

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« » 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Підвищення зносостійкості відвалів плугів
напівавтоматичним вібродуговим наплавленням»

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Сікайло Олександр Володимирович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1. Аналіз причин зношування відвалів плугів.....	4
1.2. Аналіз способів і технологій зміцнення деталей ґрунтообробних машин.....	6
1.3. Технологічні можливості вібродугового наплавлення та використовуваного обладнання.....	8
Висновки по розділу.....	11
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
2.1. Математичне моделювання поверхневої твердості зміцнювальної поверхні.....	12
2.2. Конструкція експериментального механізму подачі дроту для напівавтоматичного вібродугового наплавлення.....	15
2.3. Результати дослідження процесу напівавтоматичного вібродугового наплавлення.....	18
2.4. Результати дослідження процесу зношування зміцнених поверхонь відвалів плугів в процесі експлуатації.....	20
Висновки по розділу.....	23
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	24
3.1. Організація охорони праці в сільськогосподарських підприємствах.....	24
3.2. Заходи з охорони праці в ремонтній майстерні.....	25
Висновки по розділу.....	26
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	27
Висновки по розділу.....	29
Загальні висновки.....	30
Список використаних джерел.....	31

ВСТУП

Зношування відвалів плугів – це закономірний процес, обумовлений постійним контактом металу з абразивними частинками ґрунту. Основні причини руйнування включають: абразивний вплив (тертя мінералів, таких як кварц), ударні навантаження від каміння, хімічну та електрохімічну корозію, а також порушення геометрії агрегату.

Підвищення зносостійкості деталей плугів (лемешів, відвалів) досягається шляхом використання сучасних легованих сталей, комбінованої термообробки та нанесення захисних покриттів. Це зменшує витрати металу та знижує витрати палива на 10-15%.

Серед ефективних способів підвищення зносостійкості відвалів плугів є вібродугове наплавлення. Це вискоефективний механізований метод відновлення зношених поверхонь та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки. При відновленні деталей плугів (відвалів, польових дошок, посадкових шийок) цей метод дозволяє суттєво знизити теплове навантаження на метал завдяки імпульсному характеру дуги та локальному охолодженню.

Із вище зазначеного, тема досліджень є актуальною щодо розробки технології відновлення відвалів плугів напівавтоматичним вібродуговим наплавленням.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз причин зношування відвалів плугів.

Зношування відвалів плугів – це складний фізико-механічний процес, який відбувається в умовах безперервного тертя об абразивне середовище (грунт) під високим тиском. На відміну від лемеша, який переважно підрізає скибу, відвал піддається інтенсивному ковзанню, підйому та обертанню ґрунтової маси [5].

Нижче наведено детальний аналіз основних причин та механізмів руйнування робочої поверхні відвалів.

Види та механізми зношування:

- абразивне зношування (основна причина): тверді мінеральні частинки ґрунту (кварц, кремній), які мають вищу твердість, ніж сталь відвалу, діють як мікрорізці. Вони дряпають поверхню, залишаючи мікроборозни та відколюючи мікрочастинки металу;

- гідроабразивне та корозійне зношування: за підвищеної вологості ґрунту хімічно активні речовини (гумусові кислоти, залишки добрив) викликають корозію металу. Абразивні частинки миттєво здирають утворену оксидну плівку, оголюючи новий шар сталі для інтенсивного руйнування;

- ударно-абразивне зношування: виникає під час роботи на важких, кам'янистих або пересушених ґрунтах. Постійні удари об каміння та тверді груддя призводять до викришування (піттингу) та появи мікротріщин на робочій поверхні.

Вплив геометрії та зон локального зносу. Зношування відвалу відбувається нерівномірно. Конструкція відвалу змушує ґрунт рухатися за складною траєкторією, через що виділяють зони максимального руйнування:

- груди відвалу (зона первинного удару): сюди спрямовується скиба ґрунту відразу після лемеша. Ця зона сприймає найбільший нормальний тиск та динамічні удари, тому зношується найшвидше;

- польовий обріз: край відвалу, який межує з необробленим полем. Він зазнає значного бокового тиску та тертя об стінку борозни, що призводить до стоншення та втрати початкової геометрії крила;

- крило відвалу: зона перевертання скиби. Тут переважає швидкісне ковзання під меншим тиском, тому зношування має характер рівномірного стирання.

Фактори, що прискорюють зношування – це властивості ґрунту, режими роботи та матеріал деталей [1].

Наслідки зношування. В міру стирання робочої поверхні відвалу погіршуються технологічні показники оранки, а саме:

- порушення обертання скиби ґрунту, тобто поверхня стає шорсткою, змінюється кривизна відвалу, ґрунт перестає повністю перевертатися та заробляти бур'яни;

- залипання відвалу, на зношених, шорстких ділянках або в місцях каверн починає налипати вологий ґрунт, що руйнує технологічний процес;

- перевитрата палива: опір плуга зростає на 15-25%, що призводить до перевитрати дизельного пального та зниження продуктивності трактора.

Із літературних джерел визначено, що деталі відвалів плугів мають зношення нерівномірного характеру. Найбільшому пошкодженню піддаються польовий зріз та площа відвалу (Рис. 1.1) [3].

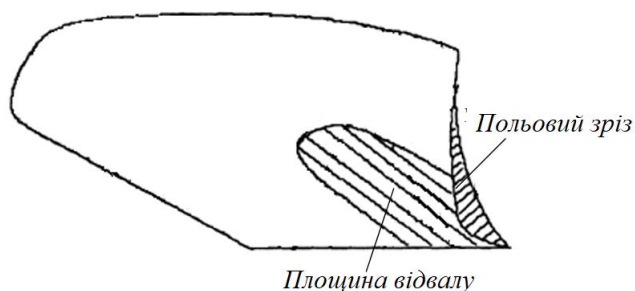


Рисунок 1.1 – Зони зношування відвалів плугів

Визначено, що овали плугів після експлуатації піддаються такому зношуванню, як площина відвалу до наскрізного стирання і кромки (Рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Зношення площини відвалу плуга Gregoire Besson

Зношення площини відвалів, зумовлене послабленням болтових кріплень та може призводити до утворення тріщин (Рис. 1.3).



а)



б)

Рисунок 1.3 – Ваді відвалів після експлуатації:

- а) зношення головок болтів у зоні кріплення відвалу плуга Kvernerland до корпусу;
- б) поперечна тріщина в носовій частині відвалу плуга Kvernerland.

Для зниження сили тертя ґрунту об робочі органи та полегшення ковзання скиби використовують комплекс методів: від зміни властивостей самої поверхні до конструктивних інновацій.

1.2. Аналіз способів і технологій зміцнення деталей ґрунтообробних машин.

Зміцнення деталей ґрунтообробних машин (лемешів, відвалів, лап культиваторів, дисків борін) спрямоване на створення на робочих поверхнях шару з високою мікротвердістю (понад 800-1000 HV) для протидії абразивному

зношуванню, при збереженні в'язкої та міцної серцевини, що захищає від ударних зламів [1].

