

УДК 631.3.631.31.021:62-192 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.40-47](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.40-47)

М.І. Денисенко, доц., канд. техн. наук

ВСП «Немішаївський фаховий коледж НУБіП України», смт Немішаєве, Бучанський район, Київська область

e-mail: mdenisenko317@gmail.com

Підвищення технічного ресурсу і довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин

Робочі органи ґрунтообробних сільськогосподарських машин (леміш, полиця плугу, лапа культиватора, диск борони) працюють в умовах абразивного спрацювання, ударних навантажень та впливу зовнішнього агресивного середовища. Їх ремонт полягає у відновленні вихідних розмірів деталей та зносостійкості функціональних робочих поверхонь. В процесі експлуатації ґрунтообробних машин і агрегатів робочі поверхні зазнають нерівномірного зношування, що зменшує ресурс деталей та збільшує витрати на їх заміну і відновлення.

леміш плугу, поверхня тертя, абразивне спрацювання, експлуатаційна довговічність, точкове зварення

Постановка проблеми. На думку засновника землеробської механіки академіка В.П.Горячкіна, оранка, як найбільш розповсюджена енерговитратна технологічна операція обробітку ґрунту, є найбільш тривалою та дорого вартісною. На її виконання витрачається до 40% енергетичних і 25% трудових витрат [1].

Як показують статистичні дослідження, леміш плугу в середньому підлягає заміні після 20 га обробленого ґрунту (ця цифра може бути різною, в залежності від типу ґрунту) відновлення зносостійкими покриттями дозволяє експлуатувати леміш більше 100 га. Відповідно до технічних умов гарантійне напрацювання лапи культиватора повинна бути не менше 25 га. Але, як показує практика експлуатації таких деталей, їх наробіток на відмову на різних ґрунтах не перевищує 14-19 га [2].

В процесі експлуатації ґрунтообробних сільськогосподарських машин і комбінованих агрегатів поверхні тертя їх робочих органів зазнають нерівномірного абразивного зношування, що призводить до зменшення ресурсу деталей та зростання витрат на їх заміну і відновлення, так наприклад середній наробіток на відмову долотоподібних лемешів складає від 5 до 20 га, грудин полиць – від 10 до 100 га, польових дощок – від 20 до 60 га, а лап культиваторів – від 7 до 18 га [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення довговічності та зменшення металоємності робочих органів ґрунтообробних машин в останні роки постає особливо актуальними. Дослідження показують, що інтенсивність спрацювання робочих органів настільки велика, що в окремих випадках необхідність в ремонті виникає через 2-3 години роботи лемеша плугу або лапи культиватора.

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.

За даними досліджень [4] при зношуванні леза плужного лемеша до 5-7 мм по товщині, нерівномірність глибини ходу досягає 62-68%, тяговий опір зростає до 153-156%, витрати палива зростають до 125-138%, а продуктивність агрегатів зменшується до 52-59%. У більшості випадків робочі органи, втративши в результаті зношування вихідну форму, працюють значну частину терміну служби з такими показниками: неякісним заглибленням і підрізанням кореневої системи рослин, зростанням тягового опору. Лапи культиватору під час роботи затуплюються і зменшуються по ширині захвату. Як відомо, для виготовлення змінних деталей (лемешів плугів, лап культиваторів, дисків борін) робочих органів використовуються конструкційні сталі 40, 40Х, Л53, 65Г та традиційні методи термічної обробки (гартування і відпускання), при цьому твердість поверхні тертя складає 39-48 HRC_c, показник міцності не перевищує 900 – 1000 МПа. Леміш плугу ремонтують тоді, коли ширина його зменшується на 10 мм у порівнянні з шириною нової деталі або коли довжина носка лемеша зменшується на 25 мм у порівнянні з довжиною носка нової деталі.

Але, як свідчить практика, така термообробка не дає суттєвого ефекту і не виключає прямого пошкодження їх ріжучої частини шляхом шкрябання і різання частинками кварцу. Інтенсивність спрацювання таких деталей досягає 0,3 мм/км [5]. Були проведені масштабні дослідження та здійснено серійне впровадження технологій індукційного наплавлення твердими сплавами «сормайт» деталей робочих органів ґрунтообробних машин [5,6] на підприємствах сільськогосподарського машинобудування України. Але такий спосіб зміцнення не дозволяє отримати ефект самозагострювання леза робочого органу від великої різноманітності ґрунтів, і, як наслідок, суттєве підвищення тягового опору агрегатів і паливно-мастильних матеріалів.

