об'єму механізованих робіт. В той же час, від технічного стану леза робочого органу сільськогосподарської техніки, залежать в першу чергу, такі показники роботи, як ступінь підрізання бур'янів, середня глибина культивації, стійкість ходу робочих органів за глибиною; їх забивання та прилипання на поверхні леза; тяговий опір робочих органів.

На крайці леза та носка утворюється фаска, котра негативно впливає на стійкість ходу робочих органів за глибиною, змінюється профіль носка, геометрія і ширина леза робочого органу. Затуплені лапи культиватора і лемеші плуга збільшують тяговий опір агрегатів, і тому суттєво зменшується продуктивність, при цьому витрати пального зростають на 15-20%. У зв'язку з нерівномірністю спрацювання ріжучих крайок, та інших поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки постає необхідність їх зміцнення та відновлення.

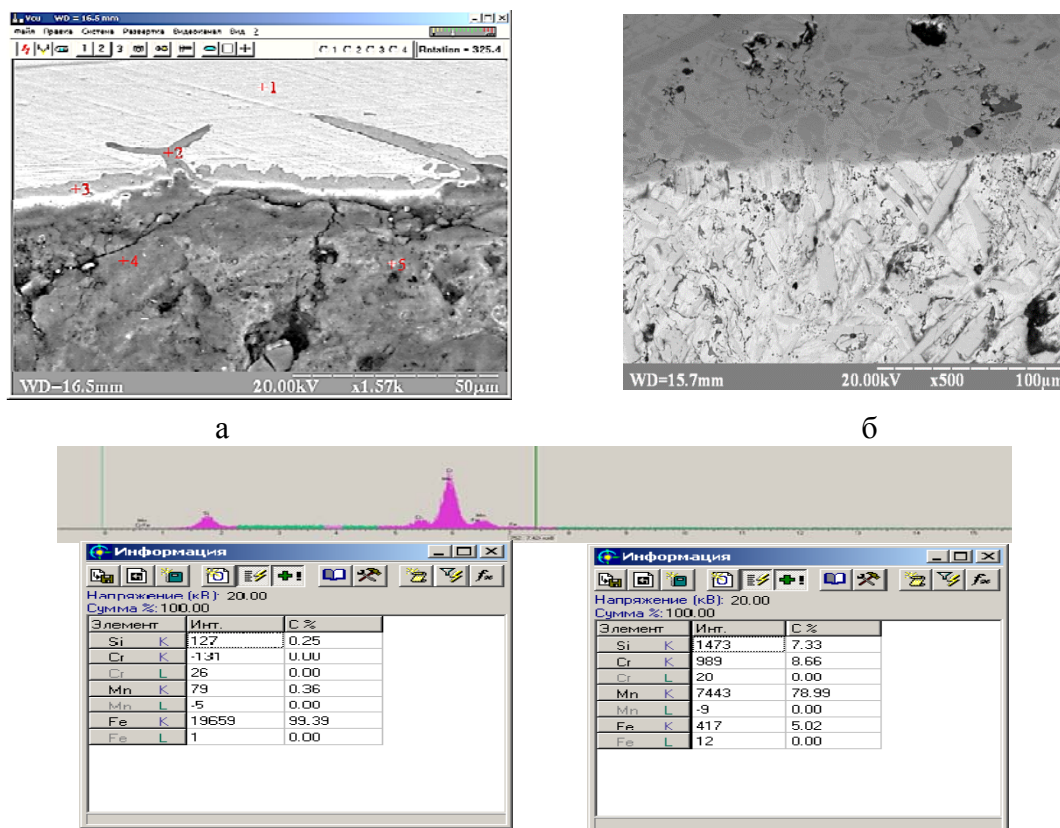
Крім того, робочі органи сільськогосподарських експлуатуються в умовах хімічно агресивного зовнішнього середовища, що зв'язано з додаванням у ґрунт різних добрив, і наявністю в ньому вологи. На знос деталей ґрунтообробних машин, що мають безпосередній контакт з абразивною масою, сильно впливає вологість ґрунту. Вологість, в залежності від типу ґрунтів, може як збільшити, так і зменшити знос. У сукупності ці фактори, чинять настільки сильний вплив на робочі органи сільськогосподарської техніки, що це робить їх непридатними до експлуатації практично через декілька годин інтенсивної роботи машин. Розроблена технологія модифікації деталей робочих органів ґрунтообробних машин з використанням крапкового зміцнення підвищує у 2-3 рази опір абразивному зношуванню їх робочих поверхонь, та здатна замінити інші зміцнюючі технології, тому що має високу продуктивність і багатократно зменшує енергоємність технологічного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При зношуванні деталей сільськогосподарських машин переважають процеси абразивного зношування декількох різновидів. Більшість робочих органів спрацьовується у контакті з ґрунтом, мінеральними добривами, рослинною масою і таке інше. В теперішній час, в агропромисловому комплексі підприємства зазнають економічних втрати від прискореного зносу робочих органів ґрунтообробної, зернозбиральної та посівної техніки.

Характерною особливістю зносу є не тільки порушення глибини обробки ґрунту, але й суттєве зростання тягового опору агрегату. У процесі роботи лемеші плугів, лапи культиваторів зазнають впливу статичних, циклічних, локальних і ударних навантажень, а також мінеральних частинок ґрунту, що визивають поламки та інтенсивне зношування робочої поверхні деталей. Найбільша величина зносу у лемешів спостерігається по лезу і носку, які сприймають найбільші контактні навантаження.

При абразивному спрацюванні часто спостерігаються окислювальні процеси. Вид поверхні тертя лапи культиватора, що зазнала абразивного зношування ґрунтовою масою, представлена на рисунку 1.