Нижче наведено порівняльний аналіз основних способів і технологій зміцнення, які застосовуються у промисловості та ремонтній практиці.

1) Хіміко-термічна обробка. Процеси базуються на дифузійному насиченні поверхневого шару сталі іншими елементами за високих температур: цементація та нітроцементація; борування та бороалітування.

2) Технології наплавлення твердих сплавів. Найбільш поширений і ремонтпридатний сегмент технологій зміцнення.

- Електродугове наплавлення (електродами типу Т-590, Т-620 або порошковим дротом) полягає в нанесенні високолегованого шару (хром, марганець, бор, титан) товщиною 2-4 мм. Переваги даного методу – це доступність, низька вартість, можливість виконання в будь-якій майстерні. Твердість наплавленого металу становить 60-64 HRC. Недоліки: значне теплове введення викликає деформацію деталей, велика зона термічного впливу знижує міцність основної сталі.

- Індукційне наплавлення (ТВЧ): робоча поверхня засипається порошковим твердим сплавом (наприклад, сормайт) і плавиться під дією струмів високої частоти. Переваги: мінімальний час нагріву, висока продуктивність, товщина шару регулюється від 1 до 3 мм. Формує гладку поверхню, яка майже не потребує шліфування. Зносостійкість зростає в 2-3 рази.

- Вібродугове наплавлення (ВДН): нанесення металу при вібрації електрода та охолодженні рідиною. Переваги: деталь не нагрівається понад 100 °С, немає термічних повідців, структура загартовується безпосередньо в процесі. Ідеально для плоских зон та циліндричних поверхонь.

3) Передові високоенергетичні методи. Сучасні промислові технології, що забезпечують максимальний ресурс.

- Лазерне та плазмове порошкове наплавлення (кладирування): суть методу полягає в тому, що твердосплавний порошок (на основі карбідів вольфраму чи хрому) вдувається у лазерний або плазмовий промінь і вплавляється у поверхню з

мікроскопічною глибиною перемішування з основою. Перевагою є надзвичайно висока концентрація енергії. Зона термічного впливу мінімальна (долі міліметра). Отримуються шари з твердістю до 70 HRC, які практично не зношуються кварцом. Недоліки: дуже висока вартість обладнання, технологія є суто заводською.

- Плазмове та лазерне гартування (модифікація поверхні) – це надшвидкий нагрів поверхневого шару металу променем без нанесення додаткових матеріалів, з подальшим миттєвим самоохолодженням за рахунок маси деталі. Переваги: створює ультрадрібнозернисту структуру (нанокристалічний мартенсит), яка поєднує високу твердість із підвищеною в'язкістю (не боїться ударів).

4) Конструктивно-технологічне зміцнення (самозагострення). Окремий підхід, заснований на законах механіки тертя. Диференційоване (двошарове) зміцнення – на тильну сторону леза наноситься тонкий шар надтвердого сплаву, а лицьова сторона залишається м'якшою сталі-основи. Під час роботи м'яка сталь стирається швидше, постійно оголюючи твердий наплавлений прошарок. Деталь залишається гострою до повного зносу, що знижує тяговий опір на 20-30%.

1.3. Технологічні можливості вібродугового наплавлення та використовуваного обладнання.

Для зміцнення відвалів плугів доцільно застосовувати спосіб наплавлення з мінімальним тепlopокладанням в основний метал. Одним із таких способів є вібродугове наплавлення в струменях води [9].

Вібродугове наплавлення має унікальний комплекс технологічних можливостей, який робить його незамінним для відновлення деталей, чутливих до перегріву та короблення. Метод поєднує переваги автоматичного дугового наплавлення, гартування «з ходу» та мінімального термічного впливу на деталь.

Нами здійснено аналіз технологічних можливостей процесу та структури використовуваного обладнання.

1. Технологічні можливості процесу вібродугового наплавлення. Завдяки імпульсному характеру дуги (цикли «коротке замикання – дуговий розряд –

відрив») та примусовому охолодженню, технологія забезпечує такі параметри: мінімальна зона термічного впливу (ЗТВ), тобто глибина термічного впливу на основний метал становить усього 0,4-0,8 мм. Структура та механічні властивості серцевини деталі повністю зберігаються; відсутність деформацій, оскільки температура деталі під час процесу не перевищує 70-100 °С, повністю виключається термічне ведення, поводження геометрії та поява тріщин у тонкостінних деталях (наприклад, у крилах відвалів плугів); товщина та якість шару, за один прохід можна наносити рівномірний шар товщиною від 0,5 до 3,0 мм, при цьому коефіцієнт перемішування наплавленого металу з основою становить не більше 15-20%, що дозволяє зберегти легуючі властивості присадного дроту; гартування в процесі (без додаткових печей), використання охолоджувальної рідини забезпечує швидкість охолодження понад 200 °С/с. Це призводить до утворення дрібнокристалічного мартенситу. Твердість поверхні без додаткової термообробки досягає 50-62 HRC (залежно від марки дроту); висока продуктивність, швидкість наплавлення становить 15-40 м/год, а продуктивність нанесення металу – до 1,5-2,5 кг/год.

2. Склад та структура обладнання для ВДН. Типова установка для вібродугового наплавлення складається з чотирьох основних взаємопов'язаних систем (Рис. 1.4).

а) наплавлювальний верстат або маніпулятор. Найчастіше конструюється на базі стандартного токарно-гвинторізного верстата (наприклад, 1К62, 1А616). Забезпечує закріплення деталі, її обертання (для круглих деталей, таких як вали, шийки) або поздовжнє переміщення (для плоских деталей – лемешів, відвалів) з точним регулюванням швидкості кроку наплавлення;

б) наплавлювальна головка (віброголовка). Це ключовий вузол системи, який монтується на супорт верстата. Популярні промислові моделі – ОКС-1252, ОКС-6569, ВГ-5. Механізм вібрації: електромагнітний або механічний (ексцентриковий) вібратор, який змушує мундштук із дротом коливатися вздовж своєї осі з частотою 50-100 Гц та амплітудою 1,0-2,5 мм. Подача дроту: механізм

із роликами, який безперервно подає присадний дріт у зону горіння дуги зі швидкістю 60-150 м/год;

