

СТВОРЕННЯ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ РЕМОНТ І НАДІЙНІСТЬ МАШИН

УДК 621.791.927.5

Обґрунтування раціональних параметрів зміцнення робочих органів грунтообробних машин способом електроконтактного оброблення

Василенко М. О.,

к.т.н., с.н.с., зав. відділу, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Буслаєв Д. О.,

н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Калінін О. Є.,

н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Кононогов Ю. А.,

пров. інж., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Анотація

Мета. Обґрунтування раціональних параметрів зміцнення робочих органів грунтообробних машин способом електроконтактного оброблення.

Методи. Експериментальні, математико-статистичні, монографічний.

Результати. Обґрунтовано раціональні параметри локального зміцнення, що дозволяє підвищити зносостійкість поверхонь робочих органів оплавленням їх із використанням електроконтактного оброблення.

Висновки

1. За результатами теоретичних досліджень визначено тепловий баланс процесу електроконтактного оброблення, який дозволяє

встановити найбільш вагомні фактори, що впливають на енергетичні показники процесу, а саме керованої напруги U дугового процесу електроконтактного оброблення.

2. За результатами експериментальних досліджень встановлено раціональні значення керованої напруги U під час процесу електроконтактного оброблення в межах 35–55 В, які забезпечують шорсткість поверхні в межах від 0,4 до 1,0 мм.

Ключові слова: електроконтактне оброблення, зносостійкість, зміцнення, режими, робочі органи грунтообробних машин, тепловий баланс, шорсткість.

UDC 621.791.927.5:631.316.022.4

Increased durability parts of tillage machines, adapted to soils of different types

Vasylenko M. O.,

PhD, Senior Researcher, Head of the research department, National scientific center “Institute of agricultural engineering and electrification”

Buslaiev D. O.,

Researcher, National scientific center “Institute of agricultural engineering and electrification”

Kalinin O. Ye.,

Researcher, National scientific center “Institute of agricultural engineering and electrification”

Коновог Ю. А.,

Lead Engineer, National scientific center "Institute of agricultural engineering and electrification"

Annotation

Purpose. Justification of rational parameters of hardening of the working bodies of tillage machines by the method of electro arc processing.

Methods. The experimental, mathematical and statistical, monographic.

Results. The technology of local hardfacing, which improves the wear resistance of the surfaces of the parts of modification with the use of electro arc processing and with additional point hardfacing with the use of variations in processing modes, various technological methods and materials for adaptation to specific operating conditions.

Conclusions

1. According to the results of theoretical studies, the heat balance of the process of electrical

contact processing was determined, which allows to determine the most significant factors affecting the energy performance of the process, namely, the controlled voltage U of the arc process of electrical contact processing.

2. According to the results of experimental studies, rational values of the controlled voltage U in the process of electro arc processing within 35–55 V were established, which ensures surface roughness in the range from 0.4 to 1.0 mm.

Keywords: electro arc processing, hardfacing, heat balance, parts of tillage machines, regimes, roughness, wear resistance.

УДК 621.791.927.5:631.316.022.4

Обоснование рациональных параметров упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин способом электроконтактной обработки

Василенко М. А.,

к.т.н., с.н.с., зав. отдела, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Буслаев Д. А.,

н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Калинин А. Е.,

н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Коновог Ю. А.,

вед. инж., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Аннотация

Цель. Обоснование рациональных параметров упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин способом электроконтактной обработки.

Методы. Экспериментальные, математико-статистические, монографический.

Результаты. Обоснованы рациональные параметры локального упрочнения, что позволяет повысить износостойкость поверхностей рабочих органов оплавлением их с использованием электроконтактной обработки.

Выводы

1. По результатам теоретических исследований определен тепловой баланс процесса электроконтактной обработки, который позволяет установить наиболее значимые факторы,

влияющие на энергетические показатели процесса, а именно управляемое напряжение U дугового процесса электроконтактной обработки.

2. По результатам экспериментальных исследований установлены рациональные значения управляемого напряжения U в процессе электроконтактной обработки в пределах 35–55 В, что обеспечивает шероховатость поверхности в пределах от 0,4 до 1,0 мм.