Постановка завдання. Таким чином, метою роботи є підвищення технічного ресурсу і довговічності деталей та робочих органів ґрунтообробних машин шляхом використання та вдосконалення дугового точкового зварення (ДТЗ) порошковим самозахисним дротом – плавким електродом ПП-АН170 (ПП-АН170М) відкритою дугою.

Виклад основного матеріалу. Підвищення довговічності деталей і робочих органів машин є складним завданням, наукові основи якого розроблені не достатньо аргументовано і дуже слабкі, 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, котрі визиваються зносом поверхонь тертя.

Проблема підвищення зносостійкості лемеша плугу, лапи культиватора, дисків борін поєднана зі специфічними умовами їх технічної експлуатації та деякими порушенням технологічного процесу при виготовленні, котрі призводять до надвеликих масштабів випуску названих деталей (млн. штук) та малому технічному ресурсу (8-12 га в посушливих південних районах України лемеші плугів, лапи культиваторів і диски борін треба ремонтувати або замінювати щозміни [3,5].

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. Для ремонту найбільш перспективно використання дугового точкового(крапкового) зварення (ДТЗ) плавким електродом – порошковим дротом. Вказаний метод зміцнення розроблено науковцями Інституту електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України [8], і відомий при виготовленні зварних конструкцій, але ще не отримав широкого використання.

Випробуванню підлягали наступні робочі органи машин:

- лемеші вальцовані з носком, зміцненим по методу фірми «РАБА»Угорщина (ПНЧС-702Р),
- лемеші вальцовані з намороженим носком по методу фірми «Рабаверк», Німеччина (ПНЧС-702ВН),
- лемеші ПНЧС-702У з точковим (крапковим) зміцненням лезу і носка
- вальцьовані з намороженим носком і точковим (крапковим) зміцненням леза (ПНЧС-702ВУН).

Оранка здійснювалася на глибину 25 – 27 см після збирання зернових культур. Критеріями граничного стану – це затуплення леза лемеша, або їх поламка та згин носка. В процесі проведення випробувань регулярно здійснювалися вимірювання параметрів робочих органів, що визначають їх знос. Всі робочі органи пройшли первинну технічну експертизу, промарковані, після закінчення випробувань проведена підсумкова технічна експертиза. Вдосконалений спосіб ДТЗ (крапкового зміцнення) дозволяє зменшити витрати на виготовлення робочих органів за рахунок суміщення операцій отримання заглиблень в основному металі та зміцнення дільниць твердим сплавом (рис.1, 3), а зносостійкість досягаємо за рахунок виконання наплавлених дільниць зі зменшеним перерізом по товщині деталі і часткового суміщення між собою крапок зміцнення. Наплавлення порошковими дротами можливо виконувати під флюсом, у захисному газі або відкритою дугою. Суть дугового крапкового процесу полягає у наступному: під впливом електричної дуги відбувається вкраплення твердого сплаву (порошковий дріт) на певну глибину і по відповідній експоненті.

Геометрична форма крапки зміцнення сприяє швидкому відведенні теплоти від наплавочної ванни в основний метал і зовнішнє середовище, тому крапки застигають з великою швидкістю і за короткий час. При ДТЗ особливого значення набуває визначення моменту дійсного збудження дуги. Пояснюється це тим, що при зваренні плавким електродом, дуга не завжди починає горіти з першого дотику, і це чинить суттєвий вплив на розміри крапок шва. На рис.1 показана схема поперечного розрізу крапки зміцнення (геометрія крапки зміцнення), яка може мати форму сферичного сектору або шарового сегменту.