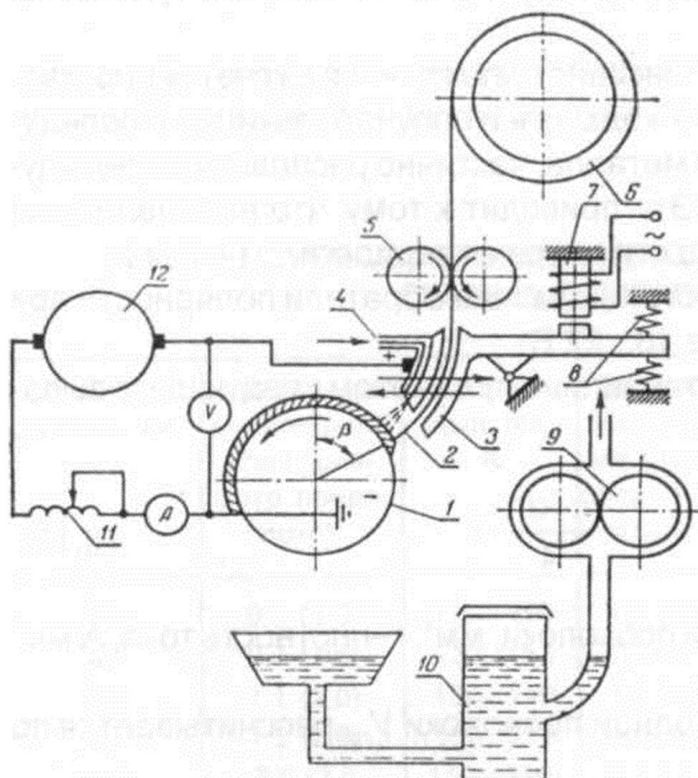


Рисунок 1.4 – Установка для вібродугового наплавлення в струменях води:

- 1 – деталь, яка наплавляється; 2 – електрод; 3 – вібруючий мундштук;
 4 – канал для подачі охолоджувальної рідини; 5 – ролики подавального механізму; 6 – касета з електродним дротом; 7 – вібратор; 8 – пружини; 9 – насос;
 10 – фільтр-відстійник; 11 – дросель; 12 – генератор.

в) джерело живлення (зварювальний струм). ВДН вимагає джерел із жорсткою або спадною вольтамперною характеристикою та низькою напругою холостого ходу. Використовуються спеціальні зварювальні випрямлячі або трансформатори (наприклад, серій ВД, ВДГ), які працюють на постійному струмі зворотної полярності «+» на електроді, «-» на деталі). Робоча напруга процесу низька – всього 18-28 В, а робочий струм становить 60-200 А. Для стабілізації імпульсної дуги в ланцюг часто послідовно включають дросель індуктивності;

г) система подачі охолоджувального середовища. Складається з бака, насоса, системи фільтрації та форсунки, спрямованої безпосередньо в зону наплавлення. Склад рідини: застосовують 4-6% водний розчин кальцинованої

сода (Na_2CO_3) або 10-20% розчин гліцерину. Сода запобігає корозії верстата, а гліцерин дещо уповільнює охолодження, знижуючи ризик утворення мікротріщин у високовуглецевих сталях. Рідина подається під тиском у вигляді струменя або товстої плівки безпосередньо за кроком наплавлення (на відстані 10-15 мм від дуги).

3. Технологічні режими та їх вплив. Якість відновленої деталі залежить від точного балансу налаштувань обладнання:

а) амплітуда вібрації: якщо вона замала – виникає стійке коротке замикання (дріт приварюється без плавлення); якщо зavelика – дуга горить занадто довго, викликаючи перегрів металу та розбризкування;

б) крок наплавлення: зазвичай становить 2,5-4,5 мм/об. Налаштовується так, щоб кожен наступний валик перекривав попередній на 1/3 або 1/2 своєї ширини для формування суцільної герметичної поверхні.

в) виліт дроту (мундштука): підтримується в межах 10-15 мм. Збільшення вильоту призводить до перегріву дроту та нестабільності коливальних рухів.

Таким чином, виникає потреба в розробці технологічного обладнання для реалізації наплавлення у напівавтоматичному режимі.

Висновки по розділу

Таким чином, нами здійснений аналіз причин зношування відвалів плугів та способів їх відновлення. При цьому визначено, що один із найкращих способів відновлення є вібродугове наплавлення. Також встановлено, що є необхідність в розробці технологічного обладнання для виконання даного виду робіт.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Математичне моделювання поверхневої твердості зміцнювальної поверхні.

Зміцнення шару наплавленого металу відбувається безпосередньо в процесі наплавлення за рахунок інтенсивного тепловідведення в тіло деталі та примусового охолодження поверхні деталі й зони наплавлення охолоджувальною рідиною, як правило, водою [5]. Проте, твердість наплавлених поверхонь неоднорідна – об'єми загартованого металу розділені прошарками частково відпущеного металу із зниженою твердістю.

Наявність «м'яких» ділянок може впливати на експлуатаційні характеристики ґрунтообробних знарядь, такі, як зносостійкість. Крім того, нижні значення отриманої твердості наплавленої поверхні можуть просто виходити за межі зазначених у нормативно-технічній документації, що ставить питання про принципову можливість зміцнення таких деталей. Враховуючи, що виробничий процес зміцнення деталей носить, як правило, одиничний або дрібносерійний характер, стає зрозумілою важливість попередньої оцінки передбачуваної «плямистості» поверхневої твердості залежно від режимів наплавлення [5].

Механізм формування розміцнених ділянок у покритті показано на рис. 2.1.

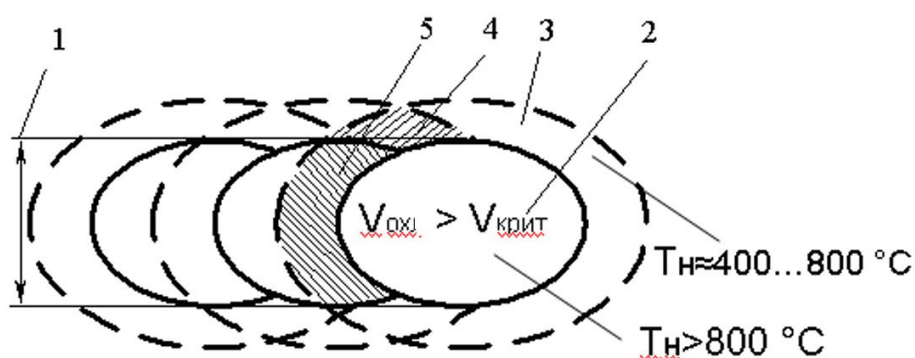


Рисунок 2.1 – Механізм формування розміцнених ділянок у покритті:

- 1 – ширина зони гарту; 2 – зона гарту; 3 – зона відпуску;
- 4 – зона подвійного відпуску; 5 – зона одноразового відпуску.

Об'єми металу зварних точок, що зазнають у процесі нагрівання аустенітне перетворення після припинення дії імпульсу зварювального струму охолоджуються із швидкостями порядку до 1500 °C/c і більше, що призводить до їх загартування [5]. В раніше загартованих об'ємах металу, що нагріваються до менших температур, відбуваються процеси часткового відпуску. При цьому, як видно з рис. 2.1, об'єми металу, що розташовані біля краю формованого валика наплавленого металу, нагріваються до більш високих температур відпуску і таким чином, сильніше розміцнюються, ніж ті, що розташовані на осі формованого валика.

Відомо, що температура початку аустенітного перетворення у сталях залежить від умов нагрівання. Також зміщуються в область підвищених значень (на 100...150 °C) та температурні інтервали першого та третього перетворень при відпуску [8]. Таким чином, можна вважати, що в умовах процесу розміцнення піддаються об'єми металу, розташовані між ізотермами 400...1000 °C.

