

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра безпеки життєдіяльності**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Обґрунтування параметрів технології відновлення чавунних деталей  
сільськогосподарської техніки»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1  
Ярмоленко Ігор Михайлович  
Керівник: Шпилька М. М.  
Рецензент: Ветохін В. І.

**Полтава – 2022 року**

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки і виробництва назріла необхідність в розробці комплексної методології проектування оптимальної технології, що дозволяє одночасно оптимізувати технологічний процес відновлення або зміцнення деталі, прогнозувати довговічність вузла в разі застосування даної технології і оцінювати її собівартість. Проектування оптимальної технології і матеріалів із заданими властивостями вимагає, як правило, проведення значних за обсягом і вартості досліджень.

Відновлення зношених деталей з метою їх повторного використання в якості запасних частин сільськогосподарської техніки є одним з основних шляхів вдосконалення технічної експлуатації і стратегії прискореного впровадження наукоємних та ресурсозберігаючих технологій.

При відновленні деталей вирішують одну з наступних задач [1]:

- 1) надання деталям і обладнання в цілому початкових експлуатаційних властивостей;
- 2) підвищення початкових експлуатаційних властивостей деталей за рахунок застосування при відновленні сучасних технологій і матеріалів для збільшення конструкційної міцності, триботехнічних властивостей та вдосконалення інших характеристик деталей або їх окремих елементів.

Цілеспрямоване науково обгрунтоване рішення цієї проблеми дозволить підвищити показники надійності і ефективності експлуатації сільськогосподарської техніки і механізмів за рахунок заміни зношених деталей на більш довговічні, упорядкування і зниження витрати запасних частин, економії матеріальних, трудових і грошових ресурсів у сфері ремонтного виробництва та технічного обслуговування.

Світовий досвід показує, що понад 80% зношених деталей можна відновити з метою їх повторного використання в якості запасних частин [2].

Однак для забезпечення ефективності та економічної доцільності відновлення деталей необхідно, щоб вартість відновлення деталі не

перевищувала 40-60% від ціни нової деталі при її гарантійному наробітку не менше 80% від ресурсу нової. Зараз технології в кращому випадку забезпечують ресурс відновлених деталей в межах 40-50% від ресурсу нової [3].

Широке використання чавуну в відповідальних деталях сільськогосподарської техніки обумовлено тим, що він має малу чутливість до концентраторів напруг, має підвищену здатність гасити вібрації, добре обробляється і характеризується хорошими ливарними властивостями.

Основні причини відмов чавунних деталей машин:

- значні статичні і циклічні напруги, що викликають утворення тріщин (корпуси насосів, втулки і блоки циліндрів дизелів і т. д.);

- корозійно-ерозійне зношування;

- кавітаційне зношування порожнин охолодження (блоки і втулки циліндрів та ін.);

- робота деталей в умовах тертя при високих питомих навантаженнях, температур і швидкостях ковзання, яка веде до підвищеного нерегламентованого зношування;

- робота деталей в умовах тертя і одночасного впливу статичних і циклічних напружень, що призводить як до підвищеного зношування, так і утворення тріщин.

Тому вивчення можливостей відновлення чавунних деталей, що зазнають в процесі роботи вплив важких експлуатаційних навантажень, є вкрай актуальним.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз відказів чавунних деталей сільськогосподарської техніки

Стан складальних одиниць, агрегатів, корпусних деталей сільськогосподарської техніки лімітує ресурс, як її окремих елементів, так і машини вцілому. Методи ремонту чавунних деталей, що застосовуються на ряді підприємств технічного сервісу України, забезпечують відновлення ресурсу лише до 20% в порівнянні з ресурсом нових [4]. Тому досить актуальним є підвищення зносостійкості чавунних деталей при їх відновленні.

Чавунні деталі сільськогосподарської техніки забезпечують координоване розміщення різних складальних одиниць і елементів протягом заданого ресурсу, що забезпечується за рахунок базових поверхонь при їх проектуванні. Тому характерною особливістю чавунних корпусних деталей є наявність точно скоординованих між собою базових площин і отворів [5].

Відповідно до технічних умов для забезпечення нормальної роботи складальних одиниць і механізмів сільськогосподарської техніки до корпусних чавунних деталях ставляться такі вимоги [5, 6]:

- шорсткість робочої поверхні по  $R_a = 0,2 - 1,0$  мкм;
- відхилення від конусоподібності і овалоподібності не більше  $0,03 - 0,05$  мм;
- відхилення від співвісності  $0,02 - 0,06$  мм;
- відхилення від паралельності і перпендикулярності осей  $0,03 - 0,05$  мм на довжині 100 мм.

Вимоги до чавунних корпусних деталях визначені умовами роботи, характером виробництва, технологічністю і економічною доцільністю конструкцій.

Корпусні деталі виготовляють переважно з сірого низьколегованого і середньолегованого перлітного чавуну (СЧ 18 - 79%; СЧ 21 - 12%; СЧ 20 і СЧ

24 - 7%) [7,8]. Вони сприймають більшість зовнішніх і внутрішніх навантажень, головним чином, посадочними поверхнями під підшипники. Аналіз експлуатації посадочних поверхонь сільськогосподарської техніки показує, що вони працюють при питомих навантаженнях 1,0 - 1,5 МПа, швидкостях до 1,0 - 1,5 м/с і при температурному діапазоні 50 - 65°C з невеликою кількістю змащуючого матеріалу [9].

Аналіз результатів досліджень [8-11] і досвід ремонтних підприємств з відновлення чавунних корпусних деталей сільськогосподарської техніки дозволив виявити основні їх дефекти:

- знос контактних поверхонь в сполученні корпус-підшипник;
- тріщини, злами;
- пошкодження різьби;
- викривлення приєднувальних поверхонь.

Найбільша повторюваність дефектів характерна для посадочних отворів під підшипники і стакани. Усунення цих дефектів представляє основну складність технологічного процесу відновлення деталей. В результаті зносу, старіння і деформації корпусів порушуються не тільки розміри отворів, але і їх взаємне розташування, паралельність і перпендикулярність осей отворів між собою.

Аналіз проведених досліджень дозволив створити структурну схему втрати працездатності корпусних чавунних деталей сільськогосподарської техніки (рис. 1.1).

На підставі проведених досліджень роботи сільськогосподарської техніки можна виділити наступні основні причини зношування їх корпусних деталей:

- ослаблення посадкового натягу в сполученні;
- порушення геометричних характеристик посадочних поверхонь при експлуатації, а також після їх відновлення;
- порушення режиму експлуатації.

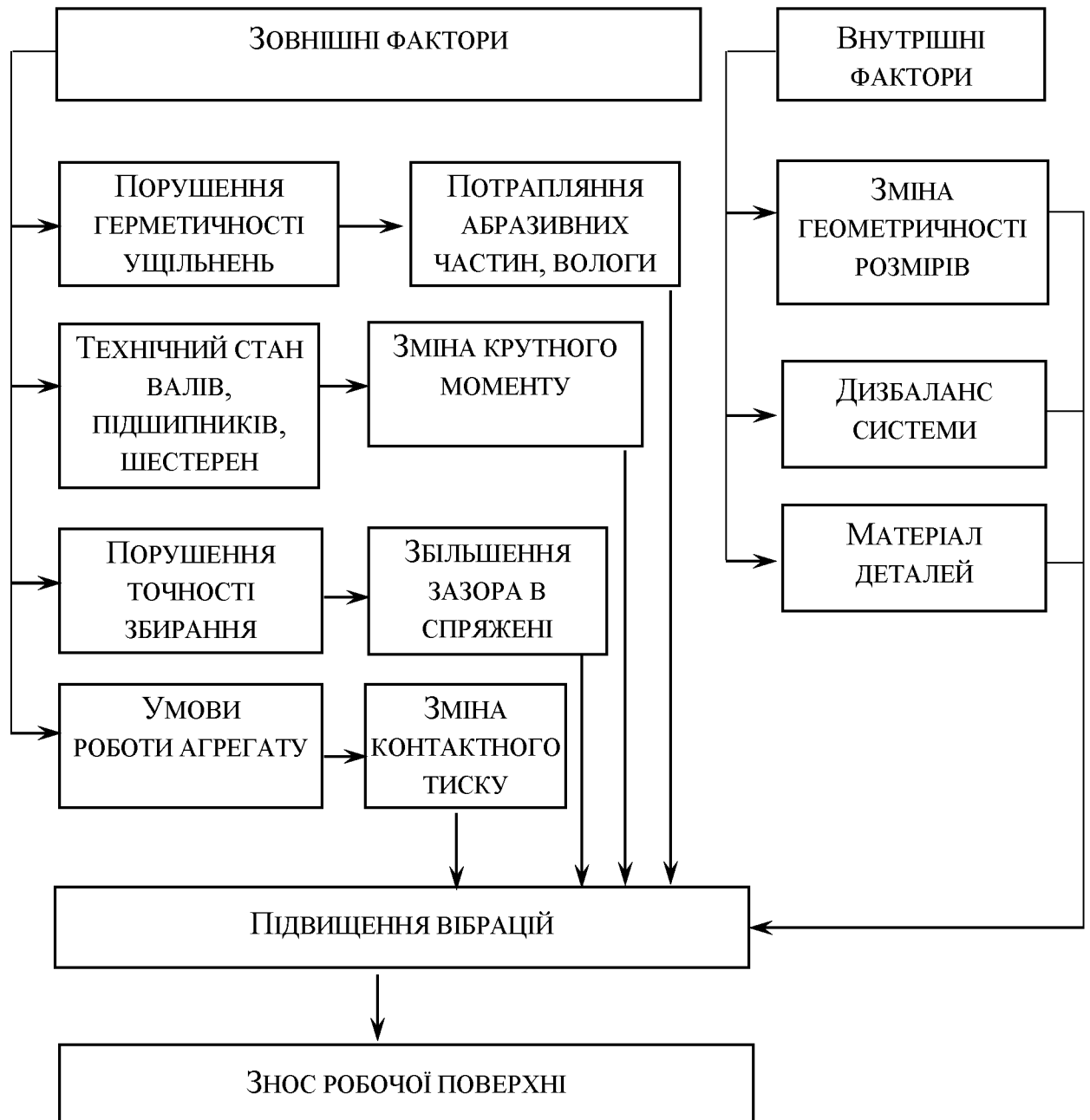


Рисунок 1.1 - Структурна схема втрати працездатності чавунних корпусних деталей сільськогосподарської техніки

Знос посадочних поверхонь підшипників в корпусних чавунних деталях призводить до зниження довговічності машини за рахунок збільшення зазорів в сполученнях, виникнення перекосів і збільшення інтенсивності вібрацій [12].

Зношування посадочних поверхонь, а також порушення режиму експлуатації викликає відмову в роботі підшипників кочення.

Процес руйнування поверхневих шарів корпусних деталей супроводжується фретинг-корозією, втомними і абразивними ушкодженнями. Ці види зносу тісно пов'язані між собою і в залежності від температурного і силового режимів, що виникають в посадочних поверхнях, якості змащення, властивостей матеріалів деталей і шорсткості поверхні мають різну інтенсивність протікання [13].

При фретинг-корозії інтенсивність руйнування поверхонь визначається в основному механічним фактором: впливом амплітуди відносного переміщення, питомим контактним навантаженням, частотою коливань, кількості циклів навантаження, твердістю поверхонь [14]. При цьому відбувається як послаблення натягу між поверхнями, так і перекіс в сполученні. Різке збільшення величини зносу відбувається при амплітудах 0,1 - 0,15 мм внаслідок інтенсифікації процесу схоплювання. Поряд з цим динамічні навантаження сприяють підвищенню процесу пластичної деформації, яка проявляється при більш низьких значеннях навантаження. Це, в свою чергу, призводить до накопичення структурних ушкоджень (ослаблення міжатомних зв'язків, збільшення щільності дефектів кристалічної решітки) і, як наслідок, руйнування матеріалу і зниження міцності металу.

Як відомо, зовнішні кільця підшипників сільськогосподарської техніки можуть сприймати місцеві, циркуляційні та коливальні навантаження. У зв'язку з цим через різницю довжини отвору і кільця, при наявності зазору в сполученні, виникає повертання кільця в напрямку протилежному обертанню валу. В результаті чого відбувається развальцьовування і знос посадочного отвору деталі [15].

Особливості умов експлуатації деталей в певній мірі пов'язані з тривалим зберіганням (до 83%) і подальшою активною експлуатацією. Це дає підставу стверджувати, що має місце зміни властивостей і характеристик корпусних

деталей, так як чавун може сприймати такі зовнішні фактори, як вологість і температуру середовища [16].

Для зернозбиральних машин і інших видів сільськогосподарської техніки, що працюють при підвищеній запиленості, головним видом зносу є абразивний. Рівень запиленості навколишнього середовища залежить від запиленості ґрунту, швидкості руху повітря і агрегату, розміщення складальних одиниць машини, характеру виконуваних робіт. Внаслідок специфічних умов експлуатації зернозбиральної машини в з'єднання корпус-підшипник можуть потрапляти абразивні частинки і волога, що сприяє інтенсивному протіканню абразивного зношування посадочних поверхонь корпусних деталей. При зношуванні деталей найбільше проявляється заїдання, якому передують адгезійна взаємодія деталей.

Таким чином, довговічність чавунних корпусних деталей визначається головним чином зносостійкістю посадочних поверхонь, яка залежить від цілого ряду перерахованих вище факторів, а також від інтенсивності протікання фретінг-корозії і провертання кільця підшипника кочення в сполученні.

## **1.2. Аналіз способів відновлення деталей, що виготовлені з чавуну**

У більшості випадків дефекти в чавунних деталях можна усунути. Аналіз дефектів показав, що їх глибина може бути від 0,5 мм до 5 мм. При правильному виборі способів усунення дефектів і їх ретельному виконанні якість відновлених деталей, як правило, відповідає вимогам експлуатації. Для усунення дефектів при ремонті чавунних деталей, що вийшли з ладу, широко застосовують зварювальні процеси [3, 10, 11- 15].

Однак чавун має специфічні властивості, які в значній мірі ускладнюють застосування зварювання. Це, з одного боку, високий вміст вуглецю і тенденція до утворення метастабільних структур (цементиту і ледебуриту) при швидкому охолодженні, характерному для процесу зварювання, а з іншого - низька

пластичність і велика крихкість. Чавун відрізняється відносно низькою температурою кристалізації в порівнянні з металом зварювальної ванни на залізній чи залізонікелевій основі, високою газонасиченістю, а також наявністю в ньому мікропорожнин. Іноді виникають додаткові труднощі, викликані умовами експлуатації виробу (наприклад, при зварюванні виробів з горілого або просоченого маслом чавуну).