На поверхні, що контактує з робочим середовищем, присутні оксидні шари. Зовнішній шар, котрий не щільний, і має товщину від 4 до 10 мкм. Внутрішній шар (щільний), має нерівну границю з металом основи і товщину від 8 до 25 мкм. При цьому внутрішній окиснений шар потовщується у ділянці границь зерен.



а -основа; б- покриття твердим сплавом ПГ-С27

Рисунок 1 – Вид поверхні тертя від абразивного зношування – лапи культиватора

Джерело: розроблено автором

Хімічний склад внутрішнього окисного шару відповідає складу металевої основи, в той же час, як зовнішній шар збагачений алюмінієм, кремнієм, кальцієм. В деяких місцях, щільний окисний шар має товщину до 100 мкм, і не є однофазним. При цьому щільний шар складається з оксидів (з'єднань) заліза, окиснений шар утворюється на основі. Інтенсивність лінії заліза на не окисленому металі основи у середньому більше ніж у 2 рази більше, ніж на окисненому шарі (це свідчить про меншу кількість заліза в поверхневих шарах, і відповідає утворенню оксидних плівок).

Метал основи під окисним шаром. Середній хімічний склад виміряний на поверхні наплавленого металу показує, що поверхня збагачена хромом і збіднена кремнієм у порівнянні з матеріалом у перерізі покриття. При відновленні деталей плужних корпусів використовують різні види зносостійкого наплавлення, наприклад електродами Т-590, порошковими дротами типу ПП-АН125, ПП-АН170, ПП-АН192, ВЕЛТЕК-Н300-РМ, а також методи електроконтактного приварювання порошкових матеріалів або стрічки, методи напилювання з наступним оплавленням покриттів газовим полум'ям, плазмове наплавлення порошковими сплавами, електро імпульсне

нарощування та електроіскрове легування. На рівні експериментальних досліджень використовують процеси пайки та приклеювання твердих сплавів і металокераміки. [1, 2].

Як відомо, для виготовлення змінних деталей (лемішів, лап культиваторів, дисків борін) робочих органів використовуються конструкційні сталі 40, 40X, 65Г, Л53 і традиційні методи термічної обробки (загартування і відпуск). При цьому твердість поверхні тертя складає 39-48 HRC_e, показник міцності не перевищує 900-1000 МПа. Але, як свідчить практика, така термообробка не дає суттєвого ефекту, і не виключає прямого руйнування їх ріжучої частини шляхом дряпання і мікрорізання кварцевими частками. Інтенсивність зношування таких деталей досягає 0,3 мм/км [3]. Терміни служби швидкозношуваних деталей визначають рентабельність машин і механізмів. Сучасні процеси інтенсифікації виробничих процесів зв'язані зі зростанням робочих тисків, швидкостей, температур і агресивних середовищ, що призводить до прискореного зносу деталей, а загальна тенденція автоматизації і роботизації ще більше піднімає проблему підвищення їх працездатності.

У промисловості і агропромислому комплексі витрачаються сотні тисяч тонн металу і велика кількість людської праці на виготовлення запасних частин і заміну швидкозношуваних деталей. Зношування деталей являється процесом руйнування їх поверхневого шару при абразивному терті, в результаті чого поступово змінюються їх розміри, геометрія і стан робочих поверхонь. Зі зростанням наробітку, стан зношуваних деталей безперервно змінюється і стає граничним за одним або декількома параметрами, що впливають на функціональні якості. Аналіз реальних об'єктів підтверджує, що незалежними є головним чином швидкозношувані деталі сільськогосподарських машин – їх робочі органи, інтенсивність зношування яких не залежить (або слабо залежить) від технічного стану інших деталей.

Основними факторами, що визначають інтенсивність зношування, являються активність зовнішнього впливу на поверхневий шар деталі, питомі навантаження, що діють на поверхні тертя, кінематика їх відносного руху. Перелік основних граничних станів робочих органів ґрунтообробних машин наведено у таблиці 1. Для всіх конструкцій робочих органів найбільш небезпечними є деформація або руйнування, а для ріжучих робочих органів – затуплення леза і утворення потиличної фаски (ділянки зносу) під від'ємним кутом до дна борозни. Профілі спрацьованого леза леміша плугу, лапи культиватора і аналогічних ґрунтообробних робочих органів необхідно розглядати у граничних станах.

Аналіз матеріалів, дисків борін, лемішів плугів та інших деталей ґрунтообробної техніки, що випускаються провідними закордонними фірмами (Lemken, Frank – Німеччина; Kuhn, Gregoire-Besson-Франція; Kverneland-Норвегія; Vogel & Noot – Австрія; Malmo-Данія та інші) показало, що у їх виробництві використовують низько- і середньовуглецеві боромісткі леговані і високолеговані сталі з твердістю 49-56 HRC [1].

Провідні світові виробники деталей і робочих органів, що експлуатуються в абразивному середовищі, також часто використовують поверхнєве зміцнення їх твердосплавними покриттями з твердістю 60 – 68 HRC [2]. Найбільш зносостійкі робочі органи до широкого спектру плугів виготовляють і використовують провідні європейські фірми: BELLOTA AGRISOLUTIONS (Іспанія), CHAPMANS LTD (торгова марка VULCAN), Великобританія; IQ PARTS (PREMIUM PARTS), Австрія. Компанія Chaptmans Ltd, під торговою маркою ARMA, виготовляє леміші та долота з патентованим карбідним покриттям, методом напилення по колу, що дозволяє покрити деталь з усіх боків рівномірно, виключаючи переходи між твердими і м'якими шарами

металу у готовій деталі. Зносостійкість такої деталі набагато вища ніж у деталі, виготовленої методом сормайтового наплавлення, що має плавний перехід між твердими і м'якими шарами металу у виробі, і багато відкритих ділянок з шарами м'якого металу, при контакті яких з ґрунтом деталь швидко спрацьовується.

