УДК 631.7.015:62

М.І. Денисенко, канд. техн. наук, В.І. Рубльов, д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Підвищення довговічності робочих органів грунтообробних машин з використанням точкового зміцнення

У статті представлено огляд існуючих способів зміцнення деталей робочих органів ґрунтообробних машин, розглянуто їх переваги та недоліки. Показано, що найбільш ефективним методом зміцнення робочих поверхонь деталей ґрунтообробних машин є точкове зміцнення – дугове точкове зварювання порошковим дротом – плавким електродом.
абразивне зношування, леміш плуга, лапа культиватора, довговічність, методи зміцнення, ефект самозагострювання, дугове точкове зварювання – точкове зміцнення

Вступ. В умовах неминучого скорочення природних ресурсів набуває вирішення проблем як з ресурсозбереженням, так і з суттєвим збільшенням термінів служби сільськогосподарських машин. Значна частка металу витрачається на виготовлення запасних частин і механізмів, які йдуть на підтримку машино-тракторного парку України в роботоздатному стані. Спрацьовані деталі і вузли переважно йдуть в брухт, але 90% їх можливо відновити, зміцнити та повторно використати при технічному обслуговуванні і ремонті машин, збільшивши їх терміни служби. В зв'язку, з інтенсивним розвитком фермерських господарств і малих сільськогосподарських підприємств, виникла проблема відновлення і зміцнення деталей, що швидко зношуються в умовах дрібно серійного виробництва.

В першу чергу до таких деталей відносяться робочі органи ґрунтообробних машин (диски борін, лапи культиваторів, лемеші плугів). В Україні гостро постала проблема підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин, тому що, ні один із запропонованих методів зміцнення не вирішує це завдання, що призводить до величезних фінансових і трудових втрат в царині виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. При зміцненні загартуванням ці деталі мають дуже низький ресурс: наробіток до заточування лемешів - 8-10 га, лапи культиваторів - через зміну. Такі часті заточування швидко призводять до повного їх спрацювання і заміну їх новими деталями. Об'ємне загартування не забезпечує ні високу зносостійкість деталей робочих органів, ні їх самозаточування.

В теперішній час спостерігається тенденція зниження якості деталей робочих органів ґрунтообробних машин, тому що їх виготовленням займаються підприємства, які раніше ніколи цим не займалися. При цьому часто, на сучасних підприємствах сільськогосподарського машинобудування не дотримуються встановлених технологій їх виробництва, змінюючи геометричні параметри деталей та їх фізико-механічні властивості. Робочі органи, що виготовляються такими підприємствами, не відповідають вимогам якості, і не забезпечують номінального ресурсу роботи.

Основними факторами, які визначають абразивне зношування, є абразивні властивості ґрунтів, що мають наступну порівняльну зношувальну здатність: глинисті 1,0; пісчані 1,5; суглинки 1,9; супісчані 2,3 [1]. Одним з факторів в абразивному зношуванні також є хімічна активність ґрунтів.

© М.І. Денисенко, В.І. Рубльов, 2011

На деяких вітчизняних підприємствах налагоджено виробництво робочих органів вдосконаленої конструкції.

При виготовленні деталей робочих органів машин в основному використовується сталь 65 Г, а зносостійкі покриття наносять методом індукційного наплавлення. Співставлення хімічного складу і твердості, а також даних по зміцненню робочих органів ведучих закордонних виробників з показниками вітчизняного виробництва показує, що робочі органи, які виготовляються фірмами США, Великобританії, Франції, Німеччини значно переважають наші вітчизняні аналоги і володіють на 30-50% вищою зносостійкістю.