Однією з найважливіших характеристик металів при усуненні дефектів за допомогою зварювання, є зварюваність [13, 17].

Чавун з точки зору фізичної зварюваності відноситься до групи добре зварюваних, так як має необмежену розчинність основного і присадочного металу в рідкому стані, можливістю дифузії в твердому і рідкому станах і утворення твердих розчинів [18].

Здатність металу зварюватись ще не визначає можливість отримання зварного з'єднання, що відповідає експлуатаційним вимогам (працездатність, економічність і т.д.). Метал шва і околшовної зони (ОШЗ) зазвичай за багатьма показниками помітно відрізняється від основного металу. Ці відмінності, навіть при гарній фізичній зварюваності, можуть призводити до низьких властивостей зварного з'єднання в цілому.

Тому прийнято здатність основного металу при даній технології утворювати зварне з'єднання без порушення цілісності, спотворення форм і зниження його якості характеризувати технологічною зварюваністю. Це поняття залежить від стану технологічних процесів. Стан сучасної зварювальної техніки показує, що всі матеріали, що володіють фізичною зварюваністю, можуть утворювати задовільні зварні з'єднання. При цьому важко зварювані матеріали вимагають застосування більш складної технології зварювання. З точки зору технологічної зварюваності чавун відноситься до важко зварюваних металів [13,17].

При всіх способах зварювання плавленням для локального розплавлення металу застосовуються потужні джерела теплової енергії, що дозволяють вводити велику кількість теплоти, створювати значне місцеве підвищення

температури. Це призводить, як правило, до значного перегріву металу при зварюванні.

Високий перегрів металу, що викликається процесом горіння дуги; витримка рідкої ванни, регульована температурою попереднього підігріву і технікою зварювання (швидкість переміщення електрода, зварювання валиками або ванним способом і т. п.); підготовка зварювальних матеріалів і введення до складу покриття електрода, або порошкового дроту модифікованих добавок - всі ці питання вимагають досліджень при розробці технології зварювання [18].

Для чавунів властива схильність до утворення в зварному з'єднанні структур відбілу і загартування, тріщин і пор. Структура наплавленого металу визначається умовами і кінетикою його кристалізації, яка в значній мірі залежить від умов зварювання: швидкості охолодження, стану рідкого металу і хімічного складу [19,20].

Тріщини в зварному з'єднанні можуть виникати від нерівномірного нагрівання та охолодження деталей, ливарної усадки металу шва, жорсткості виробу, що зварюється. Вони можуть виникати не тільки в шві і ОШЗ, але і в інших ділянках деталі, в яких внаслідок додаткової деформації, спричиненої термічними циклами процесу зварювання або локальним попереднім підігрівом, виникають напруги, що перевищують межу міцності чавуну. Тріщини, які утворюються при зварюванні чавуну, можна віднести до холодних тріщин, так як верхня межа температурного інтервалу появи тріщин не перевищує 250 - 400°C. Небезпека утворення тріщин значно збільшується при наявності цементиту на межі сплаву і мартенситу [20].

Таким чином, механічні властивості чавуну (міцність і твердість) в основному залежать від характеру металевої маси (співвідношення фериту і перліту) та від кількості і характеру розташування графіту. В умовах підвищених швидкостей охолодження зварювальної ванни при зварюванні відбувається подрібнення графіту і отримання більш дисперсних форм металевої основи у вигляді сорбітоподібного перліту. Твердість наплавленого

металу в цьому випадку підвищується до 250 НВ, проте чавун зберігає хорошу оброблюваність.

В силу причин, обумовлених властивостями чавунів, при наплавленні потрібно зважати на конструктивні особливості виробів, експлуатаційні призначення поверхонь і окремих частин деталей. На вибір методу відновлення впливає характер, розмір і розташування дефекту на деталі.

Способи зварювання та наплавлення чавуну мають безліч технологічних особливостей, обумовлених різним тепловкладенням і хімічним складом зварювальних матеріалів. Це стримує широке використання зварювання і наплавлення для відновлення відповідальних деталей сільськогосподарської техніки. Вибір хімічного складу і виду присадочного матеріалу (електрод, порошок, дріт) і способу зварювання (наплавлення) необхідно здійснювати з урахуванням не тільки умов експлуатації деталі, але і технологічних можливостей способів зварювання (наплавлення), а також накопиченого підприємством досвіду і наявного обладнання.

Всі способи зварювання (наплавлення) чавуну за властивостями наплавленого металу можна розділити на дві групи:

1) способи, призначені для отримання наплавленого металу у вигляді чавуну із заданими властивостями, що досягається застосуванням відповідних зварювальних матеріалів;

2) способи, що призначені для отримання наплавленого металу - не чавуну, до якого пред'являються вимоги забезпечення оброблюваності різанням (сплави з високим вмістом нікелю, міді, високолегованої сталі та ін.).

Існує ряд способів, що використовуються в інших випадках: контактнo-порошкове і електрошлакове наплавлення, наплавлення стрічковим електродом, пайка цинковим сплавом при температурі 350°C, електроіскрове нарощування і ін.

Технологічні процеси виправлення дефектів чавунних деталей представляють можливість виконання зварювальних операцій із загальним або частковим попереднім нагріванням виробів до температури 600 - 650°C (гаряче

зварювання) і отриманням наплавленого металу у вигляді чавуну; з невеликим нагріванням до температури 150 - 400°C або без попереднього нагрівання (холодне зварювання) і з отриманням наплавленого металу - не чавуну - у вигляді сплавів, що піддаються механічній обробці різанням [20].

Зварювальний та наплавочний процеси можна виконувати з розплавленням основного металу (зварювання) або без розплавлення основного металу (низькотемпературні засоби пайки-зварювання), окремими валиками або з утворенням ванни великого обсягу, вручну або механізованими способами. Технологічні процеси виправлення дефектів не виключають можливості застосування незварювальних способів.

Класифікація способів зварювання (наплавлення) за технологічними і якісними ознаками приведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Класифікація способів зварювання (наплавлення) за технологічними і якісними ознаками

| Способи зварювання   | Характеристика дефекту  | Характеристика наплавленого металу і з'єднання   |
|--|---|--|
| 1  | 2   | 3  |
| <b>Наплавлений метал - чавун з заданими властивостями</b>      |   |  |
| <i>Газове зварювання</i>                                       |   |  |
| Гаряче чавунною присадкою                                      | Різні дефекти невеликих і середніх розмірів на оброблюваних, оброблених і відповідальних не-оброблюваних поверхнях різного експлуатаційного призначення | Гарна оброблюваність і щільність, близький збіг з основним по мікро-структурі, твердості, міцності показників і відтінку кольору |
| Паяння-зварювання з чавунним присадочним прутком               | Різні дефекти невеликих розмірів на оброблених робочих поверхнях  | Те ж   |
| <i>Дугове зварювання ванним способом</i>                       |   |  |
| Ручне чавунними електродами.<br>Механізоване порошковим дротом | Різні дефекти великих і дуже великих розмірів на оброблюваних, оброблених і відповідальних не-оброблюваних поверхнях                                    | Гарна оброблюваність і щільність, близький збіг з основним по мікро-структурі, твердості, міцності показників і відтінку кольору |

| 1  | 2  | 3  |
|--|--|--|
| Механізоване порошковим дротом з керамічною присадкою  | Різні дефекти невеликих і середніх розмірів на оброблюваних поверхнях, що не піддаються поверхневому гартуванню                            | Те ж   |
| Наплавлений метал - нечавун, до якого пред'являються умови оброблюваності різанням<br><i>Холодне дугове зварювання наплавленими валиками</i> |  |  |
| Ручне електродами на мідно-нікелевої основі  | Різні дефекти невеликих і середніх розмірів на оброблюваних і оброблених поверхнях. В окремих випадках наскрізні дефекти невеликої довжини | Гарна оброблюваність, щільність і міцність   |
| Ручне електродами на залізонікелевій основі  | Різні дефекти невеликих і середніх розмірів на різних поверхнях деталей  | Гарна оброблюваність, щільність і міцність. Колір збігається з кольором основного металу |
| Ручне електродами на основі низько-вуглецевої сталі зі спеціальним покриттям   | Різні дефекти невеликих розмірів на оброблених поверхнях   | Твердість і колір збігаються з твердістю і кольором основного металу                     |
| Ручне електродами на мідно-сталевій основі   | Наскрізні дефекти на необроблюваних поверхнях деталей і стінках резервуарів  | Висока міцність і щільність. Оброблюваність затруднена. Відрізняється за кольором        |
| Механізована тонкими дротами:<br>- на нікелевої основі   | Перехідні шари при багатошаровому заплавленні дефектів на оброблених поверхнях. Різні дефекти на тонких стінках деталей                    | Мінімальне проплавлення основного металу, добре обробляється                             |
| - на мідній основі несучільного металу   | Перехідні шари при багатошаровому наплавленні, наскрізні дефекти на тонких стінках деталей   | Мінімальне проплавлення основного металу. Гарна щільність і міцність                     |
| <i>Газові низькотемпературні (без розплавлення основного металу) засоби пайки-зварювання</i>   |  |  |
| Мідно-сплавними присадочними матеріалами типу латуні   | Ненаскрізні дефекти невеликих розмірів на оброблених поверхнях   | Щільний, має стабільні показники твердості НВ 170-190                                    |

Продовження таблиці 1.1

| 1   | 2   | 3   |
|---|---|---|
| Самофлюсуючими порошковими сплавами   | Ненаскрізні дефекти невеликих і середніх розмірів, виявлені на фінішних операціях механічної обробки деталей. Вироблення, вм'ятини, негерметичності в деталях | Гарна оброблюваність, міцність і щільність. Твердість, зносостійкість і колір збігаються з основним металом |
| <i>Металізація</i>  |   |   |
| Сплавами на основі молібдену, цинку   | Пористість на робочих поверхнях   | Щільний, зносостійкий   |
| Наплавлений метал - нечавун, до якого не пред'являються умови оброблюваності різанням             |   |   |
| <i>Зварювання</i>   |   |   |
| Ручне сталевими електродами або напівавтоматичне порошковим дротом або дротом суцільного перетину | Ненаскрізні дефекти на необроблюваних поверхнях валів   | Висока твердість, недостатня щільність і міцність   |

Аналізуючи представлену таблицю можна сказати, що для відновлення зношених поверхонь використовуються дугові, плазмові й інші методи, що відрізняються особливостями теплового впливу на основний метал. Способи зварювання та зварювальні матеріали повинні забезпечувати високу якість і надійність роботи відновлених чавунних виробів [13, 21].

В оцінці значущості тих чи інших способів зварювання (наплавлення) чавуну для отримання високих показників якості, надійності та економічної ефективності істотне значення має технологічність застосовуваних способів і матеріалів. Технологічність виявляється зазвичай в зіставленні технологічних особливостей процесу зварювання (наплавлення) і показників зварного з'єднання з технічними вимогами до якості відновлюваних поверхонь деталей.

Наприклад, стосовно до оброблюваних поверхонь, коли наплавлений метал повинен бути чавуном, застосовують гарячі способи зварювання. Кращими показниками технологічності [22, 23] будуть володіти при виправленні дефектів невеликих розмірів - газове зварювання, що забезпечує

теплові умови плавлення і затвердіння металу, необхідні для утворення сірого чавуну; при виправленні дефектів великих розмірів - дугове зварювання з використанням високих значень струму; при виправленні дефектів середніх розмірів кращих результатів можна досягти, застосувавши механізоване зварювання порошковим дротом з використанням керамічних сумішей. При виправленні дефектів на механічно оброблених поверхнях більш високою технологічністю володіють низькотемпературні процеси пайки-зварювання, газопорошкове наплавлення і холодне дугове зварювання спеціальними електродами.

Способи відновлення (ремонт) відповідальних чавунних деталей мають безліч особливостей, обумовлених різним тепловкладенням при формуванні зварного з'єднання, хімічним складом наплавлювальних матеріалів.

Зварювання та наплавлення чавуну виконуються, як правило, з підігрівом і виконують на постійному струмі прямої полярності. Вибір режиму зварювання визначається товщиною стінки деталі, жорсткістю конструкції, величиною і розташуванням дефекту.

Недоліком гарячого зварювання є відсутність на багатьох ремонтних підприємствах потрібної бази для виконання гарячого зварювання чавуну. Крім того, попередній підігрів чавунних виробів істотно ускладнює технологічний процес, а висока температура погіршує умови праці працюючих. У багатьох випадках зварювання з високим підігрівом просто нездійсненна по ряду технічних причин: великі габаритні розміри деталей, порушення точності розмірів тонкостінних виробів складної конфігурації, неможливість демонтажу обладнання для вилучення зруйнованої деталі, відсутність нагрівальних пристроїв і т.д. Тому для розширення використання методів дугового зварювання, потрібно відмовитися від попереднього підігріву або обмежитися невисоким місцевим підігрівом, який можна виконати відносно простими засобами.

Безперервне вдосконалення способів зварювання (наплавлення) чавуну, підвищення показників технологічності способів при виправленні дефектів

різних груп дозволяє поліпшити якість виправлення дефектів деталей і розширити номенклатуру виправних дефектів.

Наприклад, для відновлення чавунних деталей двигунів (блоків і кришок циліндрів, картерів та ін.) можуть бути застосовані лише ті методи зварювання, які забезпечують досить високу міцність, щільність і оброблюваність з'єднання, не вимагають попереднього підігріву до високих температур і термічної обробки після зварювання.

Досвід зарубіжної практики ремонту таких деталей показує, що хороші результати досягаються при зварюванні електродами Castolin 2-23, Castolin 2-24, Castolin 2-44, UTP-8, FOX GNi, ОК G6 діаметром 2-3 мм [24]. Однак щільність зварних з'єднань особливо тонкостінних частин деталей в ОШЗ не завжди гарантується, в зв'язку з чим потрібна додатково герметизація нанесенням шару припою або епоксидної смоли.

В ІЕЗ ім. Патона розроблено метод механізованого зварювання самозахисним дротом суцільного перетину зі сплаву на основі нікелю марки ПАНЧ-11 діаметром 1,2 мм [25], за допомогою якого успішно вирішується завдання отримання міцних, стійких проти відбілювання тріщин зварних з'єднань, особливо при зварюванні тонкостінних частин деталей з сірого, ковкого і високоміцного чавунів, а також створення комбінованих з'єднань згаданих чавунів зі сталлю. Нанесення додаткових герметизуючих покриттів на деталі в зоні шва не потрібно. Недоліком даного методу є зварювання короткими швами довжиною 50-70 мм з подальшим проковуванням шва.