Таблиця 1 – Основні граничні стани робочих органів ґрунтообробних машин

Шифр стану	Зміна розмірів деталей при терті у ґрунті	Функціональні порушення, погіршення технічних та економічних показників	Робочі органи
ГС1	Деформація або руйнування	Втрата працездатності	Всі робочі органи
ГС2	Збільшення радіусу леза або вістря	Зниження ступеню підрізання шкідників, їх зависання; підвищення тягового опору	Лемеші, культиваторні лапи, ножі фрез
ГС3	Утворення потиличної фаски шириною S під від'ємним кутом до дна борозни	Нерівномірність ходу за глибиною; вигиблення робочих органів; погіршення структури ґрунту; пошкодження стерні; підвищення тягового опору	Лемеші, лапи, бритви, зуб'я борін, долота
ГС4	Лінійний знос по довжині деталі, Д	Зменшення глибини обробки і ширини захвату	Лемеші, носки, наральники
ГС5	Лінійний знос за шириною деталі, Ш	Зменшення глибини обробки, зростання нерівномірності, зниження міцності; пошкодження корпусних деталей	Лемеші, лапи, бритви
ГС6	Лінійний знос по товщині деталі, Т	Залипання ґрунту; погіршення оберту пласта та кришення ґрунту; підвищення тягового опору; зниження міцності	Лемеші, відвали
ЗС7	Зниження чистоти поверхні, порушення макрогеометрії, місцевий знос	Залипання ґрунтом; погіршення оберту пласта; підвищення тягового опору	Відвали

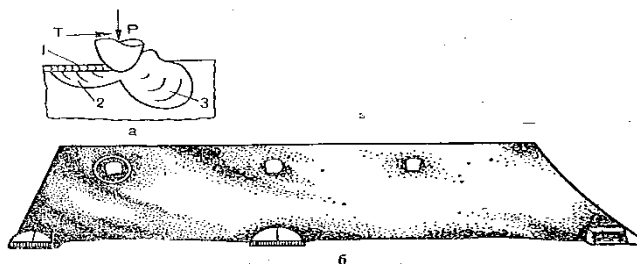
Джерело: [1]

Компанія VELES AGRO є виробником багатофункціональної сільськогосподарської ґрунтообробної і посівної техніки з високими стандартами якості, враховуючи сучасні та економічно ефективні технології, дозволяє підприємству своєчасно реагувати на тренди і поточні потреби агро-індустріального ринку, виконувати замовлення на створення нових зразків сільськогосподарської техніки. Технологія лиття дозволяє виготовляти деталі з мінімальними допусками на механічну обробку та використовувати суцільнолиті конструкції для комплектації готової техніки. Завдяки впровадженню технології обробки високоміцних сталей, значно збільшено

ресурс робочих органів ґрунтообробної техніки, що виготовляються з боровмістної сталі.

Постановка завдання. Таким чином, метою даного дослідження являється обґрунтування та розробка технологічного процесу відновлення і зміцнення робочих органів ґрунтообробної техніки, за якого утворюється пилкоподібний профіль поверхні тертя, що зберігається протягом усього терміну експлуатації, забезпечуючи ефективне різання навіть при зношених лезах.

Виклад основного матеріалу. Результати досліджень підтверджують, що зношування в абразивному середовищі залежить від великої кількості діючих факторів, і комплексно – поєднаних між собою робочих та службових параметрів. При абразивному зношуванні утворюються дві його форми: механічна і механохімічна з перевагою тієї або іншої, в залежності від властивостей матеріалу [11] (рис.2.).



1-пружнопластична ділянка; 2-ділянка розтягнення; 3-ділянка стиснення

Рисунок 2 – Схема руйнування поверхні при абразивному зносі (а) і вид леміша (б), що зазнає абразивного зносу

Джерело: [11]

В процесі роботи на поверхнях тертя безперервним потоком переміщуються абразивні частинки ґрунту, деформуючи поверхню та збільшуючи реакційну здатність мікрооб'ємів металів зони контакту. Активний метал поверхневих шарів миттєво взаємодіє з хімічно активними елементами середовища – киснем повітря та іншими окисниками. На поверхнях тертя спонтанно формується плівки вторинних структур (ВС). Дослідження механізму абразивного зносу показує, що його сутність має трійчасту (механо-фізико-корозійну) природу. Розподіл хімічних елементів за глибиною поверхневого шару леміша плуга показано на рис.3. Вміст досліджуваних елементів (в атомних процентах) змінюється зі збільшенням часу травлення поверхневих шарів деталі. Характерний ОЖЕ – спектр хімічного складу поверхневого шару леміша плугу на ділянці I (ділянка ВС) показано на рис.4.

