

УДК 621.791.927.5

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЛЕМЕШІВ ПЛУГІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

О. Є. Калінін, М. О. Василенко

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

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: amatorero@ukr.net.

Історія статті: отримано – листопад 2019, акцептовано – січень 2020.

Бібл. 12, рис. 1, табл. 0.

Анотація. Робота присвячена дослідженню теплового балансу інструмента-деталі при електроконтактному обробленні лемешів плугів та обґрунтуванню раціональних параметрів локального зміцнення, що дозволить підвищити зносостійкість поверхонь робочих органів оплавленням їх із використанням електроконтактного оброблення. В статті наведені енергетичні показники процесу електроконтактного оброблення лемешів плугів.

За аналізом останніх досліджень встановлено, що для одночасного загострення і зміцнення лемешів плугів раціонально використання дугового розряду постійного струму з охолодженням рідиною і з утворенням загартованих структур.

За результатами теоретичних досліджень визначено тепловий баланс процесу електроконтактного оброблення, який дозволяє встановити найбільш вагомі фактори, що впливають на енергетичні показники процесу, а саме: швидкість електроконтактного оброблення V , напруга U та густина струму j дугового процесу електроконтактного оброблення.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, зі збільшенням напруги U від 40 до 55 В та густини струму j від 3,0 до 3,5 А/мм², швидкість електроконтактного оброблення V збільшується в межах від 7,7 до 12,5 мм, що надало змогу встановити за раціональну – середню швидкість в 10,1 мм/с для автоматичного переміщення поверхні ремонтних вставок для лемешів плугів відносно електрода-інструмента установки для електроконтактного оброблення.

Ключові слова: електроконтактне оброблення, загострення, зносостійкість, зміцнення, лемеші, напруга, режими, струм

Постановка проблеми

Робочі органи ґрунтообробних машин відносяться до найбільш швидкозношуваних деталей сільськогосподарської 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

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

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) [7–11].

Під час електроконтактного оброблення знімання металу здійснюється нестаціонарними електричними розрядами. Ці розряди виникають під час зближення інструмента, що обертається, з оброблюваним виробом до відповідного міжелектродного зазору [7–11].

Електроконтактне оброблення залежно від напруги прийнято розділяти на три види, що відрізняються механізмом руйнування: контактне (до 10–12 В), контактнo-дугове (до 20–22 В) і безконтактне (понад 22 В) [7–11].

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

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

Контактно-дугові 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 [7–11]. Унаслідок таких показників цей вид обробки не знайшов широкого застосування для обробки відновлених деталей.

За напруги 10–22 В має місце контактнo-дугова 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 [7–11].

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 [7–11].

Ерозія в дуговому розряді характеризується малим падінням напруги на катоді, температура в зоні розряду досягає 8000 °С і більше [7–11]. 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 [7–11]. Тому під час реалізації великої потужності (десятки кВт) електричної дуги основна частка енергії витрачається на віддалення 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; до другої – на постійному [7–11].

Змінний струм застосовується на установках для чорнового оброблення в повітряному середовищі, 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 [7–11].

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

Мета даної роботи полягає в обґрунтуванні раціональної швидкості електроконтактного оброблення робочих органів ґрунтообробних машин при їх зміцненні.

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 [6].

Тепловий баланс інструмента-деталі можна представити як [6]:

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

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 [6]:

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

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 [6]:

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

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 [6]:

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

де U – напруга, за якої здійснюється процес, В; I – сила струму, А.

Коефіцієнт корисної дії η дорівнює [6]:

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

Підставляючи значення Q_K за формулою (2), m_d за формулою (3) та Q_{Σ} за формулою (4), отримуємо [6]:

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

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 [12]:

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

де q – теплова потужність дуги.

Перетворюючи вираз (8), одержимо [12]:

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

Ліва частина цієї рівності являє собою потужність проплавлення $q_{пл}$ [12]:

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

Коефіцієнт корисної дії можна представити також як [12]:

$$\eta = \frac{q_{пл}}{q}. \quad (11)$$

Тоді η , враховуючи вирази (9) і (10), дорівнюватиме [12]:

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

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

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

Відношення сили струму I до площі контакту електрода з деталлю під час загострення F можна представити як густину струму j , тоді формула (13) набуває такого вигляду:

$$V \cdot c \cdot \rho \cdot (T_{пл} - T_0) = 0,484 \cdot U \cdot j. \quad (14)$$

За результатами теоретичних досліджень визначено тепловий баланс процесу електроконтактного оброблення, який дозволяє встановити найбільш вагомі фактори, що впливають на енергетичні показники процесу, а саме: швидкість електроконтактного оброблення V , напруги U та густину струму j дугового процесу електроконтактного оброблення.