Мета роботи. Метою даної роботи є підвищення довговічності деталей робочих органів ґрунтообробних машин точковим зміцненням з утворенням ефекту самозагострювання

Матеріали та методика досліджень. Теоретично доведено, що процеси тертя та зношування локалізовані в елементарному об'ємі, який складається з великої кількості мікрооб'ємів, що знаходяться в контактній взаємодії. При терті абразивних частинок по поверхні деталі в певних умовах відбувається пряме (безпосереднє) руйнування поверхневого шару шляхом зрізування або відривання. З раніше наведених даних відомо, що при зношуванні процеси прямого руйнування складають малу частку від загальної кількості контактів абразивних частинок з поверхнею деталі. Для оцінювання властивостей поверхневого шару в лабораторних умовах знайшли широке використання методи випробувань матеріалів шляхом стирання їх по поверхні абразивну. Аналіз цих методів викладено в роботі [2]. Методика випробування на зношування при терті по шкурці забезпечує точність отриманих результатів за таких умов (малі тиски і швидкості ковзання, абразивні частинки високої твердості і міцності, відсутність нагрівання, неможливість переміщення і руйнування абразивних частинок). Але ці умови не завжди відповідають умовам експлуатації деталей машин.

Ефективними заходами захисту машин від абразивного зношування є підвищення твердості поверхневих шарів їх деталей і вузлів. В роботах М.М. Хрущова М.А. Бабічева [3, 4,9,] показано що твердість матеріалів, яка залежить від енергії зв'язку атомів в кристалічній решітці, в значному ступені визначає опір матеріалів абразивному зношуванню.

Поставлена мета досягається шляхом використання комплексного методичного підходу, що поєднує триботехнічні методи випробування, сучасні методи тонкого фізичного експерименту і прецизійного хімічного аналізу мікрооб'ємів сплавів деталей робочих органів машин і лабораторних зразків, а також абразивного середовища і продуктів зношування. Форми та механізми руйнування визначаються взаємодією поверхонь тертя з абразивним середовищем, сутність якого заключається в ковзанні частинок, пластичному деформуванні сплавів, в місцях контакту, руйнуванні поверхневих об'ємів без відокремлення металу або зі зняттям мікростружки.

Існують дві виразні форми прояву абразивних процесів, що відрізняються характером взаємодії частинок з поверхнею сплаву: I - з перевагою механо - хімічного руйнування(пластичне деформування поверхневих об'ємів, їх окислення та наступне руйнування утворених плівок) і II - перевагою механічного руйнування металу поверхневих шарів (втілення абразивних частинок та руйнування поверхневих об'ємів матеріалу без відокремлення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки). Перша форма є різновидністю механо - хімічного зношування, а друга відноситься до недопустимих при зовнішньому терті процесам пошкодження. [5, 6, 7].

Механо - хімічна модель процесу абразивного зношування включає наступні фази процесу: механічний контакт; пружно – пластичну деформацію; активізацію – утворення тонкого шару деформованого матеріалу; миттєва пасивація – взаємодія активованого металу з хімічно активними компонентами середовища (утворення

послаблених вторинних структур); руйнування вторинних структур після наступного механічного впливу.

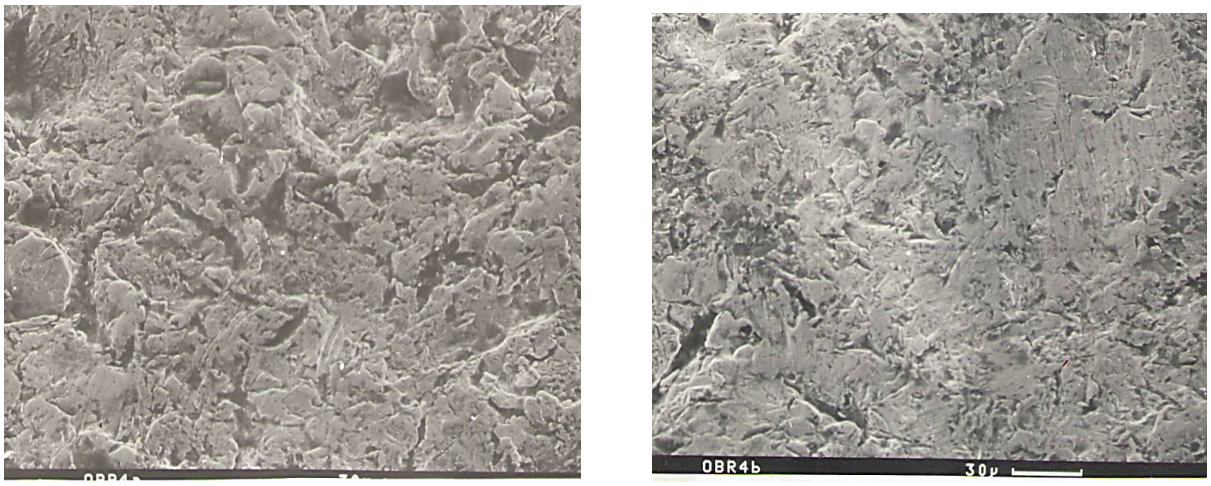
Значно рідше в механізмах спостерігається абразивне зношування з переважанням механічного руйнування.