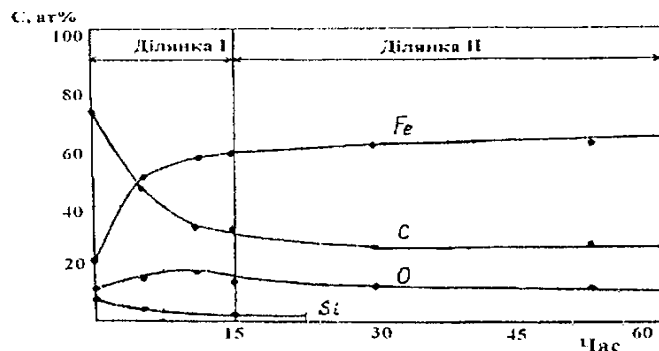


Рисунок 3 – Розподілення хімічних елементів у поверхневому шарі леміша плугу після експлуатації в залежності від часу травлення

Джерело: розроблено автором

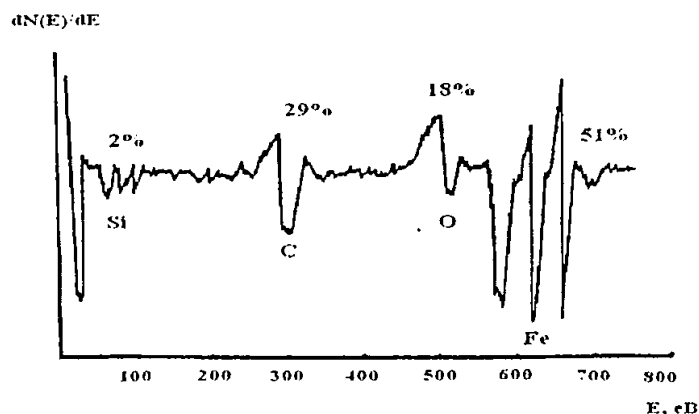


Рисунок 4 – ОЖЕ – спектр хімічного складу поверхневого шару (ділянка I) леміша плугу після експлуатації

Джерело: розроблено автором

В спектрі присутні лінії відповідні залізу, кисню, водню, кремнію. Інші елементи, що складають менше 0,5 ат.% не виявлено. Особливістю експлуатації ґрунтообробних, посівних і кормозбиральних машин є прямий контакт поверхонь тертя їх робочих органів безпосередньо з ґрунтом або продуктами рослинництва. Виявлені плями пластичної деформації і ознаки текучості металу за напрямком переміщення при абразивному терті. На поверхнях тертя робочих органів досліджених машин спостерігалися ефекти полірування.

Елементний зміст поверхневого шару (ділянка I) леміша плугу (час травлення до 10 хв) різко відрізняється від змісту основного об'єму сталі, з якої він виготовляється (ділянка II). Ділянка I, глибина якої складає до 0,1...0,2 мкм, представляє нову трансформовану фазу з різко зміненим елементним складом, утворену в результаті деформації і взаємодії зі середовищем у процесі експлуатації. Склад кисню на ділянці I збільшується. На поверхні вміст кисню становить 10%, на глибині до 0,1 мкм зростає до 18% [11].

В результаті взаємодії пластично - деформованих (текстурованих) поверхневих шарів металу з киснем повітря утворюються хімічно адсорбуючі плівки твердих розчинів або хімічні з'єднання металу з киснем. Видалення їх з поверхні тертя протікає як термодинамічний процес і відновлення оксидних плівок. Ділянка II (рис.3) характеризується незначною зміною концентрації кисню і вуглецю. Основою спектру є елементний вміст сталі з якої виготовлена деталь. Найбільш ефективним способом отримання лез високої довговічності і міцності є надання лезу робочого органу шарової будови з різною зносостійкістю шарів, що забезпечують стабілізацію працездатної геометрії шляхом прискореного зносу одного шару за повільного зносу другого шару (ефект самозагострювання) (рис. 5, 6, 7) [4, 5, 6,7].

Основними методами надання лезам робочих органів шарової будови для утворення самозагострювання являються: поверхнєве одностороннє загартування сталей, наплавлення твердих сплавів на низько вуглецеві і вуглецеві сталі, виготовлення деталей з двошарового прокату композицій сталь Л53+Х6Ф1, сталь Л53+Х12, сталь10+9ХФ та інші [8, с.306], термодифузійне легування та електролітичне хромування сталей. Найбільш доцільно і перспективне здійснення ремонту шляхом використання механізованого зварювання та наплавлення порошковим дротом у захисному газі і відкритою дугою.

Точкове зміцнення (дугове точкове зварення), ДТЗ в даній роботі використовуємо для підвищення деталей і робочих органів ґрунтообробних машин,

засновано на мікрокраплюванні твердого сплаву у поверхневу структуру деталей, що зазнають інтенсивного абразивного зносу [9,10]. Процес здійснюється за технологією, розробленою вченими Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України [10], сутність якої полягає у дуговому точковому зваренні (ДТЗ) на поверхню деталей локальних, спряжених і сумісних на величину до $1/5 D_n$ – діаметра основи твердосплавних конусів проплавлення – крапок зміцнення (рис.5). Здійснено відпрацювання режимів та зміцнення експериментальної партії робочих органів на автоматизованій установці, використано для наплавлення зносостійких крапок вітчизняний порошковий дріт ПП – Нп – 80Х20РЗТ (ПП-АН170), твердість, HRC_e 58-67 ; ПП – Нп – 150Х15РЗНЗ (ПП-АН170М), твердість HRC_e 50-58; ПП-АН192, твердість HRC_e 56-60. (рис.5.,6., 7., 8.); макрошліфи вирізані і підготовлені для визначення розмірів крапок зміцнення [6].

Відпрацьовані технологічні параметри процесу крапкового зміцнення дозволяють зменшити швидкість зношування, та збільшити терміни служби лез робочих органів, а також зменшити кількість наплавленого твердого сплаву у середньому на 50%.