Кількісну оцінку впливу температури та тривалості ізотермічного відпуску на ступінь розміцнення загартованого металу можна отримати із залежності Холломона-Джейфа [9].

$$P = T[C + \lg(t)]10^{-3}, \quad (2.1)$$

де P – зниження твердості сталі в одиницях Роквелла після відпуску; T – температура ізотермічного відпуску в градусах Кельвіна; t – тривалість відпуску в годинах; C – емпірична константа.

Використовуємо дану залежність для розрахунку ступеня розміцнення ділянки, відпущеного одиничним валиком. Очевидно, що найбільшому відпуску піддаються об'єми металу, що нагріваються до температур, близьких до температур початку аустенітного перетворення. Прийmemo найбільшу температуру нагрівання таких об'ємів $T_{\max}=1000$ °C. В якості параметру T , який використовується у виразі (2.1), прийmemo середньоінтегральну температуру T_{cp} нагріву даних об'ємів.

$$T_{cp} = \frac{\int_{t_{\langle +min \rangle}}^{t_{\langle -min \rangle}} T_H(t) dt}{t_{\langle -min \rangle} - t_{\langle +min \rangle}}, \quad (2.2)$$

де t – тривалість імпульсу зварювального струму; $t_{\langle +min \rangle}, t_{\langle -min \rangle}$ – моменти досягнення температури $T_{min}=400$ °C при нагріванні та при охолодженні після закінчення імпульсу зварювального струму; $T(t)$ – залежність температури нагрівання та охолодження від часу.

При апроксимації функції $T(t)$ однотипними лінійними залежностями отримаємо:

$$T_{cp} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}. \quad (2.3)$$

У всіх розглянутих випадках швидкість охолодження в діапазоні температур від 800 до 500 °C градусів значно перевищують критичні (Рис. 2.2), що вказує на утворення гартових структур в об'ємах металу, який нагрівається вище за аустенітне перетворення [9].

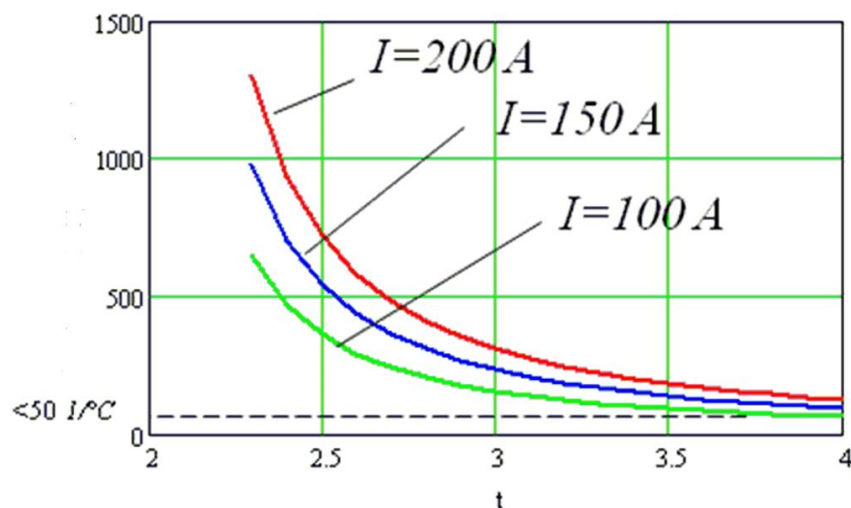


Рисунок 2.2 – Залежність швидкості охолодження від сили зварювального струму

Значення розміцнення (Рис. 2.3) при нагріванні основного металу нижче цих температур оцінювали залежно від Холомона-Джейфа [9].

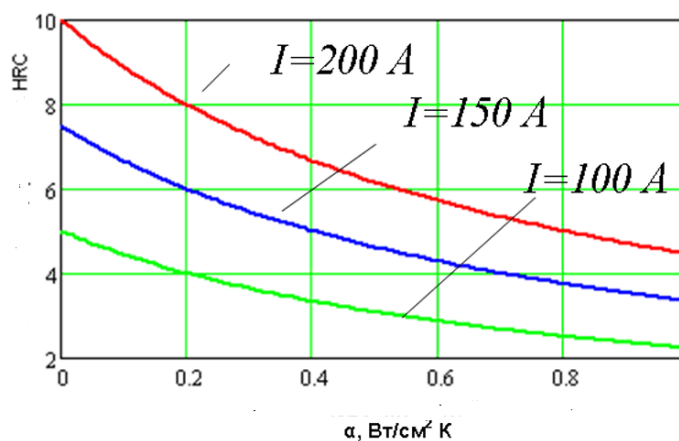


Рисунок 2.3 – Залежність розміцнення від коефіцієнта поверхневої тепловіддачі α при різних значеннях зварювального струму

При аналізі графічних залежностей можна побачити, що без охолодження; зниження твердості може досягати 10 од. за шкалою Роквелла. Зниження сили струму до 100 А та додаткове охолодження дозволяють знизити розміцнення до 3...6 од. за шкалою HRC. Таким чином, проведені розрахунки свідчать про перспективність застосування процесу вібродугового наплавлення у воді для зміцнення тонкостінних деталей відвалів.

2.2. Конструкція експериментального механізму подачі дроту для напівавтоматичного вібродугового наплавлення.

Для реалізації процесу напівавтоматичного вібродугового наплавлення розроблено експериментальний зразок пристрою, представленого на рис. 2.4, що дозволяє досліджувати процес імпульсної циклічної подачі присадного дроту в широких діапазонах варіювання кінематичних параметрів механізму [9].

Пристрій складається із зварної рами 1, на основі якої розміщений електродвигун 2. Дріт 3 від серійного подавального механізму 4 подається до зварювального пальника через напрямні трубки 5 і гнучку трубку 6, в якості якої була використана навита з дроту пружина. Пружина з'єднана із штоком 7 кривошипно-шатунного механізму. При обертанні кривошипу відбувається періодичне поперечне відтягування гнучкої трубки, що призводить до зміни

довжини каналу подачі дроту від подавального механізму до зварювального пальника, і як наслідок, виникнення зворотно-поступальної вібрації торця дроту відносно мундштука пальника.

