

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження фізико-механічних властивостей плоских поверхонь  
при нанесенні зносостійких покриттів»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*»  
групи 208АІмз\_21

Подленко Сергій Павлович

Керівник: Науменко А. О.

Рецензент: Ветохін В. І.

**Полтава – 2022 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підвищити надійність основних агрегатів і робочих органів сільськогосподарської техніки можливо шляхом налагодження виробництва нових сучасних матеріалів з високими експлуатаційними і технологічними властивостями, екологічно безпечних і ресурсозберігаючих технологій, що роблять істотний вплив на якість продукції сільгоспмашинобудування [1].

Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин застосовуються способи наплавлення, при яких розплавляється основний і присадочний матеріал (ручна дугова наплавка неплавкими і плавкими електродами, дугова наплавка в захисних газах, плазмова, газова та ін.), що дозволяють отримувати наплавлені шари з особливими властивостями [1, 2]. При цьому дані методи мають недоліки, які пов'язані з сильним, а часто і неприпустимим термічним впливом на матеріал деталі, а також з випаровуванням легуючих елементів і їх окисненням в основі і в покритті, зі значною витратою присадочного металу, наявністю газовиділення і інтенсивного світлового випромінювання [3].

Крім того, в останні роки отримали розвиток способи, такі як: лазерне наплавлення, електродугова металізація, газополуменеве, газодинамічне, плазмове напилення та інші, які використовуються для зміцнення деталей сільськогосподарської техніки [4]. Однак їх використання не завжди ефективно через досить велику ймовірність появи тріщин в присадному матеріалі при лазерній наплавці, досить високу пористість, нерівномірної твердості, низької міцності покриття і основи при застосуванні електродугової металізації, газодинамічного, газополуменевого, плазмового і детонаційного напилення.

Для робочих органів ґрунтообробної техніки необхідно створювати покриття, що володіють комплексом властивостей (висока міцність,

корозійна стійкість, зносостійкість і ін.). Тому доцільно розробляти функціональні покриття [4].

Перспективним способом є електроконтактна приварка для зміцнення робочих органів сільськогосподарської техніки і 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 і інші.

Тому розробка технологічних основ поліпшення якості покриттів, отриманих на плоских робочих органах сільськогосподарської техніки електроконтактною пайкою через стрічкові аморфні припої металеві стрічки, і їх застосування в технічному сервісі (ремонті) є завданням актуальним, рішення якої внесе значний вклад в ресурсозберігаючі технології та конкурентоспроможність вітчизняної сільгосптехніки.

**Мета дослідження.** Підвищити довговічність зміцнених плоских робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактною пайкою.

**Об'єкт дослідження.** Технологічні процеси зміцнення плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки електроконтактні пайкою.

**Предмет дослідження.** Способи електроконтактної пайки металеві стрічки, що дозволяють підвищити довговічність зміцнених плоских робочих органів сільськогосподарської техніки.

**Методика досліджень.** Методологія і методи дослідження передбачали теоретичні дослідження робочих гіпотез, їх експериментальну перевірку в реальних умовах експлуатації та економічну ефективність результатів роботи. Теоретично досліджено та експериментально підтверджено вплив режимів електроконтактної пайки через стрічкові

аморфні припої металевої стрічки на якісні характеристики плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки.

**Теоретична та практична значущість.** Отримані результати досліджень впливу електроконтактної пайки через стрічкові аморфні припої металевої стрічки на якісні характеристики плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки та встановлення основних закономірностей формування даного металопокриття.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Особливості експлуатації плоских робочих органів сільськогосподарської техніки

На сьогоднішній день є величезна кількість деталей плоскої форми, які є робочими органами машин і механізмів сільськогосподарської техніки, а також технологічного обладнання. До таких деталей відносяться: робочі органи ґрунтообробних машин, ріжучого апарату збиральних машин, переробних машин, гноєприбирального транспортера і т.д.

В процесі експлуатації плоскі поверхні робочих органів піддаються різним динамічним навантаженням (розтяг, стиск, вигин або кручення), а також багато деталей працюють в постійному контакті з агресивним зовнішнім середовищем, що відрізняється як високим абразивним зносом, так і сильним корозійним впливом на деталь.

Основними видами зношування плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки є: абразивний – 47%, при фретинг-корозії – 16%, при схоплюванні – 14% та інші – 23%, при цьому характерною особливістю більшості таких деталей є значна величина їх зносу, яка для багатьох деталей може доходити до 2 ... 3 мм, а в деяких випадках і до втрати форми. Це означає, що подібні деталі вимагають значного підвищення надійності і довговічності.

На сьогоднішній день розвиток сільського господарства є одним з пріоритетних напрямків, а так як одним з найважливіших об'єктом діяльності в сільському господарстві є ґрунт, то і особливу увагу приділяють ґрунтообробним машинам, а саме плугам. Сьогодні на ринку сільськогосподарської техніки є великий попит на плуги та інші

сільськогосподарські машини. Це обумовлено тим, що в останні роки значно збільшені обсяги виробництва сільськогосподарської продукції.

Експлуатаційно-технологічні показники плугів не завжди відповідають заявленим виробником споживчими властивостями. Це відбувається через те, що часто використовуються робочі органи, у яких технічний рівень їх виготовлення далекий від передових науково-технічних досягнень.

Ґрунтообробні машини працюють в умовах абразивного зношування, і їх довговічність в значній мірі визначається ресурсом робочих органів [5]. Аналіз експлуатаційно-технологічних показників плугів вітчизняних і зарубіжних виробників [6] показав, що в середньому напрацювання на відмову лемешів долотоподібної форми до 20 га, а польових дощок – до 60 га.

Основним напрямком підвищення ресурсу плугів є зміцнення їх робочих органів.

Основні робочі органи плуга – польові дошки, відвали, і лемеші. Знос відвалу, а також його деформація, знос польової дошки і затуплення лемеша призводить до збільшення тягового опір плуга, яке сприяє підвищеній витраті пального, негативно впливає на якість оранки, кришення пласта і забивання рослинних залишків [7]. Лемеші виготовляють зі сталі марок 45, Л65, 65Г і термічно обробляють для підвищення стійкості проти зносу. Леміш плуга піддають ремонту тоді, коли ширина його зменшується на 10 мм в порівнянні з шириною нової деталі або коли довжина носка лемеша зменшується на 25 мм в порівнянні з довжиною носка нової деталі.

Польові дошки корпусів плуга зношуються внаслідок тертя об дно борозни і її стінку. При зменшенні товщини польової дошки з 14 до 10 мм і ширини з 100 до 70 мм вважається гранично допустимим зносом. Відвал плуга зношується в першу чергу по сліду руху пласта землі, а саме грудей відвалу і його крила.

На даний момент для збільшення ресурсу лемешів плуга застосовуються такі способи відновлення лемешів [6, 7]:

- поверхнєве зміцнення деталей плужних корпусів з використанням зварювально-наплавочних електродів і порошкових сплавів, включаючи нагрівання основного металу, електродугове наплавлення здійснювалося покритим електродом Т-590 по шару порошкового сплаву «Сормайт - 1»;

- зміцнення і відновлення лемешів пайкою металокерамічних пластин ВК-8, припоєм Л-63;

- наплавлення покрокове маловуглецевими електродами Е50А-УОНІ-13/55-УО-А  $d = 4$  мм;

- двошарове наплавлення, де проміжний шар отриманий наплавленням маловуглецевого електрода марки Е42А; має підвищені пружні і пластичні властивості у порівнянні з поверхневим зносостійким покриттям, отриманого наплавочним електродом марки Т-590;

- наплавлення на робочі поверхні лемеша зносостійкого покриття з порошку на основі чавуну СЧ20, легованого в певних співвідношеннях бором і марганцем (2 ... 4% бору і 1 ... 3% марганцю);

- зміцнення наплавочним армуванням електродами марки Е46А, нанесенням валиків, що мають форму напівеліпса в зоні утворення променевидного зносу і охолодженням носка лемеша плуга у воді, відстань між валиками обумовлена величиною зони термічного впливу і становить  $b = 30 \dots 40$  мм, між гілками ( $a = 43$  мм) – розмірами променевидного зносу, кут нахилу до польового обрізу  $\alpha = 10^\circ$ ;

- підвищення довговічності і зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин за рахунок ефекту самозагострювання отриманого в результаті електроконтактного нагріву точковими імпульсами і утворення при експлуатації зубчастого леза;

- індукційна наплавка ПГ - УСЧ30, пайка брусків і пластин з білого чавуну ИБЧ300Х9Ф6, кріплення болтами конусних надставок і пластин зі сталі Х12, приклеювання пластини з кераміки ТК-Г.

Випробування серійних плугів показують, що в середньому напрацювання на відмову лемешу, враховуючи типи ґрунтів і їх фізичні властивості коливається від 5 до 20 га, крила відвалу – від 40 до 270 га, грудей відвалу – від 10 до 100 га, польової дошки – від 20 до 60 га [7]. Також зношуються і інші робочі органи ґрунтообробних машин: лапи культиваторів – 7 ... 18 га, дискові борони та диски луцильників – 8 ... 20 га [7].

У плугів застосовують два типи лемешів: трапецеїдальні – з прямолінійною ріжучою кромкою (рисунок 1.1, а) і долотоподібні з потовщеним і загнутим вниз носком (рисунок 1.1, б). Лемеші виготовляють зі сталей марок: 45, Л65, 65Г і термічно обробляють для підвищення стійкості проти зносу.

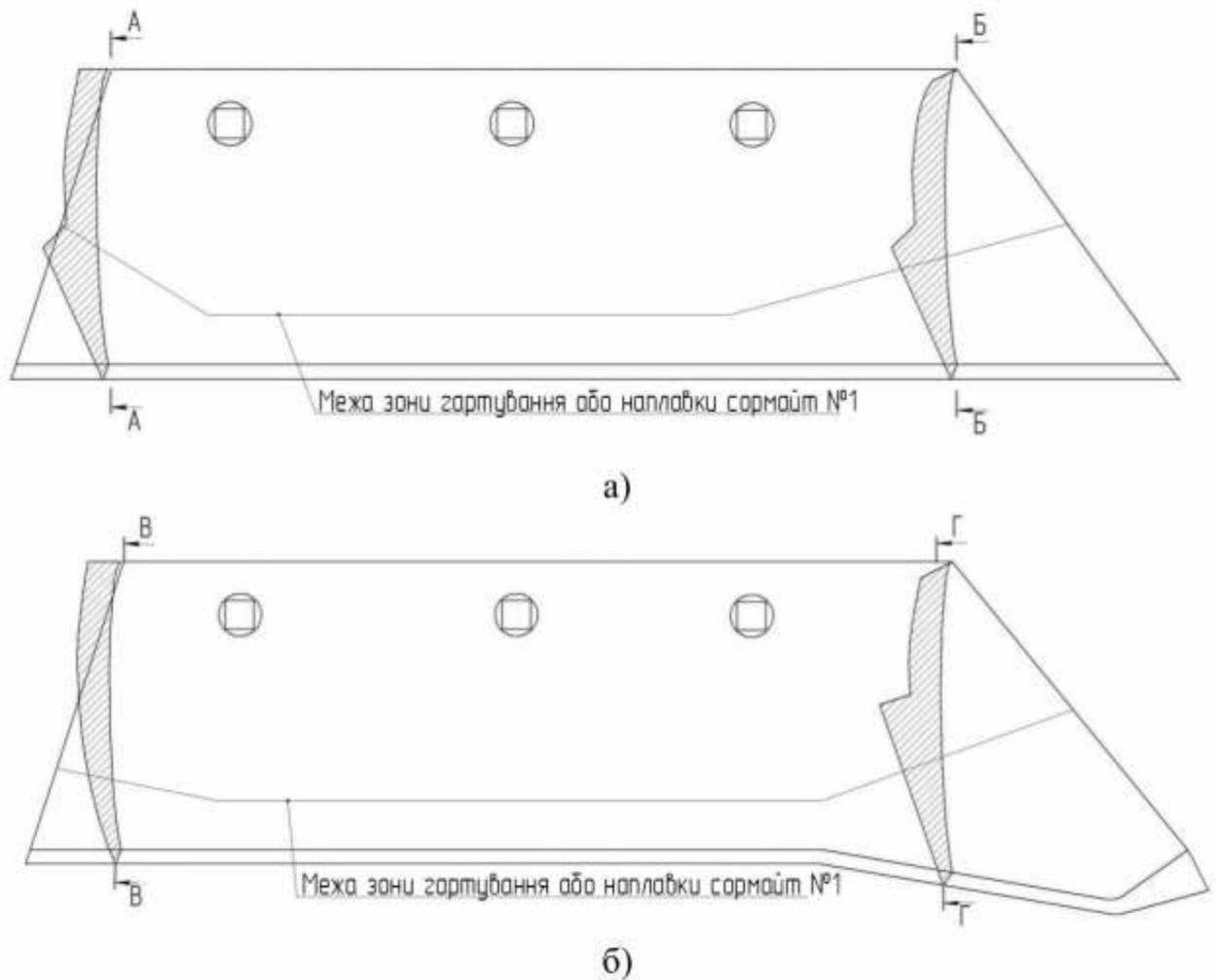


Рисунок 1.1 – Лемеші плугів: а) трапецеїдальний, б) долотоподібний

Для виготовлення лемешів сталь поставляється у вигляді спеціальної смуги постійного і періодичного профілю твердістю не більше 255 НВ. Технологічний процес виготовлення включає:

- 1) вирубку заготовки;
- 2) штампування;
- 3) виготовлення отворів;
- 4) термічну обробку або наплавку сормайтом № 1.