Якість зварювання без підігріву чавунних деталей багато в чому залежить від режиму зварювання і техніки її виконання. Щоб запобігти утворенню біляшовних тріщин, прагнуть зменшити тепловкладення в деталь на ділянці зварювання. Подальша проковка наплавленого металу зменшує зварювальні напруги і ймовірність утворення тріщин. Для зварювання використовуються електроди переважно малого діаметра, що дозволяють стійко вести процес на низьких режимах, а зварювання виконувати короткими швами з тривалими перервами для вирівнювання температури і охолодження деталі (до 50 - 70°C).

При зварюванні (наплавленні) чавуну - матеріалу з високим вмістом шкідливих домішок - дротами або електродами на нікелевої основі підвищується ймовірність утворення гарячих тріщин в швах.

Для обґрунтованого вибору технології зварювання (наплавлення) важливо врахувати вплив умов кристалізації на формування структури модифікованого наплавленого чавуну.

Відносно високі значення тимчасового опору чавуну (більше 350 МПа) досягаються головним чином наданням графітної фази компактної форми. При цьому істотно підвищується роль металевої основи, структура якої може регулюватися відповідною термічною обробкою, а також легуванням.

У зв'язку з високою схильністю чавуну до відбілювання і до утворення гартувальних структур при прискореному охолодженні в інтервалі температур розпаду аустеніту досить важливим є питання поліпшення структури і властивостей шва.

Важливою вимогою до зварних швів в відповідальних деталях є їх герметичність. Найбільш небезпечні наскрізні пори, які найчастіше виникають у кратерах.

При зварюванні (наплавленні) з попереднім підігрівом деталей створюється можливість в широких межах регулювати швидкість охолодження наплавленого металу, що сприяє отриманню зварного з'єднання, повністю відповідного основного металу, і позбавляє метал від утворення тріщин. Крім того, зварювання (наплавлення) із загальним і місцевим підігрівом забезпечує високу продуктивність процесу.

Аналіз технологічних особливостей існуючих методів зварювання (наплавлення), що застосовуються для відновлення відповідальних чавунних деталей, коли до зварних з'єднань пред'являються такі вимоги як рівномірність основного металу, оброблюваність ріжучим інструментом, зміна розмірів деталі після зварювання в межах полів допусків показав, що спосіб зварювання (наплавлення) повинен відповідати таким вимогам:

- механізація технологічного процесу;

- висока локальність подачі тепла;
- низьке тепловкладення в виріб;
- мінімальне розплавлення основного металу;
- стабільність якості наплавленого металу і зварного з'єднання;
- висока продуктивність процесу.

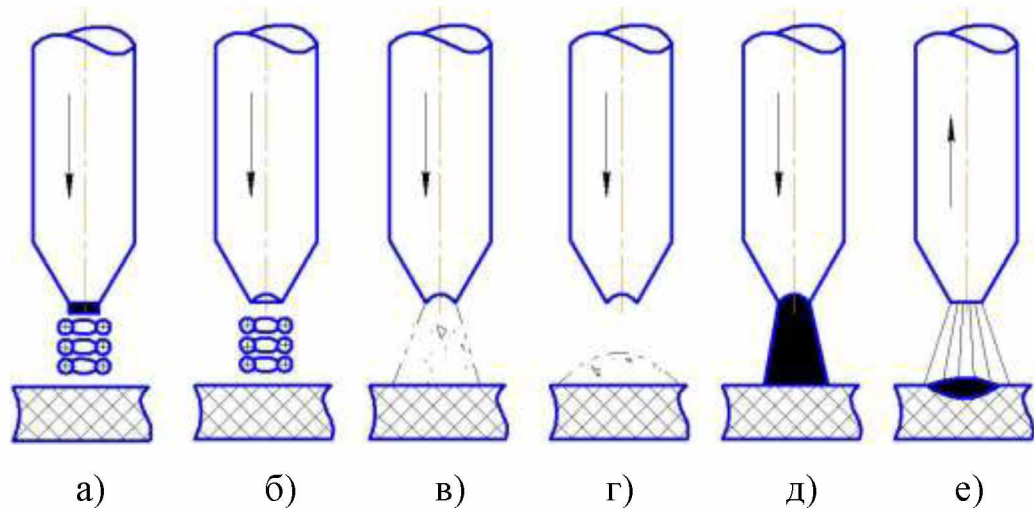
Таким чином, спосіб зварювання (наплавлення) і зварювальні матеріали повинні забезпечувати високу якість і надійність роботи відновлених чавунних виробів.

### **1.3. Аналіз процесу електроерозійного нанесення шарів при відновленні деталей**

Метод [18,20] електроерозійної обробки (ЕЕО) та електроіскрової (ЕІО) значно розширив можливості технології обробки матеріалів і є в багатьох випадках єдиним можливим (особливо при обробці тугоплавких металів).

Залежно від фізико-хімічних властивостей та режимів дані види обробки можна поділити, на два основних види: електроерозійна розмірна обробка; електроерозійне зміцнення і нанесення покриття. У зв'язку з тим, що в останньому випадку використовується, як правило, іскрова форма розряду, цей метод відомий в літературі і як метод електроіскрового покриття (ЕІП) [20, 23].

Суть процесу полягає в тому, що при зближенні електродів напруженість «електричного поля» збільшується. На деякій відстані між електродами воно буде достатнє для виникнення іскрового електричного розряду. Через що виникає канал наскрізної провідності і пучок електронів фокусовано вдаряється об тверду металеву поверхню анода (рис. 1.2, а).



- а) момент пробою міжелектродного проміжку;  
 б) відділення від анода краплі розплавленого металу;  
 в) вибух розплавленої краплі;  
 г) охолодження і проникнення матеріалу анода на катоді;  
 д) момент контакту електродів;  
 е) розходження електродів.

Рисунок 1.2 - Схема нанесення покриттів на металеві поверхні [26]

Енергія руху зупинених електронів виділяється в поверхневих шарах анода. У зв'язку з тим, що в цей момент система звільняє накопичену енергію, щільність струму значно перевершує критичні значення. В результаті цього від анода відокремлюється крапля розплавленого металу, яка рухається до катода (рис. 1.2, б), випереджаючи рухомий анод.

У процесі відділення від анода летить крапля і встигає нагріватися до високої температури, закипає та «вибухає». Ланцюг струму переривається, стискають зусилля електромагнітного поля зникають і тому частинки летять широким фронтом (рис. 1.2, в). Так як перегріта крапля і частки перебували в зіткненні з газом, то по вмісту і властивостями вони можуть відрізнитися від вихідного матеріалу анода.

Розплавлені частинки, досягнувши катода, зварюються з ним і частково проникають в його поверхню (рис. 1.2, г). Процес на цьому не закінчується, оскільки слідом за частинками рухається електрод, включений в систему який

встиг знову накопичити енергію. Через розпечені частинки, що лежать на катоді, проходить другий імпульс струму, що супроводжується механічним ударом.

На наступному етапі процесу при механічному контакті електродів частинки зварюються між собою, і прогрівається тонкий шар поверхні катода, на якому вони розташовані. При цьому крім дифузії під дією електричного струму перенесених частинок в шарі катода відбуваються хімічні реакції між цими частками і матеріалами катода. Механічний удар по розпеченій масі матеріалів проковує отримане покриття (рис. 1.2, д), чим значно збільшує його однорідність і щільність. Далі анод рухається вгору, а на поверхні катода залишається міцно з'єднаний з ним шар матеріалу анода (рис. 1.2, е).

З наведеної моделі процесу електроіскрової обробки можна зробити висновки, що перенесення матеріалу анода відбувається з моменту пробією міжелектродного проміжку до зіткнення його з поверхнею катода; з моменту пробією і до зіткнення електродів відбуваються два імпульсу струму; метал переноситься в рідкокапельному стані.

Геометрична поверхня контакту є здавалося б контактною поверхнею, в той час як дійсний металевий контакт здійснюється лише, на окремих ділянках, що утворюють справжню (геометричну) контактну поверхню. Ці ділянки називаються  $\alpha$ -плямами.

При розмиканні струму внаслідок природної нерівності в районі  $\alpha$ -плям розбіжність контактів відбувається не одночасно у всіх  $\alpha$ -плямах. Через останні  $\alpha$ -плями проходить весь струм і метал в цій області розплавляється. Потім у міру подальшої розбіжності контактів між ними виникає розплавлений металевий місток. В роботі [26] показано, що розміри таких містків можуть досягати 2 мм.

Встановлено, що стійкість містка залежить від величини поверхневого натягу, в'язкості, температури кипіння, термо- і електропровідності матеріалу контактів, а також від наявності окисних плівок на поверхні електродів. Окисні плівки стабілізують містки з розплавленого металу.

Перенесення матеріалу в розплавленому містку є наслідком змішання найбільш нагрітої точки, зазвичай, в напрямку анода [27], при цьому встановлено, що перенос матеріалу спрямований в бік того електрода, який знаходиться далі від найбільш нагрітої точки, зазвичай в сторону катода.

У разі електроіскрової обробки, кількість речовини, яка бере участь в мостиковому перенесенні, може бути значним. Це може привести при великих токах короткого замикання до утворення кратерів.

Експериментальні дані по вимірюванню приросту матеріалу показують, що ерозія анода, обумовлена процесом мостикового перенесення, незначна і не перевищує 10% від повної ерозії при проведенні процесу з вібрацією анода, тобто контактна ерозія становить менше 10% загальної ерозії анода.

Розміри розплавленої ділянки поверхні контакту визначаються температурою плавлення, теплопровідністю і питомим опором матеріалів контакту.

Можна вважати, що в кінцевому рахунку зварювання здійснюється за рахунок зниження загального запасу енергії системи, що можливо в тому випадку, коли в результаті зварювання відбудеться обмін електронами збуджуючих атомів таким чином, що утворюються більш стабільні в порівнянні з початковими, електронні структури в зоні зварювання.

Таким чином області розплавлення мінімального розміру утворюються на тугоплавких металах з відносно високою теплопровідністю і порівняно малим питомим опором.

Формування поверхневого шару при ЕІО здійснюється почерговим локальним впливом імпульсного розряду на всі ділянки оброблюваної поверхні катода. При цьому, як правило, необхідні характеристики шару виходять шляхом багаторазового проходження анода над одною і тією ж ділянкою катода.

Якщо при ручному варіанті обробки оператор переміщує вібратор або головку з обертовим анодом уздовж (поперек) оброблюваної поверхні, то в механізованому варіанті найчастіше переміщається деталь щодо нерухомої

електродної головки (при цьому анод обертається або вібрує) або одночасно переміщуються (обертаються) деталь і електронна головка, яка, наприклад, може бути закріплена в супорті верстата.

Формування поверхневого шару при ЕІО - це динамічний процес, при якому в єдиному циклі відбуваються ерозія і перенесення матеріалу анода на катод, а також постійне взаємне переміщення електродів чи деталей.

Таким чином, явища електричної ерозії і полярного перенесення в часі практично нероздільні, тому одночасний аналіз їх характеристик дає повне уявлення про динаміку процесу ЕІО.

Кількість перенесеного матеріалу анода на катод зазвичай фіксується у вигляді зміни ваги катода. Зміна ваги катода за 1 хв при обробці  $1\text{ см}^2$  поверхні називають питомим приростом і позначають  $\Delta\gamma$ . Загальний приріст, отриманий протягом певного часу обробки поверхні, називають сумарним приростом, або просто приростом, і позначають  $\gamma$ . Розмірність цих величин відповідно  $\text{мг}/(\text{см}\cdot\text{хв})$  або  $\text{мг}/\text{хв}$  (при однаковій площі зразків) і  $\text{мг}/\text{см}^2$ [27].

Дослідження показали, що для середніх і невеликих за габаритами деталей, а також широко використовуваних різців, свердел, розгорток, розділових штампів та іншого інструменту та деталей прийнятні для практики поверхневі шари з точки зору продуктивності їх формування та якості можна отримати при наступних електричних режимах джерел імпульсів:

- напрузі холостого ходу  $U_{\text{хх}} - U_{\text{р}} = 10\text{-}220\text{ В}$ ;
- струмі короткого замикання  $I_{\text{кз}} = 0,5\text{-}10\text{ А}$ ;
- робочому струмі  $I_{\text{р}} = 0,5\text{-}10\text{ А}$ ;
- ємності робочих конденсаторів  $C_{\text{р}} = (10\text{-}600)\cdot 10^6\text{ Ф}$ ;
- енергії імпульсного розряду  $W_{\text{и}} = 10^{-2}\text{-}10\text{ Дж}$ ;
- струмі в імпульсі  $I_{\text{и}} = 0,05\text{-}1,5\text{ кА}$ ;
- тривалості імпульсу  $10^{-5}\text{ с}$ .

При зазначених параметрах основні показники процесу ЕІО (продуктивність, товщина шару, рівномірність, суцільність сформованої

поверхні і т.п.) визначаються енергією розряду і робочим струмом. При цьому товщина формованих шарів знаходиться в межах 0,01-0,02 мм [27].

При  $I_p > 10A$  на поверхні катода можливе формування товстих шарів (0,15 - 0,2 мм і більше), але їх якісні характеристики (суцільність, рівномірність, щільність і т.п.) різко знижуються. Проте, процес ЕО  $I_p > 10A$  також використовується в практиці, і він особливо ефективний там, де необхідні зміцнення і відновлення великогабаритних деталей і де не пред'являються високі вимоги до якості робочих поверхонь або можливе проведення додаткової їх обробки (шліфування, вигладжування, лазерне оплавлення і т.п.).

### **Висновки, мета і завдання досліджень**

Вивчення літературних джерел та їх аналіз дозволяє зробити наступні висновки:

– приведені літературні дані про застосовані технології відновлення свідчать про недостатню їх ефективність для обробки чавунних корпусних деталей, внаслідок чого вони не одержали поки широкого застосування;

– метод підвищення зносостійкості чавунних деталей електроіскровою обробкою їх поверхонь, що застосовується в машинобудуванні, не знайшов належного застосування в ремонтному виробництві при їх відновленні через відсутність достатніх даних по його використанні.

На основі аналізу даних літературних джерел поставлена мета: дослідити параметри технології відновлення чавунних деталей сільськогосподарської техніки методом електроіскрової обробки.

Для реалізації поставленої мети в даній роботі поставлені наступні задачі.

1. Провести аналіз та виявити можливість відновлення чавунних деталей електроіскровою обробкою їх поверхонь.

2. Виконати теоретичне обґрунтування електроіскрової обробки при різних технологічних процесах їх відновлення.