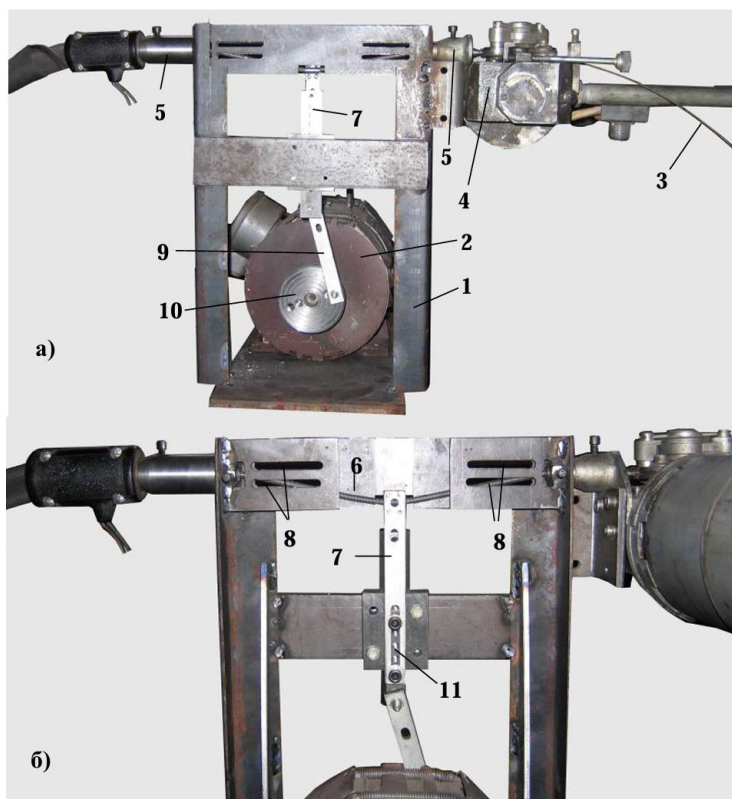


Рисунок 2.4 – Експериментальний пристрій для подачі присадного дроту:

а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду.

Для керування амплітудою коливань, реалізації відповідно до заявленого способу процесів зварювання та наплавлення з несиметричними циклами вібрації, у пристрої передбачено ряд регулювальних засобів. Довжина згинальної ділянки гнучкої трубки може бути зменшена за рахунок підпорів, що встановлюються в прорізі корпусу 8 механізму. Амплітуда зворотно-поступального переміщення штока регулюється шляхом перестановки осі кріплення шатуна 9 в отвори фланця-кривошипа 10, виконаних на різній відстані від осі обертання фланця. Асиметрія циклів зворотно-поступальної вібрації дроту регулюється зміною довжини штока, який являє собою складальний вузол: напрямна планка штока має проріз 11, в якому встановлений фіксуєчий болт, відпустивши який можна зменшити або збільшити загальну довжину штока [8].

Даний механізм забезпечує максимальну амплітуду зворотно-поступального переміщення дроту при обертанні кривошипу, який становить близько 15 мм при односторонньому вигині гнучкої трубки, і близько 7 мм при симетричному двосторонньому згинанні. Ці значення значно перевищують амплітуди вібрацій, що застосовуються при наплавленні дротом діаметром до 2 мм, й дозволяють детальніше досліджувати безпосередньо сам процес подачі дроту.

Слід зазначити, що з допомогою розробленого устаткування [8] можуть бути реалізовані такі процеси:

- вібродугове наплавлення в середовищі охолоджувальної рідини або захисних газів (наплавлення зносостійких шарів);
- вібродугове зварювання в середовищі захисних газів (зварювання тонколистового металу);
- зварювання та наплавлення з імпульсною подачею дроту (без замикання дугового проміжку) з симетричним та несиметричним циклом подачі дроту (підвищення якості зварювальних з'єднань – зменшення легуючих елементів, керування глибиною проплавлення, керування термічним циклом і т.д.).

Розрахункові 1 та експериментально 2 отримані залежності (Рис. 2.5) переміщення торця присадного дроту від кута повороту кривошипу показують їх задовільну відповідність.

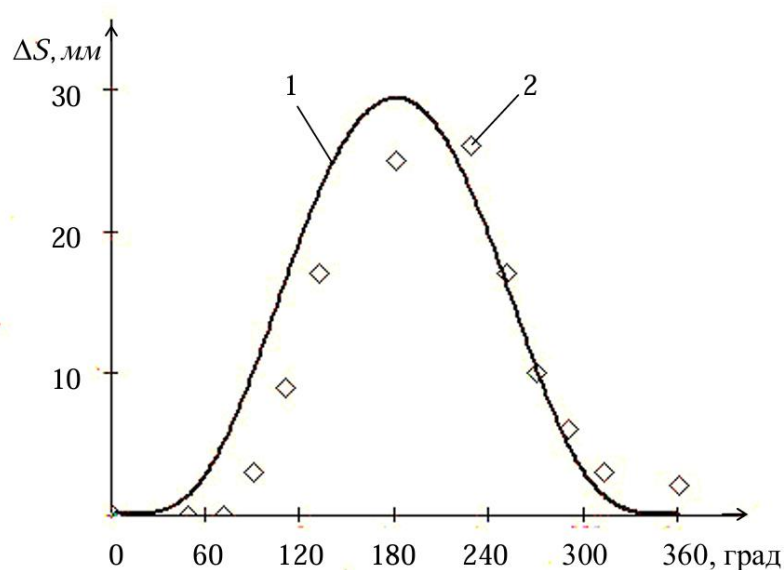


Рисунок 2.5 – Переміщення торця дроту

Відхилення між даними, отриманими шляхом математичного моделювання, та експериментальними пояснюються вигинами дроту в каналі подавального механізму довжиною близько 2 м, а також опором дроту у зварювальній грілці. Таким чином, для більш точних результатів при розрахунку переміщень торця дроту необхідно враховувати конструктивні особливості напрямного каналу та зварювального пальника.

Проведені дослідження показали придатність застосування розробленого механізму подачі дроту для експериментального дослідження процесу напівавтоматичного вібродугового наплавлення.

2.3. Результати дослідження процесу напівавтоматичного вібродугового наплавлення.

Проведені дослідження дозволили виявити дві основні переваги ведення процесу вібродугового наплавлення в напівавтоматичному режимі, від процесу механізованого вібродугового наплавлення. По-перше, при механізованому напавленні зварювальний пальник закріплюється на супорті установки, а торець присадного дроту розміщується на заздалегідь встановленій відстані від поверхні, що наплавляється. Тому, при будь-якій амплітуді вібрації дроту існує можливість знизити зусилля притискання дроту до деталі. Крім того, закріплення зварювального пальника на супорті установки забезпечує прямолінійність формуючого валика наплавленого металу. При напівавтоматичному напавленні зварювальник спирає торець присадочного дроту і, відповідно, зварювальний пальник на поверхню, що наплавляється.

Другою перевагою напівавтоматичного процесу вібродугового наплавлення від механізованого є певне варіювання швидкості наплавлення через ручне переміщення зварювального пальника.

Як показали дослідження, при досягненні деякої амплітуди коливань присадного дроту починає спостерігатися відскакування зварювального пальника від поверхні, що наплавляється та призводить до порушення прямолінійності й стабільності формування валика наплавленого металу [4]. З цієї причини було

проведено дослідження допустимої амплітуди вібрації присадного дроту виходячи з умови забезпечення прямолінійності переміщення зварювального пальника. Подавальним дротом служив пружинний дріт 65Г діаметром 1,6 мм. Зварювальна дуга не запалювалася. Траєкторія переміщення зварювального пальника фіксувалася по слідах ударного впливу торця дроту в поверхню, яка спирається. Задовільною траєкторією переміщення зварювального пальника вважалось в разі формування суцільної лінії відбитків без розривів та одиничних відскоків. Встановлено, що задовільна підтримка траєкторії переміщення пальника забезпечується при амплітуді коливань трохи більше 2...3 мм. Наступне наплавлення одиничних валиків при амплітудах 1 мм і 4 мм підтвердили одержані висновки.