Термічна обробка включає в себе загартування з боку леза лемеша на ширину 20 ... 45 мм до твердості до 60 HRC, шляхом нагрівання до температури 780 ... 820°C і різкого охолодження в воді. Після гартування проводиться відпуск при температурі 350°C з наступним охолодженням на повітрі [8].

Для підвищення зносостійкості лемешів на його верхню чи нижню поверхню наноситься шар зносостійкого сплаву сормайт № 1 товщиною до 1,7 мм. Ширина наплавлюваної смуги на прямолінійній ділянці дорівнює 25... 30 мм, а біля носка – 55 ... 65 мм. Твердість шару сормайт не перевищує 46 HRC. В процесі експлуатації шар металу на робочій стороні лемешу зношується швидше, а на тильній – більш зносостійкій – повільніше. При цьому гострота леза лемеша зберігається, тим самим реалізується ефект самозагострювання [8, 9].

При зносі лемешу затуплюється лезо і змінюється форма носка. На рис. 1.2 перехресними лініями заштриховані кромки лез зношених лемешів трапецеїдальної і долотоподібної форми. При затупленні леза збільшується його товщина, а на зворотному його боці утворюється фаска (потилиця). При зносі лемешів погіршується робота плуга, тобто лемеші втрачають здатність заглиблюватися в ґрунт, а у плуга порушується стійкість ходу і зростає тягове зусилля, що призводить до збільшення витрати палива. Леміш плуга підлягає ремонту в тих випадках, коли ширина його зменшується на 10 мм в порівнянні з шириною нового лемеша трапецеїдальної форми або коли

довжина носка зменшується на 25 мм в порівнянні з довжиною носка нового лемеша долотоподібної форми [9].

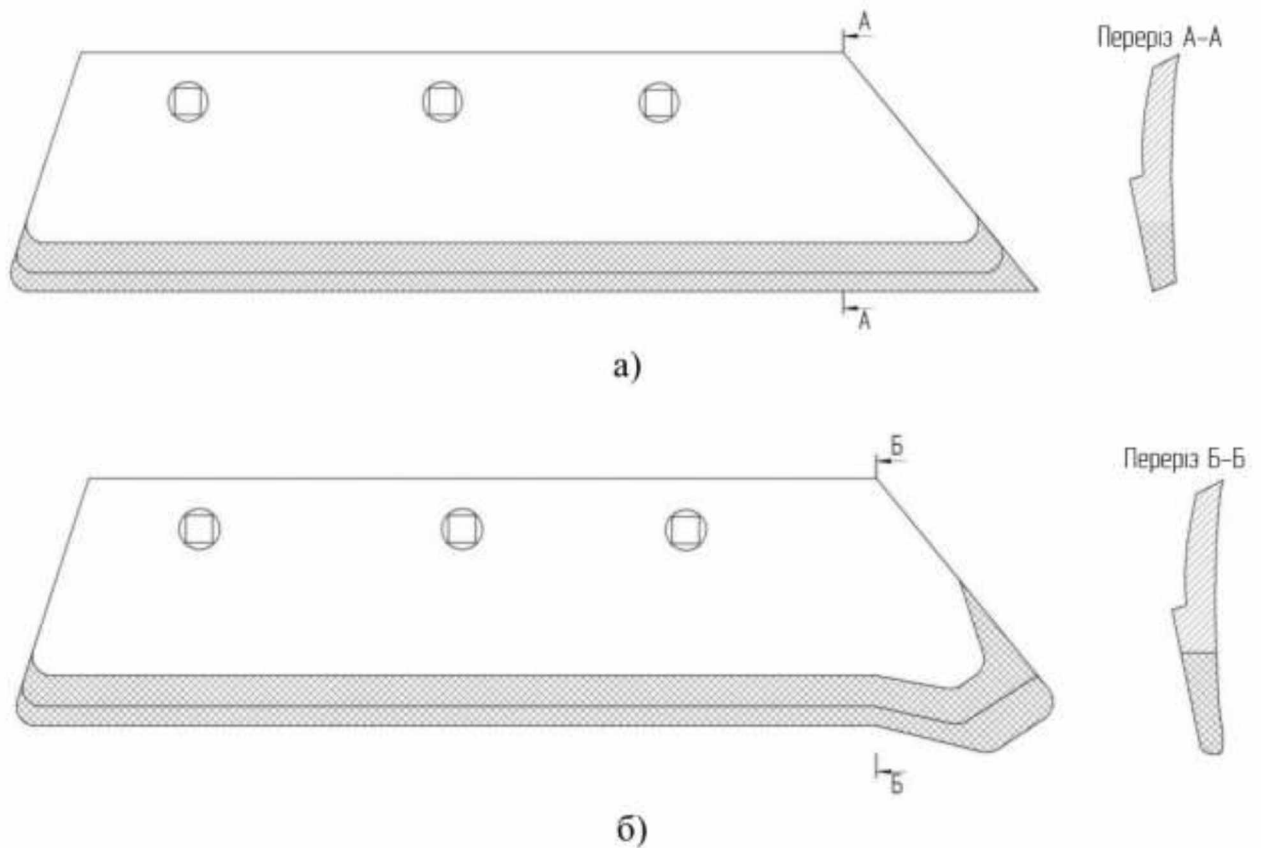


Рисунок 1.2 – Характерні ділянки зносу лемешів: а) трапецеїдального, б) долотоподібного

Польові дошки передніх корпусів зношуються від тертя об стінки і дно борозни. На рис. 1.3 показана величина зносу (знос умовно заштрихований перехресними лініями) польової дошки.

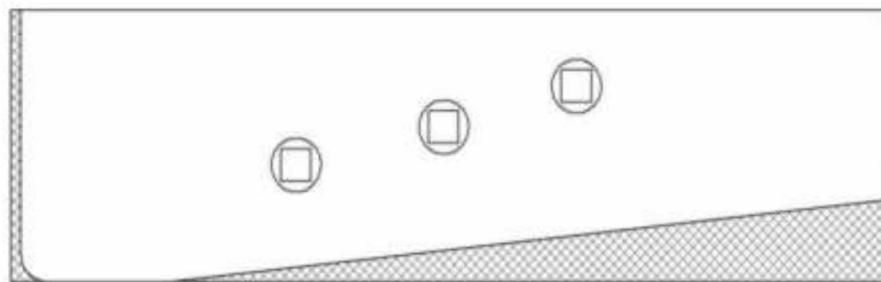


Рисунок 1.3 – Характерні ділянки зносу польової дошки плуга

Зменшення товщини дошки з 14 до 10 мм і ширини на її кінці з 100 до 70 мм вважається гранично допустимим.

Польові дошки передніх корпусів виготовляють зі сталі марки Ст.6. Робочий кінець польової дошки піддається загартуванню та відпуску на довжині 100-120 мм. Твердість у термічно обробленій зоні дошки повинна бути в межах 415-555 НВ, а в термічно необроблюваній зоні – не більше 302 НВ.

При односторонньому зносі польову дошку можна перевернути на  $180^\circ$  і використовувати знову. Для цього треба роззенкувати оброблені на квадрат отвори під болти кріплення із зворотного боку польової дошки, потім закріпити дошку на стійці плуга так, щоб до стінки і дна борозни були повернуті її незношені сторона і ребро.

На польових дошках плугів передбачені отвори під болти кріплення, що розташовуються симетрично раніше виготовленим, що дозволяє використовувати дошки значно довше.

Знос відвалів плугів спостерігається головним чином по сліду руху пласта землі в основному на грудях відвалу і у крила. Спостереженнями встановлено, що груди (рис. 1.4) спрацьовуються приблизно в два рази швидше, ніж крило відвалу.

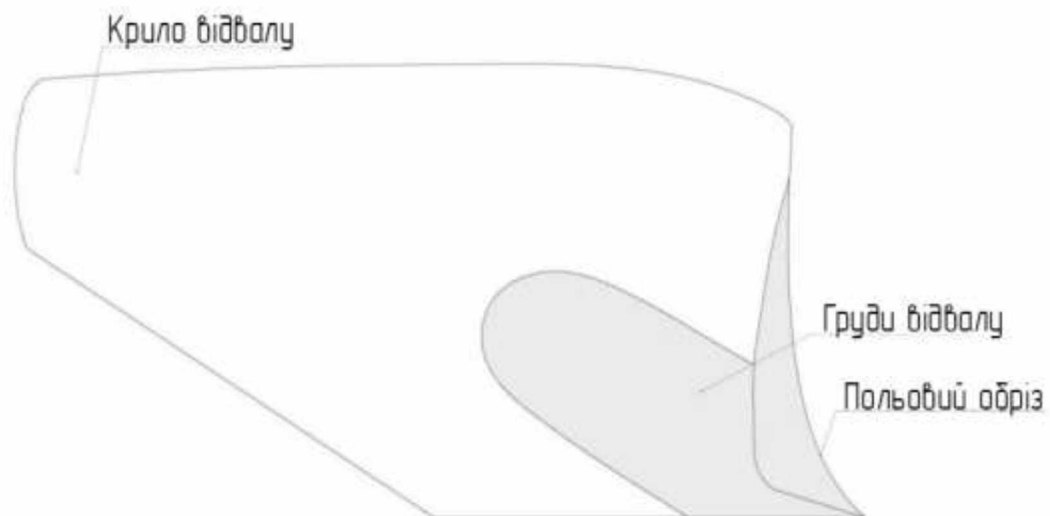


Рисунок 1.4 – Характерні ділянки зносу відвала плуга

Відвали плугів виготовляють або з листової вуглецевої сталі з подальшою цементацією, або зі спеціальної тришарової сталі. Для виготовлення цементуємих відвалів застосовується сталь марки Ст2. Товщина шару збагаченого вуглецем на робочій поверхні цементованого відвалу становить не менше 22% товщини відвалу [10].

Відвали виготовляють з тришарової сталі (ГОСТ 6765-75) шляхом прокату злитків. Відвал складається з м'якого середнього шару завтовшки 6 мм, виготовленого зі сталі марки Ст2 і двох твердих зовнішніх шарів товщиною 5 і 7 мм, виготовлених зі сталі марки 65Г [32]. Товщина м'якого середнього шару у відвалі повинна бути не менше однієї третини товщини відвалу [32].

Плуги і робочі органи ґрунтообробних машин працюють в ґрунті, який представляє собою трифазне дисперсне середовище, що складається з твердих, рідких і газоподібних частинок, роздроблених і перемішаних між собою.

Рідка фаза складається з води з розчиненими в ній солями і газами, їх кількість залежить від складу ґрунту.