3. Обґрунтувати оптимальні параметри технологічного процесу відновлення чавунних деталей електроіскровою обробкою їх робочих поверхонь.

4. Виконати економічне обґрунтування запропонованих розробок.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Методика проведення лабораторних досліджень по нанесенню покритть

Найбільш ефективний спосіб нанесення чавунних покриттів повинен включати нагрів деталі, нанесення шару покриття та охолодження деталі. Запропонована технологія відрізняється тим, що його здійснюють шляхом управління температурою зони нанесення покриття на деталі до температури вище точки  $A_3$  по діаграмі стану «залізо-вуглець» для матеріалу деталі, але не нижче температури лінії солідусу по тій же діаграмі, після чого на другому етапі наносять на нагріту зону шар чавунного покриття необхідної товщини, потім на третьому етапі охолоджують деталь з покриттям, з малим градієнтом по часу, прийнятим для режиму між високим та низьким відпуском для матеріалу деталі.

На рис. 2.1 наведена схема електроіскрового нанесення чавунних покриттів. На зношену поверхню металеві деталі 1 наносять електродом 2 чавунний шар 3 з товщиною не менше суми товщини з величини зношеного шару і припуску на подальшу обробку покриття. Електрод 2 суміщений з нагрівачем 4, що має нагрівальний елемент 5, що використовує високочастотні струми від генератора (на рис. 2.1 не показаний). Поверхня нагрівача 4 встановлюється під кутом до поверхні деталі 1 з можливістю регулювання величини цього кута. Довжина « $L$ » поверхні нагрівача 4 від електрода 2 проектується з умовою отримання на кінці нагрівача 4 в точці «А» температури нагріву деталі 1 не вище температури відпуску деталі 1.

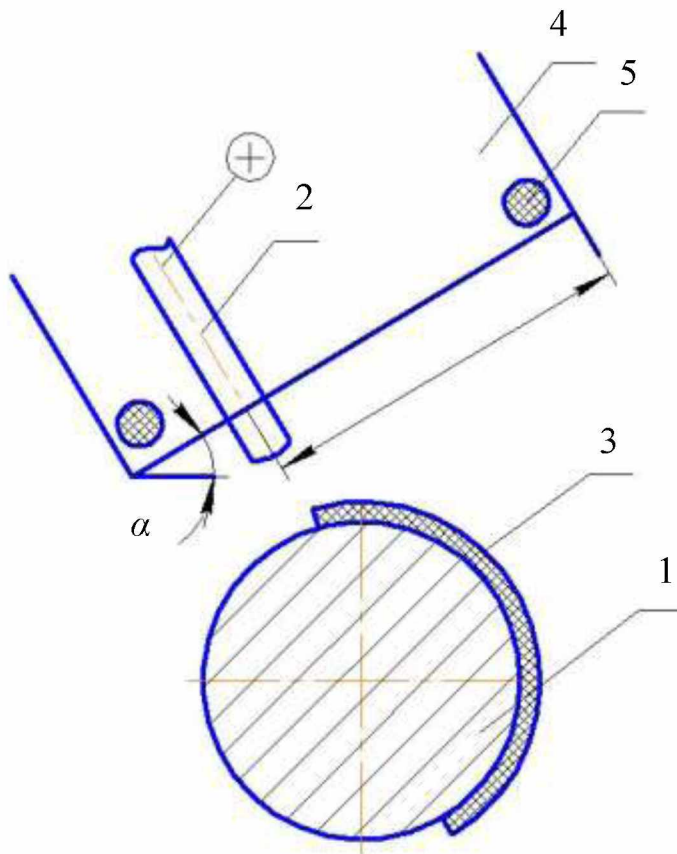


Рисунок 2.1 – Схема способу нанесення чавунних покриттів

Спосіб здійснюють наступним чином: Встановлюють нагрівач 4 з нагрівальним елементом 5 і електродом 2 щодо деталі 1 під кутом  $\alpha$ , що визначається експериментально за температурою під точкою «А» не вище температури низького відпуску металу деталі 1.

Включають нагрівальний елемент 5 нагрівача 4, що працює від високочастотного джерела-генератора. До переваг високочастотного способу нагрівання відноситься проходження струму тільки по поверхневому шару деталі 1, де і відбувається нагрів і не викликає утворення напруг деталі в процесі відновлення зношеної поверхні.

Потужність джерела високочастотного нагрівання на першому етапі підбирають достатньою для отримання на поверхні деталі 1 температури, що знаходиться в діапазоні між точкою  $A_3$  і лінією солідуса на діаграмі стану «залізо-вуглець». Після отримання на першому етапі нагріву в необхідному діапазоні наносять на другому етапі чавунним електродом 2 шар 3 товщиною,

рівній сумі величин зношеного шару і припуску на чистову обробку покриття 3 після відновлення розмірів деталі. При цьому деталь 1 обертають щодо електрода 2 і високочастотного нагрівача 4 з нагрівальним елементом 5 зі швидкістю, яка забезпечують необхідну товщину шару, що наноситься. Кут між деталлю 1 і поверхнею нагрівача 4 регулюють так, щоб охолодження шару, що наноситься на третьому етапі виконання способу здійснювалося з градієнтом високого відпуску товарів деталі [26], а розмір "L" нагрівача 4 проектується такий, щоб температура нагріву деталі в точці «А» не перевищувала температури низького відпуску металу деталі 1 [27].

Експериментальні дослідження проводилися на установці для електроіскрової обробки, модернізованій під вимоги отримання товстошарових покриттів. На рисунку 2.2 наведено загальний вигляд установки.



Рисунок 2.2 - Загальний вигляд установки для електроіскрового нанесення відновленого шару

Установка складається з генератора і електромагнітного вібратора. Генератор призначений для генерування технологічного струму, обмотки

вібратора, контролю та управління технологічним процесом. На панелі розміщені елементи регулювання і контролю електричних параметрів процесу. Вібратор призначений для комутування розрядної напруги ланцюга вібруючим електродом.

Устаткування, прилади, інструменти, що використовувалися при експериментальних дослідженнях:

1. Установа для електроіскрового нанесення;
2. Пристосування для установки та закріплення деталі;
3. Шабер;
4. Твердомір ПМТ – 3;
5. Інструментальний мікроскоп;
6. Зразки з інструментальних або легованих сталей;
7. Електроди з твердого сплаву і міднографітові композиції;
8. Дослідження шорсткості поверхонь деталей виконували на профілометрі моделі 253.

Підготовка та виконання досліджень на установці проводиться за наступною методикою:

- замаркувати грані зразка індексами 1.1, 2.1 і т.д.;
  - встановити електрод і вібратор;
  - встановити зразки в пристосування і закріпити; підвести до пристосування вільний провід від генератора;
  - включити установку; встановити режим обробки; відрегулювати вібратор (по найбільшій амплітуді);
  - перевірити працездатність установки шляхом пробного торкання електродом зразка; при нормальному процесі повинен виникнути іскровий розряд;
  - обробити ділянку в  $0,5 \dots 1 \text{ см}^2$ ;
  - виключити установку; змінити електрод;
  - обробити на тому ж зразку іншу ділянку, або нанести наступний шар.
- Загальний вигляд обробленої деталі наведений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд чавунної ступиці РСМ10.01.45.102Б комбайна Акрос-530, обробленої електроіскровою наплавкою

Обробка результатів виконувалася за наступною методикою:

- встановити зразок на стіл інструментального мікроскопа;
- зафіксувати форму і розміри лунок на поверхні при обробці електродами; заміряти і замалювати відстань між краями деталі і шаром, відзначити наявність або відсутність мікротріщин (їх величину, напрямок щодо кромки), випадки пошкодження кромки (місце, розміри, форму);
- зняти зразок зі столу;
- встановити зразок на стіл твердоміра;
- виміряти мікротвердість в трьох точках на вихідному матеріалі, після обробки; середнє значення занести в журнал експериментів.

Запропонована програма включає: на базі запропонованих методик і способів розробити фізичний опис процесів, які враховують специфіку взаємодії різних матеріалів при електроіскровому нанесенні товстошарових покриттів; математично описати процес і отримати формальні залежності для чисельних розрахунків; підтвердити правомірність розрахункових результатів на експериментальних установках; провести металографічні дослідження

шарів; розробити технологічний процес відновлення деталей з чавуну; обґрунтувати область використання запропонованого процесу для типових деталей машинобудування.

## **2.2. Методика металографічних досліджень**

Вибір методу досліджень залежить від умов експлуатації відновлених деталей. Серед цих методів можна виявити ті, які придатні для оцінки результатів операції: отримання шару заданої товщини з необхідною якістю; висока адгезія покриття до основного матеріалу деталі; можливість подальшої чистової обробки шару наявними засобами.

Для отримання таких даних були виконані стандартні металографічні дослідження. Обґрунтованістю досліджень є необхідність одночасної підготовки шліфів з багатошаровими покриттями з матеріалів, що мають різну оброблюваність (чавун, маловуглецева сталь та інші метали).

З огляду на специфіку обробки багатошарових покриттів, прийнята наступна технологія отримання шліфів:

1. Заливка зразків в обойму з чавуну СЧ24 сплавом НІАТ - 23 і повне охолодження зразка на повітрі.
2. Шліфування зразка разом з обоймою алмазним або електроалмазним методом на глибину 0,1-0,3 мм до усунення місцевих дефектів в зоні покриття.
3. Електролітичне полірування для усунення слідів дії абразивного інструменту та напруг від попередньої операції.

Після огляду шліфів проводили хімічне або електрохімічне травлення. Робочі зрізи підбиралися з урахуванням виявлення фазових складових в покритті. Для вивчення щільно прилягаючих плівок використовувалося кольорове травлення. У покриттях встановлювалися границі шарів покриттів з різних матеріалів. З літератури відомо, що швидкості травлення залежать від

вмісту вуглецю в сплавах, тому час операції знаходили практичним шляхом, використовуючи для цього, в основному, універсальні електроліти [28].

### **Висновки**

1. Розроблена методика проведення порівняльних досліджень чавунних деталей електроіскровою обробкою.

2. Для визначення параметрів технологічного процесу відновлення деталей та оцінки їх довговічності розроблена методика експериментальних досліджень.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Механізм формування на чавунних поверхнях бездефектного шару

Фізичні явища на границі шарів залежать від поєднання матеріалів, товщини кожного шару, що визначаються силою окремого імпульсу, температурними режимами процесу. Дані гіпотези дозволяють розкрити фізичну модель багат шарових покриттів, в якій, за рахунок поєднання шарів і режимів, вдається гарантувати отримання необхідної якості поверхонь.

Якщо чавун наноситься на аналогічну основу, то бездефектний шар становить не більше 0,45 мм, тому на першому етапі на основу наносять шар маловуглецевої сталі, підвищеної товщини, але проектують процес таким чином, щоб на кінцевому етапі сталеве покриття нарощували чавуном.

Схема, яка пояснює фізико-хімічні явища на границях шарів, представлена на рисунку 3.1.

На першому етапі процесу «а» на заготовку 1 під дією розряду між катодом 1 і анодом 3 падає крапля 2, розплавленого чавуну з анода 3. У наступні тимчасові проміжки подібні краплі утворюються по всій поверхні заготовки 1, але доцільно розглядати процес як взаємодія розплавленої частинки 2 чавуну і холодної (або слабо нагрітої) заготовки 1.

На позиції «б» приведена схема передачі тепла від краплі 2 на початку її охолодження, коли тепло від краплі 2 розсіюється в навколишнє середовище (повітря) 6, переходить в заготовку 1, в районі краплі 2 і частково (5) в сусідні ділянки заготовки 1. Інтенсивність потоку 5 залежить від температури сусідніх крапель. Для малих інтервалів часу між імпульсами можна прийняти умову теплопереносу одновимірної з потоком тепла за схемою на малюнку «в», де прийнята щільність потоку уздовж осі у однаковою для випромінювання (6) і теплопереносу (4).

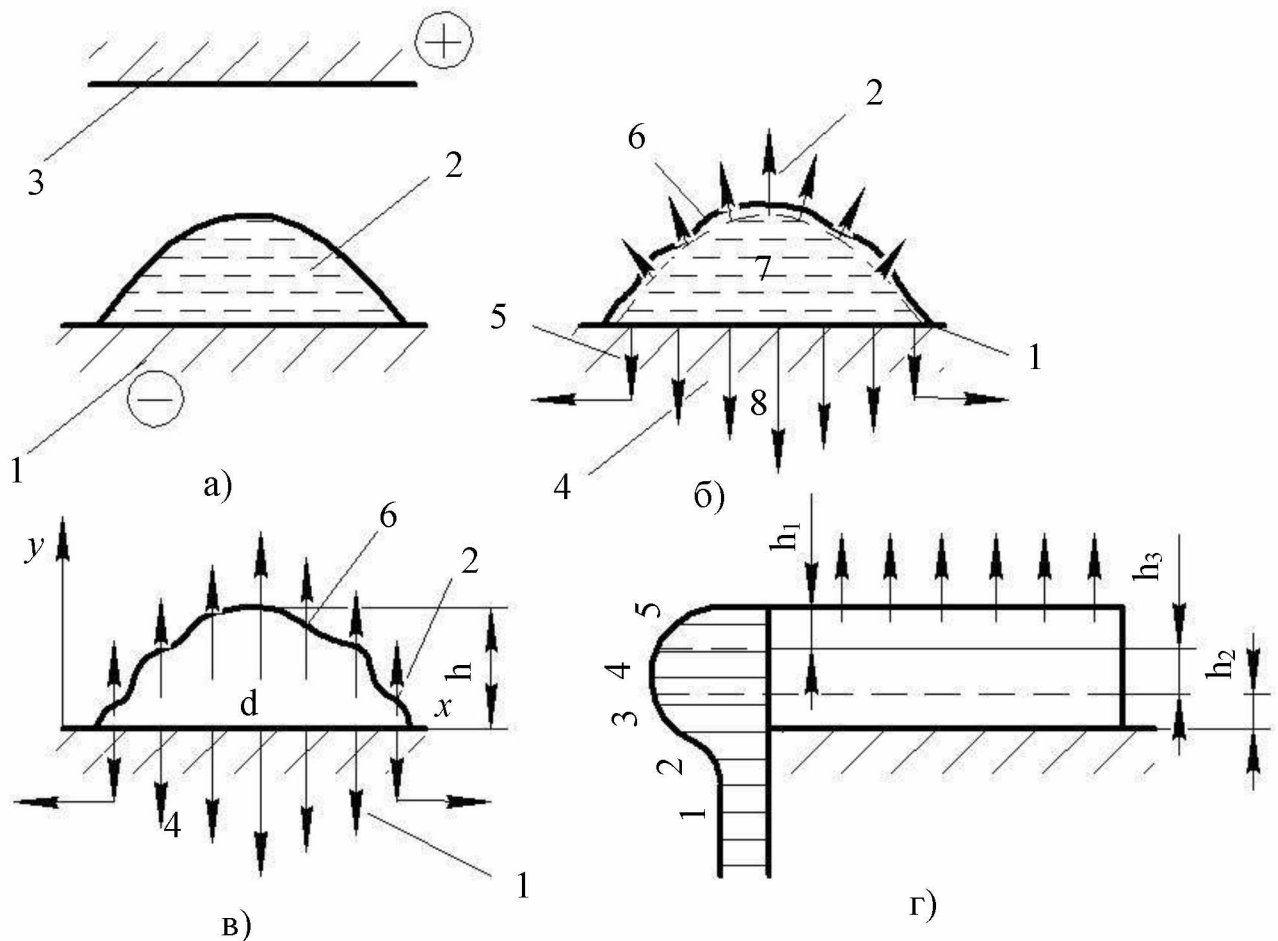


Рисунок 3.1 - Механізм формування бездефектного покриття з чавуну на шарі сталі

На рисунку 3.1 «б» після охолодження поверхні краплі 2 утворюється ядро 7, в якому склад може помітно відрізнятись від вихідного, так як на межі заготовки 1 і рідкого матеріалу краплі 2 відбувається активна дифузія вуглецю з чавуну 2 в сталь заготовки 1, що має знижений вміст вуглецю.