Ключевые слова: износостойкость, рабочие органы почвообрабатывающих машин, режимы, тепловой баланс, упрочнение, шероховатость, электроконтактная обработка.

Постановка проблемы. Робочі органи ґрунтообробних машин відносяться до найбільш швидкозношуваних деталей сільсько-

господарської техніки. У разі зношування лезових частин робочих органів до граничних значень деталі вибраковують та замінюють новими або відновлюють у спосіб відрізування зношених частин та приварювання замість них ремонтних елементів.

Електроконтактний спосіб оброблення деталей забезпечує одночасне загострення і зміцнення відновлених робочих органів ґрунтообробних машин та їхніх ремонтних елементів. Додаткове точкове зміцнення абразивностійкими електродами в локальних місцях найбільшого зношення робочих органів ґрунтообробних машин забезпечить підвищення їхньої довговічності залежно від типу ґрунту, де вони експлуатуються.

Тому обґрунтування параметрів і режимів електроконтактного оброблення робочих органів ґрунтообробних машин є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню підвищення довговічності ґрунтообробних робочих органів присвячена значна кількість останніх публікацій, в яких досліджено характер їхнього зношування [1, 2], охарактеризовано нові зміцнюючі матеріали та технології [3–6].

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин одним із перспективних методів електроерозійного оброблення є електроконтактне оброблення, що має більшу продуктивність і менше зношення електрода інструмента, порівнюючи з іншими методами електроерозійного оброблення (електроіскрового та електроімпульсного) [7–8].

Під час електроконтактного оброблення знімання металу здійснюється нестационарними електричними розрядами. Ці розряди виникають під час зближення інструмента, що обертається, з оброблюваним виробом до відповідного міжелектродного зазору [9].

Відповідно до класифікації Л. Я. Попілова [10] електроконтактне оброблення залежно від напруги прийнято розділяти на три види, що відрізняються механізмом руйнування: контактне (до 10–12 В), контактнодугове (до 20–22 В) і безконтактне (понад 22 В).

Контактна ерозія – це руйнування електродів унаслідок високої щільності електричного струму.

До безконтактних ерозійних явищ можна віднести всі ті форми ерозії, які спостерігаються в електричних розрядах.

Контактнодугові з'явилися внаслідок поєднання двох процесів: тертя електродів з одночасним електричним розрядом.

За низької напруги електричного струму має місце контактна обробка. Для цього виду обробки характерні великий тиск інструмента на деталь, нагрів оброблюваної поверхні та підвищена витрата енергії [11]. Унаслідок таких показників цей вид обробки не знайшов широкого застосування для обробки відновлених деталей.

За напруги 10–22 В має місце контактнодугова обробка. Обробка супроводжується як безпосередньо нагріванням контактних перемичок, так і дуговими розрядами. За цього виду оброблення знімання металу здійснюється з малою продуктивністю, значним тиском інструмента в зоні контакту з оброблюваною поверхнею і з глибокою зоною дефектного шару [12].

До третього різновиду відносяться технологічні процеси з підвищеною напругою струму понад 22 В. Унаслідок цього встановлюється дуговий процес. Обробка проводиться майже за повної відсутності тиску на оброблювану поверхню [9, 13].

Ерозія в дуговому розряді характеризується малим падінням напруги на катоді, температура в зоні розряду досягає 8000 °С і більше [14–16]. За таких умов сліди ерозії на електродах відносно неглибокі й розмиті по поверхні.

За своїми характеристиками дуговий розряд значною мірою відрізняється від іскрового як потужністю, так і площею оброблюваної ділянки [16]. Тому під час реалізації великої потужності (десятки кВт) електричної дуги основна частка енергії витрачається на видалення припуску, що знімається, де перегрів металу буде мінімальним.

За родом технологічного струму електроконтактне оброблення можна розділити на дві групи. До першої групи належить оброблення на змінному струмі [17, 18]; до другої – на постійному [9, 13].