Механічна модель процесу абразивного зношування включає: механічний контакт та пружно – пластичну деформацію; впровадження абразивних частинок та руйнування поверхневих об'ємів без відокремлення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки.

Механічна форма зношування зв'язана з переходом до граничного по міцності стану металу поверхневих шарів, втілення абразивних частинок, дряпанням та відокремлюванням мікростружки. Прояви механо - хімічної або механічної форм цих видів руйнування залежать від співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів зношуваного матеріалу, величини робочого навантаження на абразивні частинки, їх геометричних розмірів і фізико – хімічної активності середовища.

Результати дослідження та їх обговорення.

Збільшенню терміну служби робочих органів сільськогосподарських машин сприяє самозагострювання лез або робочої кромки в результаті нанесення зносостійких покриттів різними методами. Але більшість використаних методів зміцнення достатньо трудомісткі та малоефективні.



а) *б*)

а – крихкий тип руйнування; *б* – в'язкеруйнування

Рисунок 1 - Руйнування поверхні деталізі сталі 65Г

Дослідження процесів абразивного зношування металів присвячено немало робіт в Україні і за кордоном. Різними дослідниками надаються різні пояснення механізмів абразивного зношування. Найбільш розповсюджені уявлення абразивного зношування, як результат дряпання абразивними частинками, які викликають мікрорізання поверхні металу [9]. На рис. 1 показана фотографія зношеної поверхні деталі зі сталі 65Г. На окремих ділянках спостерігаються сліди одиничних ударів крупних частинок ґрунту. Сліди пошкоджень поверхневого шару деталей переконують в тому що на багатьох ділянках контакту утворюються високі напруження, причому ступінь з'єднання частинок ґрунту буде достатньою для розвитку пошкоджень у подряпини. Робоча поверхня лемеша вказує на протікання інтенсивних процесів направленого пластичного деформування та руйнування поверхневого шару. Деталі робочих органів ґрунтообробних машин при експлуатації зазнають механо - хімічної форми абразивного зношування. Процеси зношування в цих умовах характеризуються незначною

пластичною деформацією поверхневих шарів металу, хімічною взаємодією з різними елементами зовнішнього середовища (волога, гумус, кисень, вуглекислий газ), утворенням і руйнуванням плівок окислів (вторинних структур). Товщина вторинних структур складає 0,01-0,05 мкм [10].

Поряд з утворенням шарів, насичених киснем та іншими хімічноактивними елементами середовища виявлено інтенсивну дифузію вуглецю, азоту та інших менш активних елементів. Тиск ґрунту на леза робочих органів є динамічним, і його можна розглядати, як безперервні удари абразивних частинок [11]. В.Ф.Лоренц [12], сформулювавши поняття «абразивний знос», поділив його на дві основні групи: 1) знос фіксованими частинками абразиву; 2) знос вільними частинками абразиву. Найбільша кількість опублікованих праць присвячена дослідженню умов самозаточування лезових робочих органів (леміш плуга, лапа культиватора, диск борони).