Можна прийняти, що на поверхні краплі 2, до застигання її зовнішнього шару вміст вуглецю не змінюється, а інтенсивність охолодження достатня для збереження структури сірого чавуну.

Аналогічна картина спостерігається на границі заготовки 1 з краплею 2, де відбувається обезвуглецювання чавуну в краплі 2 і вибілений чавун не формується. При електроіскровому покритті його товщина може досягати декількох міліметрів, але якісний шар вдається отримати тільки для сталей.

Тому доводиться переходити на багат шарові покриття, де кількість шарів може бути до 2-3. Однак досвід показує, що при нанесенні декількох шарів з чавуну кожний наступний шар повинен мати меншу товщину.

Спроби нанести товстий шар сірого чавуну на чавунну основу призводять до утворення вибілених структур з обмеженою адгезією і розвиненою сіткою мікротріщин, що може викликати осипання покриттів при механічній обробці і руйнування в процесі експлуатації.

Електроіскрове покриття зазвичай відбувається на повітрі, який є слабким діелектриком. Діелектрична постійна повітря в 10 – 15 раз нижче в порівнянні з дистильованою водою. Тому в процесі покриття металів імпульсними розрядами може спостерігатися електрохімічна складова, що викликає «стікання» заряду в період наповнення конденсаторів і в зарядному пристрої втрачається до 50% енергії.

Нижче наведені основні етапи процесу нанесення покриттів на металеву основу, в тому числі на чавунні заготовки. На першому етапі відбувається зарядка конденсаторів генератора імпульсів. За [29] тривалість імпульсу ( $\tau_i$ ) залежить від технологічних режимів і становить 50 - 150 мкс.

$$\tau_i = \frac{2,3RC \lg \frac{u_0}{u_0 - u_{np}}}{\eta_i}, \quad (3.1)$$

де  $R$  - опір проміжку; знаходиться за законом Ома через питомий опір в повітряному проміжку між електродами з відомою площею робочого перерізу і зазором;

$C$  - гранична ємність конденсаторів генератора; знаходиться при розрахунку режимів обробки;

$u_{np}$  - напруга пробою повітряного проміжку, залежить від робочого середовища; для повітря  $u_{np} = (0,4-0,6) u_0$ ;

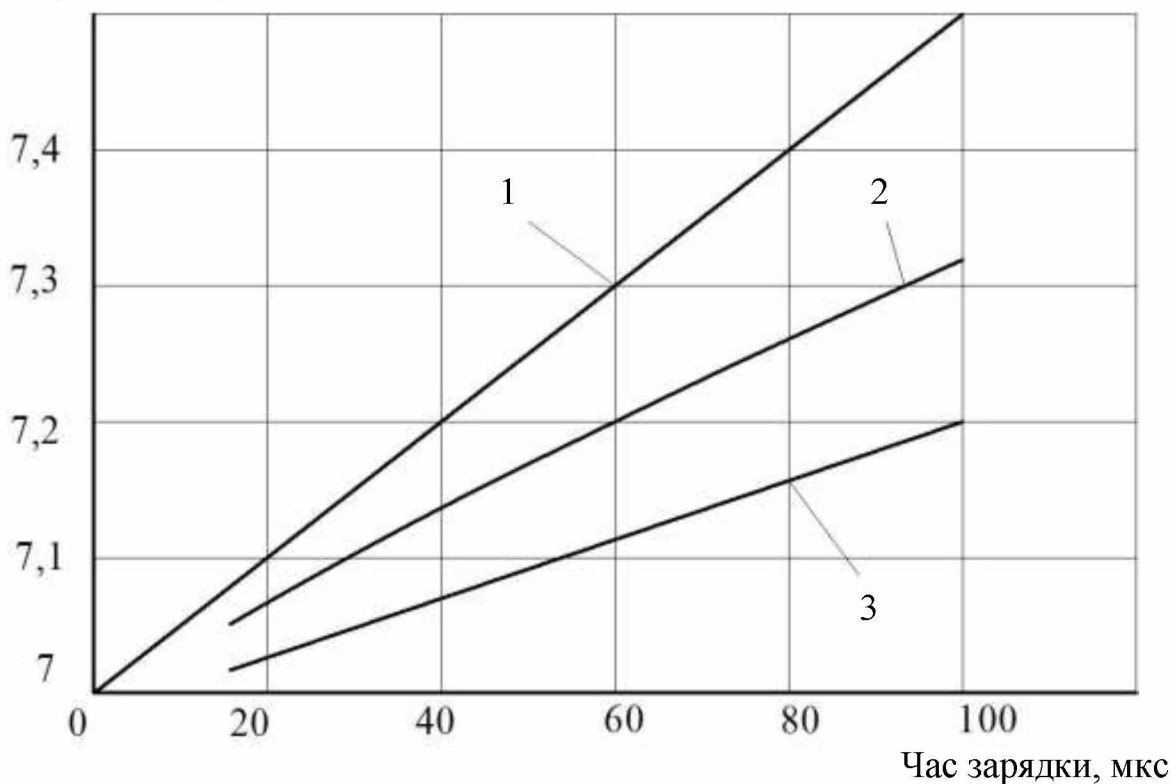
$\eta_i$  - коефіцієнт втрат електричного заряду;  $\eta_i = Q_1 / Q_2$ ;

$Q_1$  - заряд на конденсаторах при розрахунковому часу їх зарядки;

$Q_2$  - повний заряд конденсаторів.

На рисунку 3.2 наведено цикл зарядки конденсаторів з урахуванням витоків втрат. Видно, що фактичні втрати складають до 50% величини заряду.

Електричний заряд, Кл

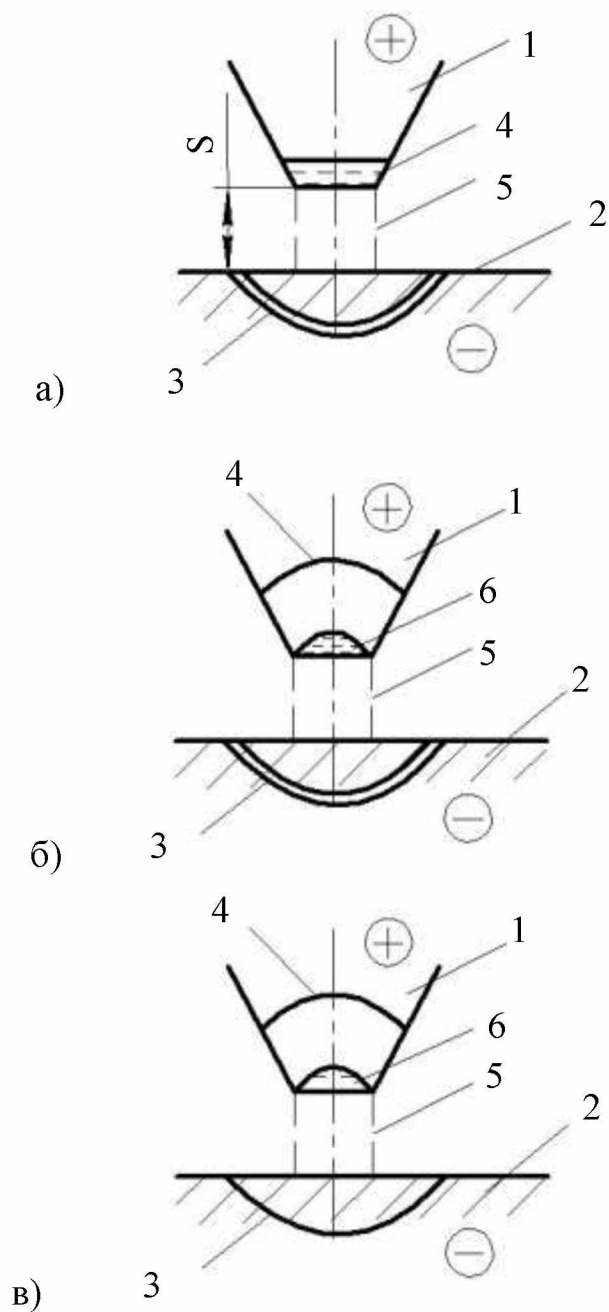


- 1 - теоретична величина заряду на конденсаторах (без урахування втрат);
- 2 - заряд в кінці циклу зарядки;
- 3 - втрати заряду на виток в період зарядки конденсаторів

Рисунок 3.2 - Зміна електричного заряду на конденсаторах в залежності від часу зарядки [29]

При малому часу зарядки частина заряду може відновлюватися за рахунок наведеного електромагнітного поля від попереднього імпульсу, тому сума залишкового заряду витоків може виявитися більше теоретично розрахованої величини (криві 1,2,3 на рис. 3.2).

Після досягнення напруги пробують настає розряд між електродом-інструментом (анод) і заготовкою (катод). Це другий етап процесу (рис. 3.3).



- 1 - анод-інструмент;
- 2 - катод-заготовка;
- 3 - ізотерма на катоді;
- 4 - зона перегріву на аноді;
- 5 - канал провідності в зазорі;
- 6 - рідкий метал

Рисунок 3.3 - Формування зони розплавлення на аноді: а) стікання заряду в процесі накопичення енергії в конденсаторі; б) пробою зазору ( $S$ ); в) утворення зони перегрітого металу на аноді

За рахунок стікання заряду в процесі розрядки конденсаторів відбувається нагрів анода. Катод 1 і анод 2 розташовані на відстані до 30 мкм і між ними відбувається обмін тепловою енергією.

Так як частка енергії імпульсу може досягати до 5 Дж без урахування втрат на теплопередачу, то температуру нагрівання ( $t_2$ ) можна оцінити по залежності [29]:

$$t_2 = \frac{Q + \bar{C}mt_1}{\bar{C}m}, \quad (3.2)$$

де  $Q$  - кількість теплової енергії імпульсу;

$\bar{C}$  - питома теплоємність матеріалу (для сталі 460 Дж/кг $^{\circ}$ С);

$m$  - маса зони 4 на аноді;

$t_1$  - температура навколишнього середовища.

Розрахунки показують, що температура в зоні локального нагрівання не перевищує 310 - 320 К. Однак такий підігрів дозволяє усунути сліди вологи на поверхні і виключити порушення процесів покриття в зонах 3; 4 через появу перегрітої пари в процесі розряду.

У міру наростання напруги на електродах простір в зазорі  $S$  іонізується і утворюється канал провідності 5 (рис. 3.3, а). Через канал 5 (рис. 3.3, б) починається розряд між анодом 1 і катодом 2. При цьому йде інтенсивний нагрів анода і катода з утворенням на аноді 1 зони розплавленого металу 6. Ізотерми 3; 4 також зміщуються в бік нагріву аж до отримання на катоді рідкого металу (рис. 3.3, б). Час розряду становить кілька мікросекунд, але щільність енергії тут може досягати сотень тисяч кілокалорій на квадратний міліметр. Тому метал в зоні 6 (рис. 3.3, в) швидко перегрівається до  $(3,5-4,5)10^3$  К і утворюється плазма (нестійкий стан енергії). При цьому локальна температура анода 1 і катода 2 різко зростає.

На третьому етапі відбувається вибух і викид з лунки плазми, яка має внутрішній тиск до 1,7 МПа. Під дією цього тиску виникає імпульс сили  $F$ , який з великим прискоренням спрямовує перегрітий метал з лунки на

інструменті до заготовки. При цьому імпульс струму вже відсутній (отже, відсутній підвід енергії до рідкого металу).

На четвертому етапі відбувається зіткнення рідкого металу 6 з поверхнею заготовки 2 і деформація його в форму краплі, утворюється частина покриття з граничною товщиною  $h$ . На цьому етапі відбувається інтенсивний теплообмін між краплею, навколишнім середовищем і заготовкою.

Висота краплі становить близько  $1/3$  діаметра  $d$ , тому швидкість переміщення електрода 3 по осі « $x$ » повинна бути достатньою для перекриття двох сусідніх крапель 2 на величину  $(1/3 - 1/4)d$ .

Якщо прийняти в схемі час охолодження ядра рівним часу імпульсу, то можна визначити швидкість подачі електрода. Межею граничної ізотерми, при якій відбувається утворення вибіленого шару, є величина зони  $h_3$  (рис 3.1, г), де вміст вуглецю практично не змінюється за рахунок дифузії і окислення, а температура зберігається найбільшою до кінця охолодження всієї краплі.