Газоподібна фаза ґрунту складається в більшій частині з вуглекислого газу до 10% виділяється при розкладанні органічних частинок, кисню до 8%, азоту та інших газів включаючи пар.

Агрегатний стан, склад, і фізико-механічні властивості ґрунту визначають зношувальну здатність. Так механічний склад ґрунту має найбільший вплив на знос робочих органів плуга.

Механічні елементи різних ґрунтів відрізняються не тільки за розмірами, процентним вмістом, але і по мінералогічному складу, що визначає їх відмінність по різноманітним властивостям. Та на знос деталей плуга надають найбільшою мірою тверді (HV 7 ... 11 ГПа) частки граніту і кварцу, які становлять приблизно 36,6 ... 70,8% ґрунту. Далі йде слюда, польовий шпат, і інші мінеральні речовини (HV 6 ... 7,2 ГПа) [11].

В основному частинки мінералів має округлу форму, але також є, мінерали з гострими гранями і виступами, які здатні деформувати і зношувати поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. Ці мінерали, а саме кварц, становить основну частину піщаних ґрунтів, цим пояснюється їхня підвищена зношувальна здатність. Глинисті ґрунти, в свою чергу мають менше твердих мінеральних часток, за рахунок цього у глинистих і суглинних зношувальна здатність значно нижча.

## 1.2. Аналіз способів продовження ресурсу деталей сільськогосподарської техніки

В даний час виробники сільськогосподарської техніки застосовують технології і методи, що формують покриття на робочих поверхнях, які досить успішно забезпечують працездатність технологічного обладнання та машин в різних умовах експлуатації [12].

Ефективними методами отримання покриттів є наплавлення, напилення, осадження і наварка (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Методи отримання покриттів

Однак вище представлені методи мають наступні недоліки: сильне нагрівання, деформація деталі, вигоряння легуючих елементів – дугова наплавка під шаром флюсу, електрошлакове та плазмова наплавка [2, 12]; велике розбризкування металу (5...10%) і відкрите сильне світлове випромінювання зварювальної дуги – наплавка в середовищі захисних газів [4, 5]; появу дефектів у вигляді неметалічних включень, пор, тріщин в наплавленому шарі, різке зниження втомної міцності відновлених деталей, наявність розтягуючих залишкових напружень в поверхневих шарах – вібродугова, газова, лазерне наплавлення [2, 7]; недостатня міцність покриття з основою – газополуменеве, електродугове, плазмове, детонаційне і газодинамічне напилення [12]; невелика величина покриття, що наноситься – фінішне плазмове зміцнення, електроіскрове і гальванічне нарощування [13].

В останні роки значна увага приділяється застосуванню в різних галузях виробництва, також і в сільськогосподарському машинобудування, технічної кераміки. Застосування технічної кераміки для зміцнення деталей має велику ефективність, ніж нанесення твердих сплавів наплавленням.

При наплавленні (дуговому, індукційному, плазмовому) використовувалися наплавочні матеріали марок Т-590, ОЗИ-6-2, ПГ-УСЧ-30 (рис. 1.6).

Електроконтактні способи наварки (приварювання), які використовуються для відновлення і зміцнення деталей, в порівнянні з розглянутими вище способами мають переваги пов'язані зі збереженням первинних властивостей матеріалу деталі при високій міцності одержуваного покриття з основним металом і інші [13].

Процес електроконтактного приварювання відноситься до термомеханічного класу способів зварювання [13]. Активація утворення зварного з'єднання протікає за допомогою введення термічного і механічного видів енергії.



Рисунок 1.6 – Лемеші, зміцнені методами: а – наплавка; б – пайка пластин зносостійкого білого чавуну; в – приклеювання пластин з корундової кераміки; г – механічне закріплення пластини зі зносостійкої сталі; д – механічне закріплення конусної надставки зі зносостійкої сталі

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 приварюваного матеріалу в значній мірі визначається його видом: дріт, металева стрічка або порошок.

У ремонтному виробництві відома розроблена технологія [15], заснована на електроконтактному плакуванні гичкорізальних ножів зносостійкими стрічками. Таким способом зміцнювались: ножі підрізчика кореневищ хмелю, самохідного і картоплезбирального комбайнів, протиріжучих пластин та інші деталей. Застосовувалися стрічки отримані перерізом порошоків типу ЛС-70ХЗНМ, а також спечені стрічки основані на Fe-Cr3C7-Cu, які забезпечують високу зносостійкість покриття і міцність з'єднання.

Також є дані по зміцненню дискових робочих органів ґрунтообробних машин електроконтактним приварюванням. Для зміцнення використовували шлам ШХ15. Даний матеріал є відходами виробництва шарикопідшипників, і за своїм хімічним складом практично не відрізняється від сталі ШХ15, але при цьому вміст вуглецю збільшується на 40%. Дискові робочі органи сільгосптехніки зміцнені 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 самозагострювання. Знос зміцнених дискових робочих органів був в межах 0,05 ... 0,1 мм по діаметру з напрацюванням 140 ... 151 га, а незміцнених – 0,4... 0,5 мм [15].

На суглинках швидкість зношування незміцнених лемешів на 17,41% вище, ніж лемешів, що пройшли через зміцнення електроімпульсним точковим нагрівом, на пісковицях на 13,11%, на суглинних – на 9,8%. У лемеша зміцненого електроімпульсним точковим нагрівом, спостерігається ефект самозагострювання за рахунок утворення зубчастого леза і різної твердості ділянок леза [16].

Аналіз показав, що електроконтактні способи, а також матеріали, що застосовуються в наведених роботах, дозволяють реалізувати покриття з необхідними експлуатаційними властивостями на робочих органах сільськогосподарської техніки. При цьому в якості присадочного матеріалу можливе використання металевих порошоків, однак при їх застосуванні можливі труднощі з нездатністю отримання шару зі стабільними властивостями, якщо застосовувати суміші порошоків, закріпленням порошоків на поверхні деталей. На підставі цього доцільно використовувати металеві стрічки.

Електроконтактна приварка металевої стрічки дозволяє уникнути перерахованих вище недоліків порошоків, а так само є можливість отримувати покриття із заданою твердістю, зносостійкістю і іншими необхідними експлуатаційними властивостями.

## Висновки та завдання роботи

Проведено аналіз деталей плоскої форми, які є робочими органами машин і механізмів сільськогосподарської техніки, а також технологічного обладнання. На прикладі плуга розглянуті конструктивні особливості плоских поверхонь робочих органів, технології їх виготовлення, умови експлуатації і можливі дефекти, що впливають на надійність роботи агрегатів. При цьому встановлено, що деякі виробники сільськогосподарської техніки випускають плуги, що мають напрацювання на відмову менше 100 годин.

Для забезпечення якісного покриття на плоских поверхнях робочих органів сільськогосподарської техніки в роботі пропонується використовувати спосіб електроконтактної пайки

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі технології, способи зміцнення деталей сільськогосподарської техніки та теоретичні дослідження формування покриття на плоскій поверхні шляхом електроконтактної пайки;
- удосконалити обладнання для нанесення покриттів на плоскі поверхні, вивчити фізико-механічні властивості сформованих металопокриттів;
- провести експлуатаційні випробування зміцнених робочих органів сільськогосподарської техніки, отриманих з використанням розроблених технологій і визначити їх техніко-економічні показники.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма досліджень

Для вирішення завдань цієї роботи і мети досліджень, був розроблений план, що включає етапи розгляду особливостей експлуатації плоских робочих органів сільськогосподарської техніки, технологій продовження ресурсу деталей.

Обґрунтування вибору покриття для плоских поверхонь робочих органів сільськогосподарської техніки та способу його отримання.

Проведення теоретичних досліджень по вибору оптимальних режимів електроконтактної пайки, оптимізації процесу нанесення покриттів, встановлення залежностей твердості покриття і протяжності зони термічного впливу від режимів електроконтактної пайки.

Проведення експериментальних досліджень щодо впливу параметрів режиму електроконтактної пайки, способу підготовки поверхні на якість одержуваного покриття.

Металографічні дослідження, вивчення зносостійкості покриттів і проведення експлуатаційних випробувань. Розробка технологічних рекомендацій щодо вибору, використання покриттів, отриманих електроконтактною пайкою через стрічкові аморфні припої металевих стрічок. Оцінка економічної ефективності пропонованих рішень.

#### 2.2. Вибір обладнання та матеріалів для проведення досліджень

Однією з найважливіших завдань дослідження, вибір експериментальної установки, яка дозволить використовувати процес електроконтактної пайки з можливістю зміни технологічних параметрів має

найбільше значення, таких як сила зварювального струму  $J$ , зусилля стиснення електродів  $P$ , тривалість зварювального імпульсу  $t_u$ , тривалість паузи  $t_n$ , і інших в досить широкому діапазоні.

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



Рисунок 2.1 – Установка для електроконтактного нанесення покриттів

Тарування величини зварювального струму установки «011-1-10» «Ремдеталь» проводили за допомогою приладу ІСТ-02 (вимірювача зварювального струму), виробництва ЗАТ «КБ АСТ» (м. Запоріжжя), який призначений для використання в якості інструменту при проведенні робіт по діагностиці, ремонту і контролю параметрів машин контактного зварювання. Прилад здійснює відображення форми імпульсу зварювального струму, вимір його діючого значення і тривалості. Вимірювання проводяться як для зварювальних машин змінного струму, так і з випрямленням у вторинному контурі.

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 (ГОСТ 2405-88) призначеного для вимірювання тиску і розрядження

неагресивних, некрystalізуючих рідин, пари, газу, в тому числі кисню, ацетилену, хладонів.

Як зразки для проведення досліджень були обрані плоскі пластини товщиною 10 ... 12 мм (найбільш поширена товщина лемешів і інших робочих органів ґрунтообробних машин) зі сталі 65Г, так як вона масово поширилася при виготовленні робочих органів ґрунтообробної техніки [16].

Для досягнення оптимальних значень твердості і зносостійкості одержуваного покриття електроконтактною пайкою вибирали матеріал металевої стрічки. Металеві стрічки, а зокрема стрічки виготовлені з інструментальних сталей, часто поставляються з проведеною термічною обробкою і через це можуть мати досить низьку пластичність, це може негативно вплинути на якість покриття, що отримується електроконтактною пайкою.

При електроконтактній пайці металевої стрічки нагрів з деформацією можуть відбуватися в прилеглих поверхнях стрічки і оброблюваної деталі. У свою чергу, нагріваючи зону з'єднання, тепло йде і на нагрів всього обсягу металевої стрічки, і на оброблювану деталь, внаслідок їх високої теплопровідності.

Для локалізації тепловиділення необхідне зменшення часу протікання зварювального імпульсу і одночасно збільшити кількість тепла, що генерується ним в контакті «стрічка - деталь». Збільшити кількість тепла, що генерується в контакті при електроконтактній пайці можливо штучно, наприклад, за рахунок створення рельєфу на прилеглих поверхнях або застосуванням високоактивних аморфних стрічкових припоїв [16].

Припой повинен забезпечити отримання високоякісного паяного з'єднання металів, що відповідає наступними вимогами:

- відсутність виплескування і пустот в процесі формування з'єднання;
- певний рівень стабільності механічних властивостей;
- відсутність корозійного впливу на спряжені матеріали;

- збереження початкових властивостей протягом всього процесу електроконтактної пайки;

- загальнодоступна технологія виготовлення і застосування припоїв.

Для підвищення якості з'єднання покриттів отриманих з металевих стрічок з основою електроконтактною пайкою в роботі були обрані компактні припої на основі високоактивних стрічок з аморфних матеріалів СТЕМЕТ 1202 товщиною до 40 мкм.

Аморфні стрічки це перспективні, нові матеріали з унікальними хімічними та фізико-механічними властивостями. Аморфні і мікрокристалічні (АМ) припої, отримують методом швидкого ( $10^4 - 10^6$  К/с) затвердіння розплаву на обертовому барабані-холодильнику.

Переваги аморфних припоїв полягають у високій продуктивності, екологічності, економічності і технологічності процесів складання і пайки, підвищення якості паяного з'єднання, зниження вартості пайки, гарантоване розподіл і гомогенність припою, його мінімальні втрати, мінімальна товщина шва, швидке виготовлення паяльних матеріалів по геометричній формі і розмірам місця паяння [17].

