

УДК 631.312.012.4

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.271-284>**М.І. Денисенко**, доц., канд.техн. наук*ВСП «Немішаївський фаховий коледж НУБіП України», м. Київ, Україна**e-mail:mdenisenko317@gmail.com*

Відновлення та зміцнення деталей і робочих органів сільськогосподарських машин, працюючих в абразивному середовищі

В теперішній час, в агропромисловому комплексі підприємства зазнають економічних втрат від абразивного зносу деталей і робочих органів ґрунтообробної техніки, кормозбиральних та посівних машин. Деталі і робочі органи сільськогосподарських машин працюють у важко навантажених умовах, контактують своїми робочими поверхнями не тільки з абразивною масою і мастилом, але й безпосередньо з зовнішнім середовищем, при цьому частіше всього зазнаючи зміни температур, що призводить до їх підвищеного зносу та скорочення термінів технічної експлуатації машин. Абразивне зношування і пошкодження – найбільш розповсюджені та інтенсивні види руйнування ґрунтообробних, посівних та садильних машин, обладнання для тваринництва і виробництва кормів.

Щорічно сільське господарство України витрачає на підтримання техніки у справному стані більше 17-20 млрд. грн. Науково-дослідні установи та виробники сільськогосподарської техніки проводять роботи по створенню і вдосконаленню прогресивних та інноваційних технологій для відновлення і зміцнення їх деталей робочих органів.

леміш плуга, молоток кормодробарки, абразивне зношування, точкове зміцнення, композитний матеріал, пластинка твердого сплаву

Постановка проблеми. Агропромисловий комплекс України займає провідне місце у національній економіці, забезпечуючи до третини промислового виробництва країни та до 40% її експортних прибутків. Розвиток агропромислового комплексу, а також підвищення продуктивності праці і працездатності машин стримується значним абразивним спрацюванням їх деталей, робочих органів та механізмів. Зношування деталей є процесами руйнування їх поверхневого шару при терті, за якого змінюються розміри, маса деталі, її геометрична форма (наприклад, утворюються овальність, конусність, округлення прямих кутів), і мікрогеометричні параметри (шорсткість поверхні). Під впливом сил тертя і динамічних факторів (вібрації, ударних навантажень) та природних процесів (старіння матеріалів) відбуваються структурні та фізико-хімічні зміни у матеріалі деталі, утворюються поверхневі напруження, що призводить до мікротріщин, кристалічна решітка ущільнюється. У промисловості і агропромисловому комплексі витрачаються сотні тисяч тон металу та велика кількість людської праці на виготовлення запасних частин і заміну швидкозношуваних деталей.

При цьому, внаслідок заміни спрацьованих деталей, зменшується продуктивність машин і механізмів, зростають простой агрегатів та виробничих ліній. На сьогодні, коли обладнання багатьох підприємств, значно спрацьовано, а засоби для його заміни, найближчим часом, обмежені, підвищення зносостійкості та збільшення терміну служби машин потребують постійної уваги, зокрема: раціонального конструювання, створення відповідних умов експлуатації, вибору матеріалу, з якого виготовляється деталь, обґрунтування технології або методу відновлення чи зміцнення.

Асортимент виробів та деталей машин агропромислового комплексу охоплює всю програму, близько 10 тисяч видів, що швидко зношуються, для всіх сучасних сільськогосподарських машин та ґрунтообробної техніки. На практиці використовуються багаточисленні методи покращення властивостей матеріалів в залежності від конкретних умов експлуатації, наприклад, різновиди термічної і хіміко-термічної обробки поверхневих шарів, використання біметалевих конструкцій, методи наплавлення металів і твердих сплавів, нанесення тонких шарів методами напилювання і металізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При зношуванні деталей сільськогосподарських машин переважають процеси абразивного спрацювання декількох різновидів. Більшість деталей робочих органів спрацьовуються у контакті з ґрунтами, мінеральними добривами, рослинною масою і таке інше.

При обробці твердих ґрунтів з каменистими домішками спостерігається значна деформація ріжучої кромки і втомні вищербини. Працездатність ґрунтообробних машин визначається доремонтним ресурсом робочих органів, тому його підвищення дуже актуально. В результаті інтенсивного абразивного спрацювання змінюються геометрія ріжучої кромки і леза та загальні розміри робочих органів, що є причиною порушення агротехнічних вимог, зниження якості обробки ґрунту, суттєве підвищення енерговитрат.

Процеси абразивного зношування одночасно визначаються видом руйнування поверхневого шару та знеміцнювання матеріалу. При заданих умовах абразивного впливу, у даному матеріалі протікає певний процес зношування, але в різних матеріалах процеси спрацювання можуть бути різними. Зміна умов експлуатації машин в деяких межах не супроводжується зміною процесу зношування, а впливає тільки на його інтенсивність. Зношування є самоналагоджувальним процесом, тому що залежить від зовнішніх умов і властивостей зношуваного матеріалу, від реакції кожного матеріалу на механічний вплив абразивних часток, а також від характеру його взаємодії з зовнішнім середовищем.

У створених моделях абразивного зносу відрізняють ковзання деталі по монолітному абразиву, вільному абразиву у насипному стані, удари по монолітному або вільному абразиву, гідро- і газоабразивне зношування, та різні взаємодії контактуючих тіл з абразивними частками, що знаходяться у контакті. Складність і не-стаціонарність процесу, його випадковий характер не дозволили створити загальну теорію абразивного зношування. Але в цілях вирішення практичних завдань накопичено багато експериментального матеріалу по впливу різних факторів на зносостійкість. В залежності від того, як зв'язані абразивні частки зі спряженими тілами, розрізняють три види абразивного зношування:

1. Зношування твердими частками, нерухомо закріпленими на поверхні тертя одного зі спряжених тіл. Це тверді структурні складові матеріалу одного з елементів пари тертя, частинки абразивної шкірки, брусків та іншого інструменту, частинки нагару на стінках циліндра двигуна внутрішнього згоряння;

2. Зношування вільними частинками, що потрапляють у зону контакту тіл тертя (оксиди металів, наклепані частинки зносу, фрагменти стружки, тверді частинки у мастилі і зовнішньому середовищі);

3. Зношування незакріпленими частинками, що передають тиск деформованої маси (абразивні частки у ґрунті, гірських породах, насипних вантажах при їх транспортуванні).

