

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЖЕКА БОГДАН ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 631.3

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН
ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОЮ ПАЙКОЮ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Б.В. Жека

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Жека Богдан Валерійович. Зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин електроконтактною пайкою. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі пропонується використовувати спосіб електроконтактного паяння через стрічкові аморфні припої металеві стрічки, які знижують хімічну неоднорідність у зоні з'єднання, усувають вплив відмінності у значеннях коефіцієнта лінійного теплового розширення матеріалів при одночасному забезпеченні високої міцності з'єднань.

Дослідженнями зносостійкості встановлено, що покриття, отримане електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припій 1301 вуглецевої сталеві стрічки У12А, має зносостійкість в 1,48 рази вище покриття зі стрічки 50ХФА, а також у 4 рази більшу зносостійкість ніж сталь 45, при цьому зносостійкість сталі 65Г після електроконтактного зміцнення вище сталі 45 в 2 рази та вище сталі 65Г в 1,5 рази.

Проведено модернізацію установки «011-1-10» «Ремдеталь», що дозволяє проводити зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням металеві стрічки. Також розроблений спосіб та технологія зміцнення плоских поверхонь деталей електроконтактним паянням металеві стрічки

Експлуатаційні випробування плугів ПЛЖ РЗЗ 31-702 зі зміцненими лемешами електроконтактною пайкою сталі У12А показали, що напрацювання плугів склала не менше 100 год., при цьому ресурс зміцнених робочих органів склав у 1,8...2,0 рази вище за нові серійні.

Ключові слова: леміш, сталь, зміцнення, електроконтактна пайка, зносостійкість.

ANNOTATION

Zheka Bohdan Valeriiovich. Strengthening the working bodies of agricultural machinery by electric contact soldering.. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is proposed to use the method of electrocontact soldering through amorphous tape solders of metal tape, which reduce chemical inhomogeneity in the joint area, eliminate the effect of differences in the coefficient of linear thermal expansion of materials while ensuring high strength joints.

Wear resistance studies have shown that the coating obtained by electro-contact soldering through amorphous solder tape 1301 carbon steel tape Y12A has a wear resistance 1.48 times higher than the coating of 50 XΦA tape, and 4 times greater wear resistance than steel 45, with wear resistance of steel 65Γ after electrical contact reinforcement above steel 45 times 2 times and above steel 65Γ 1.5 times.

Modernization of the "011-1-10" Remdetal installation was carried out, which allows to strengthen the flat surfaces of the working bodies of agricultural machinery by electro-contact soldering of metal tape. Also the method and technology of strengthening of flat surfaces of details by electrocontact soldering of a metal tape are developed

Operational tests of plows ПЛЖ P33 31-702 with reinforced plowshares by electro-contact soldering of Y12A steel showed that the plowing time was at least 100 hours, while the resource of reinforced working bodies was 1.8... 2.0 times higher than the new serial ones.

Key words: ploughshare, steel, hardening, electrocontact soldering, wear resistance.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПАЯННЯ.....	17
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПАЯННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
ВИСНОВКИ.....	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Одним з найважливіших об'єктом діяльності в сільському господарстві є ґрунт, саме тому особливу увагу у цій роботі приділено ґрунтообробним машинам. У період їх використання в агрегатах та деталях, що входять до їх складу, відбуваються процеси, що залежать від умов експлуатації та напрацювання і призводять до виникнення відмов та несправностей [1–6].

Дефекти деталей сільськогосподарської техніки, що виникають у процесі виконання сезонних польових робіт, пов'язаних із збиранням та обробіткою с/г культур у нормативні терміни, призводить до відчутних економічних втрат. Ці витрати багаторазово перевищують витрати на відновлення працездатності технічно несправної деталі чи техніки загалом.

В даний час для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості деталей виробники сільськогосподарської техніки застосовують матеріали та способи зміцнення, які не завжди забезпечують необхідний рівень фізико-механічних властивостей виробу [7-8].

Для робочих органів ґрунтообробної техніки необхідно створювати покриття, що володіють комплексом властивостей (висока міцність, корозійна стійкість, зносостійкість та ін.). Тому доцільно розробляти багатофункціональні покриття [12].

Перспективним способом є електроконтактне приварювання для зміцнення робочих органів сільськогосподарської техніки та отримання на їх поверхнях функціональних покриттів. Даний спосіб має ряд переваг: незначний термічний вплив на метал деталі, можливість утворювати з'єднання різної номенклатури деталей з кольорових і чорних металів, високі механічні властивості матеріалів, що з'єднуються, а також відсутність вигорання легуючих елементів, безпечні і зручні робочі умови оператора-зварювальника та інші.

На основі вищевикладеного робимо висновок, що розробка технологічних основ покращення якості покриттів, отриманих на плоских робочих органах сільськогосподарської техніки електроконтактною пайкою через стрічкові аморфні припої металевої стрічки, та їх застосування в технічному сервісі (ремонті) є актуальним завданням, рішення якої зробить значний внесок у ресурсозберігаючі технології та конкурентоспроможність вітчизняного агропромислового комплексу.

Мета та завдання дослідження. Аналіз стану проблеми став основою для формулювання цілей та завдань дослідження. **Мета роботи:** підвищити довговічність зміцнених плоских робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням через стрічкові аморфні припої металевої стрічки та модернізувати технологічне обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі технології, способи зміцнення деталей сільськогосподарської техніки та дослідження формування покриття на плоскій поверхні шляхом електроконтактного паяння через стрічкові аморфні припої металевої стрічки;

- модернізувати обладнання для нанесення покриттів на плоскі поверхні, вивчити фізико-механічні властивості сформованих металопокриттів з урахуванням особливостей електроконтактного паяння через аморфні стрічкові припої металевої стрічки;

- провести експлуатаційні випробування зміцнених робочих органів сільськогосподарської техніки, отриманих з використанням розроблених технологій.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням через стрічкові аморфні припої металевої стрічки.

Предмет дослідження – способи електроконтактного паяння металеві стрічки, які дозволяють підвищити довговічність зміцнених плоских робочих органів сільськогосподарської техніки.

Методи дослідження. Експлуатаційні випробування зміцнених робочих органів сільськогосподарської техніки здійснювали за діючими стандартами. Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В. Л., Климчук Д. А., **Жека Б. В.**, Фещук І. П. Основні способи нанесення зносостійких покриттів. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників «Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки», 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 196-200.

2. Куликівський В. Л., Климчук А. А., Климчук Д. А., **Жека Б. В.**, Фещук І. П. Зносостійкість поверхневого шару сталі 65Г після електрофізичних методів обробки. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в АПК», 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 79-81.

3. Савченко В. М., Куликівський В. Л., Климчук А. А., Климчук Д. А., **Жека Б. В.**, Фещук І. П. Аналіз довговічності робочих органів плугів та методів визначення тиску ґрунту на поверхню тертя. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 177-179.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням через стрічкові аморфні припої металеві стрічки.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці і 14 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даний час виробники сільськогосподарської техніки застосовують технології та методи, що формують покриття на робочих поверхнях, які досить успішно, забезпечують працездатність технологічного обладнання та машин у різних умовах експлуатації [1-5].

Ефективними методами отримання покриттів є наплавлення, напилення, осадження та напікання.