Змінний струм застосовується на установках для чорнового оброблення в повітряному середовищі [18], оскільки цей вид оброблення є більш продуктивним, порівнюючи з іншими електричними способами, але застосування тривалих імпульсів призводить до глибокого прогріву оброблюваної поверхні, що сприяє появі глибокої

зони дефектного шару, який досягає 1,6 мм і більше [17].

Для одночасного загострення і зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин раціонально використання дугового розряду постійного струму з охолодженням рідиною і з утворенням загартованих структур. Це оброблення володіє більш широким технологічним діапазоном за якістю обробленої поверхні і за питомою витратою енергії.

Мета досліджень. Обґрунтування раціональних параметрів зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин способом електроконтактного оброблення.

Методи досліджень. Експериментальні, математико-статистичні, монографічний.

Результати досліджень. Електроконтактне оброблення – термічний процес, що використовує енергію дугових розрядів. Одним із важливих параметрів оброблення є його швидкість, яку можна визначити на основі аналізу теплового балансу процесу електроконтактного оброблення [19].

Тепловий баланс інструмента-деталі можна представити як [8]:

$$Q_{\Sigma} = Q_K + Q_B, \quad (1)$$

де Q_{Σ} – загальна кількість витраченої енергії, Дж;

Q_K – корисна витрата енергії, яка іде на нагрівання і плавлення оброблюваної деталі, Дж;

Q_B – втрати енергії, Дж.

Тоді витрата енергії для розплавлення металу деталі під час загострення складе [8]:

$$Q_K = m_d \cdot c \cdot (T_{пл} - T_0), \quad (2)$$

де m_d – маса розплавленого металу деталі, кг;

c – питома теплоємність матеріалу деталі, Дж/кг·°С;

$T_{пл}$ – температура плавлення металу деталі, °С;

T_0 – початкова температура металу деталі, °С.

Масу розплавленого металу знаходимо за рівнянням [8]:

$$m_d = L \cdot F \cdot \rho, \quad (3)$$

де L – довжина оброблення деталі, мм;

F – площа контакту електрода з деталлю під час загострення, мм²;

ρ – густина матеріалу деталі, кг/мм³.

Вимірявши величину струму і напругу за час t , можна визначити загальну кількість енергії із співвідношення [8]:

$$Q_{\Sigma} = U \cdot I \cdot t, \quad (4)$$

де U – напруга, за якої здійснюється процес, В;

I – сила струму, А.

Коефіцієнт корисної дії η дорівнює [8]:

$$\eta = \frac{Q_K}{Q_{\Sigma}}. \quad (5)$$

Підставляючи значення Q_K за формулою (2), m_d за формулою (3) та Q_{Σ} за формулою (4), отримуємо [8]:

$$\eta = \frac{L \cdot F \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{пл} - T_0)}{U \cdot I \cdot t}. \quad (6)$$

Відношення довжини оброблення деталі L до часу її оброблення t можна представити як швидкість оброблення деталі V , тоді формула (6) набуває такого вигляду:

$$\eta = \frac{V \cdot F \cdot \rho \cdot c \cdot (T_{пл} - T_0)}{U \cdot I}. \quad (7)$$

З теорії зварювальних процесів відомо вираз для розрахунку максимальних температур для випадку розплавлення металу деталі, що являє собою пластину, під час електроконтактного оброблення інструментом-електродом як потужним швидкодіючим лінійним джерелом тепла, нехтуючи тепловіддачею [20]:

$$(T_{пл} - T_0) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot \epsilon} \frac{q}{V \cdot c \cdot \rho \cdot F}}. \quad (8)$$

де q – тепла потужність дуги.