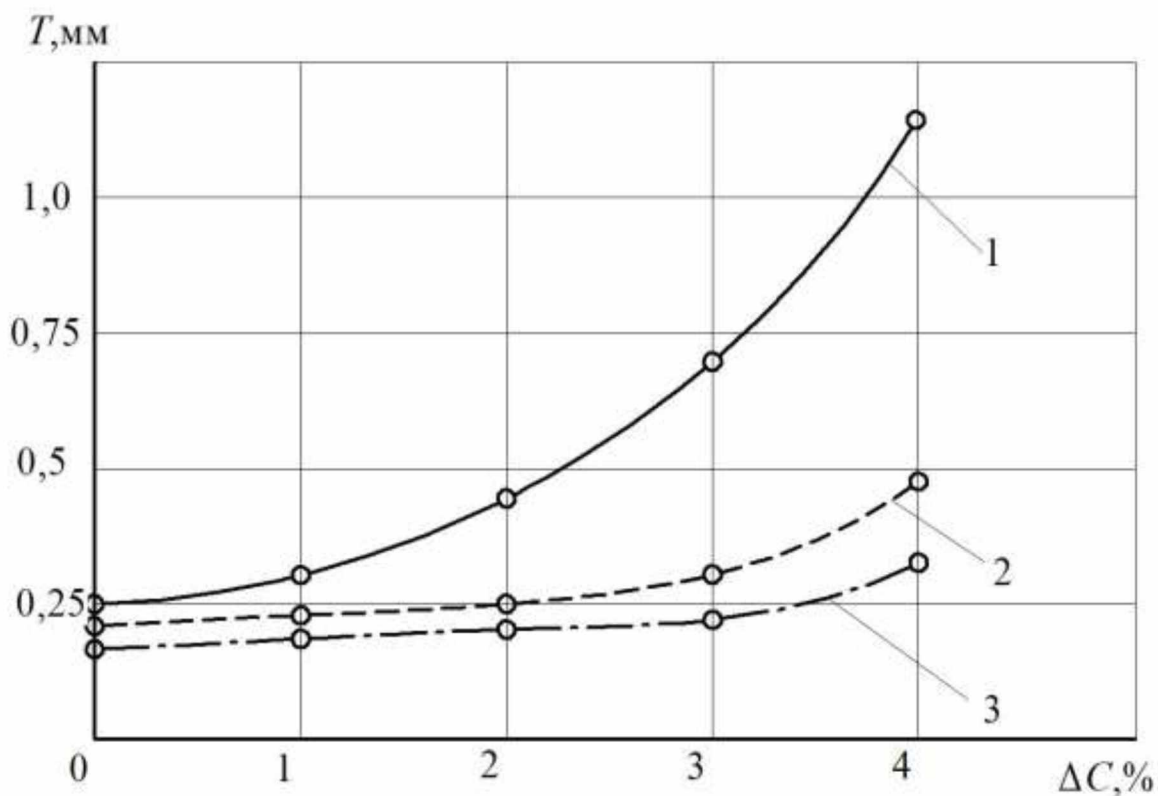
В шарі  $h_1$  відбувалося найбільш інтенсивне охолодження за рахунок теплопередачі в навколишнє середовище, шар  $h_2$  - охолоджується і збіднюється вуглецем з огляду на його дифузії в заготовку. Діаграма на рисунку 3.1, г показує області різного вмісту вуглецю від вихідного (1) в заготовці до найбільшої кількості (4) в краплі (близько з вмістом в електроді 3). Ділянки 2; 3; 5 мають змінну кількість вуглецю.

Таким чином бажано, щоб  $h_1 + h_2 < T$ , де  $T$  - товщина необхідного шару, що наноситься

$$T = h + \Delta h, \quad (3.3)$$

де  $\Delta h$  - припуск на подальшу обробку нанесеного шару з метою досягнення заданої точності і якості поверхневого шару.

Якщо  $h_3 > 0$ , то слід переходити на багат шарове покриття, де кількість шарів може бути до 2-3. Однак практика показує, що при нанесенні декількох шарів з чавуну кожний наступний якісний шар повинен мати меншу товщину (рис. 3.4).



- 1 - перший шар (чавун на сталь);
- 2 - другий шар (чавуну на перший шар);
- 3 - третій шар

Рисунок 3.4 - Гранична товщина ( $T$ ) бездефектного шару чавуну в залежності від різниці вмісту вуглецю ( $\Delta C$ ) в нанесеному матеріалі

Якщо заготовка виготовлена з маловуглецевої сталі ( $\Delta C$  має найбільший показник), то можливе отримання якісного шару з товщиною більше 1 мм. Однак склад матеріалу заготовки визначає конструктор, тому завданням технолога стає вибрати граничну товщину шару покриття, розрахувати для нього технологічні режими і вибрати вид подальшої обробки. Якщо потрібно нанести декілька шарів, то можна використовувати в якості електродів матеріали, що мають різний склад [30]. Зазвичай навіть при багат шарових чавунних покриттях з подальшою обробкою гранична товщина шару не перевищує 1-1,2 мм.

Товщина шару, що наноситься залежить від марки матеріалу заготовки, інструменту. Для чавуну, в першу чергу, це вміст вуглецю і швидкість

охолодження нанесеного покриття. Якщо наноситься маловуглецева сталь на основу зі сталі, то вміст вуглецю в покритті буде низьким і при всіх градієнтах охолодження, що залежать від товщини покриття, фазові зміни в шарі не призводять до дефектів.

При цьому вдається отримати більшу товщину одиничного шару (до 1,2-1,5 мм), але з ростом товщини покриття виникає велика геометрична нерівномірність шару (западниці займають до половини величини покриття).

Отримання якісного шару на чавунних заготовках можливо, якщо інструмент використовувати з маловуглецевих сталей.

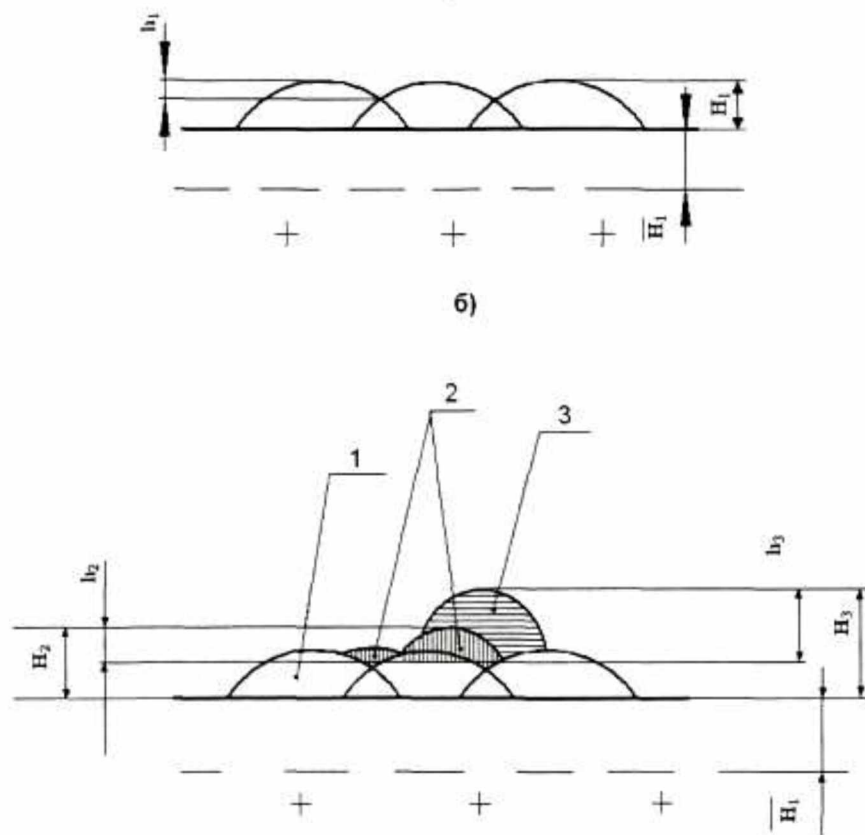
Металографічні дослідження показали, що вуглець з заготовки активно насичує шар, надаючи йому нових властивостей, що підвищують механічну міцність до рівня вуглецевих сталей. Однак у багатьох випадках (наприклад, при відновленні геометричних розмірів) потрібно нанести кілька шарів покриття з чавуну і зберегти характеристики матеріалу електрода-інструменту.

В процесі нанесення кожен шар (після першого) стає все більш дефектним і тонким, має при цьому слабку адгезію з основою. Розгляд шліфів показав, що головною причиною погіршення властивостей наступних шарів покриттів «чавун по чавуну» є високий вміст вуглецю і швидке відведення тепла з меж шарів.

На рисунку 3.5 показана форма елементів покриття при одношаровому (а) і багатошаровому (б) нанесенні. У разі одного шару простіше досягти бажаної рівномірності розташування крапель, як показано на рис. 3.5 (а).

Тоді при товщині покриття  $H_1$  можна розрахувати мінімальний припуск  $h_1$  і глибину зміненого шару  $\underline{H}_1$ , в якому можуть відбуватися теплові та дифузійні процеси (при нанесенні шарів «сталь по сталі» можливі термічні зміни, «чавун по сталі» - коксування і ін.).

Практично величина  $h_1$ , може коливатися до 20% [30], тому припуск на вирівнювання шару зростає і для покриття «сталь по сталі» може досягати 50% від  $H_1$ . Якщо наноситься чавун, то поверхня виходить більш рівномірною, що пояснюється більшою рідкотекучістю матеріалу.



- 1 - перший шар
- 2 - другий шар
- 3 - третій шар покриття

Рисунок 3.5 - Форма покриття: а – одношарове; б – багат шарове;

$H_1, H_2, H_3$  - товщина одношарового, двошарового, тришарового покриття

$h_1, h_2, h_3$  - мінімальний припуск при 1; 2; 3 шаровому покритті

$\underline{H}_1$  - глибина зміненого шару в заготівці.

Бажаним було б нанесення наступного покриття (рис. 3.5 б) в поглиблення між краплями попередніх шарів, але практично досягти цього не вдається (показано в правій частині другого шару). Нерідко загальне збільшення величини шарів  $H_2, H_3$  не приводить до зростання товщини після видалення припуску, а тільки збільшує вартість операції відновлення профілю.

### 3.2. Металографічні дослідження покритть

Аналіз якості покриттів виконується з урахуванням наступних факторів:

- кількість нанесених шарів;
- товщина кожного шару;
- матеріал шарів;
- структура матеріалу, наявність або відсутність вибіленого шару у чавуну;
- кількість дефектів (мікротріщини, розшарування, наявність включень;
- адгезія між шарами (наявність дифузійних зон, відсутність пустот в місці сполучення шарів і ін.);
- рівномірність покриттів, шорсткість поверхні;
- вміст вуглецю в шарах;

На рисунку 3.6 показано покриття деталі з сірого чавуну товстим шаром чавуну. Товщина покриття 0,6 мм, видно, що на границі з деталлю утворився вибілений шар товщиною до 0,2 мм. Далі шар має структуру сірого чавуну. Основні дефекти виявлені в шарі вибіленого чавуну, де є мікротріщини, розшарування з шириною від 5 до 15 мм. Між деталлю і покриттям проглядається дифузійний шар товщиною близько 20 мкм.



Рисунок 3.6 - Нанесення товстого шару чавунного покриття на чавунну деталь (перехідна зона) збільшення x50

Випробування зразків на згин показали високу крихкість покриття за рахунок дефектного внутрішнього (приграничного з деталлю) шару. Незважаючи на досить рівну зовнішню поверхню (нерівності в межах 50-100 мкм) задовільна якість покриття спостерігається в шарі від 0,4 до 0,45 мм, що дозволяє призначати припуск на чавунні покриття, що наносяться на чавунні деталі, в зазначеному діапазоні.

На рисунку 3.7 показана поверхнева ділянка від сірого чавуну до сталі з товщиною першого шару 0,8 мм. Вміст вуглецю в сталі 0,22% і утворився перехідний шар з товщиною до 0,4 мм, де вміст вуглецю знизився з 3% (у вихідній деталі) до 0,27% на границі дифузійної зони, шириною близько 0,1 мм. На шар сталі нанесено чавун з товщиною 0,4-0,45 мм. Тут отримано практично повністю сірий чавун без видимих дефектів.

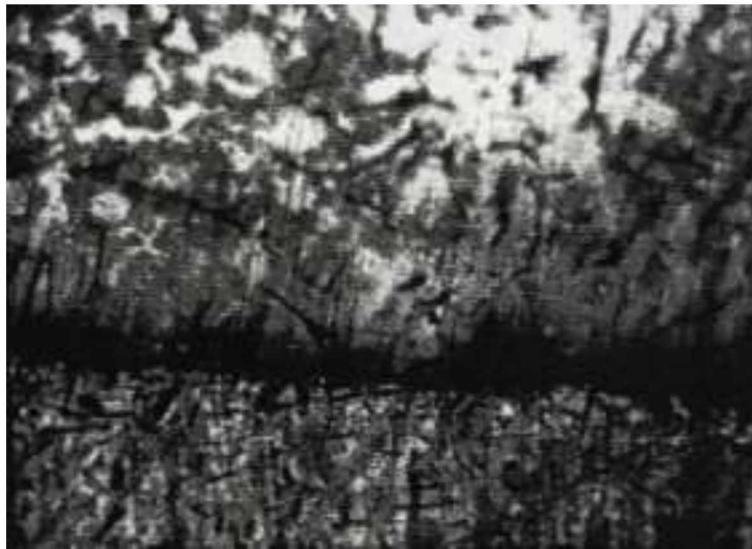


Рисунок 3.7 - Перехідна ділянка від сірого чавуну до сталевого (сталь 30) покриття збільшення  $\times 50$

При швидкості переміщення електрода з чавуну 0,8-1,0 мм/с нерівності поверхні не перевищували 50-100 мкм, що дозволяє стверджувати, що припуск на обробку відновлених поверхонь може бути обмежений 0,15-0,20 мм, що цілком задовільно.

Результати нанесення двох шарів чавуну з високою енергією імпульсу при швидкості переміщення електрода 1,3-1,8 мм/с показали, що перший шар (швидкість переміщення електрода 1,2-1,3 мм/с) мав товщину близько 0,2 мм з перехідною зоною близько 0,1 мм і дифузійним шаром до 0,2 мм. Другий шар чавуну з товщиною близько 0,5 мм має слабкий зв'язок з першим шаром. Спостерігаються розшарування до 0,15-0,2 мм, нерівномірні ділянки вибіленого чавуну, які при випробуваннях «на удар» могли відділитися від першого шару. Таким чином, нанесення декількох шарів чавуну позбавила змоги отримати необхідної якості покриття. При швидкості переміщення електрода 1,5-1,8 мм/с шорсткість поверхні складала до 0,3 мм, тобто при подальшій обробці відновленої ділянки більшу частину покриття доводилося знімати. Швидкість переміщення електрода слід обмежити 1,0 мм/с, а товщину шару по чавуну 0,45 мм. Тоді припуск на подальшу обробку по чавунному шару буде не більше 0,15 мм, а зовнішній шар відновленої деталі складе не менше 0,3 мм.

На рисунку 3.8 показано отримання якісного вибіленого шару чавуну (товщина 0,45 мм), отриманого по сталі. Тут видно однорідний дифузійний шар, межі ділянок білого чавуну, однорідна зона на поверхні. Шорсткість зовнішнього шару не перевищують 50 мкм, що цілком задовольняє вимогам експлуатації для високонавантажених пар тертя, де знос білого чавуну незначний.