Однак вище представлені методи мають наступні недоліки: сильне нагрівання, деформація деталі, вигорання легуючих елементів – дугове наплавлення під шаром флюсу, електрошлакове і плазмове наплавлення [2, 4-12]; велике розбризкування металу (5...10 %) та відкрите сильне світлове випромінювання зварювальної дуги – наплавлення в середовищі захисних газів [4, 5, 6]; поява дефектів у вигляді неметалічних включень, пор, тріщин у наплавленому шарі, різке зниження втомної міцності відновлених деталей, наявність розтягуючих залишкових напружень у поверхневих шарах – вібродугове, газове, лазерне наплавлення [2]; недостатня міцність покриття з основою – газополум'яне, електродугове, плазмове, детонаційне та газодинамічне напилення [10]; невелика величина покриття – фінішне плазмове зміцнення, електроіскрове і гальванічне нарощування [1-9].

Останніми роками значну увагу приділено застосуванню у різних галузях виробництва, а також у сільськогосподарському машинобудування, технічної кераміки. Так застосування технічної кераміки для зміцнення деталей за наданими даними NIAE - Національного інституту сільськогосподарської техніки (Великобританія) – має більшу ефективність, ніж нанесення твердих сплавів наплавленням. Вчені NIAE вивчали зносостійкість деталей зміцнених керамікою, а також техніко-економічні показники. З результатів досліджень

встановлено, що зносостійкість різних деталей ґрунтообробних машин підвищилася у 3,11 рази [9].

Відомі роботи вчених, що присвятили дослідження продовженню ресурсу лемешів, таких як В. С. Новікова, А. М. Михальченкова, С. А. Сидорова та інших (табл. 1.1) [1-9].

Таблиця 1.1 – Способи продовження ресурсу лемешів

Автор	Спосіб	Матеріал	Твердість одержуваного покриття	Напрацювання, га
Будко С. І.	Дугове наплавлення твердих сплавів	Наплавний електрод Т-590	58...62 HRC _a	28 - 32
		Твердий наплавний сплав Сормайт-1		
Гончаренко В. В.	Паяння металокерамічних пластин	Припой Л-63	87,5 HRA	46-50
		Сплав ВК-8		
Капошко Д. А.	Термозміцнення поверхні покровою наплавленням	Маловуглецевий електрод Э 50А	56,3 HRC _a	20
Козарез І. В.	Зміцнюючі відновлення двошаровим наплавленням	Маловуглецевий електрод Э 42А	61 HRC _a	25-35
		Наплавлювальний електрод Т-590		
Магомєдов Р. А.	Формування зносостійкого покриття на основі чавуну	Порошок основи чавуну СЧ19	55,6 HRC _a	24,7
Тюрева А. А.	Наплавочне армування	Маловуглецевий електрод Э 46А	56,3 HRC _a	18,2
Шитов А. Н.	Застосуванням імпульсного електроконтактного нагрівання	Для електроконтактного зміцнення береться леміш зі сталі Л53	50-52 HRC _a	15,8
Новіков В. С.	Наплавлення індукційне	Індукційне наплавлення ПГ - УСЧ30	54 HRC _a	25
	Пайкоприпоєм МНМЦ-68-4-2 пластини із зносостійкого білого чавуну	ІБЧ 300Х9Ф6	68 HRC _a	31
	Механічне кріплення пластини зі сталі	Конусна наставка зі сталі Х12	60 HRC _a	60
	Приклеювання клеєм ВК-36 пластини з корундової кераміки ТК-Г	ТК-Г	19...20 ГПа	26,4

У роботі [10] показана технологія поверхневого зміцнення деталей плужних корпусів з використанням зварювально-наплавних електродів і порошкових сплавів з оцінкою показників якості наплавлення швидкозношувани

поверхні, включаючи нагрівання основного металу. Електродугове наплавлення здійснювалася покритим електродом Т-590 шаром порошкового сплаву «Сормайт - 1».

Автор [5] представив технологію зміцнення та відновлення леміша плуга пайкою пластин з металокераміки. При паянні використовувалися припій Л-63 та металокерамічні пластини зі сплаву ВК-8. Також у роботі [5] наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень міцності сполук, отриманих пайкою металокераміки до леміша, результати дослідження корозійної стійкості та зносостійкості.

У роботі [6] наплавлення здійснювалася покроково маловуглецевими електродами. При наплавленні використовувався електрод марки Е50А-УОНІ-13/55-УО-А $d = 4$ мм (рис. 1.1).

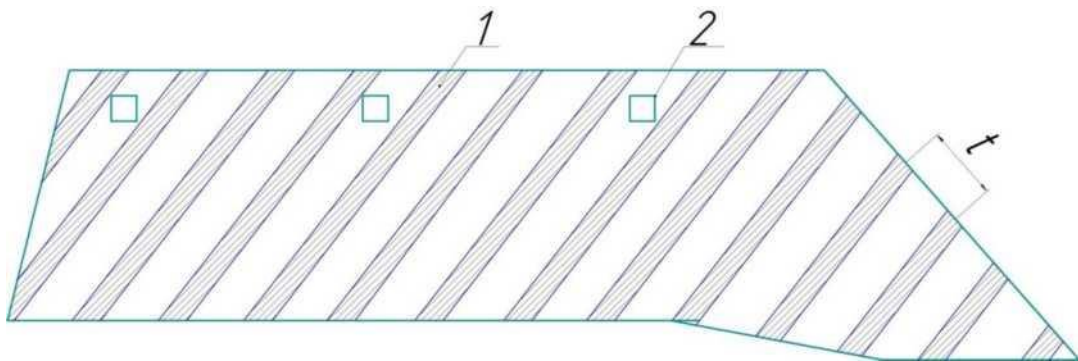


Рис. 1.1. Схема наплавлення плужного леміша: 1 – наплавлений валик, 2 – отвори кріплення, t - крок наплавлення

Автор [7] у роботі використала технологію двошарового наплавлення, де проміжний шар має підвищені пружні та пластичні властивості порівняно з поверхневим зносостійким покриттям. Для створення проміжного шару використовувалися маловуглецеві електроди марки Е42А, а для створення зносостійкого поверхневого покриття застосовували електроди марки Т-590.

У роботі [8] представлена технологія наплавлення на робочі поверхні леміша зносостійкого покриття з порошку на основі чавуну, легованого у певних співвідношеннях бором та марганцем. При наплавленні використовувався порошок на основі чавуну СЧ20 з додаванням 2.4% бору та 1.3% марганцю.

Автор [9] розробила технологію зміцнення леміша наплавним армуванням з безперервним нанесенням валиків у формі напівеліпса в зоні утворення променеподібного зносу і з подальшим охолодженням носка леміша у воді. Відстань між вершинами валиків лімітована зонами термічного впливу і становить $b = 30...40$ мм, між гілками ($a = 43$ мм) – розмірами променеподібного зношування, кут нахилу до польового обрізу $\alpha = 10^\circ$, ширина валиків 3..4 мм. Як наплавний матеріал використовувалися маловуглецеві електроди марки Е46А.

У роботі [30] представлена технологія підвищення довговічності та зносостійкості ґрунторізальних робочих органів шляхом забезпечення самозагострення (на прикладі леміша для відвальних плугів). Даного явища автор [30] досяг у результаті точкового імпульсного електроконтактного нагрівання та утворення при експлуатації зубчастого леза. Для проведення випробувань використовувався леміш зі сталі марки Л53 (рис. 1.2-1.3).