Для проведення експериментальних досліджень були виготовлені зразки з листового металу товщиною від 8 мм до 12 мм. Геометричні розміри зразків були наближені до розмірів реальних робочих органів таких як лемеші плугів та носки лемешів та мали значення від 90 мм до 120 мм за шириною та від 230 мм до 500 мм за довжиною. Електроконтактне оброблення зразків проводилась при густині струму від 3,0 А/мм² до 3,5 А/мм², напругу на дузі при цьому змінювали в межах від 40 В до 55 В.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що швидкість електроконтактного оброблення V збільшується зі збільшенням напруги U та густини струму j від 7,7 до 12,5 мм (рис. 1), що надало змогу встановити за раціональну – середню швидкість в 10,1 мм/с для автоматичного переміщення поверхні ремонтних вставок для лемешів плугів відносно електрода-інструмента установки для електроконтактного оброблення.

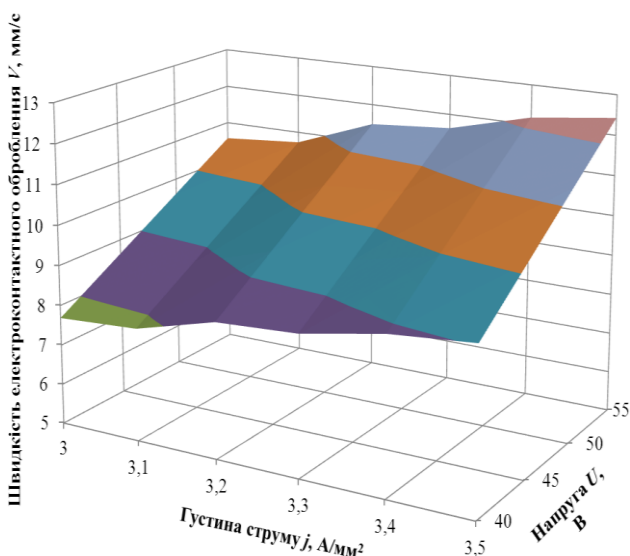


Рис.1. Залежність швидкості електроконтактного оброблення V від напруги U та густини струму j .

Fig. 1. Dependence of the speed of electrical contact processing V on voltage U and current density j .

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: швидкість електроконтактного оброблення V , напруга U та густина струму j дугового процесу електроконтактного оброблення.

2. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням напруги U від 40 до 55 В та густини струму j від 3,0 до 3,5 А/мм², швидкість електроконтактного оброблення V збільшується в межах від 7,7 до 12,5 мм, що надало змогу встановити за раціональну – середню швидкість в 10,1 мм/с для автоматичного переміщення поверхні ремонтних вставок для лемешів плугів відносно електрода-інструмента установки для електроконтактного оброблення.

Список літератури

1. Vasilenko M. O., Buslaiev D. O., Kalinin O. Ye. Ensuring the effect of self-sharpening of parts of tillage machines in operation in soils of various types. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol. 19. № 1. P. 11-14.
2. Bialobrzeska B., Konat L. Comparative analysis of abrasive wear resistance of Brinar and Hardox steels. Bi-monthly Tribologia 272 (2). Radom, 2017. P. 7–16.
3. Hrabě P., Müller M., Hadač V. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. Res. Agr. Eng., 61. Prague, 2015. P. 72–79.
4. Василенко М. О., Калінін О. Є. Підвищення ресурсу плугів та відвалів в умовах їх використання, що викликають променевидне зношення. Вісник ХНТУСГ. Харків, 2016. Вип. 168. С. 32-35.
5. Василенко М. О., Калінін О. Є. Зони зміцнення лемешів плугів. Вісник ХНТУСГ. Харків, 2016. Вип. 170. С. 138-141.
6. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А. Обґрунтування раціональних параметрів зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин способом електроконтактного оброблення. Механізація та електрифікація сільського господарства. зб. Глеваха, 2019. Вип. № 9 (108). С. 156-163.
7. Vishal Kumar Jaiswal Literature Review on Electrical Discharge Machining (EDM). International Journal for Scientific Research and Development 6.5 (2018). P. 239-241.
8. Guodong Li, Wataru Natsu Realization of micro EDM drilling with high machining speed and accuracy by using mist deionized water jet. Precision Engineering. Vol. 61, January 2020, P. 136-146.
9. Sai Kumar, P., Niranjana Kumar, M.S.R., Gopala Krishnaiah, P. Optimization of process parameters of wire cut electrical discharge machining on titanium grade-5 material using design of experiments. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. 8(11). P. 3937-3946.
10. Шарифуллин С. Н. Некоторые характеристики упрочнения поверхности стали 65Г электроискровым методом. Низкотемпературная плазма в процессах

нанесения функциональных покрытий. Казань, 2019. № 10. Т. 1. С. 421-427.

11. Иванов В. И., Костюков А. Ю. Применение метода нанесения электроискровых толстослойных покрытий повышенной сплошности. Инновационные технологии реновации в машиностроении. Москва, 2019. С. 25-32.

12. Конерсак В. М. Теорія процесів зварювання. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні. Київ, 2011. Т. 1. 384 с.

References

1. Vasylenko M. O., Buslaiev D. O., Kalinin O. Ye. Ensuring the effect of self-sharpening of parts of tillage machines in operation in soils of various types. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol. 19. № 1. 11-14.