Зношування металів в масі абразивних часток відбуваються у вузлах тертя сільськогосподарської техніки (диски борін, ножі і лемеші ґрунтообробних машин,

молотки кормодробарок, ножі і шнеки збиральних комбайнів), долота бурильних установок, ковші екскаваторів, платформи для насипних вантажів і т. ін. Частинки абразиву, що потрапляють у зону контакту, не встигають впровадитися у об'єм одного з тіл тертя на потрібну глибину, руйнуються подібно мікробуху (рис.1, а). Утворені при цьому уламки частинок, маючи високу швидкість, пластично деформують поверхневий шар деталі або крихко руйнують його.

При навантаженнях, менших ніж зусилля руйнування частинок, відбувається їх впровадження (шаржування) у менш твердий матеріал (верхнє тіло на рис 1, б), і процес зношування визначається умовами шаржування і властивостями того тіла, твердість якого вища. При цьому можливі два типи руйнування поверхонь деталей. Якщо зусилля, що зсовує абразивну частку, менше критичного, за якого було би можливе його переміщення, то реалізується тертя закріпленого абразиву по більш твердому матеріалу, і абразивне зношування останнього (рис.1, б).

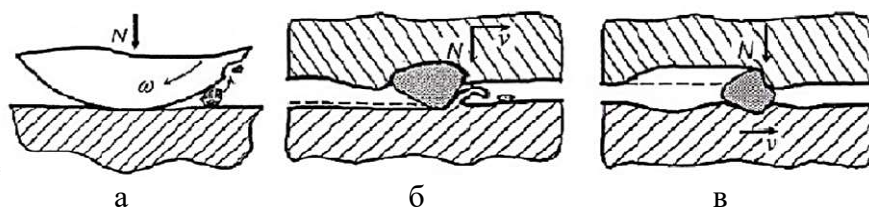


Рисунок 1 – Механізми зношування деталей вільними абразивними частками

Джерело: розроблено автором

Поверхня тертя більш твердої деталі покривається поздовжніми канавками малої глибини. Якщо зусилля, що зсовує частинку абразиву, більше критичного, то відбувається її переміщення у більш м'якому матеріалі, і він зазнає інтенсивного пластичного відтиснення (рис.1, в). Зношена поверхня має глибокі канавки, витягнуті вздовж напрямку ковзання.

Постановка завдання. Таким чином, метою роботи є підвищення технічного ресурсу і працездатності машин агропромислового комплексу шляхом вдосконалення та розробки інноваційних технологій відновлення і зміцнення поверхонь тертя – технологій інженерії поверхонь.

Виклад основного матеріалу. Підвищення довговічності деталей і робочих органів машин є складним завданням, наукові основи якого розроблені недостатньо аргументовано і значно слабші, ніж основи забезпечення поверхневої міцності. Аналіз завдань в царині підвищення зносостійкості деталей і робочих органів машин переконує у недостатності рішень, заснованих тільки на виборі матеріалів з підвищеною зносостійкістю: таким чи іншим методом можливо лише зменшити швидкість зношування, але не керувати самими процесами тертя і спрацювання і, що особливо важливо, тими змінами технічного стану і працездатності деталей, причиною яких є знос поверхонь тертя.

Одним з резервів збільшення технічного ресурсу і довговічності даних деталей сільськогосподарської техніки треба вважати різноманітні методи їх зміцнення на стадіях як виробництва, так і експлуатації при відновленні. У теперішній час розроблено близько 120 різних методів зміцнення та відновлення деталей машин. Внаслідок технологічної спадковості при виготовленні деталей, і релаксаційних процесів за їх експлуатації, відбуваються зміни хімічних та фізико-механічних властивостей металу поверхневого шару. Підвищення ресурсу та зменшення втрат на тертя відноситься до пріоритетного напрямку розвитку сучасних машин.

Інженерія поверхні («surface engineering») належить до одного з нових напрямків у науці і технології, що включає традиційні та інноваційні процеси модифікування поверхні деталей машин, і створюють на ній композиційні матеріали з властивостями, що відрізняються від властивостей основного матеріалу. Методи інженерії поверхні включають у себе як нанесення на робочу поверхню покриттів з іншого матеріалу (електрохімічне осадження, іонне азотування, високошвидкісне напилювання HVOF (High Velocity Oxy-Fuel), електроіскрове легування, лазерне наплавлення, мобільна газополуменева металізація, детонаційне і газополум'яне напилювання, та інш.) так і зміна властивостей поверхневого шару – зміна його структурно-фазового стану, до яких можливо віднести іонну імплантацію, кріогенні методи, мікродугове оксидування, трибомеханічна обробка.

Дані виробничих досліджень, розроблених з крупнозернистим карбідом вольфраму, матеріалів для ручного електродугового наплавлення, показали, що в самих важких умовах використання розрихлювачів доцільно армувати твердосплавними наконечниками. Найбільшу зносостійкість у суглинистих ґрунтах мають наплавлені шари складу Fe – C – Cr – Si – Mo – Nb – W і Fe – C – Mn – В. Дослідники шляхом швидкісного СВЧ – борування на поверхнях деталей сільськогосподарської техніки, типу лап культиваторів, виготовлених зі сталі 65Г, отримали композиційні боровані покриття системи Fe_nВ – Fe – В. Леза робочих органів сільськогосподарської техніки у процесі експлуатації внаслідок абразивного зносу втрачають свою працездатність, і тому їх необхідно відновлювати, тобто підвищувати довговічність.

З урахуванням природи зносу, наявність на більшості робочих органів сільськогосподарських машин ріжучої крайки, а також необхідність збереження заданої геометрії і розмірів – їх зміцнення, захист від небезпечного впливу оброблюваних матеріалів, і факторів зовнішнього середовища завжди є актуальними завданнями. Пропонується спосіб відновлення робочої поверхні методом плазмового зміцнення твердими сплавами «Сормайт» або електродуговим наплавленням електродами марки Т-590 – НГ. В даній роботі для зміцнення і відновлення деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки використані наступні інноваційні технології: газополуменева напилювання з оплавленням, електроіскрове легування зразків з конструкційної сталі 65Г, мікроплазмова обробка порошковим дротом ПП-АН 148, дугове точкове зварювання (ДТЗ) порошковим – дротом – плавким електродом, відкритою дугою порошковим дротом ПП – АН 170 (ПП – АН 170М); детонаційне напилювання покриття нітриду титану (TiN), використання безвольфрамових композиційних порошкових матеріалів, лазерне зміцнення [3, 4, 9].