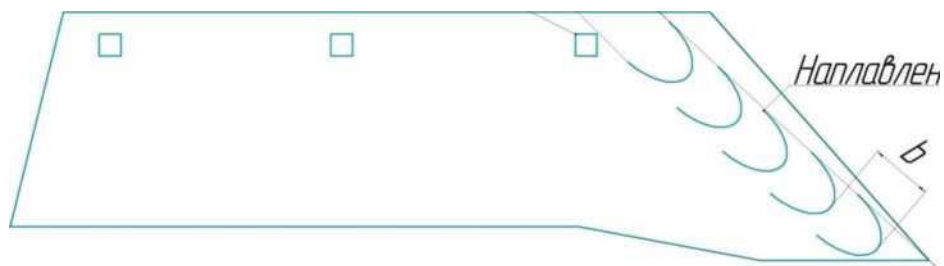


Рис. 1.2. Схема наплавлення при зміцненні леміша

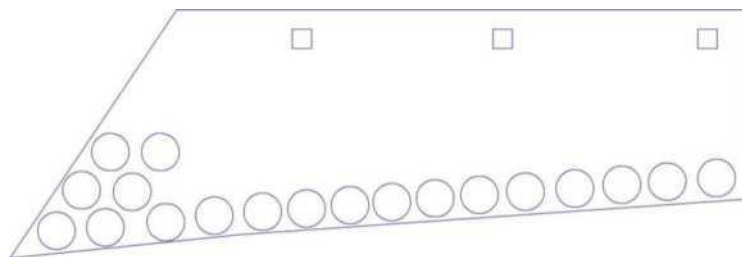


Рис. 1.3. Схема розташування зміцнених плям на леміші

Автор [2] у роботі застосовував методи наплавлення (ручної дугової, плазмової, індукційної); пайка припоєм пластин та брусків із зносостійкого білого чавуну марки ІБЧ300Х9Ф6; механічне кріплення пластин та конусних наставок зі зносостійкої сталі; приклеювання клеєм пластини з корундової кераміки.



Рис. 1.4. Зміцнені леміші: а – наплавлення; б – паяння пластин зносостійкого білого чавуну; в - приклеювання пластин із корундової кераміки; г – механічне закріплення пластини із зносостійкої сталі; д – механічне закріплення конусної вставки зі зносостійкої сталі.

При напавленні (дуговій, індукційній, плазмовій) використовувалися наплавні матеріали марок Т-590, ОЗІ-6-2, ПГ-УСЧ-30 (рис. 1.4).

Електроконтактні способи наварювання (приварювання), що використовуються для відновлення та зміцнення деталей, у порівнянні з розглянутими вище способами, мають переваги пов'язані зі збереженням початкових властивостей матеріалу деталі при високій міцності покриття з основним металом та інші [7].

Процес електроконтактного приварювання відноситься до термомеханічного класу способів зварювання [7]. Активація утворення зварного з'єднання протікає за допомогою введення термічного та механічного видів енергії. Утворення покриття і з'єднання його з основним металом здійснюється в результаті нагрівання приварюваного металу і поверхневого шару деталі короткими імпульсами електричного струму, що проходить, і їх спільного пластичного деформування. Ступінь пластичного деформування матеріалу, що приварюється, значною мірою визначається його видом: дріт, металева стрічка або порошок.

Відомі роботи вчених О. В. Поляченко, Р. А. Латипова та інших, що присвятили дослідження збільшенню ресурсу плоских поверхонь деталей електроконтактного приварювання [2-4].

Автором [5] розроблена технологія, заснована на електроконтактному плакаванні ножів, що творять зносостійкими стрічками. У такий спосіб зміцнювалися: ножі підрізувача кореневищ хмелю, кормозбирального та картоплезбирального комбайнів, протирижучих пластин та інші деталі. У роботі [5] застосовувалися стрічки отримані перетином порошків типу ЛС-70ХЗНМ(А), а також спечені стрічки засновані на Fe-Cr3C7-Cu, які забезпечують високу зносостійкість покриття та міцність з'єднання.

Автор [6] займався зміцненням дискових робочих органів ґрунтообробних машин електроконтактним приварюванням. Для зміцнення використав шлам ШХ15. Даний матеріал є відходами виробництва шарикопідшипників, і за своїм хімічним складом практично не відрізняються від сталі ШХ15, але при цьому вміст вуглецю збільшується на 40%. Дискові робочі органи сільгосптехніки електроконтактним приварюванням шламу ШХ15 зношуються в першу чергу по внутрішній стороні в той час як покриття нанесене по ріжучій кромці значно повільніше, при цьому забезпечується ефект самозагострення. Зношування зміцнених дискових робочих органів було в межах 0,05...0,1 мм по діаметру з напрацюванням 140...151 га, а неукріплених – 0,4...0,5 мм [6].

Автор [7] запропонував технологію зміцнення ріжучих робочих органів (хрестові ножі) промислових м'ясорубок електроконтактним приварюванням дифузійно-хромованої стрічки. У роботі [7] зміцнювалися сталеві стрічки марок 45, 65Г, У8А, та ХВГ на товщину 0,012-0,030 мм, шляхом парофазного хромування у вакуумі при температурі 1200 ° С з наступним електроконтактним приварюванням. Ресурс досвідчених хрестових ножів, що пройшли через зміцнення електроконтактним приварювання дифузійно-хромованих стрічок, за отриманими даними автора [7], зросла між переточками з 6,8 ... 8 до 13 ... 18 год.

Автор [3] розробив технологію підвищення ресурсу лемішів шляхом імпульсного електроконтактного нагрівання. Автор [3] встановив, що зміцнені імпульсним електроконтактним нагріванням леміха плуга, виготовлені зі сталі Л53 мають структуру мартенситу і зношуються з тією ж швидкістю що і зразки, що пройшли термообробку до твердості 50.52 HRC) і на 28% нижче зразків зі сталі. У лемішів з напрацюванням 10 га знос на суглинному ґрунті становить 15,83 мм і 10,7 мм відповідно для неукріпленого і зміцненого лемішів, на пісковиках - для неукріпленого 16,67 мм і для зміцненого 12,6 мм; на суглинних ґрунтах – 8,61 мм і 8,3 мм, відповідно для неукріпленого та зміцненого лемішів.

На суглинках швидкість зношування неукріплених лемішів на 17,41% вище, ніж лемішів, що пройшли через зміцнення електроімпульсним точковим нагріванням, на пісковиках на 13,11%, на суглинистих – на 9,8%. У леміша зміцненого електроімпульсним точковим нагріванням, спостерігається ефект самозагострення рахунок утворення зубчастого леза і різної твердості ділянок леза [3].

Аналіз показав, що електроконтактні способи, а також матеріали, що застосовуються у наведених роботах, дозволяють реалізувати покриття з необхідними експлуатаційними властивостями робочих органів сільськогосподарської техніки. При цьому як присадковий матеріал можливе використання металевих порошків, проте при їх застосуванні можливі труднощі з нездатністю отримання шару зі стабільними властивостями, якщо

застосовувати суміші порошків, закріпленням порошків на поверхні деталей. З цього доцільно використовувати металеві стрічки.

Електроконтактне приварювання металевої стрічки дозволяє уникнути перерахованих вище недоліків порошків, а також є можливість отримувати покриття із заданою твердістю, зносостійкістю та іншими необхідними експлуатаційними властивостями [1-4].

З метою підвищення якості покриття, що формується, із сталевих стрічок авторами [1-8] пропонується проводити її термічну обробку (середньотемпературну відпустку) перед приваркою або використовувати проміжні шари.