Припої не містять органічних зв'язків, що виключає при паянні забруднення продуктами їх вигорання. Підвищене змочування і вологотекучість, зменшують необхідність доопрацювання та отримання браку в паяних з'єднаннях.

Припої виготовляються у вигляді тонких стрічок пластинчастої форми (рис. 2.2), ними паяються вироби з таких металів як алюміній, мідь, титан і їх сплави, цирконію, жаростійких нікелевих сплавів, нержавіючих сталей, і інші. Головною перевагою аморфних стрічкових припоїв в порівнянні з порошками є: технологічність процесів складання і з'єднання металів, висока продуктивність, економічність і мінімальні втрати, екологічна чистота, та інші [18].



Рисунок 2.2 – Стрічковий аморфний припой Стемет

Аморфний стрічковий припой Стемет 1108 складається з міді-олова-індію-нікелю застосовується при пайці, як міді (мідних сплавів) так і сталей. При випуску мають форму гнучкої стрічки своєї товщиною не перевищують 0,025 ... 0,05 мм і шириною 20 мм, з температурою плавлення 740°C.

При виборі товщини сталеві стрічки враховували такі умови, як: накладка, виготовлена з металеві стрічки, повинна щільно притискатися до плоскої поверхні деталі і повторювати її форму, а також зусилля стиснення, в точці нагрівання не повинні перевищувати межу пластичності стрічки, при цьому стрічки повинні володіти підвищеною твердістю і зносостійкість. З наведених вище даних умов в роботі застосовували сталеві стрічки товщиною 0,5 ... 0,6 мм марок 50ХФА і У12А

Для досягнення високої міцності з'єднання покриття з основою дотримувалися наступні умови [18]:

1. Поверхня основи і присадочного матеріалу не повинна бути окислена, брудна;
2. Поверхні, що з'єднуються повинні бути притиснуті один до одного, а для цього необхідно докласти достатній тиск;
3. В процесі електроконтактної пайки необхідно забезпечити умови для утворення нових зв'язків.

Перед електроконтактною пайкою основу і заготовки з металевої стрічки з метою видалення забруднень і оксидних плівок піддавали шліфуванню на плоскошліфувальному верстаті або абразивноструминній обробці.

### 2.3. Методика визначення властивостей зразків

Зносостійкість зразків проводять на плоских пластинах, виготовлених зі сталі 65Г (281 НВ) розміром  $60 \times 30$  мм і товщиною 7-10 мм. на установці ИМ-01. Виготовлені зразкив одному випадку пройшли через електроконтактне зміцнення, а в іншому мали покриття, отримані електроконтактною пайкою сталевих стрічок 50ХФА і У12А (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Відбитки зносів випробовуваних матеріалів на машині ИМ-01: а – сталь 65Г; б – сталь У12А

Досліджувані покриття порівнювали з еталонним зразком виготовленим зі сталі 45 (185НВ), який пройшов через шліфування

Випробування зразків проводилися при тиску в зоні тертя 0,33 МПа, а витрата абразивного матеріалу становила – 7,0 г/хв. Тривалість одного випробування становить 30 хв., а швидкість обертання ролика діаметром 50 мм –  $115 \text{ хв}^{-1}$ , відповідно шлях пройдений роликом – 540 м.

Абразивним матеріалом використаним в досліді є кварц з розміром частинок 0,16 ... 0,32 мм. До і після проведення випробувань зразки зважувалися.

Для металографічних досліджень зразки розрізали на сегменти (рис. 2.4). Сегменти для макро- і мікрослїфів отримували за допомогою ручного відрізного верстата.

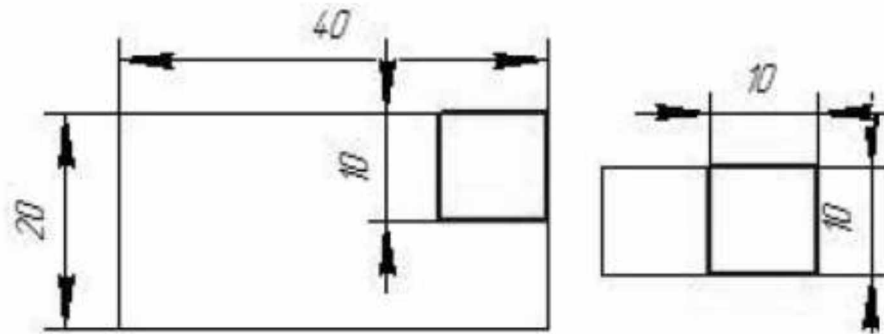


Рисунок 2.4 – Вихідний зразок для отримання сегментів

Мікроструктура поверхні отриманих шліфів визначалася після попереднього травлення наступними реактивами:

1) реактивом «А» (мідний купорос – 10 м, етиловий спирт – 50 мл., соляна кислота – 50 мл.) - покриття;

2) реактивом «Б» (розчин азотної кислоти 4% -ний розбавлений в етиловому спирті) – зону термічного впливу і основний метал.

Фото мікроструктури отримували за допомогою оптичних інвертованих мікроскопів OLYMPUS GX51.

Випробування на твердість і мікротвердість призначені для вимірювання сили опору деформації металу за допомогою вдавнення індентора (наконечника) на поверхні металу, з'єднання з основою або по їх перетину.

Твердість зразків отриманих в роботі вимірювали за методом Роквелла призначеного для вимірювання макрозначень твердості. Даний метод обраний з метою визначення твердості у тонкостінних покриттів. Для вимірювання твердості поверхня зразка повинна мати шорсткість  $Ra$  не більше 1,25 мкм або відповідати вимогам нормативно-технічної документації на шорсткість поверхні металопродукції, повинна бути очищена від сторонніх речовин (мастила та ін.).

Для вимірювання мікротвердості використовувався метод Вікерса і мікротвердоміри ПМТ-1. Діапазон навантажень даного приладу варіюється від 0,049 до 1,96 Н в точках, розташованих рівномірно в одній площині, перпендикулярній осі зразка.

#### 2.4. Методика експлуатаційних випробувань

Експлуатаційні випробування лемешів проводилися на плузі ПЛН 3-35. Леміш ПЛН-35 призначений для роботи на 3, 4, 5, 8 корпусних плугів з шириною захвату корпусу 35 см. Плуг навісний ПЛН-3-35, призначений для відвальної обробки ґрунту, не засміченого камінням, плитняком і іншими перешкодами на глибину до 30 см, з питомим опором до 0,12 МПа (1,2 кг/см<sup>2</sup>), твердістю 4 МПа (40 кг/см<sup>2</sup>) і вологістю до 22% (табл. 2.1).

Плуг навісний ПЛН 3-35 (рис. 2.5) агрегується з тракторами сільськогосподарського призначення, що мають трьохточкову навіску, тягового класу до 1,4 (потужністю двигуна 80 ... 100 к.с., в тому числі МТЗ-80, МТЗ-82).



Рисунок 2.5 – Плуг навісний FINIST ПЛН 3-35

Для експлуатаційних випробувань береться порівняння зміцнених лемешів з незміцненими. При установці лемешів на плуги незміцнений леміш є контрольним, за яким оцінюється підвищення зносостійкості зміцнених лемешів.

Таблиця 2.1 – Умови випробувань і режими роботи плуга

Показник	Значення показника по:	
	Нормативні	Дослідні
Вид роботи	Оранка	Оранка ґрунту по стерньовому фоні
Умови випробувань:		
Тип ґрунту та назва по механічному складу	Всі типи ґрунтів, окрім кам'янистих	Сірі лісові та суглинисті ґрунти
Рельєф, град.	До 8	До 5
Мікрорельєф, см	До 5	3,5
Вологість ґрунту, %, в шарах, см		
0-10	До 22	18,7
10-20	До 22	19,3
20-30	До 22	20,7
Твердість ґрунту, МПа, в шарах, см		
0-10	До 4,0	0,8
10-20	До 4,0	2,3
20-30	До 4,0	3,9
Маса рослинних та пожнивних решток на 1м <sup>2</sup> , г	Дані відсутні	220,5
Висота (довжина) рослинних та пожнивних решток, 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 лемешів на плуг заміряються геометричні параметри: довжина, ширина і товщина, а також їх маса. Це робиться для того щоб після випробувань оцінити їх напрацювання і зносостійкість зміцнених лемешів щодо незміцнених.

## **Висновки**

Для виконання завдань розроблений план, що включає етапи аналізу стану питання, теоретичних і експериментальних досліджень, лабораторних та експлуатаційних випробувань, розробку технологічних рекомендацій і економічну оцінку пропонованих рішень.

Обрані й обґрунтовані матеріали, обладнання та методики для досліджень мікротвердості, твердості, металографічних досліджень.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1. Теоретичні дослідження вибору оптимальних режимів електроконтактної пайки**

Високу якість паяних з'єднань можна отримати при дотриманні наступних умов: розплавлений припой повинен добре змочувати основний метал і розтікатися по поверхні деталей, заповнюючи з'єднувальні зазори.

Температура плавлення припоїв повинна бути нижче на 50 ... 100°C температури плавлення металів, що з'єднуються. З паяними металами припой повинен утворювати міцне з'єднання. За температури плавлення припої класифікують наступним чином: особливо легкоплавкі, легкоплавкі, середньо плавкі, високоплавкі і тугоплавкі.

Припої на основі алюмінію, магнію, срібла, міді і деякі титанові, нікелеві (температура плавлення до 1100°C) відносять до середньоплавких сплавів.

На процес електроконтактної пайки впливає безліч різних чинників (рис. 3.1). Умовно можна розділити всі фактори, що впливають на: регульовані; нерегульовані і неконтрольовані; нерегульовані, але контрольовані.

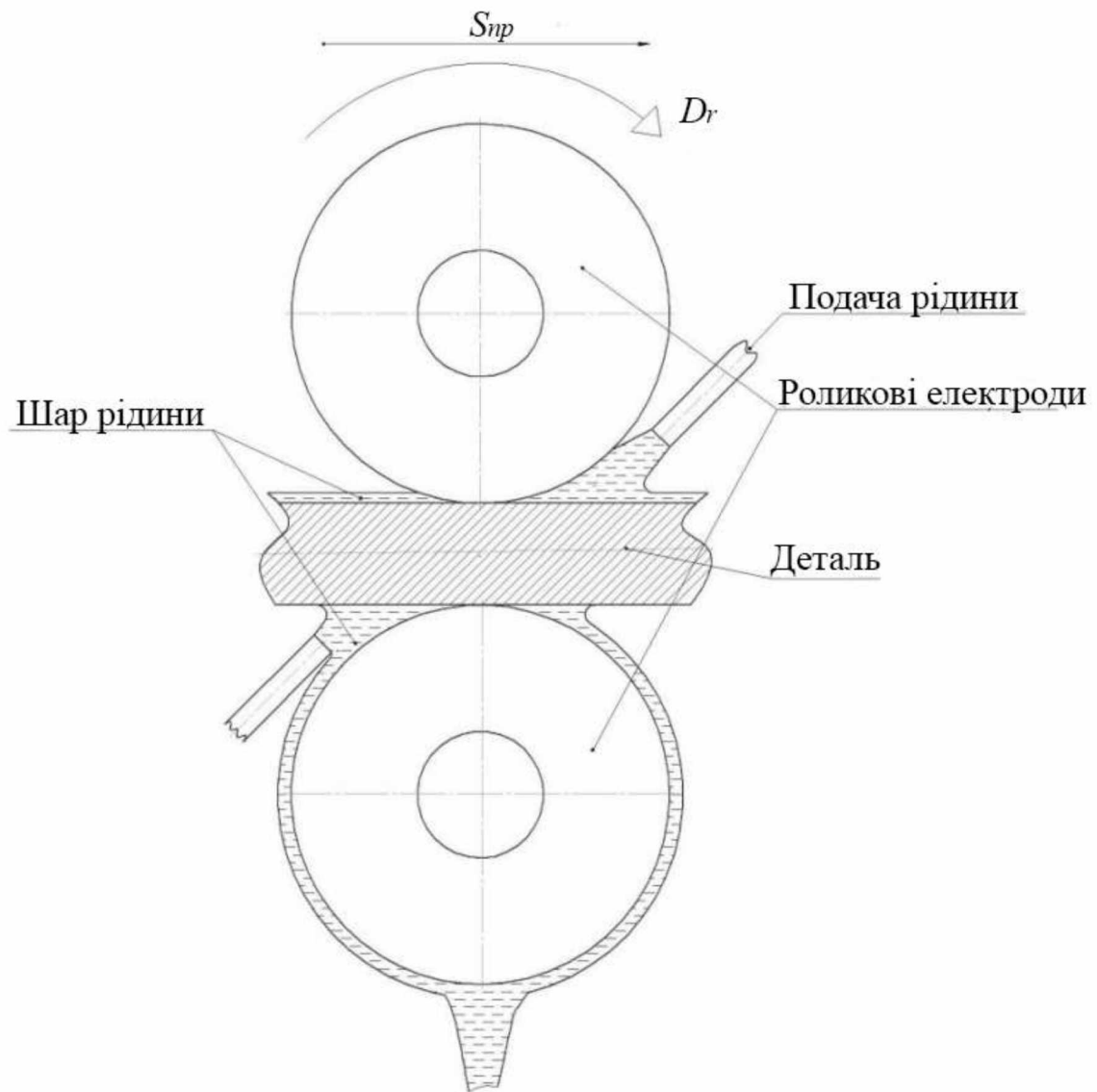


Рисунок 3.1 – Схема охолодження деталі при електроконтактній пайці

До нерегульованих чинників відносять: вологість повітря, атмосферний тиск, температуру навколишнього середовища, коливання напруги в мережі, стан устаткування (знос, жорсткість і точність установки) і т.д.