Мікроплазмове зміцнення робочих крайок деталі здійснювали на установці МПУ-4: режими мікроплазмової обробки, наступні: сила струму – 55–60А, температура у зоні горіння аргонної дуги – близько 5000 °С. Плазмоутворюючий газ – аргон, а захисний – аргон, гелій або їх суміші. Електроіскрове легування (ЕІЛ) зразків з конструкційної сталі 65Г проводили на установці ЕЛІТРОН-22, в атмосфері повітря за режимом: величина електричного струму – 0,5–2,8 А, час обробки – 5 хв. Випробування здійснювали на установці за схемою Брінеля-Хаворта, в якості покриття – матеріали ТН20 і ВК6. Лазерне зміцнення деталей здійснювали на установці «Квант-16» і на газовому лазері CO₂ «Лотос-31»: глибина зміцнення 0,5...0,6 мм.

В якості абразивного матеріалу використовували кварцевий пісок та карбід бору зернистістю 500 мкм.

Визначаючим у виборі технології електроіскрового легування є його суттєві переваги:

- не потребує спеціальної підготовки поверхонь, необхідно лише повністю очистити їх від бруду і повністю видалити сліди жиру і масла;
- забезпечують високу міцність зчеплення шару покриття з основним матеріалом;
- не впливає на основну структуру металу;
- надає шарам поверхні покриття потрібні експлуатаційні характеристики;
- підвищує стійкість зміцнених інструментів в 2–3 рази;
- дозволяє економити високовартісні інструментальні сталі;
- дозволяє використовувати в якості легуючих матеріалів як чисті метали, так і багато сплавів: металокерамічні, композиційні, тугоплавкі з'єднання і т.п.;
- виключає нагрів або допускає незначний нагрів обробленої поверхні в процесі легування, який не може змінити її геометрію і фізико-механічні властивості;
- відрізняється простотою технологічного процесу, малогабаритністю і транспортабельністю обладнання.

В якості електродних матеріалів були вибрані тверді сплави ВК6 і ТН20, які рекомендуються авторами [4, 6], для нанесення зносостійких покриттів.

Результати досліджень, що подані на рис. 2, свідчать про те, що електроіскрове легування конструкційної сталі 65Г суттєво впливає на її зносостійкість в умовах абразивного зношування.

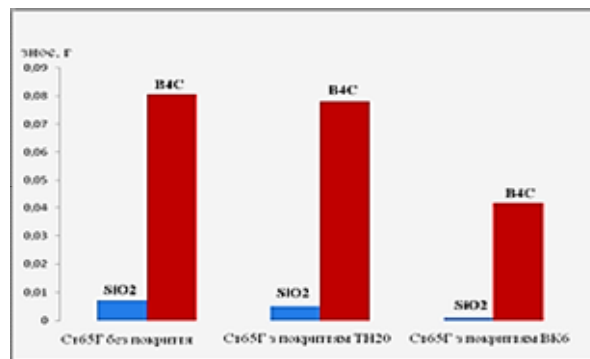


Рисунок 2 – Залежність зносу сталі 65Г з покриттями (ТН20 і ВК6) від твердості абразиву
Джерело: розроблено автором

При випробуванні в середовищі кварцевого піску зернистістю 500 мкм, покриття з твердого сплаву ВК6 показує дуже малий знос в порівнянні з ТН20. В середовищі карбиду бору інтенсивність зношування сталі 65Г значно зростає (рис. 2). На робочій поверхні (рис. 3) спостерігається повне видалення покриття і занурення твердих частинок карбідів у металеву поверхню. У деяких місцях спостерігаються залишки оксидної плівки, яка ще не зносилась.

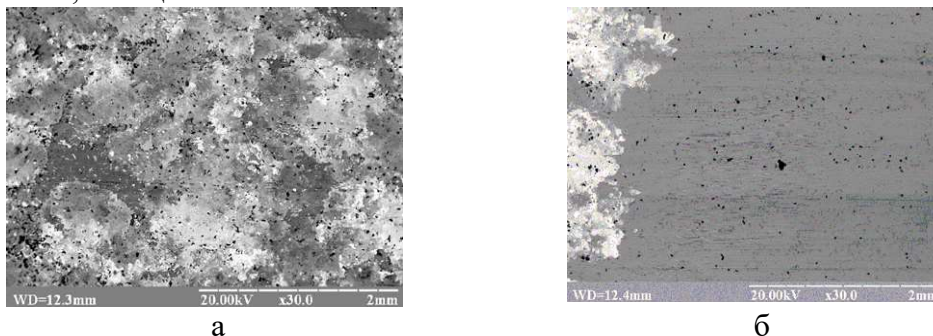


Рисунок 3 – Топографія робочої поверхні сталі 65Г після випробування у середовищі кварцевого піску зернистістю 500 мкм (а) і середовищі карбиду бору В₄С (б)

Джерело: розроблено автором

Особливістю ЕІЛ є неможливість отримання покриттів великої товщини. Проаналізувавши науково-дослідницькі роботи, можливо стверджувати, що максимальна товщина електроіскрового покриття залежить, головним чином, від величини енергії імпульсів струму, питомого часу обробки, газового середовища і матеріалів електродів. Розвитку методу ЕІЛ сприяють також роботи Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України (м. Київ), Інституту прикладної фізики АН Молдови (м. Кишинів), багатьох університетів і крупних фірм таких країн, як Німеччина, Японія, США, Індія, Південна Корея, Китай. У процесі роботи робочі органи сільськогосподарських машин зазнають абразивно-корозійного зносу та ударного навантаження, тому їх терміни служби часто не перевищують одного сезону.