Перетворюючи вираз (8), одержимо [20]:

$$V \cdot c \cdot \rho \cdot F \cdot (T_{пл} - T_0) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot \epsilon}} \cdot q. \quad (9)$$

Ліва частина цієї рівності являє собою потужність проплавлення $q_{пл}$ [20]:

$$V \cdot c \cdot \rho \cdot F \cdot (T_{пл} - T_0) = q_{пл}. \quad (10)$$

Коефіцієнт корисної дії можна представити також як [20]:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пл}}}{Q} \quad (11)$$

Тоді η , враховуючи вирази (9) і (10), дорівнюватиме [20]:

$$\eta = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} = 0,484 \quad (12)$$

Підставляючи значення η у вираз (7) та перетворюючи його, отримаємо:

$$V \cdot e \cdot \rho \cdot F \cdot (T_{\text{пл}} - T_0) = 0,484 \cdot U \cdot I \quad (13)$$

Із виразу (13) випливає, що інтенсивність процесу переміщення розплавлених

шарів металу під час електроконтактного оброблення залежить від зміни величини керованої напруги U .

Опрацювання результатів експериментальних досліджень електроконтактного оброблення показало, що в процесі зміни керованої напруги якісні показники зміцнених шарів, а саме шорсткість таких шарів, прямо залежить від величини напруги U і збільшується пропорційно з її збільшенням. Зі зміною величини напруги в межах 35–65 В отримали зміну шорсткості в межах від 0,34 мм до 1,28 мм.

Графік залежності шорсткості R_z оброблених шарів від напруги U наведено на рисунку.

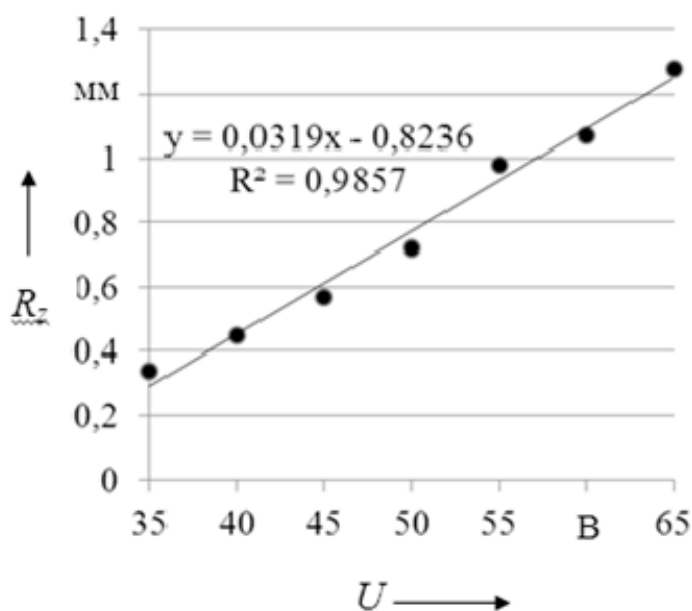


Рис. Графік залежності шорсткості R_z оброблених шарів від напруги U
 Fig. Graph of rusting R_z the treated layers from voltage U

Формування поверхні вважається якісним у разі забезпечення шорсткості поверхні R_z оброблених шарів до 1 мм. Тому, виходячи з отриманої залежності, раціональним значенням напруги вважаємо її величину до 55 В, за яких отримуємо шорсткість поверхні до 1,0 мм.

Висновки

1. За результатами теоретичних досліджень визначено тепловий баланс процесу електроконтактного оброблення, який дозволяє встановити найбільш вагомі фактори, що впливають на енергетичні

показники процесу, а саме керованої напруги U дугового процесу електроконтактного оброблення.

2. За результатами експериментальних досліджень встановлено раціональні значення керованої напруги U під час процесу електроконтактного оброблення в межах 35–55 В, які забезпечують шорсткість поверхні в межах від 0,4 до 1,0 мм.

Бібліографія

1. Василенко М. О., Кононогов Ю. А., Матвійченко В. С. Вибракувальні ознаки та

граничні межі зношення лемешів плугів з врахуванням придатності до відновлення. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 333–339.

2. Семчук Г. І., Біловод О. І., Дудніков А. А. Характер зношування культиваторних лап у процесі їх експлуатації. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 369–374.

3. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Матвійченко В. С. Покращення ресурсних показників відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2012. Вип. 96. С. 533–542.