Висновки по розділу

На підставі вище викладеного в роботі пропонується спосіб зміцнення плоских робочих органів сільськогосподарської техніки, що включає нанесення зносостійкого матеріалу в місцях, схильних до найбільшого абразивного зношування шляхом отримання металевих шару покриття електроконтактною пайкою через аморфні стрічкові припої металевих стрічок .

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПАЯННЯ

Однією з найважливіших завдань дослідження, вибір експериментальної установки, яка дозволить використовувати процес електроконтактної пайки з можливістю зміни технологічних параметрів, що має найбільше значення, таких як сила зварювального струму J , зусилля стиснення електродів P , тривалість зварювального імпульсу t_H , тривалість паузи t_n , та інших в досить широкому діапазоні.

В якості такого обладнання використовувалася модернізована в цій роботі установка «011-1-10» «Ремдеталь» (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Модернізована установка «011-1-10» «Ремдеталь»

Тарування величини зварювального струму установки «011-1-10» «Ремдеталь» проводили за допомогою приладу ІСТ-02 (вимірювача зварювального струму) виробництва ЗАТ «КБ АСТ» (м. Кропивницький), який призначений для використання як інструмент при проведенні робіт з діагностики, ремонту та контролю параметрів машин контактного зварювання [7]. Прилад здійснює відображення форми імпульсу зварювального струму,

вимірювання його чинного значення та тривалості. Вимірювання виконуються як для зварювальних машин змінного струму, так і з випрямленням у вторинному контурі (рис. 2.2).

Тривалість протікання паузи та зварювального імпульсу задавали за допомогою регулятора циклу зварювання РВІ-501 (складова частина установки «011-1-10» «Ремдеталь») призначеного для управління циклом зварювання, контролю та стабілізації значення зварювального струму, машин контактного зварювання змінного струму.

Зусилля стиснення зварювальних електродів регулювалося за допомогою манометра ТМ-310 (ГОСТ 2405-88), розташованого на установці "011-1-10" "Ремдеталь", а його контроль здійснювали манометром МПЗ-У (рис. 3.4) (ГОСТ 2405-88) призначеного для вимірювання тиску і розрядження неагресивних рідин, що не кристалізуються, пари, газу, в тому числі кисню, ацетилену, хладонов [98].



Рис. 2.2. Манометр МПЗ-У

Тарування зусилля стиснення проводилося за допомогою динамометра (рис. 2.3) ДОСМ-3-10У (ISO 376:2011), призначеного для вимірювання статичної сили стиснення при періодичній повірці випробувальних машин та стендів.

Динамометри є пружним сталевим циліндричним тілом з механічним вимірювальним індикатором годинного типу і перехідними елементами - різьбовими шпильками, з'єднаними з пружним елементом при підготовці до

роботи і фіксовані контргайками при навантаженні, що перевищує найбільшу межу вимірювання на 10%.



Рис. 2.3. Динамометр.

Графік тарування зусилля стиснення динамометра ДОСМ-3-10У представлено рис. 2.4.

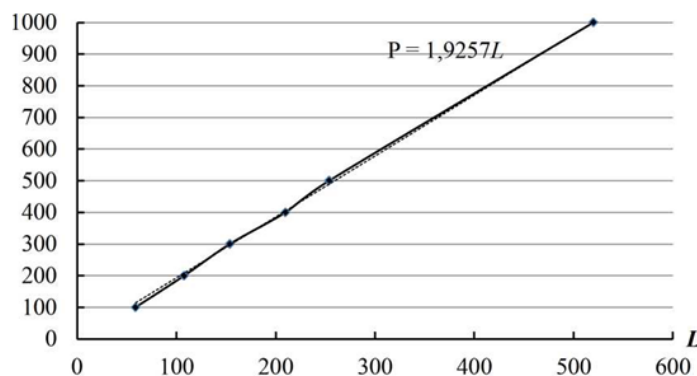


Рис. 2.4. Графік тарування динамометра

Експлуатаційні випробування лемішів плуга ПЛЖ РЗЗ 31-702 проводились відповідно до вимог ДСТУ. Леміх ПЛЖ РЗЗ 31-702 призначений для роботи на 3, 4, 5, 8 корпусних плугах із шириною захвату корпусу 35 см.

Леміхи ПЛЖ РЗЗ 31-702 встановлювалися на плуг навісний FINIST ПЛН 3-35, призначений для відвального обробітку ґрунту, не засмічених каменя та іншими перешкодами на глибину до 30 см, з питомим опором до 0,12 МПа (1,2 кг/см²), твердістю 4 МПа (40 кг/см²) та вологістю до 22 % (таблиця 2.1).

Плуг навісний FINIST ПЛН 3-35 (малюнок 2.5) агрегується з тракторами сільськогосподарського призначення, що мають триточкове навішування, тягового класу до 1,4 (потужністю двигуна 80.100 к.с., у тому числі МТЗ-80, МТЗ-82).

Для експлуатаційних випробувань береться порівняння зміцнених лемішів ПЛЖ РЗЗ 31-702 з незміцненими. При встановленні лемішів на плуги

незміцнений леміш є контрольним, яким оцінюється підвищення зносостійкості зміцнених лемішів.

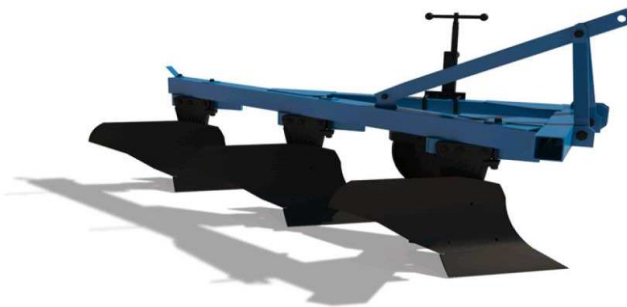


Рис. 2.5. Плуг навісний FINIST ПЛН 3-35

Таблиця 2.1 – Умови випробувань та режими роботи плуга ПЛН 3-35

Показник	Значення показника по:	
	Нормативні	Дослідні
Вид роботи	Оранка	Оранка ґрунту по стерні
Умови випробувань:		
Тип ґрунту та назва за механічним складом	Усі типи ґрунтів, крім кам'янистих	Сірі лісові та суглинкові ґрунти
Рельєф, град.	До 8	До 5
Мікрорельєф, см	До 5*	3,5
Вологість ґрунту, %, у шарах, см:		
От 0 до 10 вкл.	До 22	18,7
св. 10 "20"	До 22	19,3
"20"30"	До 22	20,7
Твердість ґрунту, МПа, у шарах, см:		
От 0 до 10 вкл.	До 4,0	0,8
св. 10 "20"	До 4,0	2,3
"20"30"	До 4,0	3,9
Маса рослинних та пожнивних залишків на 1 м ² , г	Немає даних	220,5
Висота (довжина) рослинних та пожнивних залишків, см	До 25	20,8
Попередня обробка ґрунту	Стерня зернових, овочевих, технічних культур	Стерня зернових, овочевих, культур
Режим роботи:		
- швидкість руху, км/год	До 9,0	8,20
- робоча ширина захвату, м	1,05	1,05
- глибина оранки, см	до 30	22...25

Перед установкою лемішів на плуг заміряються геометричні параметри: довжина, ширина та товщина, а також їхня маса. Це робиться для того, щоб після випробувань оцінити їх напруцювання та зносостійкість зміцнених лемешів.