Газополум'яні методи нанесення зносостійких покриттів вже багато років широко використовуються для захисту швидкозношуваних деталей, як в Україні, так і за кордоном. Фірма MWS (Німеччина), розробляє і виготовляє інструменти і нове обладнання для виготовлення ножів для соломорізок, косарок, подрібнювачів, кормороздавачів. Для нанесення зміцнюючих покриттів використовуються методи газополуменевого напилення з оплавленням, що включає у себе дротове, порошкове та шнурове напилення, а також плазмове і лазерне порошкове наплавлення. Серійні диски борін з пружинної сталі 65Г – це швидкозношувані деталі ґрунтообробної та посівної техніки. За технічної експлуатації, трапляються випадки зламу дисків борін – 50%, які визиваються раптовим переходом від потовщеної площини до більш тонкої поверхні.

Основні складові газополум'яного методу з оплавленням: підготовка поверхні, газополум'яне напилювання зносостійкого покриття експериментального складу, оплавлення поверхні. Покриття на лезо робочого органу наноситься даним методом (рис. 4): суть процесу газополум'яного напилювання полягає у формуванні на поверхні леза шару покриття з частинок напиленого матеріалу, маючи запас теплової і кінетичної енергії. Покриття отримуємо в результаті взаємодії зі струменем газового полум'я, котрий утворюється при згоранні суміші кисень – горючий газ (ацетилен, пропан). Порошок доводять до рідкого або пластичного стану, і його частки набувають швидкості 30–40 м/с та осідають на поверхні зміцнення.

Газополум'яне напилювання здійснюється за температури 2000° С, твердість поверхні після зміцнення 68...70 HRC, товщина покриття, $n=1,0 - 1,2 - 1,5$ мм; ширина покриття – 20,0 мм. Створення нового покоління зміцнюючих технологій, на прикладі дискових робочих органів, сприяє більш ефективному використанню тврдосплавних покриттів, що зменшують абразивне тертя з основним металом загартованої поверхні деталі за рахунок нанесення покриття експериментального складу, що забезпечують граничний рівень напружень в активному шарі ґрунту у напрямку його переміщення.

Можна припустити, що зносостійке покриття нанесено методом газополум'яного напилення з оплавленням, містить у своєму хімічному складі близько 50% карбиду вольфраму. Твердий сплав – це двофазний матеріал, отриманий методами порошкової металургії, котрий складається з фази твердого матеріалу і фази зв'язуючого металу.

Покриття при точно витриманій температурі, активно спікається з ріжучою крайкою (лезом) ножа, диска або іншого робочого органу машини. Карбідне покриття з впровадженням у нього тврдосплавним матеріалом захищає ріжучу крайку від зносу і утворює ділянку ножового леза та забезпечує «ефект самозагострювання» (рис.5, рис.6).

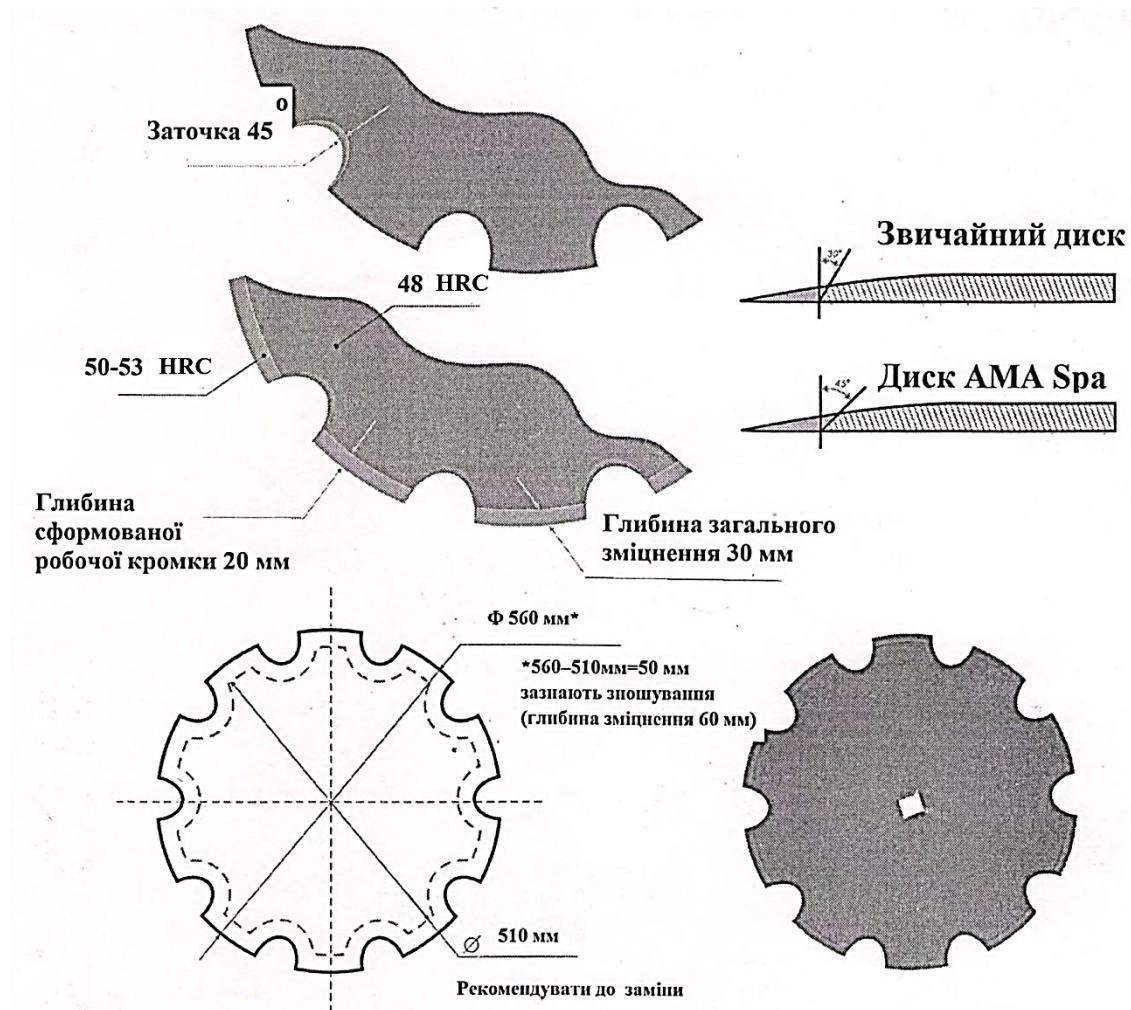


Рисунок 4 – Застосування експериментальних дисків борін:

∅ 410-450 мм посівні комплекси (турбодиски), ∅ 610 мм «рівний», «ромашка» «JOHN DEERE», ∅ 460 мм «рівний», «ромашка», «AMAZONE CATROS», ∅ 620 мм (5 болтів) «ромашка», «LEMKEN RUBIN», ∅ 560 мм «ромашка» БДМ, ∅ 660 мм «рівний», «ромашка» БДТ, ∅ 610 мм «рівний», «SANFLOWER», ∅ 660 мм «ромашка» (6 мм; 8 мм) «GRIZZLY», ∅ 610 мм «рівний», «ромашка», «SALFORD», ∅ 660 мм «ромашка», «GREGOIRE BESSON»

Джерело: розроблено автором

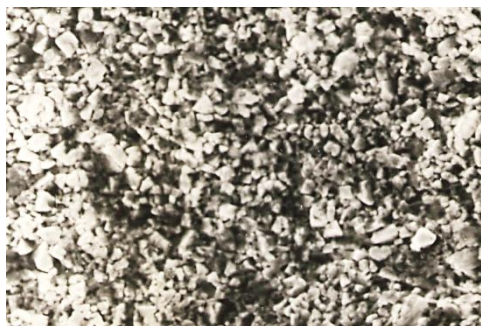


Рисунок 5 – Поверхня тертя твердого сплаву ВК-8, 1000
Джерело: розроблено автором

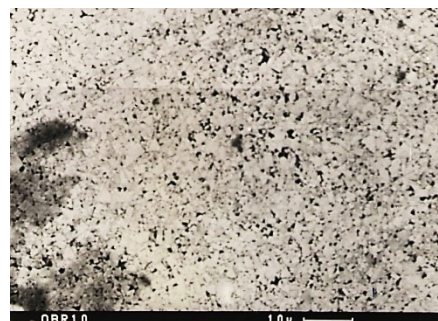


Рисунок 6 – Вихідна поверхня, твердий сплав ВК-8
Джерело: розроблено автором

Рентгеноструктурні дослідження поверхні тертя твердого сплаву ВК-6 (ВК-8) вольфрамової групи з вмістом Со до 20% і більше показали, що зовнішні впливи абразивного середовища призводять до зміни у (Со – фазі) – відбувається частковий перехід кубічної модифікації у гексагональну. При цьому, частка гексагональної модифікації у (Со-фазі) поверхневого шару спрацьованих твердосплавних пластин підвищується при зростанні ступеня деформації, що утворюється при виконанні певного технологічного процесу. Відомо, що зростання гексагональної Со – фази підвищує крихкість твердих сплавів, але, коли ці зміни охоплюють поверхневий шар невеликої товщини, і при цьому не відбувається його розрихлення, можливо вважати, що такі структурні зміни сприяють підвищенню зносостійкості деталей (рис. 5).

В нашій країні випускаються WC – Со твердосплавні пластини з іонно-плазмовими покриттями з TiC і TiN. Вибір даних з'єднань у якості матеріалів зносостійких покриттів можливо пояснити їх задовільними експлуатаційними властивостями, а також впровадженою технологією нанесення покриття. Для деталей, що працюють в умовах абразивного зносу при нормальних температурах, рекомендується наплавлений матеріал наступного складу: С 2,25...4,5%; Si 0,2...0,4%; Mn 0,50...6,0%; Cr 24,0 ...35,0%, що має твердість від 48 до 60 HRC, і використовується для наплавлення деталей сільськогосподарських машин.

Здійснювалися спроби використовувати для відновлення та виготовлення дискових робочих органів при подрібненні зерна і соломи алмазовмісткі композиції шляхом детонаційного напилювання нітриду титану TiN. Сумісно зі вченими Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України була розроблена технологічна документація на виготовлення нового дискового робочого органу, оснащеного алмазовмісткими пластинами, проведено зміцнення експериментальних деталей – молотків і дек кормодробарок, штифтів подрібнювача грубих кормів (соломи) методами детонаційного напилення.

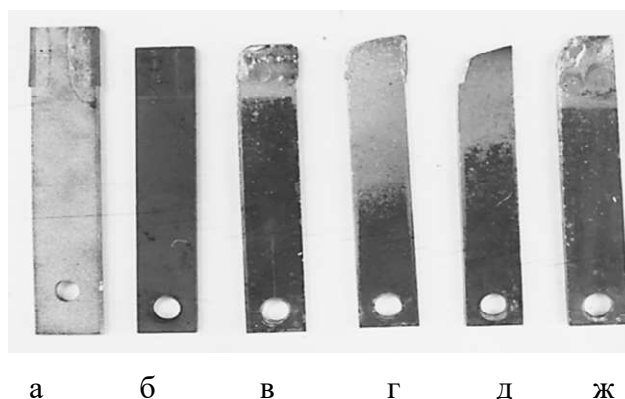
У багатьох технологічних процесах приготування кормів широко використовуються подрібнювачі і дробарки ударної дії компонентів сумішей, зокрема зерна. Молоткові дробарки використовуються у 90% всіх технологічних ліній по приготуванню комбікормів і найбільш повно задовольняють вимогам, що постають перед подрібнювальними машинами, та складають групу високошвидкісних машин ударної дії. Технічна експлуатація таких агрегатів показала, що мінімальний ресурс з усіх деталей і робочих органів мають молотки і ножі, термін служби котрих складає від 72 до 300 годин. Неєфективність використання молотків полягає у їх вибраковці, придатних до роботи, або використанню спрацьованих. Для підвищення надійності і довговічності кормоподрібнювачів у роботі здійснили зміцнення робочих крайок молотків деталей робочих органів ударної дії різними методами модифікації поверхні (рис.7).

Механічні впливи мають переважно ударний характер, що є причиною крихкого або втомного руйнування молотка дробарки, але можливе також і абразивне зношування (пил, пісок, абразивні частки).