Рисунок 3.8 - Отримання зносостійкого якісного чавунного покриття зовнішнього шару відновлюваних деталей з чавуну збільшення x50

На рисунку 3.9 показаний якісний перехідний шар від сталі до чавуну.

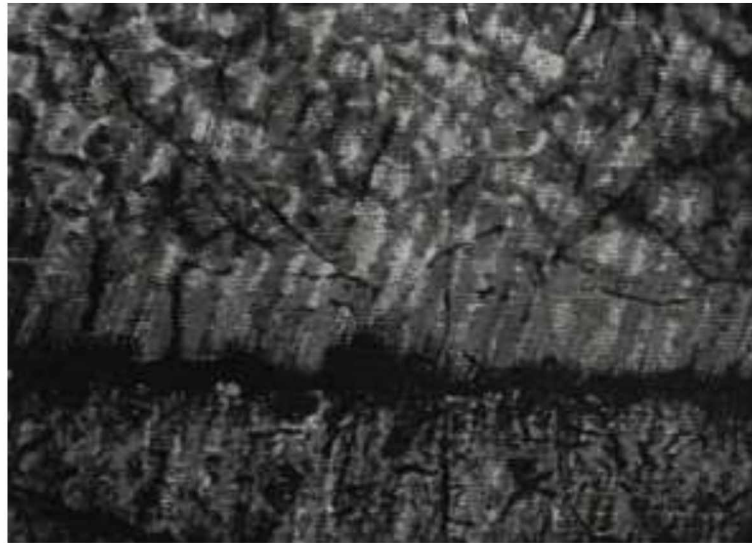


Рисунок 3.9 - Фрагмент якісного зовнішнього шару багат шарового покриття збільшення  $\times 50$

Тут отримано сірий чавун, аналогічний за структурою і матеріалу деталі, що в багатьох випадках потрібно досягти. Дослідження показали, що в поверхневому шарі сталевого покриття вміст вуглецю підвищився з 0,22 до 0,37%, а в перехідній зоні чавунного покриття вміст вуглецю зменшився на 20-30%. Випробування зразків на згин показали хорошу міцність покриттів: поділ між шарами спостерігався навіть після повного розділення зразків. При товщині покриття понад 1,5 мм і зовнішньому шарі з чавуну 0,45 мм. У разі швидкості нанесення зовнішнього шару не більше 1 мм/с шорсткість була менше 0,1 мм., а припуск на подальшу обробку не перевищував 0,15 мм.

### 3.3. Дослідження параметрів електроіскрової обробки чавунних деталей

Покриття сталлю по сталі досить повно вивчені і для них отримані позитивні результати для шарів, товщиною до 1,5-2,0 мм, що забезпечує відновлення більшості деталей.

Відновлення чавунних деталей сталевим покриттям не завжди можливо, так як отримання вихідних властивостей поверхні вимагає нанесення матеріалів, аналогічних зношеним при експлуатації (хоча б із зовнішнього боку деталі). Спроби нанести шари з чавуну на заготовки з такого ж матеріалу виявлялися по сьогоднішній день не досить вдалимими.

Металографічні дослідження (підрозділ 3.2) показали, що вибілений шар формується при підвищеній температурі і при наявності високого вмісту вуглецю, що відповідає результатам інших досліджень в цій галузі [26-30]. Характеристики шарів залежать від енергії імпульсів. Так глибина дифузії вуглецю при нанесенні на чавун СЧ40 такого ж матеріалу імпульсами 2 Дж становить до 0,2 мм (рис. 3.10). Вміст вуглецю в розглянутих матеріалах становив 3 - 3,3%. При цьому розрахункова температура поверхні становила 1500 - 1600 К, а на глибині понад 20 мкм – близько 2000К (рис. 3.10). Вміст вуглецю в покритті зі сталі 30 (стандартна величина  $0,3 \pm 0,5\%$ ) змінювався від 0,25% до 2-2,5%.

Дослідження покриттів на рисунках 3.11-3.12 показали, що дефектний шар утворюється при вмісті вуглецю близько 3,5% і при температурі вище 1400 К. При тонкому покритті чавуном вибілений шар практично не виходив на поверхню і розташовувався на глибині понад 0,03-0,05 мм, що відповідає рисунку 3.12. У разі застосування металевих покриттів вибілений чавун не виявлено по всій глибині покриття і в поверхневому шарі заготовки чавуну.

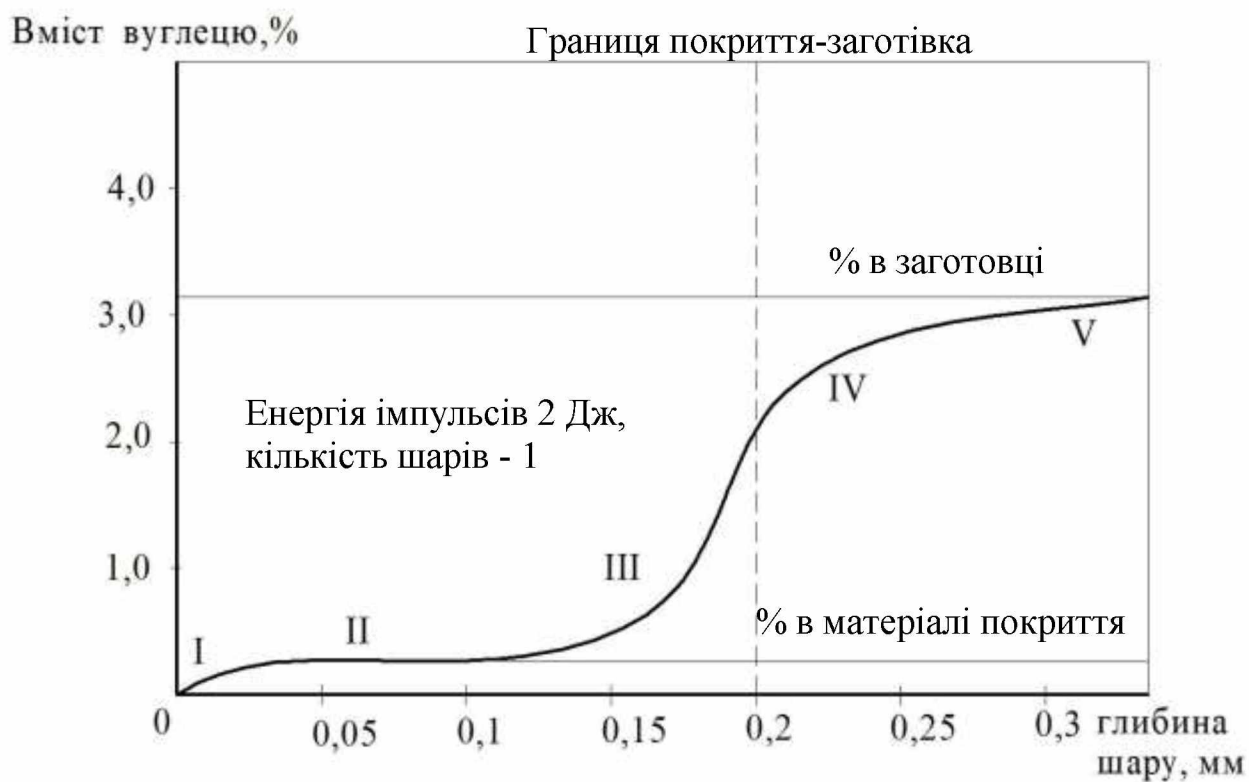


Рисунок 3.10 - Вміст вуглецю при покритті чавуну сталлю

Температура, К

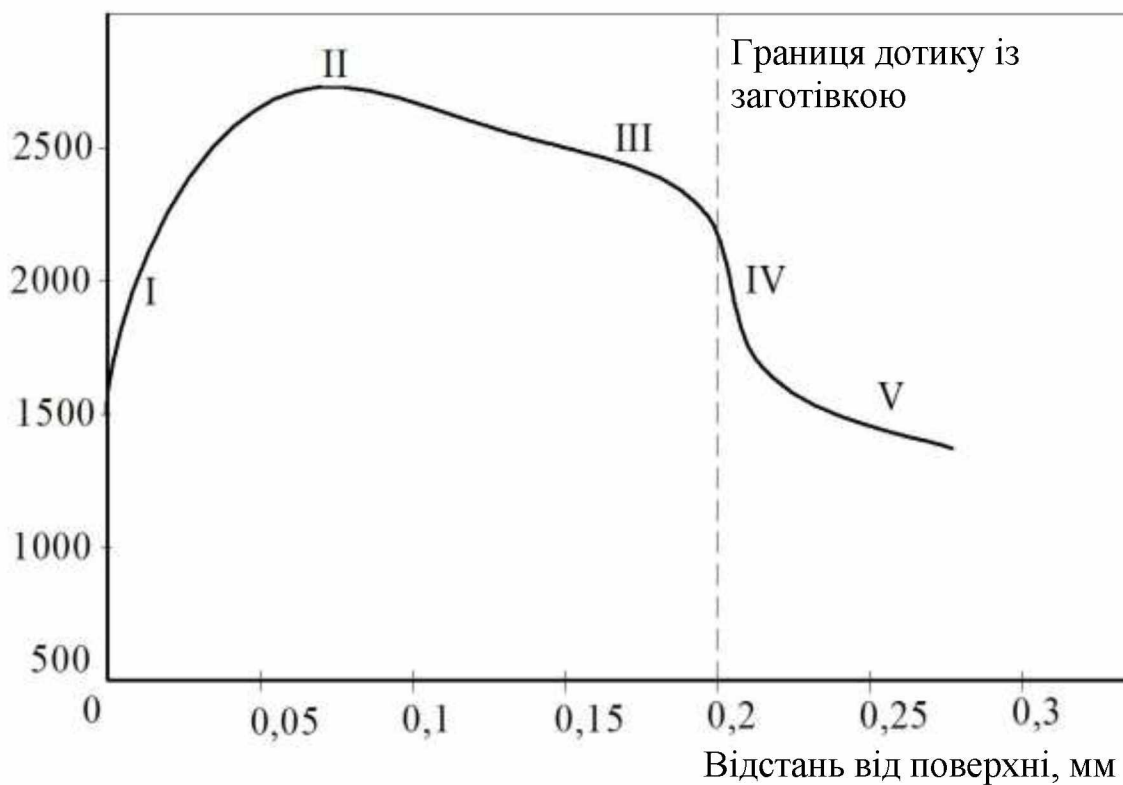


Рисунок 3.11 - Зміна температури в краплі і прикордонній зоні заготовки

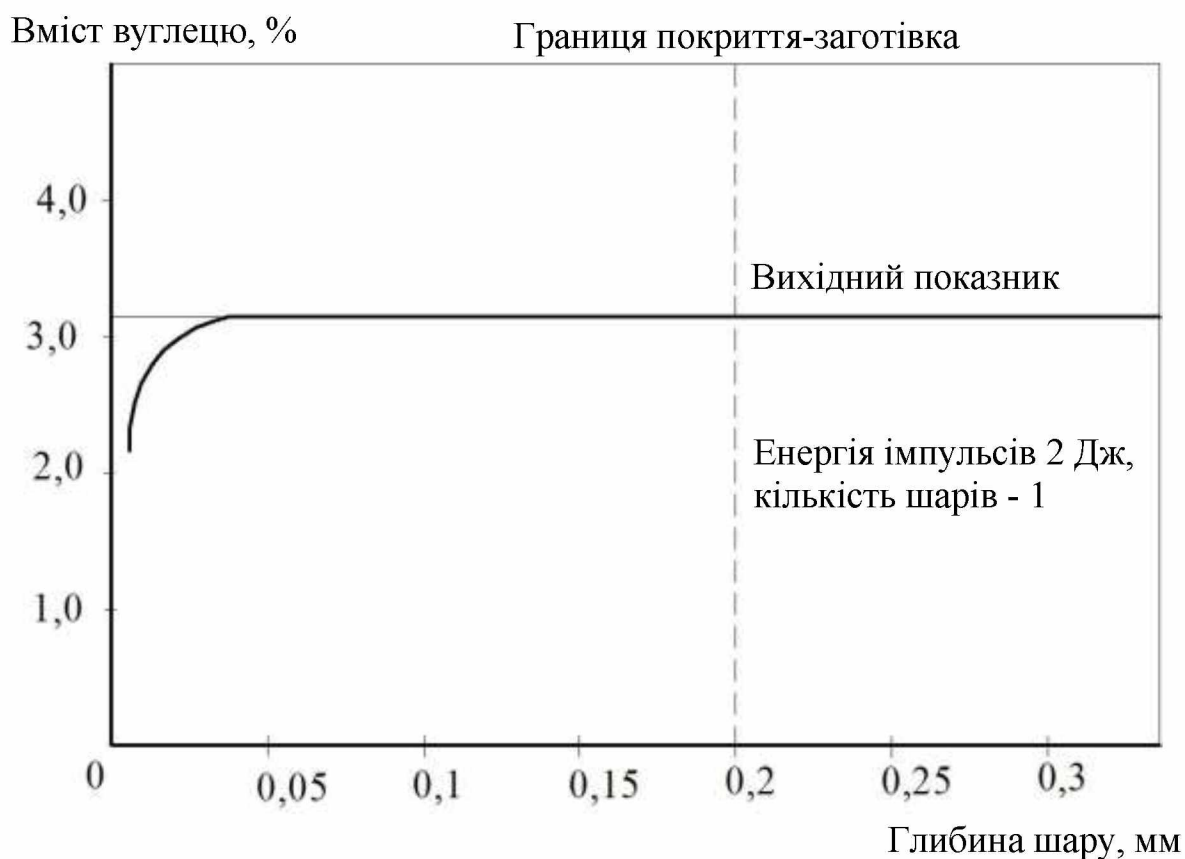


Рисунок 3.12 - Зміна вмісту вуглецю по глибині

Однак при цьому вміст вуглецю в покритті може виявитися нижче, чим це потрібно за умовами експлуатації. На поверхні (ділянка 1 на рисунку 3.11) кількість вуглецю менше, ніж в маловуглецевої сталі покриття, що пояснюється його вигоранням при перенесенні перегрітої краплі з анода. Далі (ділянки II та III) вміст вуглецю стабілізується і потім починає зростати за рахунок зворотної дифузії в покриття з заготовок (ділянка III). На границі «покриття - заготівка» вміст вуглецю значно нижче, ніж в заготівці (ділянка V), а збіднена ділянка IV може мати глибину, порівнянну з товщиною покриття.