Визначено, що варіювання швидкості наплавлення у напівавтоматичному режимі в діапазоні 15... 20% призводить до зміни геометричних параметрів валика наплавленого металу не більше ніж на 7...10%, що свідчить про можливість реалізації процесу вібродугового наплавлення в напівавтоматичному режимі.

Дослідження процесу наплавлення на певних режимах дозволили встановити, що без вібрації зниження сили струму менше 140...150 А призводить до нестабільного горіння дуги та її обривам. Накладення вібрації дозволяє знизити силу струму навіть до 80...100 А при стабільному формуванні валика. Ширина шва із зменшенням сили струму зменшується з 3,5...4,0 мм до 2 мм (Рис. 2.6).

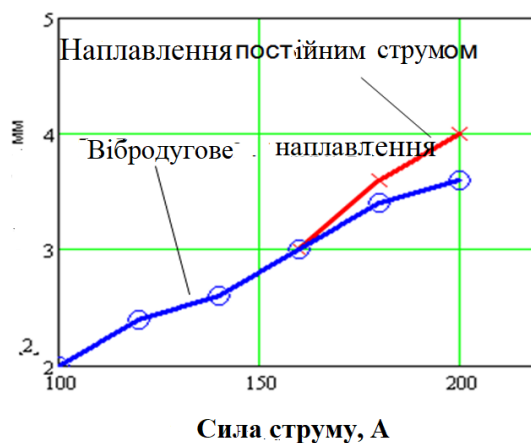


Рисунок 2.6 – Залежність ширини шва від сили струму наплавлення

Виміри мікротвердості показали зниження ширини зони розміцнення, а також слабе зниження твердості у цій зоні (Рис. 2.7). Це підтверджується результатами математичного моделювання.

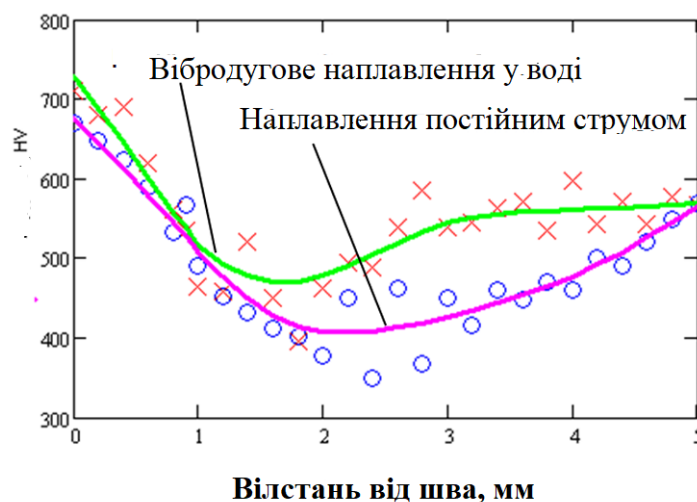


Рисунок 2.7 – Зміна твердості з видаленням від валика наплавленого металу

Таким чином, проведені дослідження показали можливість та доцільність застосування процесу вібродугового напівавтоматичного наплавлення для зміцнення відвалів плугів.

2.4. Результати дослідження процесу зношування зміцнених поверхонь відвалів плугів в процесі експлуатації.

Для забезпечення необхідної точності оцінки величини зношування відвалів плугів, зміцнених у зонах, в яких коефіцієнт локальної інтенсивності зношування перевищує одиницю, вимірювання необхідно проводити таким чином, щоб точки вимірів не потрапляли безпосередньо в місця наплавлення (точки та валики).

За результатами вимірювань визначено коефіцієнти локальної інтенсивності зношування (відношення значення зносу в точці до середнього зносу по всій поверхні) (Табл. 2.1). За певними коефіцієнтами локальної інтенсивності зношування, області зміцнення ($k_i > 1$) розподіляються по поверхні відвалу за схемою наведеною на рис. 2.8.

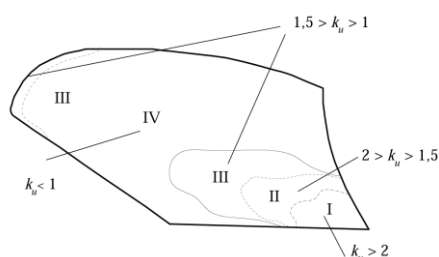


Рисунок 2.8 – Области зміцнення відвалів

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти локальної інтенсивності зношування

№ точки	К-т локальної інтенсивності зношування незміцненого відвалу	К-т локальної інтенсивності зношування зміцненого відвалу	№ точки	К-т локальної інтенсивності зношування незміцненого відвалу	К-т локальної інтенсивності зношування зміцненого відвалу
Область I			Область IV		
1.	2,00	1,45	1.	0,86	1,14
2.	2,09	1,41	2.	0,68	0,91
3.	2,09	1,59	3.	0,49	0,68
4.	2,06	1,55	4.	0,22	0,27
5.	2,03	1,64	5.	0,12	0,18
6.	2,00	1,55	6.	0,06	0,09
Область II			7.	0,03	0,04
1.	1,51	1,18	8.	0,86	1,14
2.	1,54	1,18	9.	0,83	1,14
3.	1,60	1,32	10.	0,80	1,09
4.	1,57	1,27	11.	0,99	1,32
5.	1,63	1,32	12.	0,80	1,09
6.	1,79	1,55	13.	0,99	1,32
7.	1,79	1,55	14.	0,80	1,05
8.	1,72	1,45	15.	0,99	1,32
9.	1,97	1,64	16.	0,99	1,32
10.	1,82	1,50	17.	0,80	1,09
11.	1,76	1,45	18.	0,80	1,09
12.	1,72	1,41	19.	0,80	1,09
13.	1,60	1,36	20.	0,92	1,23
14.	1,60	1,36	21.	0,95	1,27
15.	1,79	1,45	22.	0,99	1,27
16.	1,72	1,36	23.	0,74	1,00
17.	1,66	1,32	24.	0,49	0,68
18.	1,63	1,27	25.	0,43	0,64
19.	1,60	1,27	26.	0,40	0,59
20.	1,54	1,23	27.	0,77	1,00