4. Василенко М. О., Чернявський О. О., Матвійченко В. С., Нечипоренко В. О. Дослідження деформаційних змін лемішних робочих органів при електроерозійній обробці. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2008. Вип. 92. Т. 2. С. 428–433.

5. Молодик М. В., Василенко М. О., Чернявський О. О., Матвійченко В. С. Підвищення довговічності культиваторних лап. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2010. Вип. 94. С. 405–411.

6. Василенко М. О., Чернявський О. О., Буслаєв Д. О., Матвійченко В. С. Підвищення ресурсу відновлених дискових робочих органів конструктивно-технологічними методами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвід. темат. наук. зб. Глеваха, 2011. Вип. 95. С. 352–361.

7. Бевз І. І. Разработка технологии электроконтактной обработки наплавленных деталей сельскохозяйственной техники: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Челябинск, 1984. 249 с.

8. Солодкина Л. А. Разработка технологии электроконтактного заострения изношенных рабочих органов почвообрабатывающих машин: на прим. лап культиваторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Челябинск, 1996. 201 с.

9. Каморкин А. Н., Русев М. К. Источники питания для полустойковой электроконтактной обработки. *Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по электроконтактной обработке труднообрабатываемых материалов*: сборник. Запорожье, 1973. С. 52–55.

10. Попилов Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. Л.: Машиностроение, 1971. 544 с.

11. Аскинази Б. М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. М.: Машиностроение, 1989. 200 с.

12. Исследование электроконтактной обработки наплавленной беговой дорожки звена гусеницы трактора Т-100 / А. К. Ольховацкий, И. Е. Ульман, Б. А. Воробьев и др. *Науч. тр. ЧИМЭСХ*. Челябинск, 1973. Вып. 58. С. 62–65.

13. Егоров П. И. Исследование электроконтактной обработки наплавленных поверхностей при восстановлении автотракторных деталей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1975. 27 с.

14. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник / Я. Л. Гуревич, В. И. Горохов, В. И. Захаров и др. М.: Машиностроение, 1976. 176 с.

15. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Энергия, 1973. 264 с.

16. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И. Современный уровень развития электроискровой обработки металлов и некоторые научные проблемы этой области. *Электроискровая обработка металлов*. М.: Изд. АН СССР, 1957. С. 9–37.

17. Электроконтактная обработка тел вращения и плоскостей / М. Е. Юквид, А. Т. Кравец, А. Л. Лившиц и др. *Электроимпульсный и электроконтактный способы обработки металлов*. М.: ОНТИ ЭНИМСа, 1962. Вып. 3. С. 216–254.

18. Бихман Б. М., Кравец А. Т. Особенности процесса электроконтактной обработки в воздухе. *Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов*: материалы семинара. МДНТП, 1968. С. 70–84.

19. Бихман Б. М., Кравец А. Т. Исследование процесса электроконтактной дуговой обработки металлов. *Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов*. Д.: Машиностроение, 1972.

20. Коперсак В. М. Теорія процесів зварювання. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні. К., 2011. Т. 1. 384 с.

Bibliografia

1. Vasylenko M. O., Kononohov Yu. A., Matviichenko V. S. Vybrakovalni oznaky ta hranychni mezhi znoshennia lemshiv pluhiv z vrakhuvanniam prydatnosti do vidnovlennia. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2013. Vyp. 98. T. 2. S. 333–339.

2. Semchuk H. I., Bilovod O. I., Dudnikov A. A. Kharakter znoshuvannia kulyvatornykh lap u protsesi yikh ekspluatatsii. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2013. Vyp. 98. T. 2. S. 369–374.

3. Vasylenko M. O., Buslaiev D. O., Matviichenko V. S. Pokrashchennia resursnykh

pokaznykiv vidnovlennia robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2012. Vyp. 96. S. 533–542.

4. Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Matviichenko V. S., Nechyporenko V. O. Doslidzhenia deformatsiinykh zmin lemishnykh robochykh orhaniv pry elektroeroziinii obrobsi. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2008. Vyp. 92. T. 2. S. 428–433.