Маса дослідних лемішів вимірювалася на вагах МАСА ТВ-S-32.2-A1; розміри, товщина за допомогою штангенциркуля Filetta, а довжина та ширина за допомогою точної лінійки.



Рис. 2.6. Ваги МАСА ТВ-S-32.2-A1

Після випробувань дослідчені леміша відчищаються від забруднень (грунтів та рослинних залишків), а потім піддаються повторним вимірам. Далі отримані дані порівнюються з вихідними визначення величини зносу на 1 га

Висновки по розділу

Для виконання завдань поставлених у роботі розроблено план, що включає етапи аналізу стану питання та експериментальних досліджень, модернізацію обладнання, лабораторних та експлуатаційних випробувань, розробку технологічних рекомендацій та економічну оцінку запропонованих рішень.

Розроблено методику експлуатаційних випробувань лемішів плуга ПЛЖ РЗЗ 31-702, що мають покриття із сталеві стрічки У12А, нанесеною електроконтактною пайкою через стрічкові аморфні припої. Методика заснована на порівнянні втрат у масі та зміні геометричних розмірів із заводськими лемішами.

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПАЯННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактною пайкою через стрічкові аморфні припої металевої стрічки в роботі модернізовано установку «011-1-10» «Ремдеталь» (рис. 3.1).

У пропонованій конструкції установки «011-1-10» «Ремдеталь» електродні головки виконані з блоків, з'єднаних між собою під кутом 90° , із закріпленими на них роликівими електродами, вісь обертання яких спрямована перпендикулярно до руху подачі електродних головок. Також є тримач для плоских деталей, що кріпиться в патроні та пінолі обертача, забезпечений штовхачем і регулювальними гвинтами, що дозволяють зміщувати штовхач разом з деталлю в процесі зварювання, тим самим здійснюючи поперечну подачу, у свою чергу штовхач тримача забезпечений гвинтами, що закріплюють деталь.

До складу тримача для плоских деталей 5 входять (рис. 3.1, б): передня 8 і задня 9 осі кріплення, конус Морзе 10, верхні напрямні 11, передня стінка 12, бічні стінки 13 і нижні полиці 14, зварені в раму, передній стінці 12 розміщені гвинти поперечної подачі штовхача 15, штовхач 16, що спирається на полиці куточків бічних стінок 13.

Штовхач 16 (рис. 3.1, в) складається з корпусу 17, гвинта кріплення деталі 18, стопорних шайб 19 і шплінтів 20.

Пристрій для електроконтактного паяння (рис. 3.1, а) кріпиться на рицинах 1 і виконано з блоків 2 і 3, з'єднаних під кутом 90° один до одного. На одному кінці блоків 3 є отвори для кріплення роликівих електродів 4, протилежна сторона має уступ під кріплення блоку 2, тримач для плоских деталей 5 із закріпленими в ньому деталлю 6 та присадним матеріалом 7.

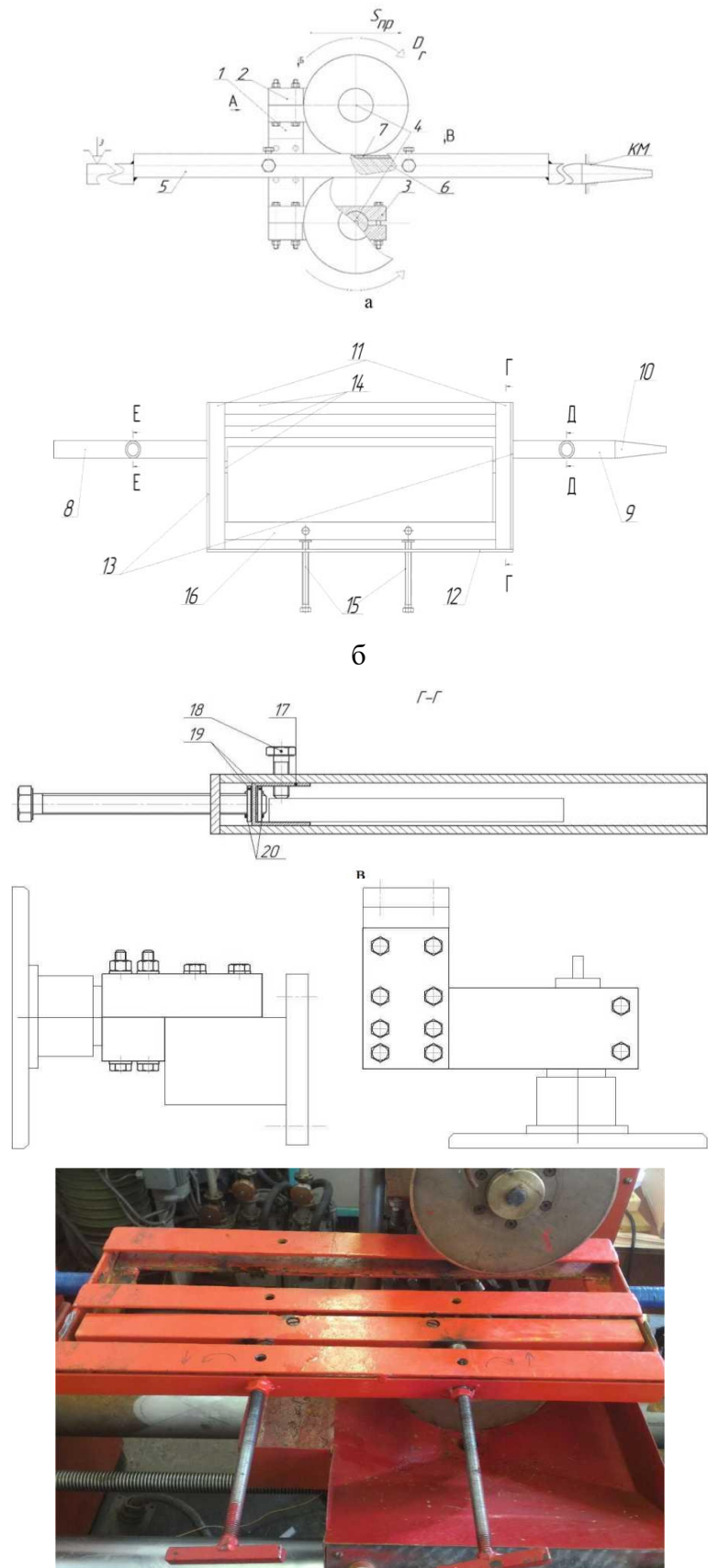


Рис. 3.1. Пристрій для електроконтактного паяння плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки у зборі: а – загальна схема

пристрою; б – утримувач плоских деталей; в – штовхач плоских деталей у розрізі; г – електродні головки у зборі; д – фотографія пристрої; (1 – рицина; 2, 3 – блоки; 4 – отвір для кріплення роликів електродів 5 – утримувач для плоских деталей; 6 – деталь; 7 – присадочний матеріал; 8 – передня вісь кріплення; 9 – задня вісь кріплення; 10 – конус Морзе; 11 – верхні напрямні; 12 – передня стінка; 13 – бічні стінки; 14 – нижні полиці; 15 – гвинти поперечної подачі; 16 – штовхач; 17 - корпус штовхача; 18 – гвинт кріплення деталі; 19 – стопорна шайба; 20 – шплінти)

Пристрій працює в такий спосіб. Деталь 6 закріплюється в штовхачі 16 тримача 5 гвинтами кріплення 18. Тримач 5 встановлюється передньою віссю 8 трикулачковий патрон, а конусом Морзе 10 задньої осі 9 в піноль установки для електроконтактного зварювання. При зварюванні до деталі 6 роликівими електродами 4 з заданим зусиллям притискається присадковий матеріал 7, при цьому рицини 1 з закріпленою на ній пристроєм надається рух подачі $S_{пр}$ зварювальною кареткою, через сили тертя виникає між роликівими електродами 4, деталлю 6 наводяться на обертання D_r . Необхідне перекриття зварювальних майданчиків між прямолінійними швами забезпечується поперечною подачею S_n деталі 6 при обертанні гвинтів 15 або проти годинникової стрілки в залежності від необхідного напрямку.