Продовження таблиці 2.1

Область III			28.	0,71	0,95
1.	1,23	1,00	29.	0,68	0,95
2.	1,05	0,86	30.	0,65	0,91
3.	1,02	0,82	31.	0,55	0,77
4.	1,02	0,82	32.	0,55	0,68
5.	1,42	1,27	33.	0,49	0,50
6.	1,11	1,05	34.	0,37	0,45
7.	1,42	1,14	35.	0,34	0,41
8.	1,35	1,14	36.	0,31	0,41
9.	1,11	1,09	37.	0,31	0,36
10.	1,02	0,82	38.	0,28	1,00
11.	1,05	0,82	39.	0,74	0,73
12.	1,11	0,82	40.	0,55	0,64
13.	1,26	1,18	41.	0,46	0,59
14.	1,23	1,18	42.	0,43	0,45
15.	1,20	1,18	43.	0,34	0,45
16.	1,11	1,09	44.	0,31	0,36
17.	1,05	1,09	45.	0,25	0,36
18.	1,23	1,14	46.	0,25	0,27
19.	1,23	1,14	47.	0,18	1,27
20.	1,20	1,14	48.	0,99	1,27
21.	1,20	1,14	49.	0,95	1,14
22.	1,35	1,32	50.	0,83	1,14
23.	1,17	1,05	51.	0,80	1,14
24.	1,17	1,09	52.	0,77	0,95
25.	1,23	1,09	53.	0,71	0,95
26.	1,26	1,23	54.	0,71	1,09
27.	1,17	1,05	55.	0,80	0,05
			56.	0,03	0,09
			57.	0,06	0,09
			58.	0,06	0,18
			59.	0,12	0,34

Проведений аналіз таблиці показав зниження коефіцієнтів локальної інтенсивності зношування в зміцнених областях (I, II, та III) з одночасним збільшенням коефіцієнта локальної інтенсивності зношування у неукріплених областях (IV).

Коефіцієнт локальної інтенсивності зношування наближається до одиниці по всій поверхні відвалу, забезпечуючи більш рівномірну інтенсивність зношування по всій поверхні та підвищення ресурсу відвалу плуга у 1,4-1,8 разів.

Таблиця 2.2 – Середні значення коефіцієнта локальної інтенсивності зношування в областях відвалу корпусу плуга

К-т локальної інтенсивності зношування	Область відвалу				Середнє значення
	I	II	III	IV	
Незміцненого відвалу	2,05	1,68	1,18	0,58	1,37
Зміцненого відвалу	1,53	1,37	1,07	0,79	1,19

Проведені виміри показали доцільність зміцнення передньої кромки відвалу наплавленням суцільного валика. Інтенсивність зношування прилеглих до неї площин менша, що дозволяє застосувати «плямисте» зміцнення із збільшенням відстані між валиками та точками. Як показали експерименти, схема «плямистого» зміцнення має перешкоджати переміщенню ґрунту по поверхні основного металу та утворенню зносу не зміцненій поверхні.

Висновки по розділу

Таким чином, в даному розділі наведено конструкцію пристрою для дослідження процесу напівавтоматичного вібродугового наплавлення та отримані математичні залежності для розрахунку амплітуди і частоти вібрації торця дроту.

Дані проведених розрахунків вказують на те, що застосування вібродугового наплавлення тонкостінних деталей дозволяє зменшити ширину зони розміцнення до 1-2 мм та знизити розміцнення основного металу в зоні термічного впливу від 10 до 3-6 одиниць за шкалою HRC.

Також визначено, що в процесі експлуатації зміцнених відвалів плугів відбувається зниження коефіцієнтів локальної інтенсивності зношування у зміцнених областях та збільшення – у незміцнених. При цьому інтенсивність зношування стає рівномірнішою і відбувається підвищення ресурсу в 1,4-1,8 рази.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці в сільськогосподарських підприємствах.

Організація охорони праці в сільськогосподарських підприємствах базується на створенні безпечних умов праці, що включають інструктажі, навчання, забезпечення засобами індивідуального захисту та контроль, згідно з «Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві» [7]. За стан охорони праці відповідає роботодавець, який створює службу охорони праці або призначає відповідальних. Основні вимоги охоплюють техніку безпеки під час польових робіт, експлуатацію техніки, поводження з пестицидами.

Основні елементи системи охорони праці:

- Роботодавець зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління ОП.
- Створюється служба охорони праці, якщо працює 50 і більше осіб. При меншій кількості призначаються відповідальні сумісники.
- Обов'язкові вступні, первинні та періодичні інструктажі на робочому місці, а також навчання з електробезпеки.
- Експлуатація машин і механізмів повинна відповідати вимогам, зокрема запобігання травматизму при роботі з тракторами та комбайнами.
- Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту.

Особливості галузі:

- Сезонність: висока інтенсивність праці під час посівної та збиральної компаній.
- Робота з технікою: ризик травматизму від рухомих механізмів.
- Хімічні чинники: використання мінеральних добрив та пестицидів.
- Пожежна небезпечність.

3.2. Заходи з охорони праці в ремонтній майстерні.

Заходи з охорони праці в ремонтній майстерні включають обов'язковий інструктаж персоналу, використання засобів індивідуального захисту (спецодяг, окуляри), справність обладнання, наявність вентиляції та заземлення, а також дотримання пожежної безпеки. До роботи допускаються особи з 18 років, що пройшли медогляд та навчання.

Основні організаційно-технічні заходи:

1) Проведення вступних, первинних та періодичних інструктажів з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки.

2) Забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям, захисними окулярами/щитками, рукавицями.

3) Всі верстати повинні мати захисні огороження рухомих частин, працюючі системи аварійної зупинки та заземлення.

4) Забезпечення достатнього освітлення, ефективної припливно-витяжної вентиляції (особливо при зварювальних та фарбувальних роботах).

5) Підтримання чистоти, заборона захаращення проходів, використання справного інструменту.

Безпека під час виконання робіт:

1) Техніку розміщують на рівному майданчику, піддомкращування проводять лише з використанням надійних підставок.

2) Перевірка цілісності ізоляції, розеток, вимикачів перед початком роботи.

3) Стиснене повітря використовують лише в окулярах, заборонено зливати гарячі рідини з працюючих двигунів.

4) Наявність укомплектованої аптечки першої допомоги.

Особлива увага приділяється забороні роботи на несправному обладнанні та використанню інструментів не за призначенням.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі охорони праці наведені основні організаційні заходи з охорони праці в сільськогосподарських підприємствах, що є обов'язковими до виконання. Також визначені чіткі заходи з техніки безпеки працюючих в ремонтній майстерні, що попереджають виникнення їх травм на робочих місцях.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

З метою зниження витрат на виконання зварювальних операцій, запобігання коробленню деталей, в практиці підвищення супротиву абразивному зношуванню робочих поверхонь деталей все більшого значення набуває застосування технології «плямистого» зміцнення, тобто наплавлення зміцнюваної поверхні одиничними валиками, що не перекриваються. З метою визначення шляхів удосконалення технологій наплавлення, розглянемо основні залежності, що впливають на техніко-економічну доцільність «плямистого» зміцнення робочих поверхонь деталей плуга [6].

Нехай термін служби базової, не зміцненої деталі становить T_0 . Тоді за деякий час T_c необхідно виконати n_0 заміну деталі:

$$n_0 = \frac{T_c}{T_0}, \quad (4.1)$$

При терміні служби зміцненої деталі $T_{зм}$ потрібна кількість $n_{зм}$ замін складе:

$$n_{зм} = \frac{T_c}{T_{зм}}, \quad (4.2)$$

Вартість базової деталі позначимо C_0 . Вартість $C_{зм}$ зміцненої деталі може бути представлена у вигляді:

$$C_{зм} = C_0 + C_{дон}, \quad (4.3)$$

де $C_{дон}$ – вартість зміцнення базової деталі.