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин Інститутом електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України запропоноване точкове зміцнення, дугове точкове зварювання (ДТЗ) порошковим дротом-плавким електродом. Точкове зміцнення - це мікровкраплення твердого сплаву в структуру поверхонь деталей машин, які зазнають абразивного зношування. Точки зміцнення утворюються при швидкому введенні в метал виробу такої кількості теплоти, яка необхідна для проплавлення конусного кратера, заповнення його розплавом з основного металу і твердого сплаву, і утворення точки зміцнення (рис.3).

Надійність і довговічність робочих органів ґрунтообробних машин визначаються складом, параметрами структури і механічними властивостями матеріалів, які використовуються для їх виготовлення. Деталі плугів, борін і культиваторів, виготовлені з матеріалів, з низькими показниками міцності і ударної в'язкості, швидко ламаються і деформуються, а їх інтенсивне зношування чинить вирішальний вплив на якість виконання машиною технологічного процесу, викликає порушення агротехнічних вимог, що в підсумку призводить до зниження врожайності. Особливу актуальність механічні характеристики набувають при створенні нових машин для прогресивних технологій обробки ґрунту і вирощування сільськогосподарських культур.

Наплавочні матеріали – самозахисні порошкові дроти типу ПП-АН170 (ПП-АН170М), що забезпечують утворення наплавленого шару твердістю HRC 60-65. Регулюванням геометрії наплавленого шару (висота, глибина, частота наплавлення), а також співвідношенням твердості наплавлених дільниць і основного металу в межах 1,5:1, 1,0:1, визначається оптимальна зносостійкість та самозаточування виробів. Леза робочих органів зі змінною геометрією наплавлення в процесі оранки, внаслідок великої різниці в зносостійкості основного і наплавленого шарів, самозаточуються і утворюють хвилясто-ступеневу форму леза, що знижує тяговий опір орного агрегату. (рис. 2).

Лемеші з точковим зміцненням (рис. 2) виготовлені зі сталевого гарячекатаного профілю для лемешів 142-620-Д53 по ГОСТ 8531-78. Наплавлення лемешів здійснюється порошковим дротом ПП-Нп-80х20 РЗТ 26101-84 (ПП-АН170) в структуру поверхні деталі. Наплавлені дільниці є конуси проплавлення, в основному металі, з виступом основи конуса на лицьову сторону деталі.

Рисунок 2 - Леміш плуга після наробітку 49,0 га

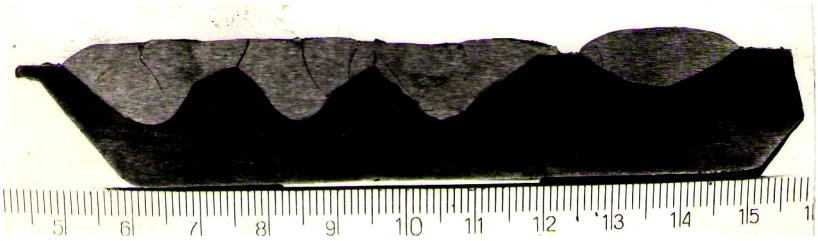


Рисунок 3 - Геометричні параметри точок зміцнення

Точки наплавлення виступають над поверхнею лицевої сторони деталі на величину 1…3 мм та проникають в основний метал на глибину 4…6 мм, утворюючи на поверхні лицевої сторони деталі твердосплавну точку діаметром 18…25 мм і твердістю HRC 60…66 (рис 3).

Пряма полярність струму знижує стійкість технологічного процесу, призводить до утворення бризок, зменшує глибину проплавлення і збільшує висоту точки зміцнення. Тому параметри точкового зміцнення відпрацювали на оберненій полярності. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення. Наприклад, зі збільшенням зварного струму від 400 до 650А, діаметр точки зміцнення зростає з 14,5 до 31 мм, висота з 2,3 до 4,3 мм, а висота наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм.[13]

Необхідна глибина проплавлення, як і інші параметри точкового зміцнення досягається зміною сили зварного струму, напруги і тривалості горіння дуги. Оранка здійснювалася на глибині 25…27 см після збирання зернових культур. В процесі проведення випробувань регулярно здійснювали вимірювання параметрів робочих органів, визначали величину їх зносу. Всі робочі органи пройшли первинну технічну експертизу, промарковані. Показники умов і якості роботи визначали відповідно ГОСТ 20915-75 і ОСТ.4.1-80.