До нерегульованих, але контрольованих (відомих) чинників відносять: матеріал (теплопровідність, питомий електричний опір, пружність, твердість, пластичність і міцність), геометричні розміри і шорсткість деталі присадочного матеріалу і електродів.

До регульованих факторів – режими процесу. Правильний вибір режимів електроконтактної пайки є визначальним для отримання покриттів необхідної якості.

До режимів електроконтактної пайки можна віднести [19]:

- величину зварювального струму  $J_{cv}$ , яка регулюється зміною кута управління  $\alpha$  тиристорного контактора (регулятора);

- тривалість зварювального імпульсу  $t_u$  (час, протягом якого джерело струму подає імпульси напруги на первинну обмотку трансформатора) і тривалість паузи  $t_n$  (час між двома послідовностями імпульсів, протягом якого струм на первинну обмотку трансформатора не подається) які також задаються регулятором зварювального струму ;

- швидкість зварювання  $V_{cv}$  для плоских деталей – це швидкість лінійного переміщення електродів щодо деталі (задається подачею електродів), для тіл обертання – окружна швидкість деталі (регульована зміною частоти обертання деталі  $n$ ).

Час тривалості імпульсу струму в граничних точках визначається за такою формулою [18]:

$$t_u = \frac{F_o S^2}{\alpha}, \quad (3.1)$$

де  $F_o$  – число Фур'є;

$S$  – визначальний розмір деталі, м;

$\alpha$  – швидкість зміни температури речовини, м<sup>2</sup>/с.

відомо, що  $\alpha = \frac{\lambda}{c\rho}$  та підставивши це значення в (3.1) одержимо:

$$t_u = \frac{F_o \rho c h^2}{\lambda}, \quad (3.2)$$

де  $h$  – товщина зміцнюючої деталі, м;  $t_u$  – час тривалості імпульсу струму, с;  $c$  – питома теплоємність речовини, Дж/(кг·град);  $\rho$  – щільність речовини, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – теплопровідність речовини, Вт/(м·град); Для сталі У12А значення  $F_o = 0,425$  відповідає м'якому режиму, а  $F_o = 1,68$  – жорсткого

режиму. За формулою (3.2) визначимо величину імпульсу при жорсткому  $e$  і м'якому режимі, електроконтактної пайки через стрічкові аморфні припої металевої стрічки завтовшки 0,5 мм.

$$t_u = 0,425 \times \frac{7810 \cdot 0,649 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2}{27} \approx 0,02 \text{ с.}$$

Таким чином, збільшення сили зварювального струму не зробить істотного впливу на збільшення зони термічного впливу, але потребує велику потужність установки. Через те, що швидкість зміни температури речовини обмежена, зниження часу імпульсу струму нижче розрахованого та підвищення його сили призведе до внутрішніх виплесків.

При розрахунку сили зварювального струму застосуємо: число Фур'є  $F_o = \frac{\alpha t}{L^2}$ , критерій тепловиділення  $K_y = J^2 \rho t_u / (\lambda T d_e^4)$  та співвідношенням  $\frac{K_y}{F_o} = \eta_T^{-1}$  при діаметрів точки від електрода  $d_e = 3S$ , тоді:

$$J_{cp} = 4,6 d_e \sqrt{\frac{T_k \lambda}{\eta_T \rho}}, \quad (3.3)$$

де  $d_e$  – діаметр зварювальної точки, м;

$\lambda$  – теплопровідність речовини, Вт/(м·К);

$T_k$  – температура пайки, К;

$\eta_m$  – термічний коефіцієнт корисної дії;

$\rho$  – питомий електричний опір, Ом·м.

При електроконтактній пайці металевої стрічки через стрічкові аморфні припої  $\eta_m = 0,26$  – для м'якого режиму,  $\eta_m = 0,45$  для жорсткого режиму. Тоді  $J$  в точках 3 і 4 при електроконтактній пайці через стрічковий аморфний припій металевої стрічки У12А завтовшки 0,5 мм  $d_{e \max} = 5$  мм,  $d_{e \min} = 3$  мм,  $T_{k \min} = 980^\circ\text{C}$ ,  $T_{k \max} = 1050^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_{\max} = 0,045$  кВт / (м·К),  $\lambda_{\min} = 0,024$  кВт/(м·К),  $\rho_{\max} = 1,19 \times 10^{-6}$  Ом·м,  $\rho_{\min} = 1,15 \cdot 10^{-6}$  Ом·м буде визначатися:

для  $J_k$  при максимальних значеннях:

$$J_K = 4,2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{(1050 + 273) \cdot 0,045 \cdot 10^3}{0,45 \cdot 1,19 \cdot 10^{-6}}} \approx 7,0 \text{ кА};$$

для  $J_K$  при мінімальних значеннях:

$$J_K = 4,2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{(980 + 273) \cdot 0,024 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 1,15 \cdot 10^{-6}}} \approx 4,0 \text{ кА}.$$

Необхідно відзначити, що швидкості зварювання недостатньо для визначення продуктивності процесу електроконтактної пайки. При цьому під продуктивністю  $Q_S$  можна розуміти: площу покриття, що наноситься в одиницю часу, обсяг матеріалу, що наноситься або масу, які можна знайти з наступного співвідношення [18]:

$$Q_M = Q_V \rho = Q_S \rho \delta, \quad (3.4)$$

де  $Q_M$  – маса покриття, що наноситься в одиницю часу, г/хв.;

$Q_V$  – обсяг покриття, що наноситься в одиницю часу, мм<sup>3</sup>/хв.;

$Q_S$  – площа покриття, що наноситься в одиницю часу, мм<sup>2</sup>/хв.;

$\rho$  – щільність присадочного матеріалу, г/мм<sup>3</sup>;

$\delta$  – товщина отриманого покриття, мм.

У свою чергу  $Q_S$  – площа покриття, що наноситься в одиницю часу буде залежати від ширини  $b_n$  присадочного матеріалу, припаяного за один прохід інструменту (електрода) (рис. 3.2).

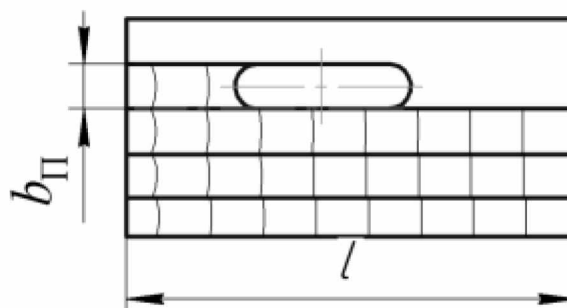


Рисунок 3.2 – Схема процесу електроконтактної пайки

Скориставшись схемою на рис. 3.2, можна знайти  $Q_S$ :

$$Q_S = v_{ce} b_n, \quad (3.5)$$

де  $b_n$  – ширина матеріалу, припаяного за один прохід електрода, мм  
 $v_{ce}$  – швидкість зварювання, мм/хв.

Підставивши вираз (3.5) в (3.4) отримаємо розрахункову формулу, для визначення продуктивності процесу електроконтактної пайки:

$$Q_M = Q_V \rho = Q_S \rho \delta = v_{ce} b_n \rho \delta. \quad (3.6)$$

Так як точка, отримана під час імпульсу, має вигляд витягнутої окружності або окружності, то автори [19, 20] встановили, що для здійснення контакту точок отриманих пайкою потрібно з'єднання сторін, які вписані в отримані окружності квадрати.

Тоді відстань, яку необхідно пройти перед кожним імпульсом має дорівнювати або менше  $\frac{d_T}{2} \sqrt{2} \approx 0,71d_T$  або  $r\sqrt{2}$  [19].

Однак під час проходження імпульсу струму також відбувається взаємне переміщення електродів і деталі. Шлях, пройдений електродом за час імпульсу:

$$l_H = v_{ce} t_H, \quad (3.7)$$

де  $t_H$  – час імпульсу, с.

Площа стрічки, через який струм проходить протягом всього імпульсу, дорівнює подвоєній площі сегмента, що відсікається загальної хордою пересічних кіл на початку протікання імпульсу і в його кінці (рис. 3.3):

$$S_H = 2 \times \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta), \quad (3.8)$$

$$S_H = 2 \times \frac{1}{2} \left( d_T^2 \cos^{-1} \left( \frac{l_H}{d_T} \right) - \frac{l_H}{2} \sqrt{d_T^2 - l_H^2} \right), \quad (3.9)$$

де  $\theta$  – кут, рад.

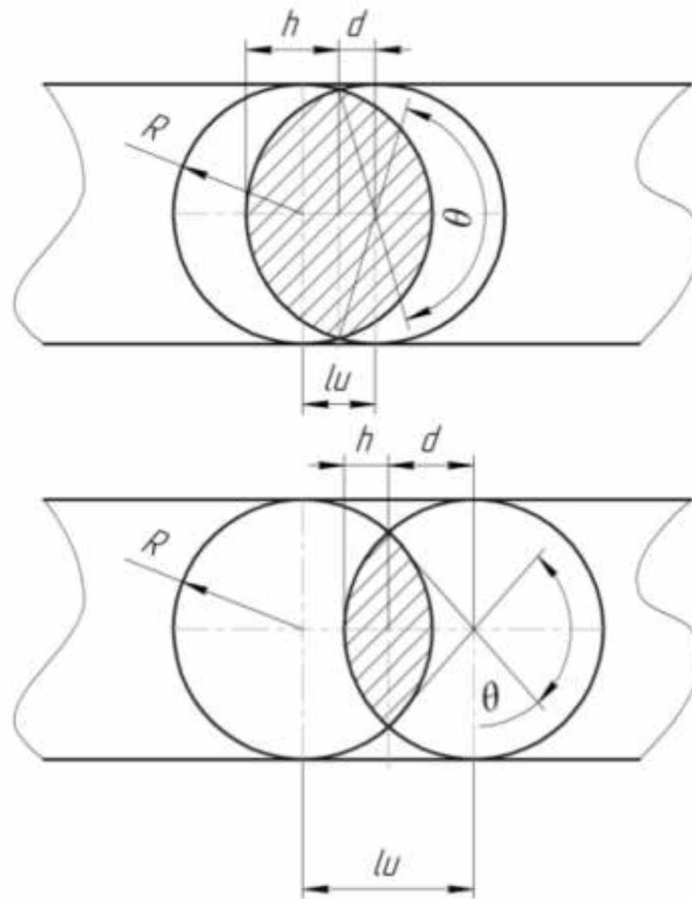


Рисунок 3.3 – Площа покриття, що утворюється за один цикл пайки

Це означає, що наступний імпульс струму повинен починатися через такий проміжок часу, через який буде забезпечено перекриття зварювальних майданчиків з коефіцієнтом  $k_{Пн}$  щодо положення зварювальної точки в момент початку перебігу зварювального струму, а не положення зварювальної точки, в якому протікання струму закінчується. Отже, шлях, пройдений точкою за час паузи, повинен бути менше на відстань, яку проходить за час імпульсу.