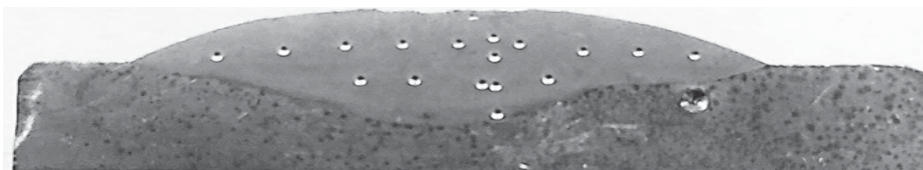


Рисунок 1 – Геометрія крапки зміцнення

Джерело: розроблено автором

Вилучити такий вплив вдалося завдяки створенню електронного обладнання, що забезпечує фіксацію дійсного моменту збудження дуги. Наплавлені крапки виконують також частково суміщеними між собою на величину до 1/5 діаметрів їх основ, що забезпечує спрацювання основного металу від заданої сторони і за рахунок цього утворення процесу самозагострювання і, відповідно, зниження зносу [8].

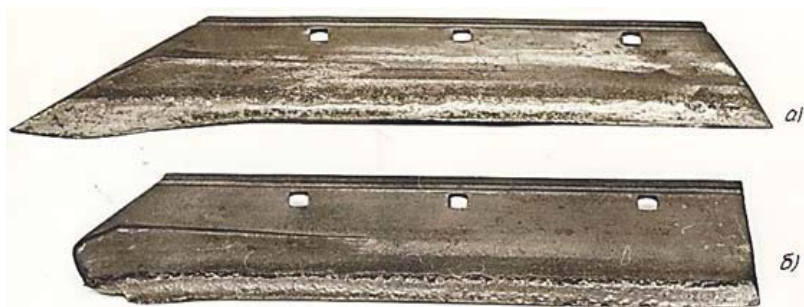
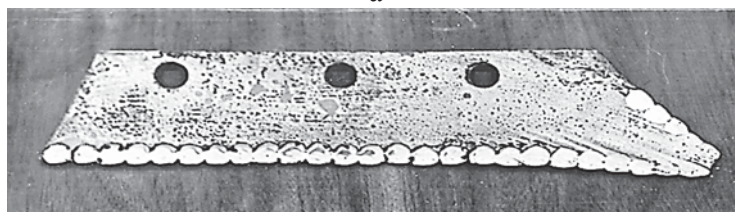


Рисунок 2 – Леміш ПНЧС01-702У серійний, наробіток 29,2 га

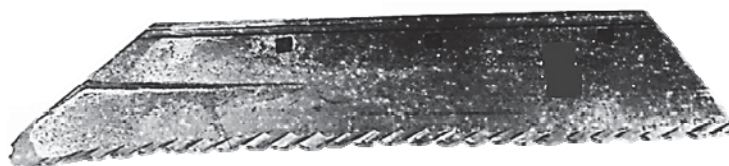
Джерело: розроблено автором



а



б



в

а) –точкове, крапкове зміцнення; б, в. – поверхня лемеша після наробітку 49,1 га
Рисунок 3 – Вихідна поверхня

Джерело: розроблено автором

На рисунку 2 зображено леміш серійний, зміцнений сплавом ПГ-С27: а) новий леміш, б) леміш після наробітку 29,2 га.

Дуже помітно, що утворюється пилкоподібний профіль, ефект самозагострювання на лемешах з крапковим зміцненням (рис.3 б,в), який зберігається протягом усього терміну експлуатації, забезпечуючи ефективне різання навіть при спрацьованих лезах. Оптимальну висоту крапки зміцнення вибираємо в залежності від функціонального призначення робочого органу машин.

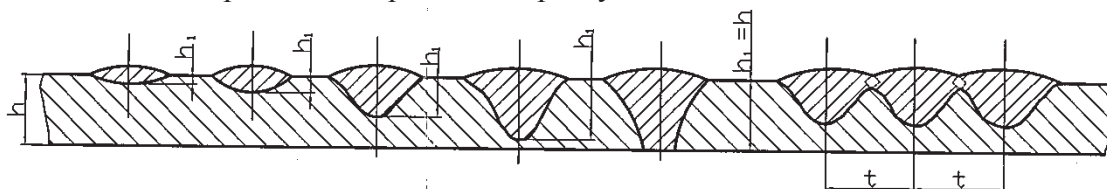
h – товщина основного металу, h_1 – глибина проплавлення при дуговому крапковому наплавленні,
t – крок проставлення крапок

Рисунок 4 – Можливі профілі крапки зміцнення при ДТЗ

Джерело: розроблено автором

Основні параметри точкового (крапкового) зміцнення відпрацьовані та уніфіковані для деталей і робочих органів ґрунтообробної техніки (рис.4): лемешів плугів зі сталі Л53, 65Г, польових дощок, доліт культиваторів зі сталі 45, лап і ножів культиваторів, грудин відвалів. Для наплавлення використовували самозахисний дріт марки ПП-Нп80Х20РЗТ С 2,0 3,2(ПП-АН170), після зміцнення твердість 60-65 HRC_c; ПП-Нп150Х15РЗТ2 С 2,2 3,2 (ПП-АН170М), твердість 50-58 HRC_c.