Експериментальні лемеші з точковим зміцненням леза і носової частини встановлювалися на серійному плузі ПЛН-5-35, що агрегатувався з трактором Т-150К. З показників якості роботи експериментальні лемеші по глибині обробки і ширині захвату відповідають технічним умовам. В процесі випробувань експериментальних лемешів

налипання ґрунту не спостерігалося. Експериментальні лемеші з точковим зміцненням підвищеної зносостійкості (ПНЧС-702У) відповідають вимогам по обробці ґрунту.

Питомий опір ПЛН-5-35 з експериментальними лемешами при швидкості руху 2,08 м/с складає 6,27 Н/см^2, що на 2,5% менше (в межах похибки вимірювань), ніж ПЛН-5-35 з серійними лемешами. Так як різниця питомих показників знаходиться в межах похибки вимірювань, значення питомих показників агрегатів, що порівнюються, можна вважати однаковими. По тяговим показникам потужності трактор Т-150К в агрегаті з ПЛН-5-35 з експериментальними лемешами забезпечує стійке виконання технологічного процесу, завантаження двигуна при русі зі швидкістю 2,08 м/с склала 94,6%.

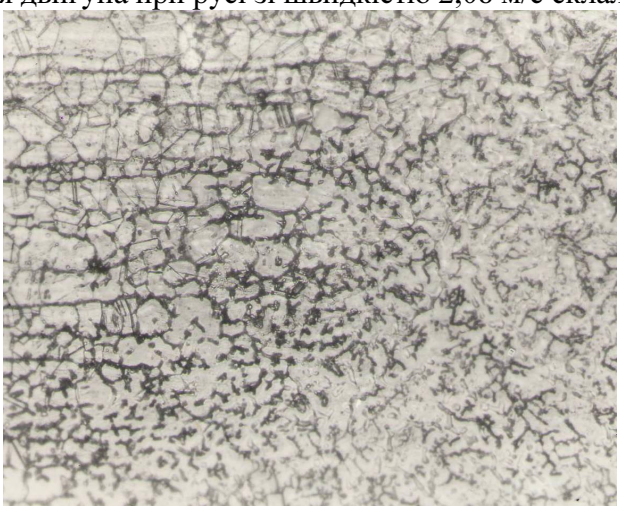


Рисунок 4 - Мікроструктура точки зміцнення лемеша плуга, х 200

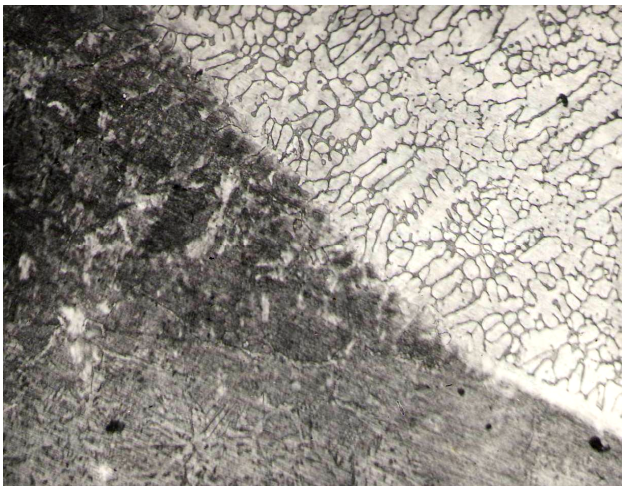


Рисунок 5 - Лінія сплавлення з верхнім і середнім шаром, х 200

Висока зносостійкість експериментальних лемешів в умовах абразивного зношування передбачає наявність в структурі наплавленого шару карбідів тугоплавких металів.