Модернізована конструкція установки "011-1-10" "Ремдеталь" була апробована при зміцненні лемешів плуга (рис. 3.2).

Слід зазначити, що розроблена конструкція зварювальної головки та пристосування для утримання плоских деталей може бути встановлена практично на всіх видах обертачів та призначена для зміцнення та відновлення плоских деталей довжиною до 530 мм, шириною до 160 мм та товщиною до 30 мм, що працюють у різних умовах експлуатації.

Перед електроконтактною пайкою контактні сторони деталі і стрічки, що напоюється, піддають обробці, наприклад, газодинамічної, дробоструминної або іншій обробці, в процесі якої на поверхнях, що з'єднуються, створюється шорсткість $R_a = 2,5...8,0$ мкм. На одну з оброблених поверхонь (деталь або стрічку) міститься стрічковий аморфний припій (товщиною від 0,04 до 0,06 мм).

Далі деталі, що з'єднуються, промивають для видалення з поверхні масла та інших забруднень, знежирюють в органічних розчинниках.



а

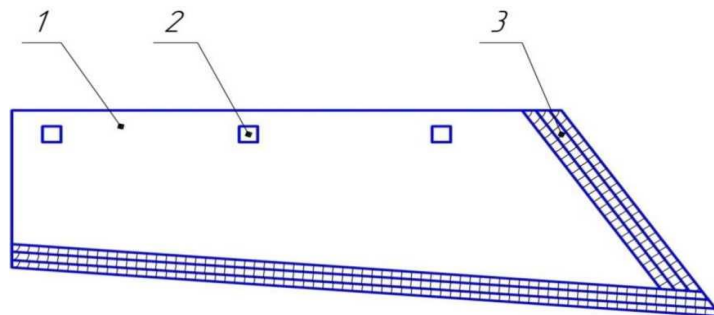


б

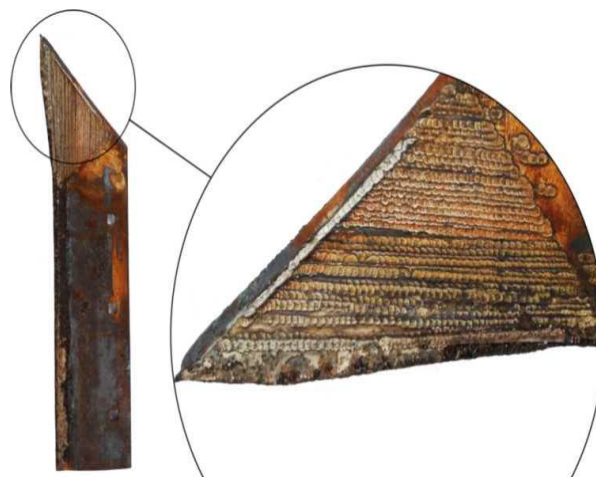
Рис. 3.2. Електроконтактне паяння металевої стрічки до поверхні леміша: а – вид зверху; б – вид з переду

Підготовлена для зміцнення деталей і стрічка, що напоюється, повинні бути сухими і мати металевий блиск. Потім деталь закріплюють на установці, а

роликовий електрод встановлюють - в середній частині зміцнюваної ділянки та включають зварювання, тим самим закріплюють стрічку до деталі, щоб стрічка в процесі зварювання не перекошувалася. Потім підводять роликовий електрод крайнє положення ділянки деталі, і зміцнюють всю ділянку деталі (рис. 3.3).



а



б



в

Рис. 3.3. Спосіб зміцнення плужних лемішів електроконтактним паянням: а – рисунок зміцненого леміша за технологією; б – фото зміцненого носка леміша; в – фото зміцнених лемішів, 1 – леміш; 2 – кріпильні отвори; 3 – припаяна вуглецева стрічка

Зварювальний струм 6,8 кА проходить через контакт «стрічка-стрічковий аморфний припій-деталь» імпульсами. При переміщенні деталі під час електроконтактного паяння на її поверхні утворюється ряд точок, причому кожна імпульсна точка перекидає попередню, тим самим утворюється безперервне паяне з'єднання. Слід зазначити, що електроконтактна пайка характеризується короткочасним протіканням процесу за малий проміжок часу в точці, що припаюється, виділяється така кількість тепла, яке достатньо для пайки металу.

Апробацію вищевказаного способу здійснювали на прикладі зміцнення серійних лемеш плуга в місцях схильних до найбільшого зношування. Склад покриття: сталева вуглецева стрічка У8А (ДСТУ) товщиною 0,5 мм та шириною 30 мм; припій - стрічковий аморфний припій Стемет 1301. Сторону металевої стрічки, що припаюється, і деталі піддавали газодинамічній обробці окисом алюмінію марки К-00-04-16, формуючи на поверхні стрічки мікрорельєф в межах 2,5...8,0 мкм. Припаювали стрічку через аморфний стрічковий припій до поверхні деталі на наступних режимах: тривалість імпульсу струму від 0,1 с, сила струму в імпульсі 6,8 кА, тривалість паузи між імпульсами 0,10 с, кількість охолоджуючої рідини, що подається в зону пайки, 1 8 л/хв, тиск на електродах 1,6 ат.

У разі отримання товстостінного покриття електроконтактним паянням через стрічкові аморфні припої металевих стрічок можливі варіанти багат шарового електроконтактного паяння в місцях, схильних до найбільшого абразивного зносу.

Технологічний процес паяння багат шарового покриття при зміцненні деталей механізмів і машин полягає у виготовленні додаткових ремонтних деталей у вигляді стрічок, нанесенні на їх поверхню стрічкового аморфного матеріалу, з'єднання стрічок з поверхнею, що зміцнюється шляхом крокового-шовного нагріву імпульсним струмом величиною 6,8 кА і напругою 5 В з одночасним додатком тиску та охолодженням зони з'єднання.

Перед пайкою другого шару напоюваної стрічки і наступних шарів необхідно зробити проковування припаяного шару стрічки, для створення сприятливих стискаючих напруг і необхідної шорсткості, що позитивно впливають на процес пайки «стрічки-стрічковий аморфний припій-деталь». При паянні другого шару стрічки, що напоюється, температурний режим не впливає на твердість першого привареного шару і, отже, не викликає зміни його фізико-механічних властивостей. При необхідності відновлення і зміцнення деталей до номінального розміру електроконтактну пайку стрічки з аморфним стрічковим припоєм виробляють в кілька шарів в тій же послідовності і при тих же оптимальних режимах. При цьому внаслідок перехідного опору, що виникає, «стрічки-стрічковий аморфний припой-деталь» протягом імпульсу струму відбувається локальний нагрівання основної деталі, стрічки, що напоюється, і стрічкового аморфного припою.