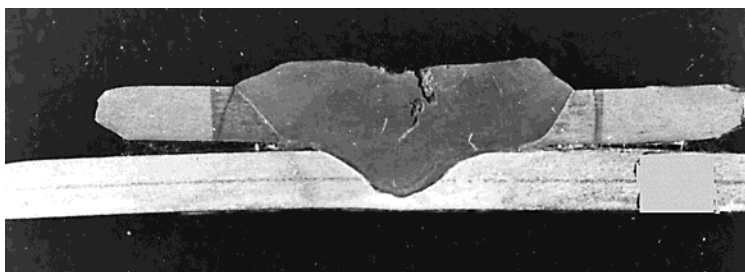


Рисунок 5 – Макрошліф зразка 1

Джерело: розроблено автором

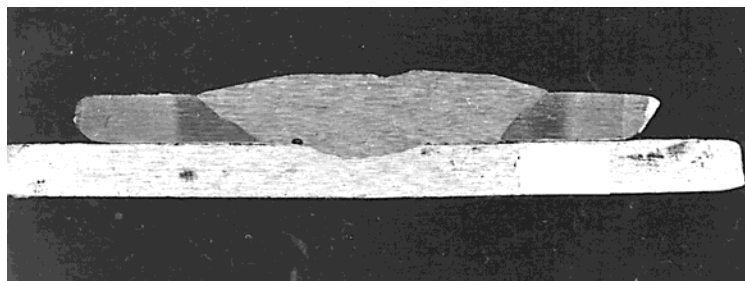


Рисунок 6 – Макрошліф зразка 2

Джерело: розроблено автором



Рисунок 7 – Макрошліф зразка 3

Джерело: розроблено автором

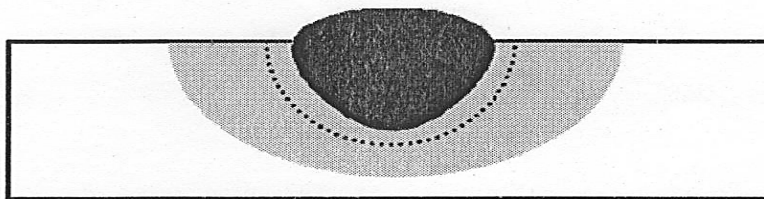


Рисунок 8 – Утворення твердості наплавленого валика на сталі Soldur 7001

Джерело: [12]

Зносостійкість робочих органів ґрунтообробної техніки і машин для приготування кормів: лап культиваторів і сівалок, долотоподібних лемішів, молотків кормодробарок та інших деталей, зміцнених індукційним сплавом ПГ-С27, і крапковим методом залежить від однорідності структури наплавленого шару і стану межі його розділу з основним металом. Ручне дугове наплавлення вкритими електродами (Manual metal arc welding (metal arc welding with covered electrode)); дугове наплавлення самозахисними порошковим дротом (Self-shielded tubular-cored arc welding); вказані методи зварювання відомі у виробництві зварних конструкцій, але ще не мають широкого розвитку і використання.

Нами використовується технологія, заснована на армуванні поверхонь тертя робочих органів машин, в основу крапкового зміцнення встановлено ряд факторів: наявність ділянок термічного впливу забезпечують підвищення твердості поверхні контакту, тим самим збільшуючи її абразивну стійкість; наплавлені крапки виконують функцію бар'єрів, що сприяють проковзуванню абразивних часток (особливо кварцового піску), зменшуючи площу їх контактування з робочою поверхнею; створення «обмеженого» композитного середовища за рахунок різниці властивостей крапок зміцнення та ділянок між ними.

Відвал (полиця) плугу є однією з найбільш металоємних і дороговартісних деталей плугу. Відвал представляє собою вигнуту сталеву пластину, розташовану під кутом до стінки борозни. В процесі роботи відвалу корпусу плугу відбувається відрізання пласта ґрунту від стінки борозни, його деформування, зсув в сторону і обертання верхнього шару вниз. Ці деталі працюють в умовах абразивного зносу та зазнають ударів каміння. У вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванні матеріалом для виготовлення відвалів корпусів плугів, в основному використовується низьковуглецева сталь марки Ст.2 або тришарова сталь. Відвали, виготовлені зі сталі Ст.2 треба цементувати на глибину 1,5...2,2 мм з наступним гартуванням до твердості HRC 50-62.

При використанні для виготовлення відвалів тришарової сталі, що має поверхнєві шари зі сталі 65Г і внутрішній шар зі сталі Ст.2. Основними методами зміцнення відвалів плугів є: ручне дугове наплавлення – суцільна, або у вигляді сітки; установка керамічних пластин; нанесення композиційних покриттів. Ручне дугове наплавлення в основному здійснюється електродами Т-590 і Т-620, змінного або постійного струму. Але велика ділянка термічного впливу, що утворюється при використанні цього методу, може привести до пропалювання крайок, викривленню поверхні відвалу, а також, від зменшення опору згину основного металу, до поламок відвалів.

Нами розроблена конструкція складового двошарового відвалу, на заміну тришарової сталі: матеріалами експериментальної полиці є пакет сталей, якісна конструкційна сталь 65Г (товщини 2,0...4,0 мм) – робоча частина корпусу плуга; конструкційна сталь Ст.3 (товщини 4,0...6,0 мм) – не робоча частина корпусу плуга.

Двошаровий пакет сталей експериментального відвалу з'єднуємо шляхом дугового точкового зварення. Крізь сталь 65Г зварюємо порошковим дротом, плавким електродом ПП-АН170 (ПП-АН170М), діаметр 3,2 мм; якщо з боку сталі Ст.3, то зварюємо без наскрізного проплавлення використовуючи звичайний порошковий дріт типу Св 09Г2С (Св08Г2С), діаметр 1,6 мм; (рис.9).



Рисунок 9 – Будова двошарової полиці плугу

Джерело: розроблено автором

Під впливом електричної дуги відбувається вкраплення твердого сплаву на певну глибину і по відповідній експоненті, загальна товщина пакету сталей не повинна перевищувати 8,0 мм. Геометричні розміри крапкового з'єднання: D_r -максимальне для даного сполучення товщин: 1,5...2,0 мм. Режими зварювання (ДТЗ), досліджували від умови отримання якісного зварного з'єднання, стабільного збурення дуги і протікання технологічного процесу. Як бачимо з рисунку 9, зварний шов має щільну литу структуру без пор і тріщини.