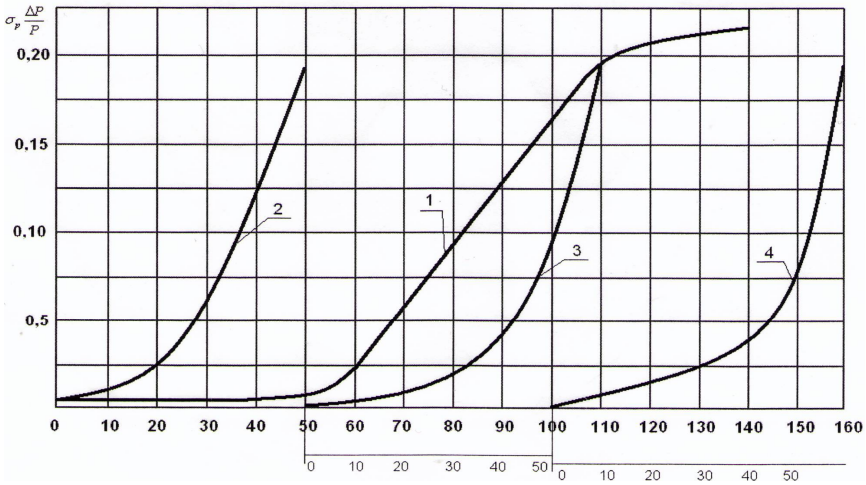
Утворення карбідної фази, в основному, можливо двома шляхами: за рахунок роздільного легування карбідоутворюючими елементами і вуглецем наплавленого сплав або за рахунок комплексного легування, коли в покриття вводяться готові карбідні з'єднання. Другий спосіб дозволяє значно спростити регулювання структури наплавленого металу. Мікроструктура точки зміцнення, це карбіди бору B_4C (рис. 5), бор знаходиться в складі шихти, в чистому вигляді. При точковому зміцненні, спостерігаємо (рис. 4), що боріди розподілені по границя зерен, з відсутністю загартованих структур і

тріщин. При використанні таких матеріалів експлуатаційне навантаження діє в основному на включення твердої пружно-пластичної матриці, та відбувається релаксація напружень. Існують більш тверді матеріали, наприклад, алмаз, карбід бора, карбід кремнію. Перевагою використання таких матеріалів для зносостійких покриттів є можливість його оптимального вибору і процентного вмісту в матриці сплаву і величини зерна в залежності від умов абразивного зношування. Точкове зміцнення (дугове точкове зварювання) порошковим дротом – плавким електродом забезпечує більш тривалий термін експлуатації робочого органу в порівнянні з серійною технологією, індукційне наплавлення твердим сплавом ПГ-С27 (рис. 6).

В процесі зношування відбувається сегрегація атомів на поверхні тертя, тобто карбіди бору утворюються на границях зерен (рис. 5). Серійна технологія індукційного наплавлення не забезпечує досягнення передбаченої довговічності лемешів, лап культиваторів, дисків борін. При точковому зміцненні наплавлений шар не розтріскується, практично утворюється лита структура. Крім того, самозахисний порошковий дріт ПП-АН170 (ПП-АН170М) захищає зону зварювання.

Наплавлення дозволяє підвищити стійкість деталей машин проти зношування, головним чином, абразивного, електрохімічної корозії, ерозії, кавітаційного руйнування, окалиноутворення, термічної і контактної втоми. Наплавлення широко використовують для відновлення розмірів спрацьованих деталей машин, що дозволяє замінити в деталях високолеговані сталі вуглецевою, а кольорові метали – чорними. В теперішній час є велика кількість наплавлених матеріалів, що дає можливість конструктору підібрати необхідні за умовами роботи матеріали для наплавлення поверхонь деталей машин.

Найбільший наробіток (140 га) мають лемеші з точковим зміцненням. Із 9 випробувальних лемешів тільки один леміш досяг граничного зносу по носку, решта лемешів мають 140 га наробітку і придатні до подальшої експлуатації. Поломок лемешів даного типу в процесі випробувань не було. По загально досягнутому для всіх лемешів наробітку, лемеші з точковим зміцненням переважають серійні в 2,8 рази .