Мікроплазмове наплавлення зносостійкого покриття, що має такий хімічний склад: 0,85 С; 12,0 Cr; 4 Со; 3,5 V; 1,5 Wо; 2,5 Мо; 0,006 В (рис.8), твердість 58–61HRC. У порівнянні з дротом суцільного перерізу, порошковий дріт забезпечує більш високу продуктивність наплавлення та більші можливості для легування наплавленого металу. Отримане покриття має високу абразивну зносостійкість, а також ударостійкість.

Армування робочих граней молотків дробарок і подрібнювачів комбікормів з недорогої основи (сталь 45, сталь Ст.3) пластинами із твердих сплавів КХЖ–70, КХНФ–15, Х13М2 - Cr₃ С₂ (рис. 9, 10) складається з двох етапів: перший – виготовлення

армуючих елементів, другий – паяння (зварювання), наклеювання на корпус-модуль молотка [9].



а – армування змінними модульними пластинами (ЗМП); б – серійний, сталь 65Г;
в – мікроплазмове зміцнення порошковим дротом ПП-АН148; г – зміцнення твердим сплавом ПГ-С27; д – знос серійного молотка зі сталі 65Г; ж – точкове (крапкове) зміцнення порошковим дротом ПП-АН170

Рисунок 7 – Методи зміцнення крайок робочих органів подрібнювачів комбікормів
Джерело: розроблено автором

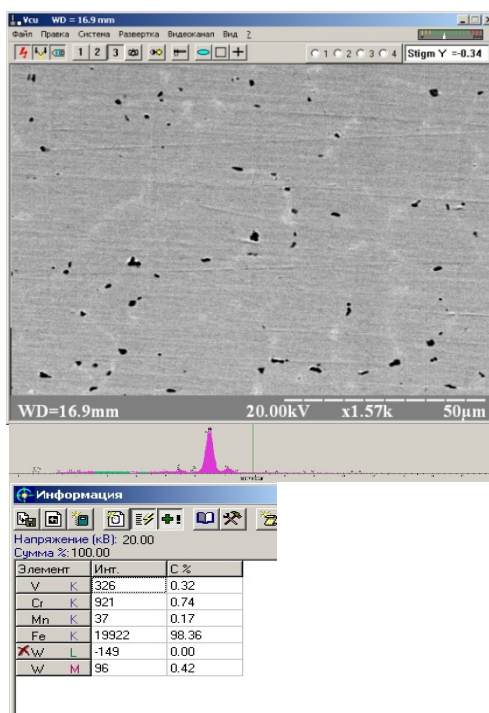


Рисунок 8 – Поверхня тертя молотка дробарки після зміцнення порошковим дротом ПП-АН148 в умовах вільного абразиву, загальна по всій площі перерізу даного покриття
Джерело: розроблено автором

Модульні пластини виготовляються з наступних матеріалів:

- 1) порошкові суміші карбіду хрому виробництва Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України;
- 2) порошок нікелю;
- 3) порошок заліза, одержаного карбонільним методом, марки P10;

- 4) порошок олов'янисто-фосфорної бронзи;
- 5) модульні пластини з карбідосталі X13M2 – 30% об. Cr_3C_2 .

В результаті детального аналізу нами було вибрано вищий карбід хрому Cr_3C_2 , так як відомо, що сплави з його участю мають високу стійкість до корозії у розчинах кислот і лугів. Зразки виготовлялися рідинно-фазним спіканням, суміші порошків сталі X13M2 і карбіду хрому перед пресуванням зазнають механічної активації. Спікання здійснювали у вакуумі при температурі 1150°C та витримці 1 год. Зі зростанням кількості карбіду хрому у суміші, мікроструктура карбідосталі суттєво змінюється від крупнозернистої до дрібнозернистої, середній розмір карбідної фази становить 6 мкм, металевої фази – 19 мкм. Мікротвердість карбідної складової у карбідосталях на основі X13M2 змінюється від 7,5 до 14 ГПа. Розкид мікротвердості твердої складової пояснюється утворенням різних типів складних карбідів M_7C_3 , M_{23}C_6 , M_2C (де M-Fe, Cr, Mo) [9].

Порошкові суміші композитних матеріалів виготовляли за стандартною технологією, що прийнята на виробництві сумішей з твердих сплавів на основі карбіду хрому. Пресування пластин здійснювали за тиску 100 МПа у сталевій прес-формі з використанням гідравлічного преса П-125.

Проведені дослідження впливу температури спікання на структуру і властивості зразків карбідосталі X13M2 – (15-30)% об. Cr_3C_2 дозволило встановити, що використання спікання у вакуумі дає можливість отримати карбідосталі з достатнім рівнем фізико-механічних властивостей.

В карбідах Cr_3C_2 розчиняється 2...2,5% титану, що не зменшує їх мікротвердість. Сплави «хромиста сталь-карбід хрому» зі вмістом карбіду 30% об. має поряд з високою твердістю та зносостійкістю, підвищення характеристики міцності. Таке поєднання властивостей дозволяє рекомендувати їх для виготовлення деталей робочих органів, котрі працюють в умовах ударно-абразивного зношування, зокрема, робочих органів для подрібнення фуражного зерна і приготування комбікормів в умовах вільного абразиву. Загальний вигляд виготовленого експериментального молотка ударної дії, робочі грані котрого армовані модульними змінними пластинами з карбідосталі X13M2 – (15-30)% об. Cr_3C_2 показано на рис.9.

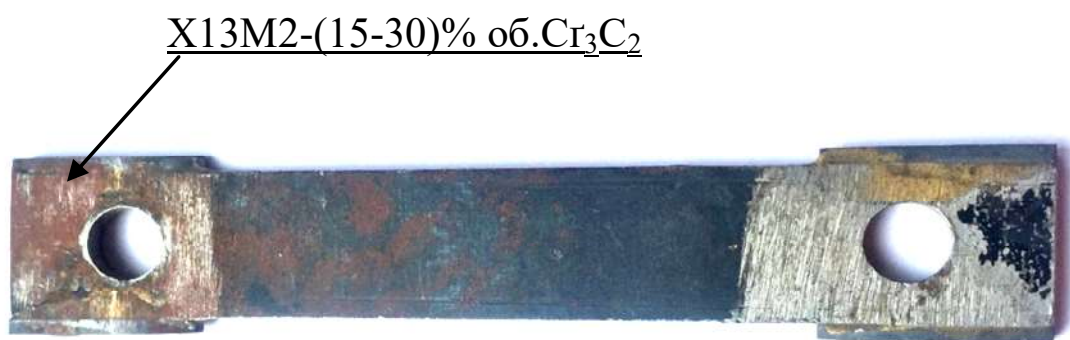


Рисунок 9 – Молоток комбікормової установки БМК-1 з модульними зносостійкими пластинами з карбідосталі