Вартість зміцнення базової деталі [11] визначається з виразу:

$$C_{дон} = ЗП + З_M + C_{оп} + C_{ост}, \quad (4.4)$$

де $ЗП$ – повна заробітна плата, грн.; $З_M$ – вартість ремонтних матеріалів, грн.; $C_{оп}$ – вартість загальновиробничих витрат, грн.; $C_{ост}$ – залишкова вартість відвалу після досягнення граничного стану ($C_{ост} = 0,1 \cdot C_0$), грн..

У вартості ремонтних матеріалів ($З_M$) враховується вартість закуплених матеріалів, енергії, послуг інших підприємств. При зміцненні відвалів вони

складаються із витрат на придбання присадного матеріалу ($Z_{\text{ПМ}}$) та витрат на оплату електроенергії ($Z_{\text{ЕЛ}}$).

$$Z_{\text{М}} = Z_{\text{ПМ}} + Z_{\text{ЕЛ}}. \quad (4.5)$$

Витрати на придбання електродного матеріалу становитимуть:

$$Z_{\text{ПМ}} = C_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} \cdot m_{\text{пр}}, \quad (4.6)$$

де $C_{\text{пр}}$ – вартість присадного дроту 65Г, грн./кг; $l_{\text{пр}}$ – довжина присадочного дроту, що витрачається при наплавленні валиків і точок, м; $m_{\text{пр}}$ – маса одного метра дроту присадки, кг/м.

Витрати на оплату електроенергії визначаються виразом:

$$Z_{\text{ЕЛ}} = W_{\text{СВ}} \cdot T_{\text{напл}} \cdot C_{\text{ЕЛ}}, \quad (4.7)$$

де $W_{\text{СВ}}$ – потужність зварювального апарату; $T_{\text{напл}}$ – трудомісткість наплавлення одного відвалу; $C_{\text{ЕЛ}}$ – вартість 1 кВт/год. електроенергії.

Витрати Z_0 на придбання базових деталей протягом деякого терміну T_c складуть:

$$Z_0 = n_0 C_0. \quad (4.8)$$

Витрати $Z_{\text{ЗМ}}$ на придбання зміцнених деталей за цей же термін T_c складуть:

$$Z_{\text{ЗМ}} = n_{\text{ЗМ}} C_{\text{ЗМ}}. \quad (4.9)$$

Для визначення економічної ефективності розробленої технології використовували методику, запропоновану в роботах [11].

Економічна ефективність зміцнення відвалів у стані постачання визначається за виразом:

$$E = \left(\frac{C_0 - C_{\text{ОСТ}}}{T_0} - \frac{C_{\text{ЗМ}} - C_{\text{ОСТ}}^{\text{ЗМ}}}{T_{\text{ЗМ}}} \right) \cdot T_{\text{ЗМ}}, \quad (4.10)$$

де C_0 , $C_{\text{ЗМ}}$ – вартість відвалу в стані постачання та після зміцнення відповідно, грн.; $C_{\text{ОСТ}}$, $C_{\text{ОСТ}}^{\text{ЗМ}}$ – залишкова вартість відвалу в стані постачання і після зміцнення відповідно, грн.; T_0 , $T_{\text{ЗМ}}$ – напрацювання відвалу в стані постачання та після зміцнення відповідно, га.

Ресурс відвалів у стані постачання при оранці на дерново-підзолистих, середньо суглинистих та супіщаних ґрунтах приймаємо $T_0=150$ га, при зміцненні напівавтоматичним вібродуговим наплавленням напрацювання підвищиться до $T_{3M}=270$ га. Тоді економічна ефективність зміцнення для одного відвалу складе 2965,57 грн.

В господарстві може використовуватися 110 відвалів. Таким чином, економічна ефективність зміцнення 110 відвалів буде дорівнювати $E_{3M}=326212,92$ грн.

Висновки по розділу

Таким чином, технологія зміцнення відвалів плугів напівавтоматичним вібродуговим наплавлення дозволить отримати річний економічний ефект у розмірі понад 300 000 грн..

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, з вище проведених досліджень можна зробити наступні загальні висновки.

Із проведеного аналізу в першому розділі щодо причин зношування відвалів плугів та методів їх відновлення, визначено, що великому зношуванню піддаються площини та кромки відвалів плугів й одним з найефективніших способів зміцнення деталей плугів є вібродугове наплавлення в струменях води.

Математичне моделювання показало, що при вібродуговому напавленні збільшення коефіцієнта поверхневої тепловіддачі α до 0,1 (Дж/см² К) призводить до більш ніж 2-кратного зменшення ширини зони термічного впливу. Особливо важливо це при напавленні кромки, коли без охолодження зона термічного впливу майже вдвічі більше, ніж при напавленні площини. Зниження середньої сили струму з 200 до 100 А та підвищення α до 0,1 (Дж/см² К) дозволяють знизити величину розміцнення з 10 до 3...6 HRC. Ширина зони відпуску не перевищує 2 мм.

В розділі охорони праці наведені основні організаційні заходи з охорони праці в сільськогосподарських підприємствах та правила техніки безпеки в ремонтних майстернях, що є обов'язковими до виконання працівниками для уникнення травматизму.

Здійснено техніко-економічну оцінку пропонованої технології. При цьому визначено, що технологія зміцнення відвалів плугів напівавтоматичним вібродуговим напавленням дозволить отримати річний економічний ефект у розмірі понад 300 000 грн..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабкін О.С., Єпіфанцев Л.Т. Методики розрахунку оптимальних параметрів дугового зварювання та наплавлення. *Зварювальне виробництво*. 2004. № 2. С. 3–6.
2. Безбородів І.О. Удосконалення розрахунку параметрів режиму механізованого наплавлення. *Зварювальне виробництво*. 2008. № 1. С. 5–9.
3. Бернштейн Д.Б. Абразивне зношування лемішного леза і працездатність плуга. *Трактори та сільгоспмашини*. 2002. №6. С. 40–45.
4. Біловод О.І., Канівець А.В., Дудник В.В. До питання зносостійкості відновлених робочих органів сільськогосподарських машин. *Наукові нотатки*. 2011. № 31. С. 33–36.
5. Буличев В.В. Удосконалення технологій зміцнювального наплавлення деталей плугів на основі застосування вібродугових процесів. *Трактори та сільськогосподарські машини*. 2010. №4. С. 54–56.
6. Дунаєв П.Ф., Конструювання вузлів та деталей машин. Київ : Вища школа, 2001. 447 с.
7. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 22.01.2026).
8. Кононенко О.С. та ін. Способи підвищення довговічності відвалів. *Бюлетень наукових праць*. 2014. № 1 (5). С. 23–27.
9. Патон Б.Є. та ін. Аналіз технічних та технологічних можливостей імпульсної подачі електродного дроту в процесах дугового зварювання та наплавлення. *Зварювальне виробництво*. 2004. №12. С. 55–58.
10. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
11. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.