5. Molodyk M. V., Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Matviichenko V. S. Pidvyshchennia dovhovichnosti kulyvatornykh lap. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2010. Vyp. 94. S. 405–411.

6. Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Buslaiev D. O., Matviichenko V. S. Pidvyshchennia resursu vidnovlennykh diskovykh robochykh orhaniv konstruktyvno-tekhnologichnyimi metodamy. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva*: mizhvid. temat. nauk. zb. Hlevakha, 2011. Vyp. 95. S. 352–361.

7. Bevz Y. Y. Razrabotka tekhnolohyy elektrokontaktnoi obrabotky naplavlennykh detalei selskokhoziaistvennoi tekhniki: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03. Cheliabynsk, 1984. 249 s.

8. Solodkyna L. A. Razrabotka tekhnolohyy elektrokontaktneho zaostreniya yznoshennykh robochykh orhanov pochvoobrabatyvaiushchykh mashyn: na prym. lap kulyvatorov: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.03. Cheliabynsk, 1996. 201 s.

9. Kamorkyn A. N., Rusev M. K. Ystochnyk pytania dlia poluchystyvoi elektrokontaktnoi obrabotky. *Tezysy dokladov IV Vsesoiuznoi konferentsyy po elektrokontaktnei obrabotke trudnoobrabatyvaemykh materialov*: sbornyk. Zaporozhe, 1973. S. 52–55.

10. Popylov L. Ya. Spravochnik po elektrycheskym y ultrazvukovym metodam obrabotky materialov. L.: Mashynostroenye, 1971. 544 s.

11. Askynazy B. M. Uprochnenye y vosstanovlenye detalei mashyn elektromekhanicheskoi obrabotkoi. M.: Mashynostroenye, 1989. 200 s.

12. Yssledovanye elektrokontaktnei obrabotky naplavlennoi behovoi dorozhky zvena husenytsy traktora T-100 / A. K. Olkhovatskiy, Y. E. Ulman, B. A. Vorobev y dr. *Nauch. tr. ChY-MESKh*. Chelyabinsk, 1973. Vyp. 58. S. 62–65.

13. Ehorov P. Y. Yssledovanye elektrokontaktnei obrabotky naplavlennykh poverkhnostei pry vosstanovlenyy avtotraktornykh detalei. avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Alma-Ata, 1975. 27 s.

14. Rezhymy rezanyia trudnoobrabatyvaemykh materialov. Spravochnik / Ya. L. Hurvyeh, V. Y. Horokhov, V. Y. Zakharov y dr. M.: Mashynostroenye, 1976. 176 s.

15. Butkevych H. V. Duhovye protsessy pry kommutatsyy elektrycheskykh tsepei. M.: Enerhiya, 1973. 264 s.

16. Lazarenko B. R., Lazarenko N. Y. Sovremenniy uroven razvytiya elektroyskrovoi obrabotky metallov y nekotorye nauchnye problemy etoi oblasti. *Elektroyskrovaia obrabotka metallov*. M.: Yzd. AN SSSR, 1957. S. 9–37.

17. Elektrokontaktnaia obrabotka tel vrashcheniya y ploskosti / M. E. Yukvyd, A. T. Kravets, A. L. Lyvshyts y dr. *Elektroympulsnyi y elektrokontaktnyi sposoby obrabotky metallov*. Vyp. 3. M.: ONTY ENYMSa, 1962. S. 216–254.

18. Bykhman B. M., Kravets A. T. Osobennosti protsessa elektrokontaktnei obrabotky v vozduzhe. *Elektrofyzicheskiye y elektrokhimicheskiye metoda obrabotky materialov*: materialy semynara. MDNTP, 1968. S. 70–84.

19. Bykhman B. M., Kravets A. T. Yssledovanye protsessa elektrokontaktnei duhovoi obrabotky metallov. *Novoe v elektrofyzicheskoi y elektrokhimicheskoi obrabotke materialov*. D.: Mashynostroenye, 1972.

20. Kopersak V. M. Teoriia protsesiv zvariuvannia. Dzherela nahrivannia ta teplovi protsesy pry zvariuvanni. K., 2011. T. 1. 384 s.