Джерело: розроблено автором

Одним з найважливіших завдань при виготовленні ударних робочих органів подрібнювачів комбікормів є підготовка поверхні модульної пластини для армування основи робочого інструменту, котра в основному визначає надійність кріплення

модульної (змінної) пластини до основи. Модульні пластини кріпилися до основи молотка шляхом склеювання, паяння та аргоно-дугового зварювання. (рис.9, рис.10) Клеї зазнають старіння і тому можуть використовуватися тільки протягом обмеженого періоду часу. На основі результатів досліджень були виготовлені експериментальні партії молотків, армованих шляхом приварювання модульних змінних вставок (пластин) до корпусу молотків зі сталі Ст.3.

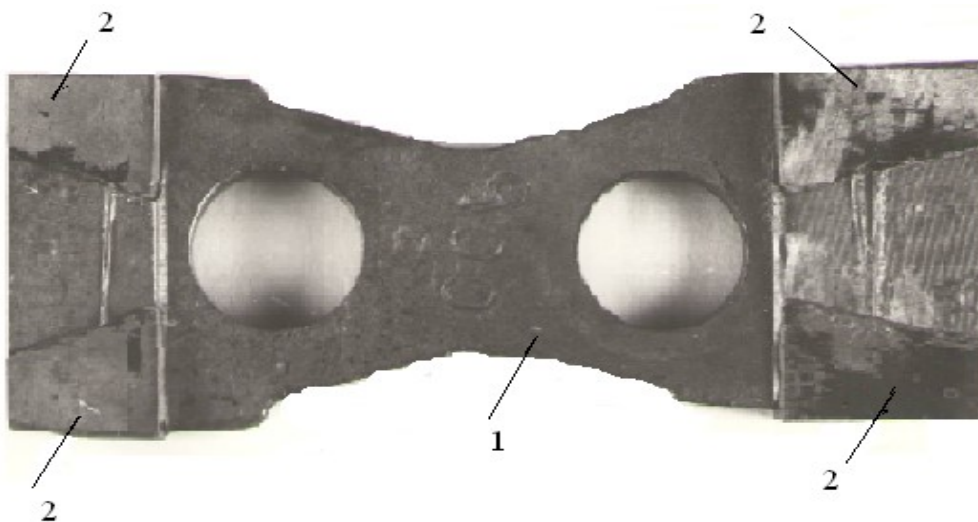


Рисунок 10 – Молоток-модуль (основа 1 – сталь, Ст.3, сталь 45; 2 – модульні змінні пластини з порошкового композитного матеріалу КХЖ70, КХНФ15)

Джерело: розроблено автором

Перед виробничими випробуваннями, молотки (ножі) зі вставками (пластинами) зі сплавів КХЖ70, КХНФ15 зазнавали термообробки до отримання середніх значень твердості 84...85 НРА. Виробничі випробування експериментальних деталей здійснювали у господарствах Житомирської та Київської областей України, у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція», а також на машинно-випробувальній станції в м. Прієкулі, Латвійська Республіка показали, що за зносостійкістю молотки, армовані модульними змінними пластинами (ЗМП), у 10–13 разів переважають серійні елементи зі загартованої сталі 65Г.

Висновки. Головною особливістю механо-корозійних процесів, за наявності абразивного середовища у зоні контакту, є та обставина, що кисень модифікує поверхню тертя у процесі інтенсивної взаємодії твердих абразивних часток з металеву поверхнею деталі, що обумовлює утворення вторинних структур при безперервному переміщенні абразивних частинок.

Вважати недоцільним використання алмазовмісних композицій для зміцнення робочих органів серійних сільськогосподарських машин у зв'язку з наявністю у кормах механічних домішок і недостатньою міцністю даного типу покриттів.

За наявності абразивного середовища у зоні тертя, процеси пластичної деформації і активації поверхневих шарів різко посилюються, окислення охоплює глибші шари та протікає більш інтенсивніше.

Наявність у наплавленому шарі карбідів тугоплавких металів (NbC, VC, TiC, MoC, WC) підвищує твердість та зносостійкість поверхневого шару, що в свою чергу збільшує терміни служби робочих органів сільськогосподарських машин.

Встановлено, що найбільш високу зносостійкість мають молотки кормоподрібноувачів, зміцнені мікроплазмовим нанесенням зносостійких покриттів порошковим дротом ПП-АН148 (блок-модуль комбікормовий БМКА-1, БМКА-1,5).

Ефективність використання робочих органів машин зі змінними модульними пластинами (ЗМП), виготовлених з порошкових композитних матеріалів, найбільш економічна; довговічність ударних робочих органів машин і обладнання для приготування комбікормів з композитних порошкових матеріалів у 10-13 разів вище, ніж у серійних елементів із загартованої сталі 65Г (дробарка зернова ДБ-5, ДКМ-5, КДУ-2,0).

Завдяки впровадженню технології дугового точкового зварювання, значно збільшено ресурс робочих органів ґрунтообробної техніки та інших деталей сільськогосподарських машин.

Список літератури

1. Бобрицький, В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Київ, 2007. 20 с.
2. Аулін, В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Хмельницький національний університет. Хмельницький, 2015. 36 с.
3. Денисенко М.І., Зазимко О.В., Лабунець В.Ф. Дослідження поверхонь тертя робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин. *Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. журнал*. 2016. №1 (70). С.150-153.
4. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2011. Вип. 24, ч.2. С.28-35.
5. Денисенко М.І., Опальчук А.С. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин. *Вісник ТНТУ*. 2011. Ч.2. С.201-210.
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. ДСТУ ISO 6847:2004 (ISO 6847:2000, IDT) Матеріали зварювальні. Наплавлення валка металу шва для хімічного аналізу.
8. Розробка технологій і матеріалів для електроіскрового нанесення покриттів з метою підвищення терміну експлуатації і надійності деталей технологічного і енергетичного обладнання та інструментів / М.С. Стороженко та ін. *Автоматичне зварювання*. 2020. №10. С.21-24.
9. Волощенко С.М. Створення наукових засад структуроутворення в високоміцному чавуні для підвищення зносостійкості змінних деталей сільгосптехніки та транспорту: дис. д-ра техн. наук. / Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України. Київ, 2018. 291 с.