Для деталей, що працюють в умовах абразивного зношування 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% з твердістю від 48 до 60 HRC, і використовується для зміцнення деталей сільськогосподарської техніки. Найбільш широке використання у промисловості знаходять електроди системи легування вуглець-хром-бор, що забезпечує утворення у структурі наплавленого покриття значну кількість зміцнюючої фази, що містить бор у карбідах або борідах.

Карбіди можуть бути первинними або вторинними, а також утворювати різноманітні карбідні (борідні) евтектики [9]. Розташування карбідів і форма їх утворень впливають на властивості матеріалів: їх твердість, зносостійкість, ударостійкість. (рис.5)

Суттєвий вплив на зносостійкість наплавленого металу чинить структурний стан його матриці. Дослідження та досвід показує, що кращі результати при інтенсивному абразивному зношуванні забезпечує мартенситно-аустенітна матриця.



a

b

Рисунок 5 – Мікроструктура перехідної зони (*a*) і крапкового покриття (*b*), зміцненого порошковим дротом ПП-АН170 на сталі Л53:х100

Джерело: розроблено автором

Мікроструктура металу шва складається з карбідів, борідної евтектики і мартенсита (рис.5 *a*, *b*). В зоні термічного впливу структура феритно - перліто-бейнітна. Метал дільниці неповної перекристалізації складається з фериту і розрихленого перліту. Бориди розподілені по границям кристалізаційних дільниць.

Основний метал має (рис.6.) ферито-перлітно-бейнітну структуру з різною величиною зерна . В основному металі і в зоні термічного впливу багато сульфідних включень. У зразку на лінії сплавлення спостерігається перемішування металу покриття з основним металом. Твердість наплавленого покриття висока, суттєве підвищення твердості спостерігається поблизу лінії сплавлення. На лінії сплавлення не утворюється кристалізаційних прошарків, а бачимо плавний перехід від металу наплавлення до основного металу. В основному металі присутне велика кількість рядкових сульфідів.