2. Bialobrzaska B., Konat L. Comparative analysis of abrasive wear resistance of Brinar and Hardox steels. Bi-monthly Tribologia 272 (2). Radom, 2017. 7-16.

3. Hrabě P., Müller M., Hadač V. Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. Res. Agr. Eng., 61. Prague, 2015. 72-79.

4. Vasylenko M. O., Kalinin O. Ye. Increased resource plowshares and moldboards in terms of their use, causing ray wear. Bulletin of KhNTUA. Kharkiv, 2016. Vol. 168. 32-35.

5. Vasylenko M. O., Kalinin O. Ye. Areas strengthening plowshares. Bulletin of KhNTUA. Kharkiv, 2016. Vol. 170. 138-141.

6. Vasylenko M. O., Buslaiev D. O., Kalinin O. Ye., Kononogov Yu. A. Increased durability parts of tillage machines, adapted to soils of different types. Mechanization and electrification of agriculture. Hlevakha, 2019. Issue 9 (108). 156-163.

7. Vishal Kumar Jaiswal Literature Review on Electrical Discharge Machining (EDM). International Journal for Scientific Research and Development 6.5 (2018). 239-241.

8. Guodong Li, Wataru Natsu Realization of micro EDM drilling with high machining speed and accuracy by using mist deionized water jet. Precision Engineering. Volume 61, January 2020, 136-146.

9. Sai Kumar, P., Niranjana Kumar, M.S.R., Gopala Krishnaiah, P. Optimization of process parameters of wire cut electrical discharge machining on titanium grade-5 material using design of experiments. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. 8(11). 3937-3946.

10. Some characteristics of surface hardening of 65G steel by the electric spark method / Sharifullin S. N. [at all]. Low-temperature plasma in the process of applying functional coatings. Kazan, 2019. № 10. Part 1. 421-427.

11. Ivanov V. I., Kostyukov A. Yu. Application of the method of drawing electric-spray thick-layer coatings of increased completeness. Innovative renovation technologies in mechanical engineering. Moscow, 2019. 25-32.

12. Kopersak V. M. Theory of welding processes. Heat source and heat processes during welding. Kyiv, 2011. Т. 1. 384.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕМЕХОВ ПЛУГОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

А. Е. Калинин, М. А. Василенко

Аннотация. Работа посвящена исследованию теплового баланса инструмента-детали при электроконтактной обработке лемехов плугов и обоснованию рациональных параметров локального упрочнения, что позволит повысить износостойкость поверхностей рабочих органов их оплавлением с использованием электроконтактной обработки. В статье приведены энергетические показатели процесса электроконтактной обработки лемехов плугов.

По анализу последних исследований установлено, что для одновременного заострения и упрочнения лемехов плугов рационально использование дугового разряда постоянного тока с охлаждением жидкостью и с образованием закаленных структур.

По результатам теоретических исследований определен тепловой баланс процесс электроконтактной обработки, который позволяет установить наиболее весомые факторы, что влияют на энергетические показатели процесса, а именно: скорость электроконтактной обработки V , напряжение U и плотность тока j дугового процесса электроконтактной обработки.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что с увеличением напряжения U от 40 до 55 В и плотности тока j от 3,0 до 3,5 3,5 А/мм², скорость электроконтактной обработки V увеличивается в пределах от 7,7 до 12,5 мм, что предоставило возможность установить за рациональную – среднюю скорость в 10,1 мм/с для автоматического перемещения поверхности ремонтных вставок для лемехов плугов относительно электрода-инструмента установки для электроконтактной обработки.

Ключевые слова: заострение, износостойкость, лемеха, напряжение, режимы, ток, упрочнение, электроконтактная обработка

ENERGY INDICATORS OF ELECTROARC PROCESSING OF PLOWERS OF TILLAGE MACHINES

O. Ye. Kalinin, M. O. Vasylenko

Abstract. The work is devoted to the study of the heat balance of the tool part during the electroarc processing of plowshares and the rationale for the rational parameters of local hardening, which will increase the wear resistance of the surfaces of the parts of tillage machines by their reflow using electroarc processing. The article presents the energy indicators of the electroarc processing of plowshares.

According to the analysis of recent studies, it was found that for the simultaneous sharpening and hardening of plowshares, it is rational to use a DC arc discharge with liquid cooling and with the formation of hardened structures.

Based on the results of theoretical studies, the heat balance is determined by the electroarc processing, which allows you to establish the most significant factors that affect the energy performance of the process, namely: the speed of electroarc processing V , voltage U and current density j of the electroarc processing.

According to the results of experimental studies, it was found that with an increase in voltage U from 40 to 55

V and current density j from 3.0 to 3.5 3.5 A/mm², the speed of electrical contact processing V increases from 7.7 up to 12.5 mm, which made it possible to set for a rational – average speed of 10.1 mm/s for automatic movement of the surface of repair inserts for plowshares relative to the electrode-tool of the installation for electrical contact processing.

Key words: current, electroarc processing, hardfacing, plowshares, regimes, sharpening, voltage, wear resistance.

О. Є. Калінін ORCID 0000-0002-8627-8593.

М. О. Василенко ORCID 0000-0002-5240-7000.