Мікротвердість металу зварного шва за двома напрямками (осі 1 і 2) не нижче твердості нижнього листа, сталь 65Г. Треба замітити, що твердість металу шва у нижній його частині (по осі 1) декілька нижче ніж твердість його по осі 2, напевне за наявності у нижній частині шва бейніту, (низьковуглецевого мартенситу і карбідів), рис.10., 11, що можливо пояснити інтенсивним змішуванням у зварному шві трьох компонентів (металу порошкового омідненого дроту Св08Г2С, нижнього листа сталі, Ст.3 і верхнього листа 65Г. Найбільша твердість спостерігається у зоні термічного впливу, у нижньому листі сталі 65Г, де присутній виключно мартенсит (НВ 726 – 780)



Рисунок 10 – Мікроструктура точкового покриття, x320

Джерело: розроблено автором

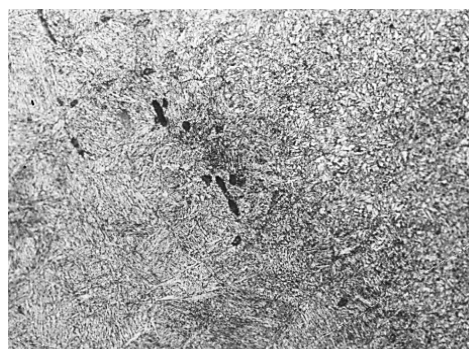


Рисунок 11 – Мікроструктура сталі 65Г, x320

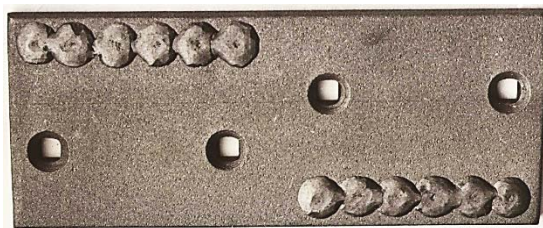
Здійснювали дослідницьке зварювання зразків з відповідними з'єднаннями товщин для визначення оптимальних режимів зварювання, а також потрібні

геометричні розміри крапок. В результаті виготовлення макрошліфів і механічних випробувань зразків на чисте зрізування було розраховано оптимальні режими зварювання. У досліджуваних зразках наступні структури: метал шва – бейніт, ферит, перліт; зона сплавлення з верхнім листом сталь, Ст.3 – бейніт, перліт, ферит; основний метал, сталь Ст.3 – перліт, ферит; зона сплавлення з нижнім листом, сталь 65Г – мартенсит. Як звичайно ДТЗ здійснюється серійними напівавтоматами шляхом включення – виключення подавання порошкового дроту. За такого виконання зварювання якість і стабільність розмірів крапкових швів визначаються кваліфікацією зварника і його втомою. В залежності від етапу ДТЗ, товщини з'єднаних деталей і діаметру електродного дроту параметри режиму ДТЗ приймаються наступними: швидкість подавання електродного дроту 30...700 м/год, сила зварного струму 150...800А, напруга на дугі 30... 50 В, тривалість зварювання 0,5...3,0 сек. [9].

Для роботи у складі інтелектуального автоматичного і напівавтоматичного обладнання розроблені керовані джерела живлення: тиристорні, ВДУ 300, 516, 816; інверторні Р-302, Р-502, Р-1000. Випрямлячі ВДУ, зокрема ВС-650 СР, 650А/380В; мають повне цифрове керування і дозволяють реалізувати будь-яку вольт-амперну характеристику (ВАХ). Випрямлячі ВДУ зважаючи на прив'язку до частоти живильної мережі, мають вбудовані ВАХ для наплавлення у захисних газах (MIG/ MAG), вкритих електродами (ММА), зварювання під шаром флюсу. Для зварювання вкритим електродом використовується налагодження, що поєднано з різким підвищенням струму за зниження напруги дуги нижче заданого. Це попереджає прилипання електроду при різкому коливанні дугового проміжку. Максимальне значення струму короткого замикання налагоджується за допомогою параметру I_{\max} , а мінімальна напруга значенням U_{\min} .

В останні роки велика увага надається використанню ефекту самозагострювання для ріжучих і ударних робочих органів машин та сільськогосподарської техніки. Якщо лезо самозагострюється у процесі технічної експлуатації, то його зносостійкість зростає у 3-4 рази. При цьому на геометрію крапки зміцнення значно впливає відведення тепла в бік від її меж, але завдяки скорочення часу наплавлення, цей параметр у поперечному перерізі менше, ніж у поздовжньому, тому розплавлення відбувається з великою швидкістю у глибину основного металу. Це дозволяє проплавляти лезо на всю товщину, що дуже важливо для самозагострювання лемішів та інших деталей, тому що, у процесі абразивного зносу зростає перепад твердості між наплавленими та ненаплавленими дільницями, і при експлуатації, в результаті самозагострювання третього роду, утворюється хвилясто-ступеневе лезо. [8].

В якості матеріалу підкладки-основи і отримання ефекту самозагострювання лез робочих органів замість сталі 65Г пропонується якісна конструкційна сталь 20, 35 по ДСТУ 3684-98, ТУУ 27.1-4-531-2002. [13]. Грунтообробні машини зі зміцненими робочими органами ДТЗ (дугове точкове зварення) – крапкове зміцнення пройшли випробування у різних кліматичних умовах України. На рис.12 показано деталі зміцнені ДТЗ – польова дошка, одна з важливих вузлів плугу. Значення величини середньоквадратичного відхилення і коефіцієнтів варіації параметрів робочих органів з крапковим зміцненням свідчить про стабільність технологічного процесу їх виготовлення.