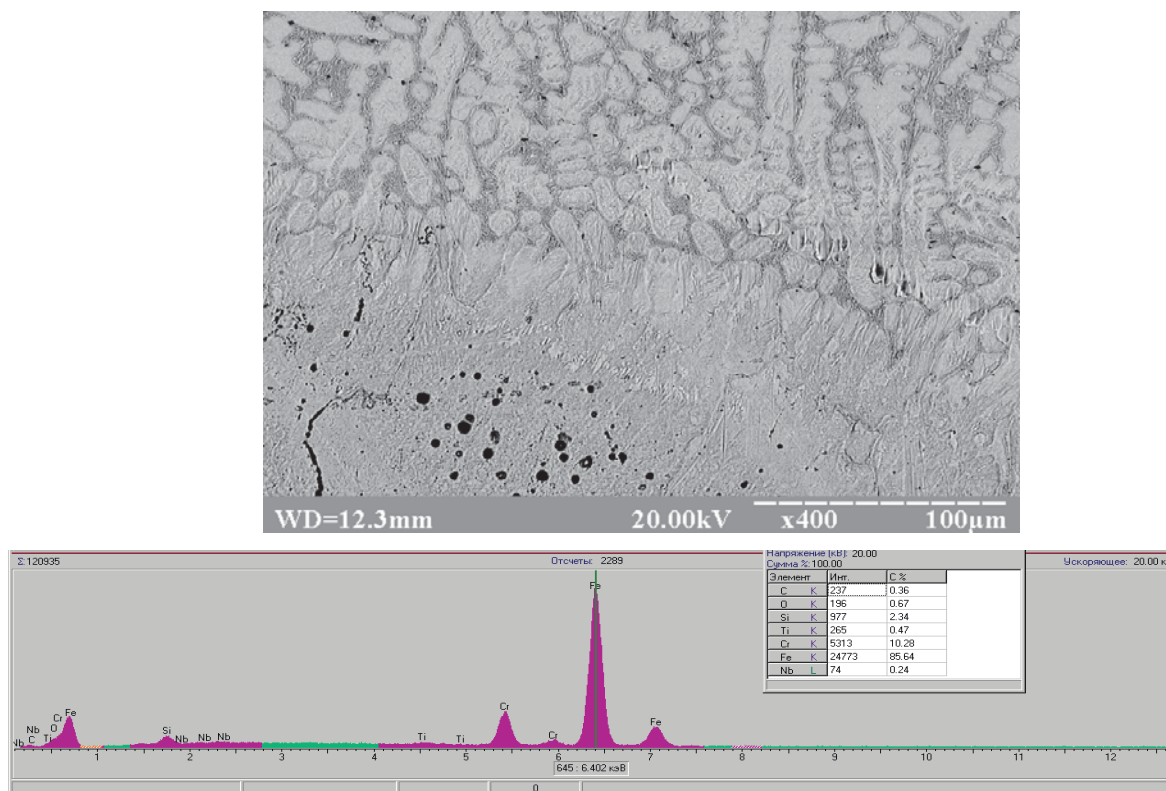


Рисунок 6 – Електронна фотографія та будова поверхневого шару точкового покриття на сталі 65Г (порошковий дріт ПП-АН170)

Джерело: розроблено автором

Висновки. Точкове зміцнення порошковим дротом плавким електродом ПП-АН170 (ПП-АН170М) робочих органів ґрунтообробних машин у порівнянні з індукційним наплавленням твердим сплавом ПГ-С27 та іншими технологіями зміцнення підвищує їх технічний ресурс і довговічність у 2-3 рази.

Точкове зміцнення можливо здійснювати як в невеличких майстернях сільськогосподарських підприємств, а також у польових умовах за наявності джерела живлення.

Дугове точкове зварення порошковим дротом, (FCAW) дозволяє здійснювати наплавлення на деталях різної геометрії, має високу продуктивність, можливе використання у польових умовах, завдяки проведенню зварювання відкритою дугою; при зварюванні самозахисними дротами не треба використовувати захисні гази.

Вдосконалено технологію дугового точкового зварювання (ДТЗ), що дозволяє зменшити на порядок витрати електроенергії за рахунок зменшення тривалості зміцнення поверхні тертя робочого органу.

Список літератури

1. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня 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. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04. Хмельницький, 2015. 36 с.
3. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.20.03. Москва, 2008. 39 с.
4. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе, В.О. Китиков. Минск: Белорус. Навук, 2011. 333 с.

5. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания . М.: Машиностроение, 1995. 336 с.
6. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтобробних машин з використанням точкового зміцнення . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2011. Вип.24(2). С.28-35.
7. Денисенко М.І., Опальчук А.С. Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин . *Вісник ТНТУ*. 2011. Спецвипуск. Ч.2. С.201-210.
8. Клюенко В.Н., Балан В.П. Точечное упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин . Тракторы и сельскохозяйственные машины. М. : Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1989. С.54-57.
9. Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов / И.А.Рябцев и др. *Автоматическая сварка*. № 5-6. 2015. С.84-88.