References

1. Vasilenko M. O., Kononohov Yu. A., Matviichenko V. S. Critical signs and limits of wear of plowshares with regard to suitability for restoration. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2013. Issue 98. Vol. 2. Pp. 333–339.

2. Semchuk H. I., Bilovod O. I., Dudnikov A. A. The nature of the wear of cultivating paws in the process of their operation. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2013. Issue 98. Vol. 2. Pp. 369–374.

3. Vasilenko M. O., Buslaiev D. O., Matviichenko V. S. Improvement of resource indicators for restoration of parts of soil-working machines. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2012. Issue 96. Pp. 533–542.

4. Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Matviichenko V. S., Nechyporenko V. O. Investigation of deformation changes of ductile parts of tilling machines in electroarc processing. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2008. Issue 92. Vol. 2. Pp. 428–433.

5. Molodyk M. V., Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Matviichenko V. S. Improve the durability of cultivar points. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2010. Issue 94. Pp. 405–411.

6. Vasilenko M. O., Cherniavskiy O. O., Buslaiev D. O., Matviichenko V. S. Increased the resource of restored disk of tilling machines by

constructive and technological methods. *Mechanization and electrification of agriculture*: collected papers. Hlevakha, 2011. Issue 95. Pp. 352–361.

7. Bevz Y. Y. Development of technology for electrocontact processing of weld-over parts of agricultural equipment: thesis: 05.20.03. Cheliabynsk, 1984. 249 p.

8. Solodkyna L. A., Development of technology for electrocontact sharpening of worn out working bodies of tillage machines: at approx. points cultivators: thesis: 05.20.03. Cheliabynsk, 1996. 201 p.

9. Kamorkyn A. N., Rusev M. K. Power supply for semi-electroarc processing. *IV All Union Conference on Electrocontact Processing of Hard to Cut Materials*: collected papers. Zaporozhe, 1973. Pp. 52–55.

10. Popylov L. Ya. Handbook of Electrical and Ultrasonic Materials Processing. Leningrad: Mechanical engineering, 1971. 544 p.

11. Askynazy B. M. Hardening and restoration of machine parts by electromechanical processing. Moscow: Mechanical engineering, 1989. 200 p.

12. Investigation of electrocontact processing of the build-up treadmill of the track link of the tractor T-100 / A. K. Olkhovatskyi, Y. E. Ulman, B. A. Vorobev [and all]. *ChYMESKh*: collected papers, 1973, Issue. 58. Pp. 62–65.

13. Ehorov P. Y. Investigation of electrocontact processing of weld surfaces when restoring automotive parts. Tesis. Alma-Ata, 1975. 27 p.

14. Modes of cutting difficult materials. Handbook / Ya. L. Hurevych, V. Y. Horokhov, V. Y. Zakharov [and all]. Moscow: Mechanical engineering, 1976. 176 p.

15. Butkevych H. V. Arc processes when switching electrical circuits. Moscow: Energy, 1973. 264 p.

16. Lazarenko B. R., Lazarenko N. Y. The current level of development of the electric-spark metal working and some scientific problems in this field. *Spraying of metals*. Moscow: Ed. AS USSR, 1957. Pp. 9–37.

17. Electrocontact processing of rotation bodies and planes / M. E. Yukvyd, A. T. Kravets, A. L. Lyvshyts *Electropulse and electrocontact methods of metal processing*: collected papers. Issue. 3. Moscow: ONTY ENYMSa, 1962. Pp. 216–254.

18. Bykhman B. M., Kravets A. T. Features of the process of electrocontact treatment in the air. *Electrophysical and electrochemical methods of processing materials*: collected papers. MDNTP, 1968. Pp. 70–84.

19. Bykhman B. M., Kravets A. T. Investigation of the process of electric arc metal processing. *New in electrophysical and electrochemical processing of materials*: collected papers. Donetsk: Mechanical engineering, 1972.

20. Kopersak V. M. Theory of welding processes. Heat source and heat processes during welding. Kyiv, 2011. Vol. 1. 384 p.