Під дією прикладеного зусилля (стиснення) утворюється нероз'ємне з'єднання.

Крім вищерозглянутих способів, електроконтактним паянням ще можна отримувати покриття з відходів машинобудівного та інструментального виробництва, при цьому підвищується ресурс відновлюваних та (або) зміцнюваних деталей та знижується їх вартість.

Матеріалами, що застосовуються як присадочні, є відходи машинобудівного або інструментального виробництва - широкий спектр конструкційних, інструментальних вуглецевих, легованих або швидкорізальних сталей різних товщин (діаметрів).

Присадочні матеріали для здійснення пропонованого способу беруться у вигляді стрічок, причому товщину стрічок підбирають необхідної величини, не виконуючи багатошарове приварювання.

Апробування запропонованого способу здійснювали на прикладі зміцнення леміш плуга в місцях найбільшого зносу. Матеріал покриття: металорізальні ножівкові полотна ручні Р9, Х6ВФ або В2Ф завтовшки 0,65 мм; металорізальні

ножівкові полотна машинні Р6М5 або Р9М3 (ГОСТ19265-73), а також HSS стали М2 або М3 завтовшки від 0,63 до 2,5 мм. Зазначені полотна (уламки) відрізали в розмір (вирівнюючи кромки), після чого укладали на поверхню деталі з фіксацією зварювальними точками, після покриття необхідної площі деталі проводили суцільну пайку по всій поверхні, при цьому твердість отриманого покриття становила 58.65 HRC₃.

Пропонований спосіб дозволяє підвищити екологічність утилізації відходів машинобудівного та інструментального виробництва, що підлягають утилізації, оскільки не вимагає їх переробки (переплавки) у спеціальних металургійних агрегатах, а також у 2-2,5 збільшити ресурс деталей машин, що працюють в умовах інтенсивного зношування.

Метою експлуатаційних випробувань розробленої технології зміцнення плоских поверхонь електроконтактним паянням металеві стрічки була перевірка працездатності та зносостійкості дослідних лемішів у порівнянні з серійними, шляхом визначення агротехнічних показників надійності.

Досвідчені леміша виготовлені зі сталі 30ХГСА з ріжучою кромкою, наплавленою плазмовим способом матеріалом, що містить 40% карбиду вольфраму та 60% хром-марганцевисто-бористий сплав на основі заліза. Як аналог для порівняння використовувалися серійні леміхи вітчизняного виробництва РЗЗ ПЛЖ.31-702, виготовлені зі сталі 65Г з наплавленим шаром сормайтотом № 1 (рис. 3.4).

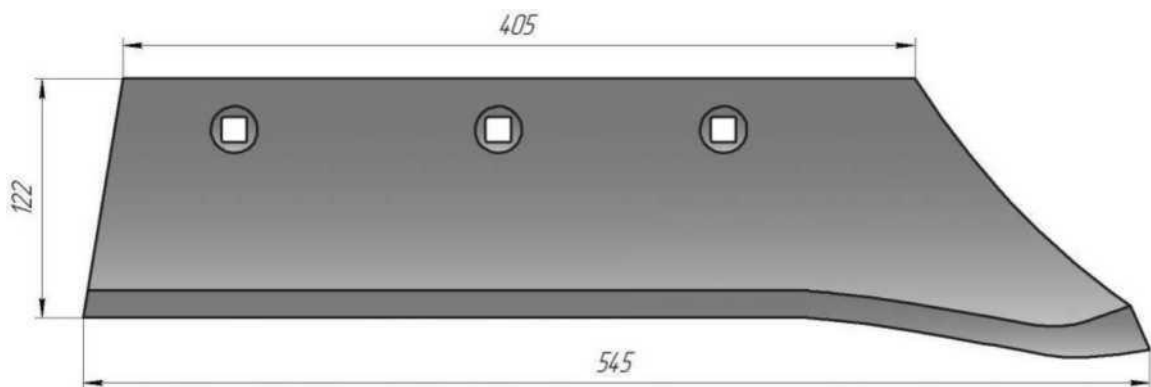


Рис. 3.4. Серійний леміш РЗЗ ПЛЖ.31-702

Коротку технічну характеристику виробів наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика виробів

Найменування леміша	Маса, г	Товщина, мм	Довжина польового обрізу, мм	Ширина наплавленого шару леза, мм	Твердість HRC наплавленого шару, од.
Зміцнений електроконтактним	5100±125	10	178±2	90±5	62±2
Леміш серійний	5055±125	10,0	178±2	17±3	54±2

Визначення функціональних показників роботи експериментальних лемішів здійснювалося на оранці легких та середньосуглинистих ґрунтів плугом ПЛН-3-35, укомплектованим культурними корпусами. Робота плуга виконувалася в агрегаті з трактором МТЗ-82 на оптимальній для зони глибини оранки 20 см.

Агрегат з плугом, укомплектований зміцненими електроконтактним паянням стрічки У12А та серійними лемішами, на ґрунті вологістю 22,4 % забезпечував виконання технологічного процесу з робочими швидкостями до 9,5 км/год. На вологості 14.15 % швидкісний режим вище зазначених лемішів знижувався на 16.18 % (до 8 км/год).

Встановлено, що на всіх режимах у наведених умовах якість виконання технологічного процесу як для плугів з експериментальними лемішами, так і з серійними відповідають вимогам нормативної документації, що висуваються, - СТО АІСТ 1.12-2006 і СТО АІСТ 4.6-2010.

У всіх лемішів фактичне значення глибини оранки отримано в межах настановної. Відхилення перебували в межах 2 см.

Після проходження агрегату гребнистість поверхні поля становила 2,4...3,9 см, що відповідає нормативу - трохи більше 5 см. Кришення ґрунту (75,0.87,5 %) всім видів лемішів вкладалося в нормативні межі і зростало зі збільшенням робочих швидкостей (нормативне кришення за розміром фракції ґрунту до 50 мм - щонайменше 71.75 %). Закладення рослинних залишків у всіх випадках отримано не менше 98,5% при нормативних вимогах 95±5%.

В силу погодних умов перша половина сезонного напрацювання здійснювалася на ґрунтах вологістю до 15%, друга – понад 20%. У 2021 році випробування цих лемішів продовжилися з ЛМД-004 на оранці легких та середніх суглинків вологістю 22...25%. Для дотримання однакових умов випробувань всі леміші працювали на плузі ПЛН-8-35. Встановлено, що із зменшенням вологості ґрунту інтенсивність зношування зростає (значення наведені у табл. 4.4).

Таблиця 3.2 – Зношування серійних і зміцнених лемішів

Вид лемішу	Умови	Напрацювання, га	інтенсивність зносу		
			по довжині, мм/га		у зоні першого кріпильного отвору, мм/га
			леза	польового обрізу	
Зміцнений	вологість ґрунту більше 20% вологість до 15%	65	0,9-0,114	0,03-0,06	0,20-0,46
Серійний	вологість ґрунту більше 20% вологість до 15%	65	0,153-1,12	0,09-0,1	0,63-1,38

За граничне зношування виробів приймалося повне стирання припаяного шару, лемішів - по ширині. Виміри по ширині лемішів здійснювалися лише на рівні трьох кріпильних отворів. Встановлено, що найінтенсивніший знос трапецієподібних лемішів по ширині відбувається в їх лобовій частині - в зоні першого отвору кріплення, далі зменшуючись на рівні другого і третього отворів. Знос у лемішів, зміцнених електроконтактною пайкою вуглецевої стрічки У12А, був майже однаковим по всій довжині лева, тобто, на рівні всіх кріпильних отворів.