1 – леміш з точковим зміцненням; 2 – серійний леміш (перша установка);
3 - серійний леміш (друга установка); 4 – серійний леміш (третя установка)

Рисунок 6 - Відносний знос за масою серійного та зміцненого лемешів

Для визначення відносної зносостійкості за вагою і довжині носка побудовані графіки (рис. 6). Відносна зносостійкість за вагою зміцненого лемеша в 2,2 рази вище серійного, і відносна зносостійкість носка в 2,8 рази вище серійного. Таким чином, леміш з точковим зміцненням може замінити по наробітку три серійних лемеші Значення величини середньоквадратичного відхилення і коефіцієнту варіації

параметрів робочих органів з точковим зміцненням свідчать про стабільність технологічних процесів їх виготовлення.

Висновки.

1. Теоретично і експериментально доказано, що на утворення ефекту самозагострювання та зносостійкість деталей робочих органів впливають властивості матеріалу їх виготовлення, методи зміцнення, властивості абразивного середовища і товщина зміцненого шару.

2. Висока зносостійкість в умовах абразивного зношування забезпечується наявністю в структурі наплавленого шару карбідів тугоплавких металів.

3. Застосування точкового зміцнення (дугового точкового зварювання) порошковим дротом - плавким електродом підвищує ресурс робочих органів ґрунтообробних машин у 1,5…2,8 рази в порівнянні з серійним індукційним наплавленням.

Список літератури

1. Боголюбов Б.Н. Долговечность землеройных и дорожных машин. М., «Машиностроение», 1964.- 224с.
2. Хрущёв М.М. Износостойкость и структура твёрдых наплавок./М. Хрущёв, М. Бабичев. – М.: Машиностроение, 1971. – 95 с.
3. Хрущёв М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М., «Наука», 1970. 272 с.
4. Хрущёв М.М., Бабичев М.А. Исследование влияния твёрдых абразивных частиц на изнашивания материалов. – В сб.: «Износ и антифрикционные свойства материалов» Сб. XX М.. «Наука».
5. Поверхностная прочность материалов при трении/[Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. и др.]; Под общ.ред. Костецкого Б.И.-К.: Техника, 1976.-296с.
6. Костецкий Б.И. Механо-химические процессы при граничном трении /Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И.; - М: Наука, 1972.- 170 с.
7. Костецкий Б.И. Износостойкость и антифрикционность деталей машин /Б. Костецкий, И. Носовский-К.: Техника, 1965.-206 с.
8. Хрущёв М.М., Бабичев М.А. Исследование изнашивания металлов. М., Изд-во АН СССР, 1960.- 264с.
9. Хрущёв М.М. Классификация условий и видов изнашивания деталей машин/Хрущёв М.М. – М.: Изд. АН СССР. Сб. VIII 1953.
10. Костецкий Б.И. О роли кислорода при трении скольжения/Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Никитин Л.В. – Машиноведения, 1965. № 6.
11. Синеоков Г.Н. Механизация и электрификация сельского хозяйства России./Г. Синеоков, И. Панов. - № 9, 2003. с. 20-22.
12. Лоренц В.Ф. Износ деталей, работающих в абразивной среде/ Лоренц В.Ф. – М.: Изд. АН СССР, 1959. – Выпуск №1, «Трение и износ в машинах».
13. Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом/[Терещенко В.И., Шаровольский А.Н., Сидоренко К.А.] К. Автоматическая сварка, 1983. - № 9. - С. 51-53.

Н. Денисенко, В. Рублёв

Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием точечного упрочнения

В статье дан анализ современных методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин, рассмотрены их преимущества и недостатки. Показано, что, наиболее эффективным методом упрочнения рабочих поверхностей деталей почвообрабатывающих машин является точечное упрочнение – дуговая сварка порошковой проволокой (плавящимся электродом).

N.Denysenko, V.Rublov

Increase of operating longevity part element tool cultivation machines

In article present introduce the present method hardening working tool cultivation machine, them advantage and defect. Demonstrate, what the greatest effective method hardening force surface part cultivation machine have – point hardening, point consumable – electrode are welding flux cored electrode.

Одержано 08.06.11