### 3.2. Вплив параметрів режиму електроконтактної пайки на якість одержуваних покриттів

Міцність зміцнюючих покриттів, одержуваних електроконтактною пайкою компактних матеріалів (стрічка, дріт), залежить від правильного вибору режимів протікання процесу. Оптимальні показники параметрів

режиму електроконтактної пайки характеризуються фізико-механічними властивостями припаюваних металів, таких як тепло- і електропровідність, жароміцних та іншими.

Електроконтактна пайка через стрічкові аморфні припої металеві стрічки включає: поєднання елементів, які можуть мати різні коефіцієнти електроопору, теплопровідності, теплового розширення, які впливають на міцність одержуваних покриттів.

Вплив зусилля стиснення електродів на формування покриття зі сталі У12А - Стемет 1301 - 65Г і сталі 50ХФА - Стемет 1301 - 65Г (рис. 3.4) оцінювали при силі зварювального струму  $J = 6,3 \dots 6,8$  кА,  $t_u = 0,06$  с,  $t_n = 0,1$  с.

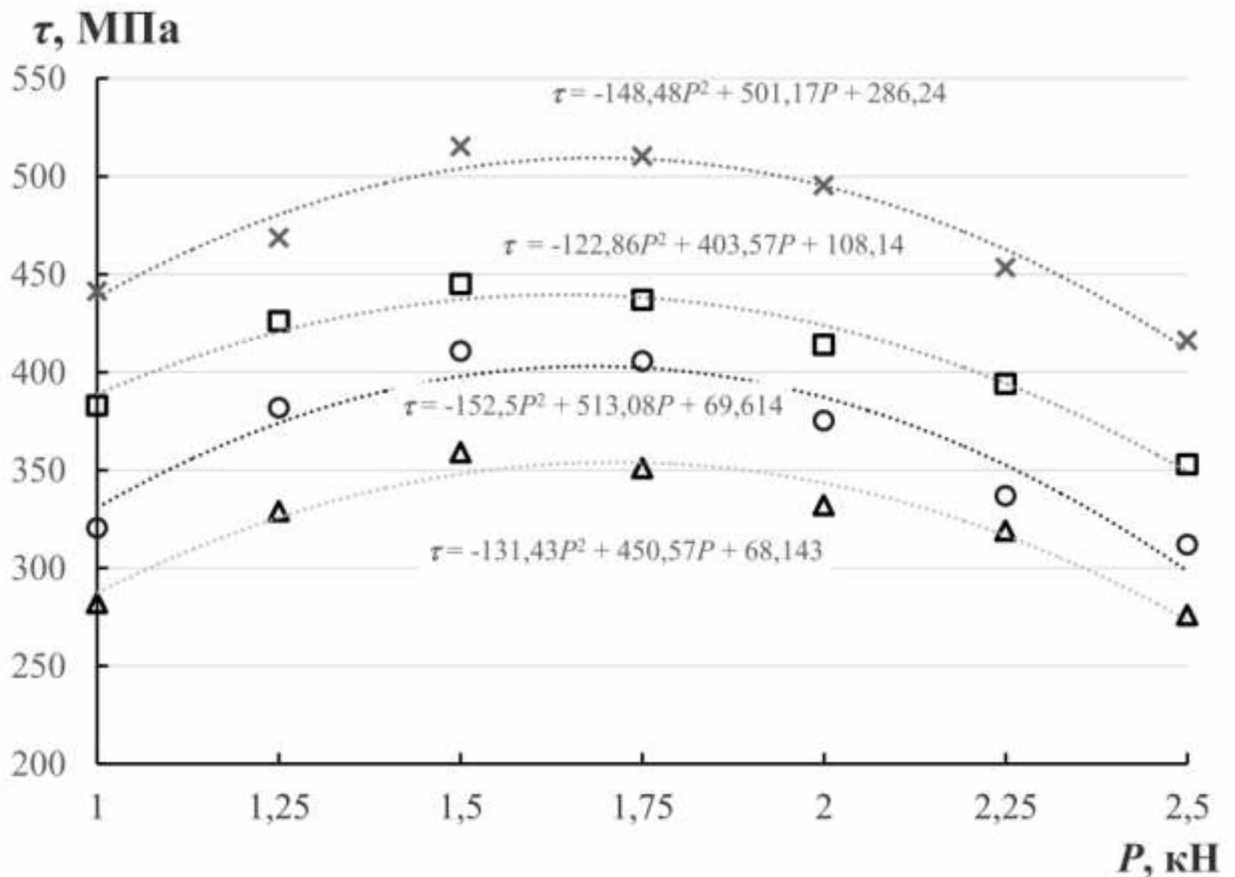


Рисунок 3.4 – Вплив зусилля  $P$  і сили зварювального струму  $J$  на міцність з'єднання

З отриманих залежностей (рис. 3.4) маємо: міцність отриманого з'єднання  $\tau$  покриття з основою в даному інтервалі  $P = 1,0 \dots 2,5$  кН має

найвище значення при  $P = 1,25 \dots 1,75$  кН, але при тиску  $P = 1,5$  τ міцність максимальна. Тому подальші дослідження проводили при  $P = 1,5$ .

Слід зазначити, що міцність з'єднання зі сталі У12А - Стемет 1301 - 65Г в 1,3 рази вище, ніж аналогічне з'єднання зі сталі 50ХФА - Стемет 1301 - 65Г, що пояснюється відповідними характеристиками сталі У12А [18].

На рис. 3.5 представлені залежності сили струму  $J$  в імпульсі і часу його протікання  $t_u$  на міцність одержуваного з'єднання покриття з металеві стрічки У12А і стрічкових аморфних припоїв Стемет 1301, Стемет 1202, Стемет 1108 зі сталлю 65Г.

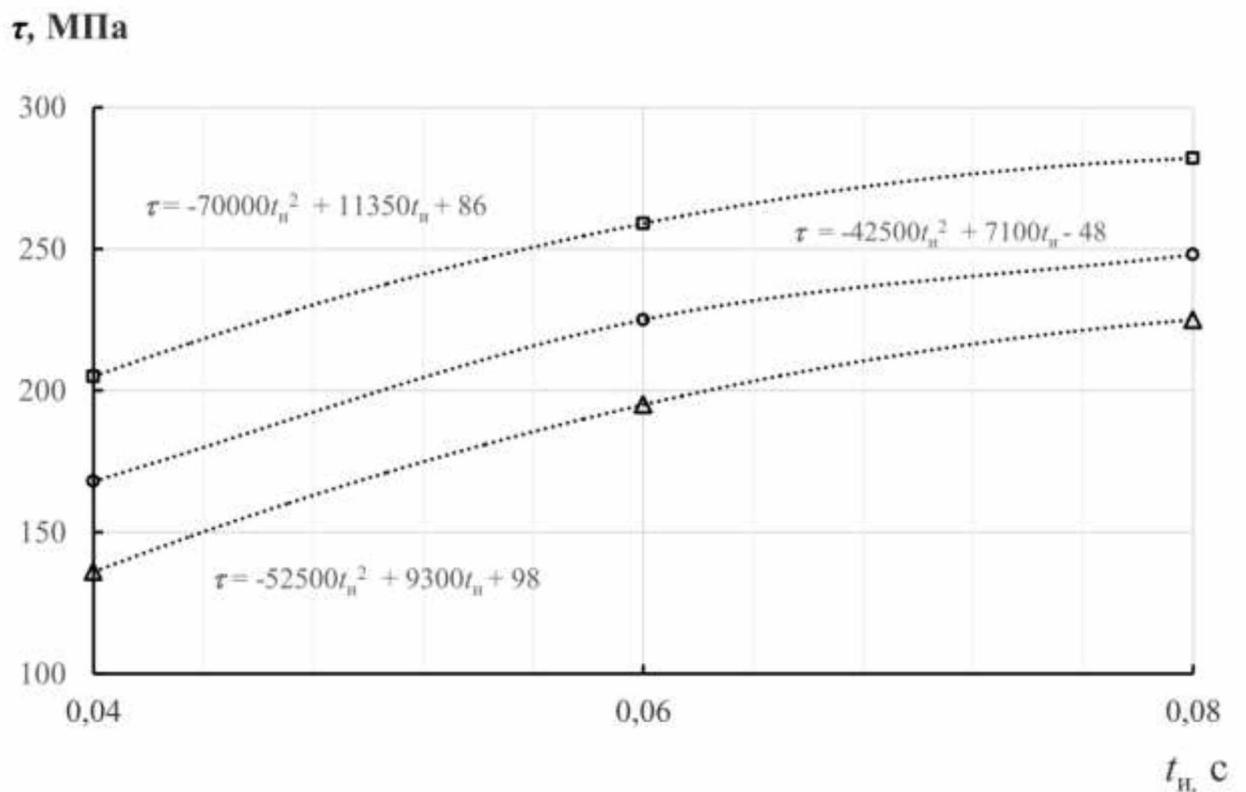


Рисунок 3.5 – Залежність міцності  $\tau$  від сили струму ( $J = 5,8$  кА) і часу імпульсу  $t_u$  наступних поєднань матеріалів: (□ – У12А - Стемет 1301 - Сталь 65Г; ○ – У12А - Стемет 1202 - Сталь 65Г; Δ – У12А - Стемет 1108 - 65Г)

Таким чином, в якості оптимального режиму електроконтактної пайки через стрічковий аморфний припой Стемет 1301 сталеві вуглецевої стрічки У12А на плоску поверхню зі сталі 65Г обрані наступні значення параметрів процесу:  $P = 1,5$  кН,  $J = 6,8$  кА,  $t_u = 0,06$  с,  $t_n = 0,1$  с.

Так було встановлено, що застосування стрічкових аморфних припоїв при з'єднанні металевої стрічки з плоскою поверхнею деталі дає можливість знизити силу зварювального струму на 10%.

На міцність з'єднання покриття, отриманого електроконтактною пайкою через аморфні стрічкові припої металевої стрічки на плоских поверхнях робочих органів сільськогосподарської техніки, впливає товщина застосовуваного стрічкового аморфного припою.

На рис. 3.6 представлена залежність міцності від товщини стрічкового аморфного припою.