References

1. Bobryts'kyu, V.M. (2007). *Pidvyshchennya znosostiykosti rizal'nykh elementiv robochykh orhaniv hruntobrobnykh mashyn [Improving 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 bases of increase of wear resistance of details and working bodies of agricultural machinery] . *Extended abstract of Doctor's thesis*. Khmel'nyts'kyu [in Ukrainian].
3. Novykov, V.S. (2008). Obespechenye dolhovechnosti rabochykh orhanov pochvoobrabatyvayushchykh mashyn [Ensuring the durability of the working bodies of tillage machines] . *Extended abstract of Doctor's thesis*. Moscow [in Russian].
4. Severnev, M.M., Podlekarev N.N., Sokhadze V.Sh. & Kytykov V.O. (2011). *Yznos y korrozyya sel'skokhozyaystvennykh mashyn [Wear and corrosion of agricultural machinery]*. Mynsk: Belorus.Navuk [in Russian].
5. Tkachev, V.N. (1995). Rabotosposobnost' detaley mashyn v uslovyakh abrazyvnoho yznashyvannya [Performance of machine parts under abrasive wear conditions]. Moscow : Mashynostroenyie [in Russian].
6. 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 with the use of point reinforcement]. *Zbirnyk naukovykh prats Tsentralnoukrainskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collected Works of Kirovohrad National Technical University. Machinery in Agricultural Production, Industry Machine Building, Automation , Vol.24(2), 28-35* [in Ukrainian].
7. Denysenko, M.I. & Opal'chuk, A.S. (2011). Znosuvannya ta pidvyshchennya dovhovichnosti robochykh orhaniv sil's'kohospodars'kykh mashyn [Wear and tear of working bodies of agricultural machines] . *Visnyk TNTU – Scientific journal of TNTU, Special issue, part 2, 201-210* [in Ukrainian].
8. Klyuenko, V.N. & Balan, V.P. (1989). *Tochechnoe uprochnenye rabochykh orhanov pochvoobrabatyvayushchykh mashyn [Point hardening of the working bodies of tillage machines]*. Moscow : *Traktory y sel'skokhozyaystvennye mashyny* [in Russian].
9. Ryabtsev, Y.A., Panfylov, A.Y., Babynets, A.A., Ryabtsev, Y.Y., Hordan', H.N. & Babyychuk, Y.L. (2015). *Struktura y yznosostoykost' pry abrazyvnom yznashyvanny naplavlennoho metalla, uprochnennoho karbydamy razlychnykh typov [Structure and wear resistance during abrasive wear of deposited metal hardened with various types of carbides]*. Kiev: Avtomatycheskaya svarka [in Russian].

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

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

Improving the Technical Resource and Durability of the Working Bodies of Tillage Agricultural Machines

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 machines will depend on the wear resistance and fatigue strength of the recovered parts. The leading place in the repair of machines is occupied by welding and surfacing processes, which account for about 80% of all 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.

share plough, friction surface, abrasive wear, operating longevity, point welding

Одержано (Received) 17.01.2022

Прорецензовано (Reviewed) 03.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 31.03.2022

УДК 621.577:658

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.47-54](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.47-54)

М.В. Босий, ст. викл., **В.М. Кропівний**, проф. канд. техн. наук., **О.В. Кузик**, доц. канд. техн. наук., **А.В. Кропівна**, доц., канд. техн. наук. **Л.А. Молокост**, ст. викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, України
e-mail: bosiytv@ukr.net; kuzikov1985@gmail.com*

Термодинамічна енергоефективність парокомпресійного теплового насоса на ґрунтових водах

В статті розглянуто термодинамічну енергоефективність парокомпресійного теплового насоса (ПКТН) при використанні природних джерел теплової енергії довкілля, зокрема ґрунтових вод. Представлені схема ПКТН «вода-вода» для системи тепlopостачання, температурні рівні в загальній системі ПКТН «вода-вода» та наведено приклад роботи циклу ПКТН «вода-вода» в $p-h$ діаграмі для пропана (R290). Приведено результати термодинамічного дослідження енергоефективності застосування ПКТН при використанні ґрунтових вод як джерела низькопотенційної теплової енергії. Розглянуто застосування чистих вуглеводнів як робочих речовин для ПКТН, а також метод оцінки енергоефективності за ексергетичним аналізом термодинамічних процесів перетворення енергії, що відбуваються в ПКТН, робочим тілом якого є холодильний агент R290. Енергетичну ефективність ПКТН оцінювали коефіцієнтом перетворення ТН COP, він за розрахунками дорівнює 4,5. Термодинамічну ефективність ПКТН в системах тепlopостачання розглядали за допомогою ексергетичного ККД в залежності від середньотермодинамічних температур теплоносіїв в конденсаторі і випарнику, який характеризує досконалість перетворення енергії і становить 44 %.

тепловий насос, низькопотенційне джерело енергії, енергоефективність, коефіцієнт перетворення ТН (COP), ексергетичний ККД ТН, система тепlopостачання

© М.В. Босий, В.М. Кропівний, О.В. Кузик, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост, 2022