Для визначення зносу носка у серійних лемішів проводилися виміри по довжині лева та довжині польового обрізу. У процесі випробувань у міру зношування або втрати лемішів, вони замінювалися на нові.

Періодичні виміри кожного леміша проводилися періодично в процесі напрацювання: експериментальний леміш 10,0...20,0 га та серійний леміш П-702 – 7,5...11,3 га. Причому серійні леміші при зазначеному доробку доводилися до граничного вибракувального зносу, а експериментальні леміші перебували у працездатному стані.

Слід зазначити, що вибраковування серійних лемішів відбувалося через граничне зношування носка по довжині леза рівнозначно польового обрізу на 4,7...5,5 см, що призводить до виглиблення плуга під час роботи. У цьому, власне працездатне лезо мало залишку по ширині 7,5...9,4 мм, тобто, 44...55% невідпрацьованого наплавлення.

За результатами випробувань, мінімальна швидкість зносу по ширині на рівні першого кріпильного отвору в залежності від умов отримана 0,20 та 0,46 мм/га у лемішів, зміцнених електроконтактним паянням через стрічковий аморфний припій Стемет 1301 вуглецевої стрічки У12. Найбільше значення показника отримано для серійних лемішів 0,63...1,38 мм/га.

Порівняльними випробуваннями експериментальних лемішів із серійними встановлено, що зносостійкість нових лемішів дозволяє у 1,8...2 рази збільшити ресурс плугів на обробці ґрунту.

Висновки до розділу

На підставі експериментальних досліджень встановлено вплив режимів електроконтактного паяння (тиск роликів електродів P , сила струму J , часи імпульсу t_u і паузи t_n , витрата охолоджуючої рідини G), а також способу підготовки поверхонь, що з'єднуються, і товщини стрічкового аморфного припою на міцність з'єднання металопокриття. Так, найбільша міцність (630 МПа) з'єднання покриття зі сталі У12А отриманого електроконтактним паянням через стрічковий аморфний припій Стемет 1301 на сталі 65 Г складала при $P = 1,5$ кН, $J = 6,8$ кА, $t_u = 0,06$ с, $t_n = 0,1$ с, $G = 1,8$ л/хв, при абразивноструминній

обробці з'єднаних поверхонь металеві стрічки та основи, та товщині стрічкового аморфного припою 20...60 мкм. Також було встановлено, що застосування аморфних стрічкових припоїв при з'єднанні металеві стрічки електроконтактною пайкою з плоскою поверхнею деталі дає можливість знизити силу зварювального струму на 10 %.

Проведено модернізацію установки «011-1-10» «Ремдеталь», що дозволяє виконувати зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням металеві стрічки. Також розроблений спосіб і технологія зміцнення плоских поверхонь деталей електроконтактним паянням металеві стрічки.

Експлуатаційні випробування плугів ПЛЖ РЗЗ 31-702 зі зміцненими лемешами електроконтактною пайкою сталі У12А показали, що напрацювання плугів склала не менше 100 год, при цьому ресурс зміцнених робочих органів склав у 1,8...2,0 рази вище за нові, що серійно випускаються.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для забезпечення якісного покриття на плоских поверхнях робочих органів сільськогосподарської техніки в роботі пропонується використовувати спосіб електроконтактного паяння через стрічкові аморфні припої металеві стрічки, які знижують хімічну неоднорідність у зоні з'єднання, усувають вплив відмінності у значеннях коефіцієнта лінійного теплового розширення матеріалів при одночасному забезпеченні високої міцності з'єднань.

Дослідженнями зносостійкості встановлено, що покриття, отримане електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припій 1301 вуглецевої сталеві стрічки У12А, має зносостійкість в 1,48 рази вище покриття зі стрічки 50ХФА, а також у 4 рази більшу зносостійкість ніж сталь 45, при цьому зносостійкість сталі 65Г після електроконтактного зміцнення вище сталі 45 в 2 рази та вище сталі 65Г в 1,5 рази.

Проведено модернізацію установки «011-1-10» «Ремдеталь», що дозволяє проводити зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактним паянням металеві стрічки. Також розроблений спосіб та технологія зміцнення плоских поверхонь деталей електроконтактним паянням металеві стрічки.

Експлуатаційні випробування плугів ПЛЖ РЗЗ 31-702 зі зміцненими лемешами електроконтактною пайкою сталі У12А показали, що напрацювання плугів склала не менше 100 год., при цьому ресурс зміцнених робочих органів склав у 1,8...2,0 рази вище за нові серійні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт АТ «Ельворті» [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://elvorti.com/> (дата звернення: 14.09.2021).
2. Офіційний сайт ВАТ «ЛКМЗ» [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://lkmz.com/> (дата звернення: 14.09.2021).
3. Офіційний сайт ВАТ “Уманьферммаш” [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://fermmash.com/corp/index.php/ru/> (дата звернення: 14.09.2021).
4. Офіційний сайт Vederstad [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.vaderstad.com/ua/> (дата звернення: 14.09.2021).
5. Офіційний сайт Kverneland [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://sng.kverneland.com/> (дата звернення: 14.09.2021).
6. Офіційний сайт Amazone [Електроний ресурс] – Режим доступу: <http://www.amazone.net/default2009.asp> (дата звернення: 14.09.2021).
7. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия : монография. Воронеж : Воронежский государственный университет (ВГУ), 1972. 184 с.
8. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатирьев Д. В. Машины для обработки грунта та внесения удобрений : навчальний посібник. Харків : Мачулін, 2016. 244 с.
9. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины : монография. Москва : Машиностроение, 1978. 135 с.
10. Бобрицький В. М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... канд. тех. наук : 05.02.04 / Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2007. 182 с.
11. Stawicki T., Kostencki P., Białobrzeska B. Roughness of Ploughshare Working Surface and Mechanisms of Wear during Operation in Various Soils. *Metals*. 2018. № 8. 1042. <https://doi.org/10.3390/met8121042>.

12. Борак К. В., Руденко В. Г., Кравчук А. В., Добранський С.С. Фізичні, хімічні та механічні процеси в трибосистемі «робочий орган – ґрунт». *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка : Технічні науки*. 2017. Вип. 181. С. 143–147.

13. Брыков М. Н. Абразивное изнашивание железоуглеродистых сплавов. *Трение и износ*. Том 27, №1. С. 105-109.

14. Елагина О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин : учебное пособие. Москва : Университетская книга. 2009. 485 с.

15. Щицын В. Ю., Эмтебал К. Э. С., Волков А. А. Технология вибродугового упрочнения с использованием ферродобавок применительно к условиям Республики Куба. *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»*, 2018. С. 35-39.

16. Алферов А. Гринченко А. Методология обеспечения механической надежности почвообрабатывающих машин при проектировании. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 18, №5. С. 47-52.

17. Борак, К. В. Зміна поверхневої твердості лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин в процесі експлуатації. *Біоресурси і природокористування*. 2020. Том 12, № 1-2 – [Електронний ресурс]. Режим доступу до журн. : <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/13870>.

18. Козаченко О. В., Шкрегаль О. М., Каденко В. С., Блезнюк О. В. Польові випробування удосконалених культиваторних лап. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, 2019. №15. С. 31-39.