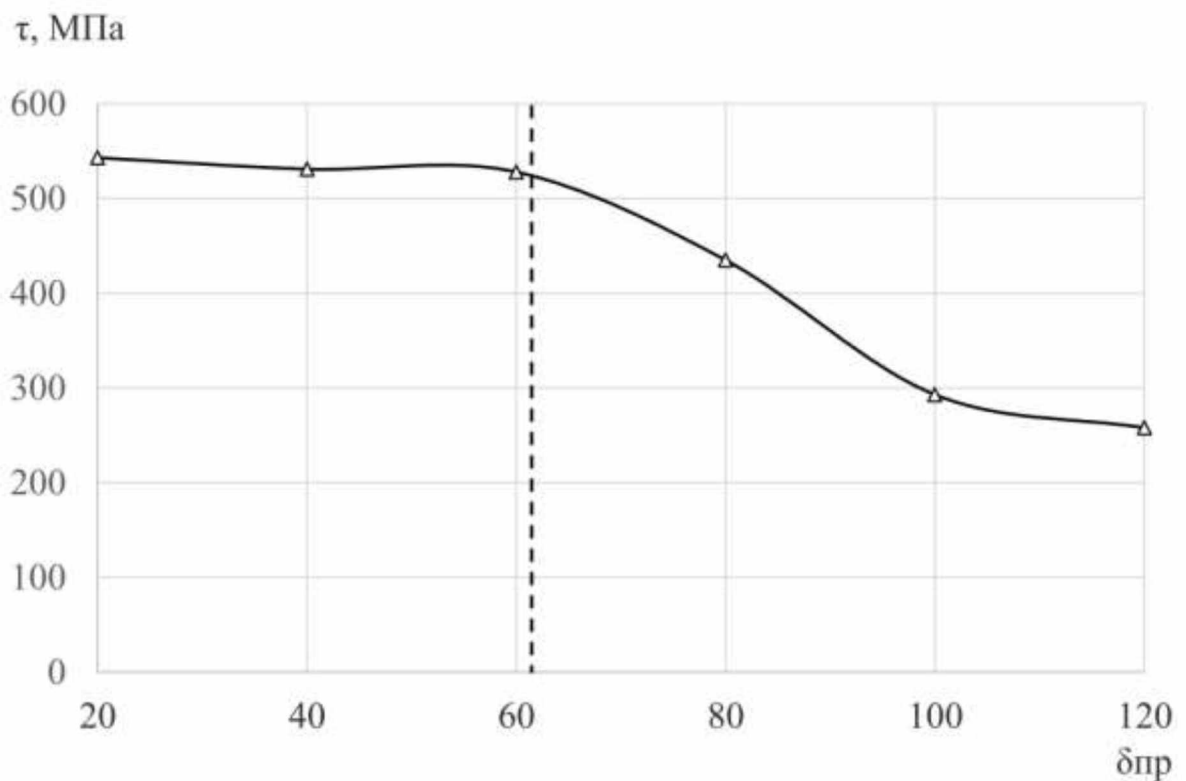


Рисунок 3.6 – Міцність з'єднання сталь У12А - Стемет 1301 - сталь 65Г в залежності від товщини стрічкового аморфного припою Стемет 1301

З рисунку видно, що найбільша міцність з'єднання покриття зі сталі У12А отриманого електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припой Стемет 1301 на сталі 65Г досягається при товщині припою 20 ... 60 мкм. Зі збільшенням товщини стрічкового аморфного припою від 60 ... 120

мкм спостерігається падіння міцності в 2 рази. Тому оптимальну товщину стрічкового аморфного припою вибрали 20 ... 60 мкм.

Металографічні дослідження показали, що в покритті зі сталі У12А отриманому електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припой Стемет 1202 на сталі 65Г мікротвердість таких покриттів складає:  $H_{\diamond,0,5} = 8456 \dots 9235 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 3.7), при цьому має структуру мартенситу і цементиту (рис. 3.8, а). Величина осадки сталеві стрічки У12А становить 95 ... 125 мкм. Величина зони термічного впливу 0,8 ... 1,2 мм, мікротвердість  $H_{\diamond,0,5} = 7260 \dots 4790 \text{ Н/мм}^2$  і структура мартенсінто-трооститна, а на деяких ділянках мартенсит + троостит + ферит (рис. 3.8, б). Мікротвердість основного металу за область зони термічного впливу  $H_{\diamond,0,5} = 4825 \dots 5112 \text{ Н/мм}^2$  і структура феритно-перлітна (рис. 3.8, в).

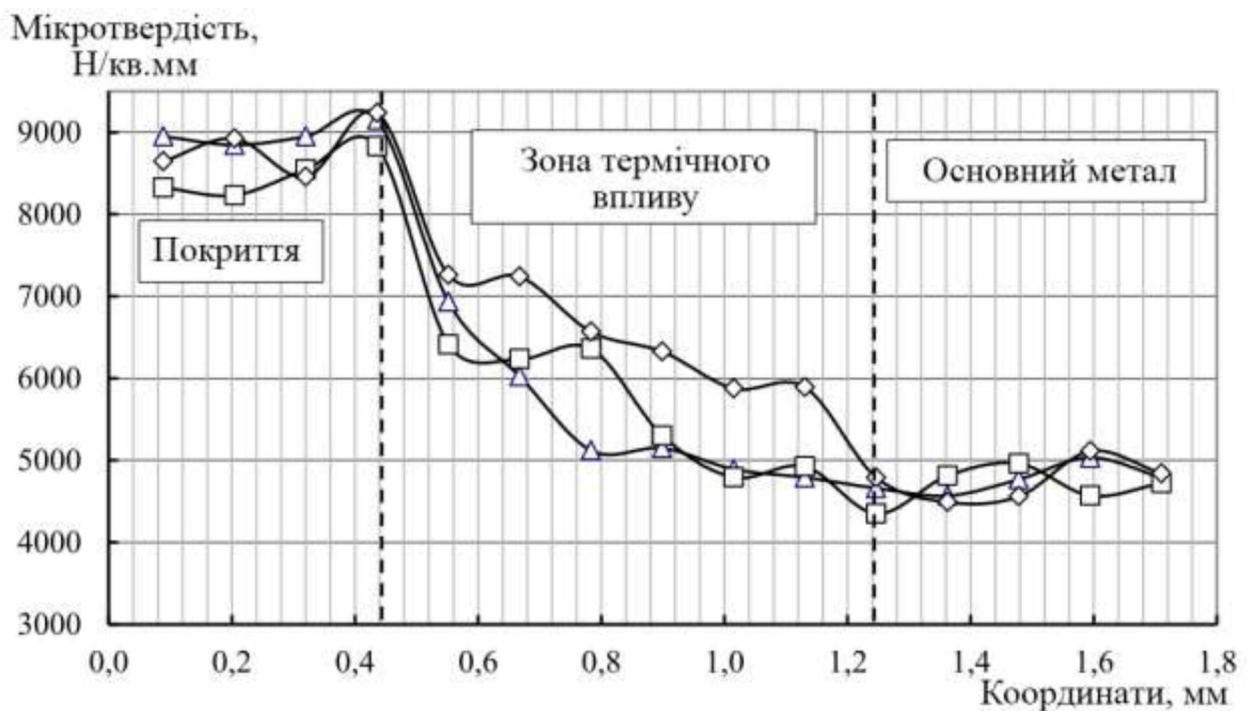


Рисунок 3.7. – Мікротвердість зони з'єднання покриття зі сталі У12А - сталь 65Г через припой з аморфної стрічки:  $\diamond$  – Стемет 1202;  $\square$  – Стемет 1108;  $\Delta$  – Стемет1301

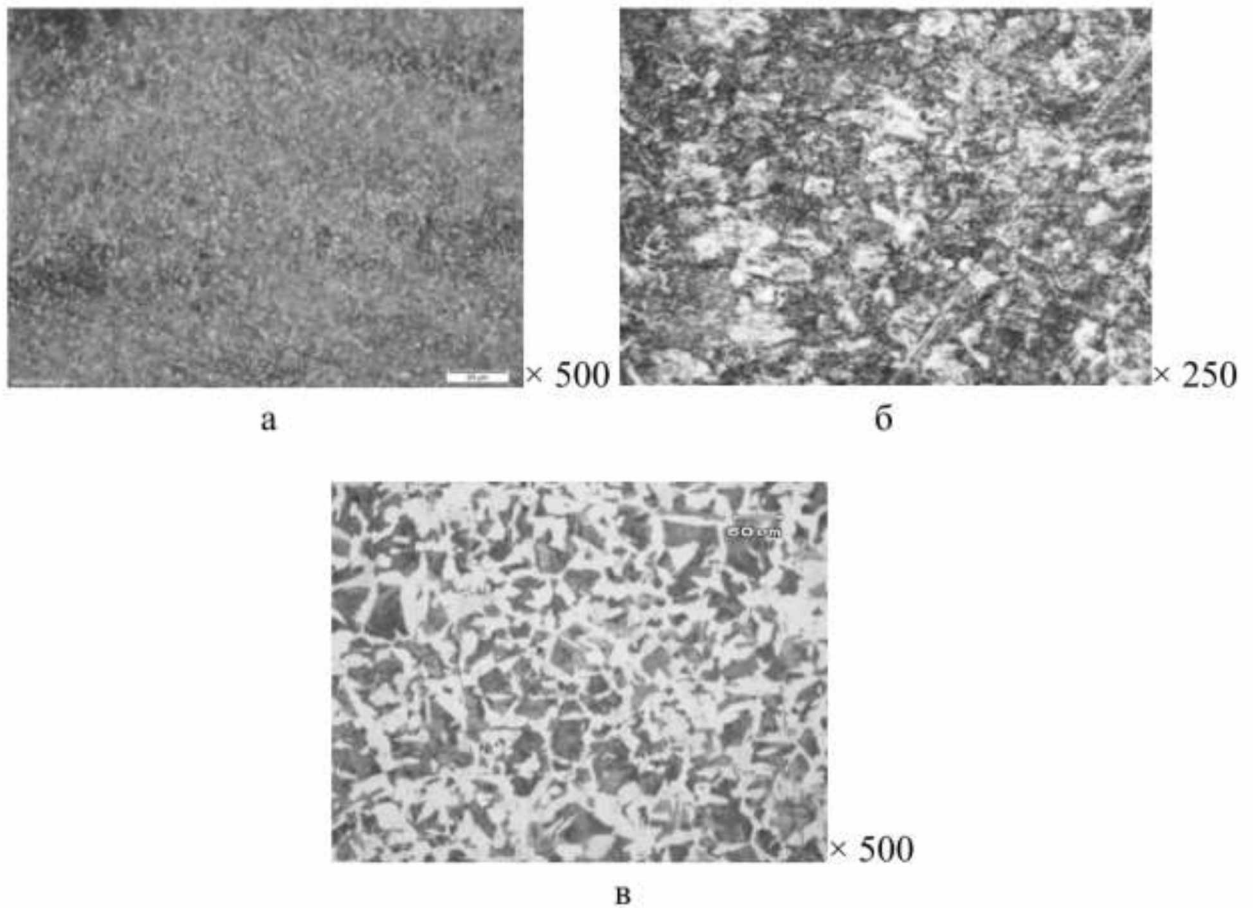


Рисунок 3.8 – Мікроструктура матеріалів після електроконтактної пайки: а – стрічка У12А; б – сталь 65Г (зона термічного впливу); в – сталь 65Г (основний метал)

Таким чином, оптимальним матеріалом для формування покриття зі сталі У12А електроконтактною пайкою на сталі 65Г є стрічковий аморфний припой Стемет 1301. Так як при його використанні в зоні з'єднання спостерігається мінімальна біла переривчаста смуга шириною 0 ... 10 мкм і відносно невелика глибина зони термічного впливу 0, 5 ... 0,8 мм. При використанні стрічкових аморфних припоїв Стемет 1202 і 1108 існує висока ймовірність окислення міді, що входить в їх склад, що може привести до появи різних дефектів в зоні з'єднання.

### 3.3. Результати експлуатаційних випробувань

Метою експлуатаційних випробувань розробленої технології зміцнення плоских поверхонь електроконтактною пайкою металевої стрічки була перевірка працездатності і зносостійкості дослідних лемешів (рис. 3.9) в порівнянні з серійними, шляхом визначення агротехнічних показників надійності.



Рисунок 3.9 – Вид зміцненого лемешу

Дослідні лемеші виготовлені зі сталі 30ХГСА з ріжучої кромкою, наплавленою плазмовим способом матеріалом, що містить 40% карбиду вольфраму і 60% хром-марганцево-бористий сплав на основі заліза. Як аналог для порівняння використовувалися серійні лемеші, виготовлені зі сталі 65Г з наплавленим шаром сормайтотом №1.

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

Агрегат з плугом, укомплектований зміцненими електроконтактною пайкою стрічки У12А і серійними лемешами, на ґрунті вологістю 22,4% забезпечував виконання технологічного процесу з робочими швидкостями до 9,5 км/год. На вологості 14 ... 15% швидкісний режим для вище зазначених лемешів знижувався на 16 ... 18% (до 8 км/год.).