а



б

Рисунок 12 – Польова дошка: а-зміцнення порошковим дротом ПП-АН170;
б-зміцнення твердим сплавом ПГ-С27;

Джерело: : розроблено автором

Висновки. Розроблену технологію можливо використовувати не тільки для відновлення спрацьованих деталей сільськогосподарської техніки, але і для зміцнення нових, зокрема – лемішів плугів, лап культиваторів, дисків борін. Зміцнення можливо здійснювати як в стаціонарних умовах на спеціалізованих заводах-виготовлювачах сільськогосподарської техніки, але і в невеликих майстернях господарств, і навіть у польових умовах за наявності джерела живлення.

Відносна зносостійкість за вагою зміцненого леміша у 2,2 рази більше серійного, а відносна зносостійкість носка у 2,8 рази більше серійного.

Зносостійкість двохшарової складової полиці забезпечує стійкість проти спрацювання на 40-50% вище у порівнянні з серійними (тришаровими) полицями. Корпуси плугів оснащені зміцненими робочими органами забезпечують меншу потребу у тяговому зусиллі і відповідно низьке спрацювання робочих органів.

Список літератури

1. Миронов Д.А., Сидоров С.А., Лискин И.В. Прочностные и ресурсные характеристики почвоработанных рабочих органов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т.13. №3. С.39-43.
2. Константинов В.М. Комплексное повышение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 2014. №12. С.3-8.
3. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. М.: Машиностроение, 1995. 335 с.
4. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М.Севернев, Н.Н.Подлекарев, В.Ш.Сохадзе, В.О.Китиков; под ред. М.М.Севернева. Минск: Белорус. Навук, 2011. 333 с.
5. Орлов Б.Н., Евграфов В.А., Орлов Н.Б. Долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин *Механизация и электрификация сельского хозяйства: Ежемесячный теоретический и научно-практический журнал*. 2007. №3. С.27-29.
6. Вплив амплітуди і частоти коливань електродного дроту при дуговому наплавленні на формування і структуру наплавленого металу і проплавлення основного металу. / А.А. Бабінець та ін. *Автоматичне зварювання*. 2020. 10. С. 26-33.
7. Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов. / И.А. Рябцев и др. *Автоматическая сварка*. 2015. 5-6. С. 84-88.

8. Ключенко В.Н., Балан В.П. Точечное упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. №11. С. 54-57.
9. Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом в углекислом газе. / В.И. Терещенко и др. *Автоматическая сварка*. 1983. №9 (366). С. 51-53.
10. Хакимов Р.Р., Багаутдинова И.И. Основные направления повышения надежности и долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. Технологии реновации машин и оборудования. Башкирский ГАУ, 2016. 332 с.
11. Денисенко М.І., Зазимко О.В., Лабунець В.Ф. Дослідження поверхонь тертя робочих органів ґрунтобробних сільськогосподарських машин. *Проблеми тертя та зношування*. 2016. № 1 (70). С. 150-153.
12. Металлургия и техника сварки. Процессы и промышленное применение ; под ред. Режиса Блондо. ISTE Ltd. John Wiley, 2008. 426 С.
13. Проспект «Арселор – Миттал Кривой Рог» . *ArcelorMittal* : веб сайт. URL : www.arcelormittal.com. 40 (дата звернення: .12.01.2023).

Referencis

1. Mironov, D.A., Sidorov, S.A. & Lyskin, I.V. (2019). Prochnostnye i resursnye karakteristiki pochvovrezhushhih rabochih organov . [Strength and resource characteristics of soil-cutting workers] . *Sel'skhozjajstvennye mashiny i tehnologii – Agricultural machines and technologies, Vol. 13. No. 3*, 39-43 [in Russizn].
2. Konstantinov, V.M. (2014). Kompleksnoe povyshenie dolgovechnosti korpusa pochvoobrabatyvajushhego pluga . Complex increase in the durability of the hull of a soil tillage plow. *Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija – Mashinostroenie Publishing House, 12*, 3-8 [in Russizn].
3. Tkachev, V.N. (1995). *Rabotosposobnost' detalej mashin v uslovijah abrazivnogo iznashivaniya [The performance of machine parts in the conditions of abrasive wear]* . Moskow : Mashinostroenie [in Russizn].
4. Severnev, M.M., Podlekarev, N.N., Sokhadze, V.Sh. & Kitykov, V.O. (2011). *Iznos i korrozija sel'skhozjajstvennyh mashin [Wear and corrosion of agricultural machines]*. Minsk: Belarus. Nauk [in Russizn].
5. Orlov, B.N., Evgrafov, V.A. & Orlov, N.B. (2007). Dolgovechnost' rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih mashin [Longevity of working bodies of tillage machines] . *МЭСХ – MESH, 3*, P. 27-29 [in Russizn].
6. Babinets, A.A., Ryabtsev, I.O., Lentyugov, I.P., Ryabtsev, I.I., Kaida, T.V. & Boghaichuk, I.L. (2020) Vplyv amplitudy i chastoty kolyvan' elektrodnoho drotu pry duhovomu naplavlenni na formuvannia i strukturu naplavlennoho metalu i proplavlennia osnovnogo metalu [Influence of the amplitude and frequency of oscillations of the electrode wire during arc welding on the formation and structure of the deposited metal and the penetration of the base metal]. *Avtomatychnye zvariuvannia – Automatic welding, 10*, 26-33 [in Ukrainian].
7. Ryabtsev, I.A., Panfilov, A.Y., Babynets, A.A., Ryabtsev, I.Y., Gordan, G.N. & Babiychuk, I.L. (2015) Struktura i iznosostojkost' pri abrazivnom iznashivanii naplavlennogo metalla, uprochnennogo karbidami razlichnyh tipov [Structure and wear resistance during abrasive wear of deposited metal strengthened with different types of carbides]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic quarrel, 5-6*, 84-88 [in Russizn].
8. Klyuenko, V.N. & Balan, V.P. (1989). Tochechnoe uprochnenie rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih mashin. [Point hardening of working bodies of tillage machines]. *Traktory i sel'skhozjajstvennye mashiny – Tractors and agricultural machines, 11*, 54-57 [in Russizn].
9. V.Y. Tereshchenko, A.N. Sharovolsky, K.A. Sydorenko, V.A. Troshin, Yu.Y. Saprykin. (1983). Osobennosti dugovoj tochechnoj svarki plavjashhimsja jelektrodom v uglekislom gaze [Features of arc spot welding with a melting electrode in carbon dioxide]. *Avtomaticheskaja svarka – Automatic Quarrel, 9 (366)*, 51-53 [in Russizn].
10. Khakimov R.R., Bagautdinova I.I. (2016). *Osnovnye napravlenija povyshenija nadezhnosti i dolgovechnosti rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih mashin. Tehnologii renovacii mashin i oborudovanija [The main directions of increasing the reliability and durability of the working bodies of tillage machines. Technologies of renovation of machines and equipment]*. Bashkir GAU. 332 [in Russizn].
11. Denisenko, M.I., Zazymko, O.V., & Labunets, V.F. (2016). Doslidzhennia poverkhon' tertia robochykh orhaniv hruntobrobnykh sil's'kohospodars'kykh mashyn. [Study of the friction surfaces of the working bodies of tillage agricultural machines]. *Problemy tertia ta znoshuvannia – Problems of friction and wear, 1 (70)*, 150-153 [in Ukrainian].