Referencis

1. Bobryts'kyu, V.M. (2007). Pidvyshchennya znosostiykosti rizal'nykh elementiv robochykh orhaniv hruntobrobnykh mashyn [Increasing the wear resistance of the cutting elements of the working bodies of tillage machines]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Aulin, V.V. (2015). Trybofizychni osnovy pidvyshchennya znosostiykosti detaley ta robochykh orhaniv sil's'kohospodars'koyi tekhniki [Tribophysical basics of increasing the wear resistance of parts and working bodies of agricultural machinery]. *Extended abstract of doctor's thesis*. Khmel'nyts'kyu [in Ukrainian].
3. Denysenko, M.I., Zazymko, O.V. & Labunets, V.F. (2016). Doslidzhennia poverkhon tertia robochykh orhaniv gruntoobrobnykh silskohospodarskykh mashyn [Research of friction surfaces of working bodies of tillage agricultural machines]. *Problemy tertia ta znoshuvannia: nauk.-tekhn. Zhurnal – Problems of friction and wear: science and technology. magazine, 1 (70)*,150-153 [in Ukrainian].

4. Denysenko, M.I. & Rubl'ov, V.I. (2011). Pidvyshchennya dovhovichnosti robochykh orhaniv hruntobrobnykh mashyn z vykorystanniam tochkovoho zmitsnennya [Increasing the durability of the working bodies of tillage machines using point strengthening]. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia : zb. nauk. prats KNTU – Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation : Collected Works of KNTU, Issue 24, part.2*, 28-35 [in Ukrainian].
5. Denysenko, M.I. & Opal'chuk, A.S. (2011). Znoshuvannya ta pidvyshchennya dovhovichnosti robochykh orhaniv sil'skohospodars'kykh mashyn [Wear and tear and increasing the durability of working bodies of agricultural machines]. *Visnyk TNTU – Bulletin of TNTU, part. 2*, 201-210 [in Ukrainian].
6. Babinets, A.A. et al. (2020). Vplyv amplitudy i chastoty kolyvan elektrodnoho drotu pry duhovomu naplavlenni na formuvannia i strukturu naplavljenoho metalu i proplavlennia osnovnoho metalu [The 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]. *Avtomatychne zvariuvannia – Automatic welding, 10*, 26-33 [in Ukrainian].
7. Materialy zvariivalni. Naplavlennia valka metalu shva dlia khimichnoho analizu. [Welding materials. Welding of a roll of seam metal for chemical analysis.]. (2000).)*DSTU ISO 6847:2004 (ISO 6847:2000, IDT)*, Kyiv [in Ukrainian].
8. Storozhenko M.S. et al. (2020). Rozrobka tekhnolohii i materialiv dlia elektroiskrovoho nanessenia pokryttiv z metoiu pidvyshchennia terminu ekspluatatsii i nadiinosti detalei tekhnolohichnoho i enerhetychnoho obladnannia ta instrumentiv [Development of technologies and materials for electrosark coating in order to increase the service life and reliability of parts of technological and energy equipment and tools] . *Avtomatychne zvariuvannia – Automatic welding, 10*, 21-24 [in Ukrainian].
9. Voloshchenko, S.M. (2018). Stvorennia naukovykh zasad strukturoutvorennia v vysokomitsnomu chavuni dlia pidvyshchennia znosostiikosti zminnykh detalei silhosptekhniky ta transportu [Creation of scientific foundations of structure formation in high-strength cast iron to increase the wear resistance of variable parts of agricultural machinery and transport] . *Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Mykola Denysenko, Assoc. Prof., PhD Tech. Sci.

Nemishayev Vocational College of NUBiP of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Restoration and Strengthening of Parts and Tool of Agricultural Machinery Operating in an Abrasive Environment

The working bodies of tillage agricultural machines (ploughshare, plow shelf, cultivator paw, harrow disc) work in conditions of abrasive operation, shock loads and the impact of external aggressive environment. Their repair is to restore the original size of parts and wear resistance of functional work surfaces. During the operation of tillage machines and units, the working surfaces are subjected to uneven wear, which reduces the life of parts and increases the cost of their replacement and restoration.

The working bodies of tillage agricultural machines (ploughshare, plow shelf, cultivator paw, harrow disc) work in conditions of abrasive operation, shock loads and the impact of external aggressive environment. Their repair is to restore the original size of parts and wear resistance of functional work surfaces. During the operation of tillage machines and units, the working surfaces are subjected to uneven wear, which reduces the life of parts and increases the cost of their replacement and restoration.

The current level of operation of agricultural machinery is characterized by increased speeds and high productivity, which, in turn, leads to increased wear of parts. accordingly, the reliability of the recovered ensure the restorative parts.

Surfacing makes it possible to obtain layers of any thickness and chemical composition on the working surfaces of parts; apply a welded layer with different properties, ie high hardness and wear resistance. In this work we use point (point) hardening, which consists in micro-dripping of the hard alloy into the surface structure of parts that undergo intense abrasive wear. The geometry of the hardening point is a spherical sector, which facilitates the rapid removal of heat from the surfacing bath in the base metal and the environment, so the hardening points harden at high speed and in a short time. At point strengthening of details one of the main conditions providing stable quality of process - coordination of welding current and arc voltage. The sawtooth profile of the ploughshare blade (cultivator paws) is maintained throughout its service life. providing effective cutting even with the blades worked.

We will fully consider the welding stress and deformation of the steel and tungsten carbide, to ensure the using performance of products. About tungsten carbide, we use the most advanced production equipment and the most reasonable production process during the material selection, burdening, pressing and sintering. We

always fully consider the special requirements of different products on the strength, hardness, grain size of tungsten carbide.

share plough, friction surface, abrasive wear, operating longevity, point welding , with carbide coating (with hard metal)

Одержано (Received) 13.05.2023

Прорецензовано (Reviewed) 10.09.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023