Для дотримання однакових умов випробувань, всі лемеші працювали на плузі ПЛН-8-35. Встановлено, що зі зменшенням вологості ґрунту інтенсивність зносу зростає (значення наведені в табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Знос серійних і зміцнених лемешів

Вид лемешу	Умови	Наробіток, га	Інтенсивність зносу		
			По довжині, мм/га		В зоні першого кріпильного отвору, мм/га
			леза	Польового обрізу	
Зміцнений	Вологість ґрунту більше 20%	65	0,9-0,114	0,03-0,06	0,20-0,46
Серійний	Вологість ґрунту більше 20%	65	0,153-1,12	0,09-0,1	0,63-1,38

За граничний знос виробів приймалося повне стирання припаяного шару, лемешів по ширині. Заміри по ширині лемешів здійснювалися на рівні трьох кріпильних отворів. Встановлено, що найбільш інтенсивний знос трапецієподібних лемешів по ширині відбувається в зоні їх лобової частини – в зоні першого кріпильного отвору, далі зменшуючись на рівні другого і третього отворів. Знос у лемешів, зміцнених електроконтактною пайкою вуглецевої стрічки У12А, був практично однаковим по всій довжині лева, тобто на рівні всіх кріпильних отворів.

Для визначення зносу носка у серійних лемешів проводилися виміри по довжині лева і довжині польового обрізу. В процесі випробувань у міру зносу або втрати лемешів, вони замінялися на нові.

За результатами випробувань, мінімальна швидкість зносу по ширині на рівні першого кріпильного отвору в залежності від умов отримана 0,20 і 0,46 мм/га у лемешів, зміцнених електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припой Стемет +1301 вуглецевої стрічки У12А. Найбільше значення показника отримано для серійних лемешів 0,63 ... 1,38 мм/га.

Порівняльними випробуваннями експериментальних лемешів з серійними встановлено, що зносостійкість нових лемешів дозволяє в 1,8 ... 2 рази збільшити ресурс плугів на обробці землі.

### **Висновки**

1. На підставі експериментальних досліджень встановлено вплив режимів електроконтактної пайки і товщини стрічкового аморфного припою на міцність з'єднання металопокриття.

2. Результати металографічних досліджень показали, що оптимальним стрічковим аморфним припоєм є Стемет 1301 при з'єднанні покриття зі сталеві стрічки У12А електроконтактною пайкою з пластиною зі сталі 65Г. При цьому в зоні з'єднання спостерігається біла переривчаста смуга шириною 0,25 ... 10 мкм, яка практично не впливає на міцність з'єднання, і відносно невелика глибина зони термічного впливу 0,5 ... 0,8 мм.

3. Експлуатаційні випробування плугів із зміцненими лемешами електроконтактною пайкою зі сталі У12А показали, що напрацювання плугів склало не менше 100 год., при цьому ресурс зміцнених робочих органів склав в 1,8 ... 2,0 рази вище нових серійних.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;

– державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

## **4.2. Охорона праці**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

### **Вимоги безпеки при нанесенні покриттів**

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні

гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

### **Висновки**

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

### **4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки**

Для електроконтактні пайки доцільно оцінити економічну ефективність за вартістю зміцнення поверхні площею  $S = 1 \text{ дм}^2$  умовної плоскої деталі.

За базовим (діючим) варіантом маємо нову деталь, а по новому (проектваному) варіанту – технологічний процес зміцнення умовної плоскої деталі методами електроконтактним приварюванням вуглецевої сталеві стрічки і електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припой вуглецевої сталеві стрічки [18].

В якості приварюваного матеріалу використовували сталеву вуглецеву стрічку і аморфний стрічковий припой. Вихідні дані для розрахунку

економічного ефекту за базовим і запланованим варіантом наведені в таблиці.

У загальному випадку собівартість  $C_y$  зміцнення деталей на підприємстві можна визначити за формулою [18]:

$$C_i^y = M_i + P_B + E_i + Z_{\Pi_i} + Z_{Д_i} + C_{O_i} + A_i + P_i + Ц_i + O_{P_i} + C_{\sigma}, \quad (4.1)$$

де  $C_y$  – собівартість зміцнення по  $i$ -й технології, грн.

$P_m$  – витрати на охолоджуючу рідину;

$Z_{\Pi_i}$  – основна заробітна плата виробничих робітників при  $i$ -й технології, грн.;

$M_i$  – вартість матеріалів при  $i$ -й технології та охолоджуючої рідини  $P_m$ , грн.;

$P_i$  – витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування технологічного обладнання при  $i$ -й технології, грн.;

$E_i$  – витрати на енергію при  $i$ -й технології, грн.;

$Ц_i$  – цехові витрати при  $i$ -й технології, грн.;

$C_{\sigma i}$  – вартість втрат від браку, грн.;

$A_i$  – амортизація основного технологічного обладнання при  $i$ -й технології, грн.;

$Z_{\sigma i}$  – додаткова заробітна плата виробничих робітників при  $i$ -й технології, грн.;

$C_{oi}$  – відрахування на соціальні потреби при  $i$ -й технології, грн.;

$O_{P_i}$  – загальнозаводські витрати, грн..

Щоб визначити вартість матеріалів (сталева вуглецева стрічка і аморфний стрічковий припій) виходили з норми витрати на них, які розраховувалися з урахуванням технологічних втрат. Ціни на матеріали брали з прайс-листів фірм-виробників, також враховувалася 20%-ва надбавка постачальницьких організацій.

Витрата охолоджуючої рідини (вода)  $P_B$  визначали, враховуючи норми витрати  $Q = 1,8...2,0$  л/хв.:

$$P_B = QT_{\text{шт.к}} \cdot C_B, \quad (4.2)$$

де  $T_{шт.к}$  – тривалість зварювальної операції, хв.;

$C_B$  – ціна води, грн./л.

Для визначення режимів операцій електроконтактної пайки і приварювання металеві стрічки користувалися літературними джерелами [28], а для електроконтактної пайки через стрічкові аморфні припої металеві стрічки – за результатами проведених досліджень [14].

Час операцій задавали з урахуванням додаткового, підготовчо-заключного і допоміжного часу.

Втрати на брак  $C_b$  приймалися за даними підприємств в розмірі 10% від заводської собівартості для зміцненої деталі і 20% для нової деталі. До повної собівартості додавали прибуток в розмірі 10%. Також додали фактичну вартість  $\Phi_k$  деталі з урахуванням витрат на паливо і заміну зношеної деталі. Результати підрахунків наведені у табл. 4.2.

Найменші витрати виходять при покупці нової деталі, а не при використанні зміцненої деталі, отриманої електроконтактним приварюванням вуглецевої сталеві стрічки або електроконтактною пайкою через стрічковий аморфний припой сталеві вуглецевої стрічки. У свою чергу, збільшена вартість проєктованих варіантів електроконтактного приварювання вуглецевої сталеві стрічки і електроконтактної пайки, через аморфний стрічковий припой вуглецевої сталеві стрічки, походить від 25 до 28%, що обумовлюється вартістю присадних матеріалів, а також попередньою підготовкою припаюваної поверхні стрічки, яка робить позитивний вплив на якість покриття зміцнюючої деталі, а також капітальних вкладень.

При визначенні техніко-економічної ефективності застосування різних способів зміцнення враховують і надійність зміцнюючих деталей. Розрахунки, проведені в роботі приблизні, це пов'язано з тим, що тарифи на електроенергію, воду та ін. не мають постійного значення.

Також вартість матеріалу і обладнання може варіюватися в залежності від виробника і постачальника. Це може надавати значний вплив на ціну. Але

співвідношення вартості зміцнення деталей різними способами залишається приблизно постійним. При укрупнених розрахунках собівартість зміцнення деталей можна визначати за залежністю:

$$C_y = \sum_{i=1}^n C_i S_i \frac{K_i}{K_{\Pi}} + C_H, \quad (4.3)$$

де  $S_i$  – площа поверхні,  $\text{дм}^2$ ;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, що враховує витрати на підготовчі роботи (при зміцненні деталей для власних потреб  $K_{\Pi} = 1,03$ ; при централізованому зміцненні  $K_{\Pi} = 1,1$ );

$K_i$  – коефіцієнт повторюваності дефекту  $i$ -ої поверхні;

$C_i$  – питома собівартість зміцнення одиниці площі,  $\text{грн./дм}^2$ ;

$C_H$  – ціна нової деталі,  $C_H = 528$  грн.

$n$  – число зміцнених деталей, шт.;

Таблиця 4.2 – Калькуляція на зміцнення  $1 \text{ дм}^2$  поверхні умовної деталі різними способами, грн.

Показник	Базовий варіант – незміцнений леміш	Проектований варіант – пайка, приварка нового матеріалу: поєднання	
		Металева стрічка та аморфний припой	Металева стрічка
1	2	3	4
Вартість:	–		
матеріалів	–	26,24	11,84
охолоджуючої рідини	–	20	20
електроенергії	–	23,26	23,26
палива	360	180	180
Заробітна плата на виготовлення деталі:			
основна, в тому числі:	–	43,92	31,97
підготовчі операції	–	19,30	7,65
абразивна операція	–	7,65	7,65
зварювальні операції	–	16,97	16,97
додаткова (50% від $Z_n$ )	–	21,62	15,98
відрахування на соціальні потреби	–	17,04	12,47

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4
Заробітна плата на заміну деталі:			
основна, в тому числі:	–		
доставка деталей	124,5	62,2	62,2
заміна деталей	54,72	27,36	27,4
додаткова (50% від $Z_n$ )	69,8	34,9	34,9
відрахування на соціальні потреби	62,2	31,1	31,1
	48,55	24,3	24,3
Витрати на амортизацію технологічного обладнання	–	39,6	39,6
Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування	–	0,6	0,6
Цехові витрати	–	41,16	30,1
Загальнозаводські витрати	–	46,6	34,1
Заводська собівартість	400	578,3	518,2
Вартість втрат від браку	80	57,8	51,8
Повна вартість	480	636,1	570,0
Плановий прибуток	48	63,6	57,0
Оптова ціна	528	699,8	627,0
Фактична вартість з урахування додаток ви витрат	1122,8	997,4	924,7

Порівняльний економічний ефект від наведених технологій за розрахунковий період, а також коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень і терміну окупності наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок порівняльного економічного ефекту від використання технологічного процесу зміцнення плоских деталей базовим і проєктованим варіантами

Показник	Базовий варіант – незміцнений леміш	Проєктований варіант – пайка, приварка нового матеріалу: поєднання	
		Металева стрічка та аморфний припой	Металева стрічка
Деталь – леміш плуга Р33-ПЛЖ-31-702			
Програма зміцнення деталей в рік	1000	1000	1000
Капіталовкладення, тис. грн.	0	507,3	507,3
Норма реновації технічних засобів з урахуванням фактору часу	0	0,06	0,06
Додатковий прибуток	0	570,6	576,7
Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень	0	1,13	1,14
Строк окупності капітальних вкладень, роки	0	0,9	0,88

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу складе 570 тис. грн. при обробці 1000 деталей.

### Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія відновлення та підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема лемешів плугів, на основі електроконтактної пайки металевої стрічки є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу зміцнення поверхонь деталей складе 570 тис. грн. при обробці 1000 деталей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз деталей плоскої форми, які є робочими органами машин і механізмів сільськогосподарської техніки, а також технологічного обладнання. При цьому встановлено, що деякі виробники сільськогосподарської техніки випускають плуги, які мають напрацювання на відмову менше 100 годин.

2. На підставі експериментальних досліджень встановлено вплив режимів електроконтактної пайки і товщини стрічкового аморфного припою на міцність з'єднання металопокриття.

3. Результати металографічних досліджень показали, що оптимальним стрічковим аморфним припоєм є Стемет 1301 при з'єднанні покриття зі сталевією стрічкою У12А електроконтактною пайкою з пластиною зі сталі 65Г. При цьому в зоні з'єднання спостерігається біла переривчаста смуга шириною 0,25 ... 10 мкм, яка практично не впливає на міцність з'єднання, і має відносно невелику глибину зони термічного впливу 0,5 ... 0,8 мм.

4. Експлуатаційні випробування плугів із зміцненими лемешами електроконтактною пайкою сталі У12А показали, що напрацювання плугів склало не менше 100 год., при цьому ресурс зміцнених робочих органів склав в 1,8 ... 2,0 рази вище нових серійних.

5. Річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу зміцнення поверхонь деталей складе 570 тис. грн. при обробці 1000 деталей.