12. Directed by Blondo (Ed.). (2008). Metallurgy and brazing technique. Processes and industrial application. ISTE Ltd. John Wiley [in Russizn].
13. Prospekt «Arcelor – Mittal Krivoj Rog» [Avenue "Arcelor - Mittal Kryvyi Rih"]. (2002). *arcelormittal.com*. Retrieved from *www.arcelormittal.com*. 40. [in Russizn].

Mykola Denisenko, Assoc. Prof., PhD tech.sci.

Nemishayev Vocational College of NUBiP of Ukraine, Nemishayeve township, Bucha district, Kyiv region, Ukraine

Regarding the Issue of Restoration and Strengthening of Details of the Working Bodies of Soil Machinery

Ecological and agrotechnical requirements for technical means of mechanization of agriculture are constantly growing and improving, especially in the field of indicators that determine the harmful effect on soils, including, on the limit of permissible clogging of them with metal from the accelerated wear of working organs, and getting into the soil products of wear and tear. A huge volume of agricultural products is produced by both large farms and smaller farms. In the created economic situation, there is a steady growth of farms; the growth of arable land for grain and other agrotechnical crops, which undoubtedly creates a demand for the working bodies of agricultural machines.

For example, only farms in the south and southeast of Ukraine annually consume more than 400,000 cultivator paws and plowshares, not including offers for other working bodies. The most heavily loaded surfaces of tillage machines and aggregates are the working bodies: the ploughshare is the ploughshare, the cultivator's paws, and the harrow's discs or teeth. The reason for their premature failure is mainly accelerated abrasive wear, which is due to interaction with solid (HV 8-11 GPa) particles in the soil. The working bodies of agricultural machinery include: ploughshares, plow bodies, discs of heavy harrows, paws of cultivators and planters, and many other parts of working bodies.

It should also be noted that soil cutting is the most widespread technological operation in the agro-industrial complex: plowing, cultivation, harrowing, harvesting of grain and technical crops, these operations make up at least 70% of the total volume of mechanized work. At the same time, such performance indicators as the degree of weed cutting, the average depth of cultivation, the stability of the movement of the working bodies in depth depend primarily on the technical condition of the blade of the working body of agricultural machinery; their clogging and sticking to the surface of the blade; traction resistance of working bodies.

A chamfer is formed on the edge of the blade and the toe, which negatively affects the stability of the movement of the working bodies in depth, the profile of the toe, the geometry and width of the blade of the working body changes. Dull cultivator legs and plow blades increase the traction resistance of the units, and therefore the productivity is significantly reduced, while fuel consumption increases by 15-20%. In connection with the uneven operation of the cutting edges and other surfaces of the working bodies of agricultural machinery, there is a need to strengthen and restore them.

In addition, agricultural working bodies are operated in conditions of a chemically aggressive external environment, which is connected with the addition of various fertilizers to the soil and the presence of moisture in it. The wear of the parts of tillage machines that have direct contact with the abrasive mass is strongly influenced by soil moisture. Moisture, depending on the type of soil, can both increase and decrease wear. Together, these factors exert such a strong influence on the working bodies of agricultural machinery that it makes them unusable after almost a few hours of intensive machine operation. The developed technology of modification of the parts of the working bodies of tillage machines using point strengthening increases the resistance to abrasive wear of their working surfaces by 2-3 times, and is able to replace other strengthening technologies, because it has high productivity and reduces the energy consumption of technological equipment many times over.

abrasive wear, wear-resistant coatings, plow blade, cultivator foot, harrow disc, spot hardening - arc spot welding

Одержано (Received) 04.02.2023

Прорецензовано (Reviewed) 18.02.2023

Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023