З урахуванням сказаного була визначена гранична енергія імпульсу, що забезпечує отримання якісного покриття з чавуну на заключному етапі процесу. Вибір (або розрахунок) енергії імпульсу дозволяє призначити напругу, оцінити технологічні показники процесу відновлення деталей з чавуну. Рекомендації по вибору енергії імпульсу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Гранична енергія імпульсу для отримання чавунного покриття

| Товщина чавунного покриття, мм | Енергія імпульсу, Дж | Характеристика нанесеного шару |  |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|--|
|                                |                      | Наявність вибіленого шару      | Наявність мікротріщин                    |
| 0,1                            | 0,22                 | відсутня                       | відсутня                                 |
| 0,1                            | 0,31                 | відсутня                       | відсутня                                 |
| 0,1                            | 0,5                  | відсутня                       | відсутня                                 |
| 0,1                            | 0,8                  | відсутня                       | відсутня                                 |
| 0,2                            | 0,31                 | відсутня                       | відсутня                                 |
| 0,2                            | 0,5                  | випадкова поява                | відсутня                                 |
| 0,2                            | 0,8                  | фрагментова поява              | незначна                                 |
| 0,3 - 0,45                     | 0,5                  | окремі ділянки                 | незначна                                 |
| 0,3 - 0,45                     | 0,8                  | переривні ділянки              | окремі мікротріщини на глибину до 0,5 мм |
| 0,3 - 0,45                     | 1,0                  | значні ділянки                 | сітка тріщин на глибину до 0,2 мм        |

При покритті утворюється мікроповерхня, показана на рисунку 3.13 і макроповерхня, де нерівності на порядок і більше перевищують величини, показані на рисунку 3.13.

Шорсткість, мкм

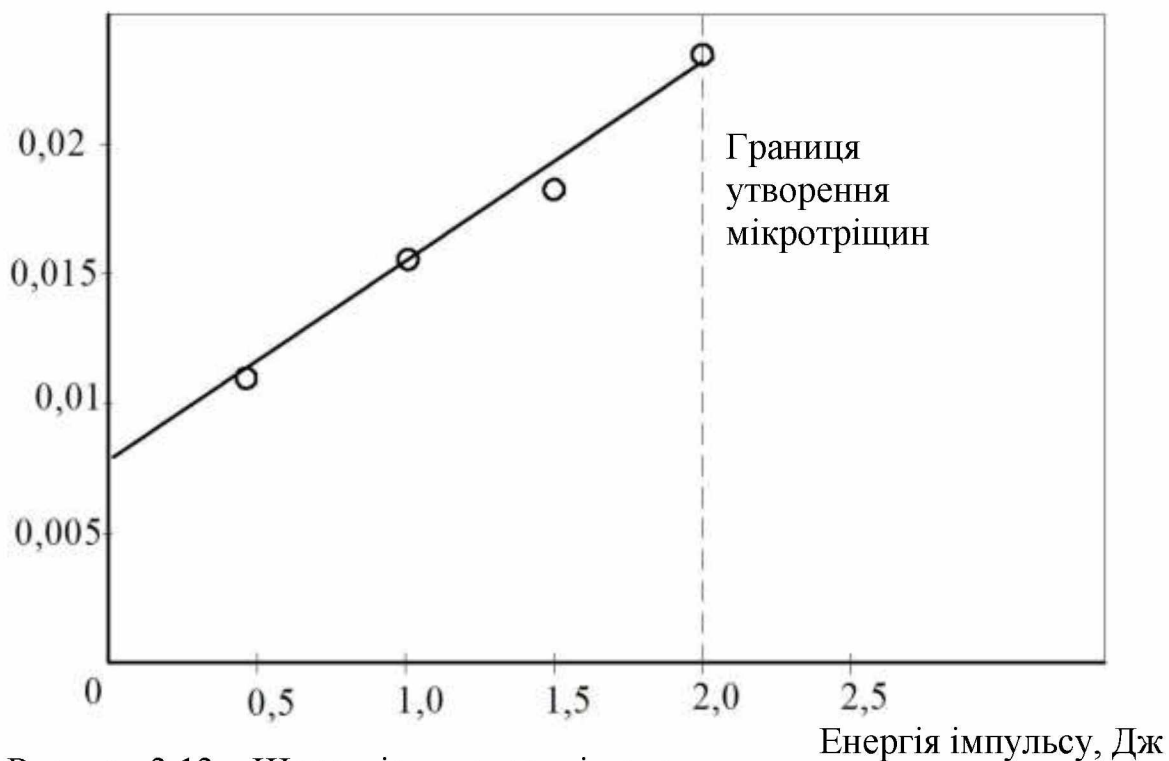


Рисунок 3.13 – Шорсткість поверхні покриття

Дані досліджень які наведені в таблиці 3.1, показують, що для одиничного шару чавуну слід вибирати режими з незначною енергією імпульсу і виконувати нанесення шарів з обмеженою швидкістю переміщення інструменту уздовж заготовки.

З таблиці 3.1 видно, що утворення вибіленого чавуну викликає поява сітки тріщин, які недоцільно видаляти подальшою механічною обробкою, так як їх глибина порівнянна з нанесеним покриттям, а при високій крихкості шару складно гарантувати відсутність нових дефектів, що порушують якість відновленої деталі.

Таким чином, для забезпечення необхідної якості використовується багатошарове покриття, де товщина кожного шару не перевищує 0,3 - 0,45 мм. При цьому в якості проміжних застосовують шари з маловуглецевих сталей, які знижують вміст вуглецю на приграничних ділянках зони відновлення за рахунок дифузії частини вуглецю в сталь. Використовуючи послідовне нарощування покриття через шари сталі вдається уникнути порушення якості відновлюваних виробів і підвищити загальну товщину шару до 1,5 мм. При цьому зберігається бездефектна підповерхнева зона з чавуну.

## **Висновки**

1. Теоретично сформований механізм покриття, що враховує специфіку багатошарових покриттів з шарами із чавуну і сталі, що дозволило створити основи процесу відновлення чавунних деталей з експлуатаційними характеристиками, що закладені в матеріалі виробу.

2. Дослідження показали, що для одиничного шару чавуну слід вибирати режими з незначною енергією імпульсу і виконувати нанесення шарів з обмеженою швидкістю переміщення інструменту уздовж заготовки.

3. Для забезпечення необхідної якості використовуються багатошарові покриття, де товщина кожного чавунного шару не перевищує 0,3-0,5 мм,

причому у ролі проміжних застосовують шари з маловуглецевих сталей, які знижують вміст вуглецю на приграничних ділянках зони відновлення за рахунок дифузії частини вуглецю в сталь. Використовуючи послідовне нарощування покриття через шари сталі вдається уникнути порушення якості відновлюваних виробів і підвищити загальну товщину шарів до 1,5 мм. При цьому зберігається бездефектна підповерхнева зона з чавуну.

## 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 тепlopостачання, 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 та безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях**

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.

#### **4.2.2. 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

гілз 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 третювих деталей, появи 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.

#### **4.2.3. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій**

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону внаслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ [33].

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).

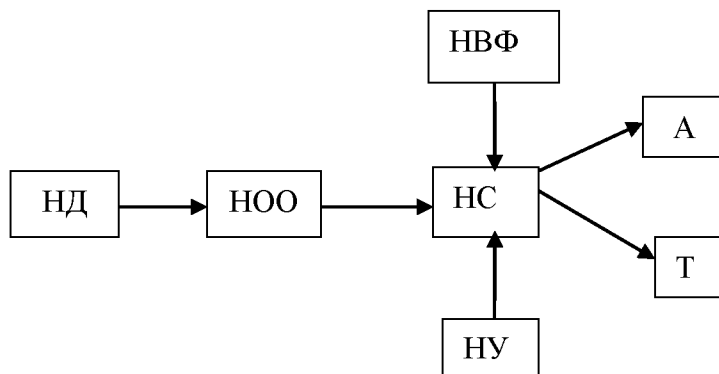


Рисунок 4.1 - Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій: НВФ – небезпечний виробничий фактор; НУ – небезпечні умови; НД – небезпечні дії; НО – небезпечні обставини; НС – небезпечна ситуація; А – аварія; Т – травма

Основні безпеки, які виникають під час нанесення зносостійких покриттів на гільзи автотракторних двигунів приведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 - Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій в технологічному процесів нанесення покриттів на зношені деталі

| Вид робіт,<br>виробничий<br>підрозділ,<br>робоче місце,<br>виробниче<br>обладнання,<br>склад агрегату | Виробнича безпека                         |  |   | Можливі<br>наслідки | Заходи<br>запобігання<br>небезпечним<br>ситуаціям   |
|---|---|--|---|---------------------|---|
|   | Небезпечна<br>умова<br>НУ                 | Небезпечна<br>дія<br>НД                        | Небезпечна<br>ситуація<br>НС                            |                     |   |
| 1   | 2   | 3  | 4   | 5                   | 6   |
| Приготування<br>розчину для<br>нанесення<br>покриття  | Розбризування,<br>витікання<br>розчину НУ | Працівник<br>доторкнув-<br>ся до<br>розчину НД | Подразне-<br>ння, опік<br>хімічними<br>речовинами<br>НС | Травма<br>Т         | Провести<br>інструктаж з<br>питань<br>охорони праці.<br>Робота з<br>хімічними<br>речовинами<br>лише у<br>спецодягу. |

| 1                                     | 2   | 3   | 4   | 5        | 6   |
|---------------------------------------|---|---|---|----------|---|
| Нанесення покриття на поверхню деталі | Поява на корпусі верстата електричного струму НУ-1<br>Робота з рухомими частинами верстата НУ-2 | Працівник доторкнувся до корпусу НД-1<br><br>Працівник доторкнувся до швидкообертової частини верстата НД-2 | Ураження електричним струмом НС-1<br><br>Механічна дія рухомої частини верстата на тіло працівника НС-2 | Травма Т | Регулярна перевірка стану заземлення установки та ізоляція проводів.<br><br>Встановлення захисного обладнання на верстаті.<br><br>Проведення інструктажу з питань охорони праці |

#### 4.2.4. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.

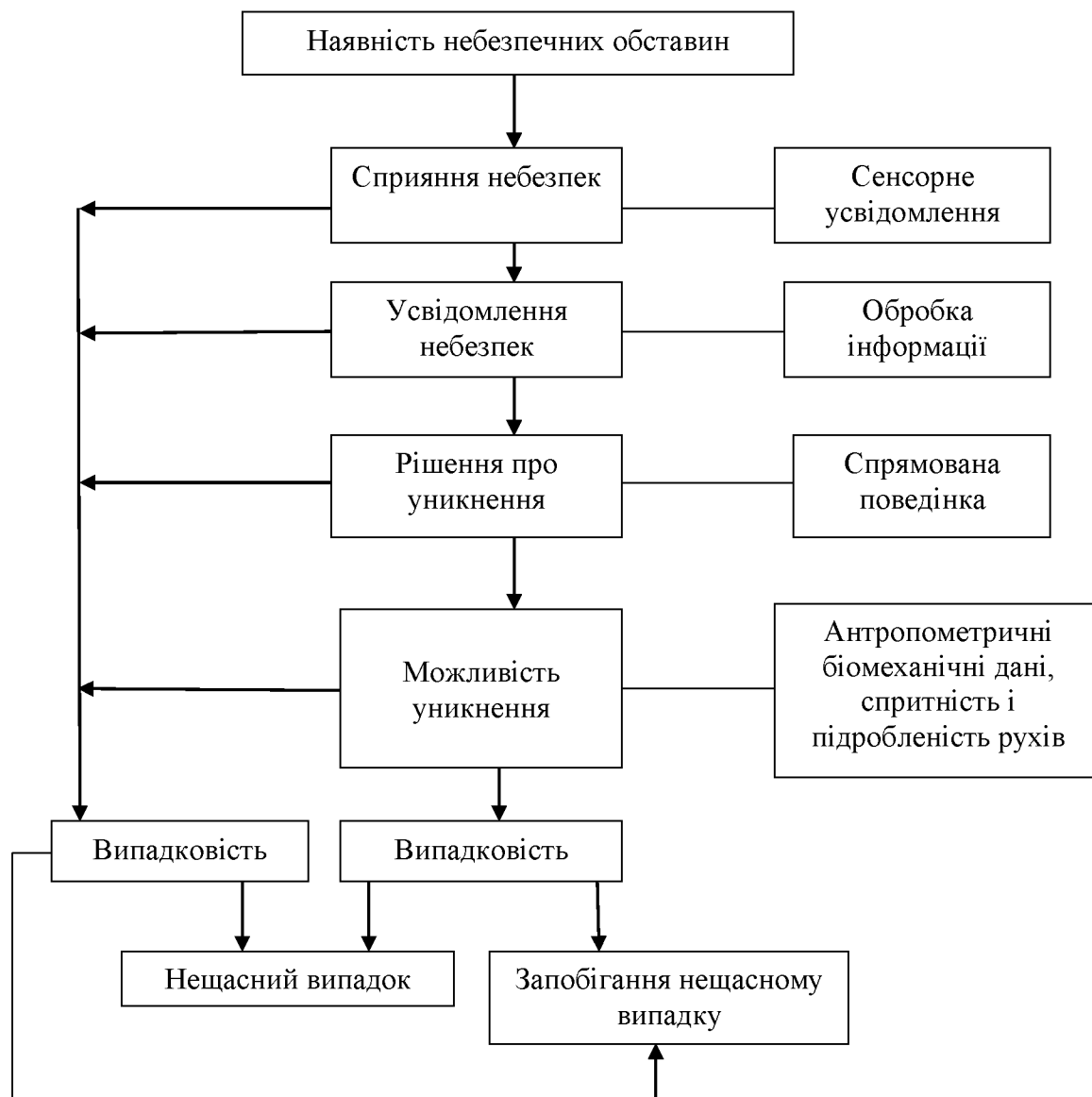


Рисунок 4.2 - Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

#### 4.2.5. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У розділі охорони праці магістерської роботи 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 ефективності відновлення чавунних деталей електроіскровою обробкою їх робочих поверхонь**

Техніко-економічна оцінка проведена у відповідності з рекомендаціями щодо визначення економічної ефективності підвищення довговічності сільськогосподарських машин [34].

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n k_1) - (c_2 + E_n k_2)] B_T, \quad (4.19)$$

де  $c_1$  і  $c_2$  – собівартість нової та відновленої чавунної деталі електроіскровою обробкою їх робочих поверхонь;

$E_n = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [34];

$B_T$  – річний обсяг відновлених деталей за розробленою технологією, шт.

Затрати  $C_y$  на виготовлення установки для відновлення чавунних деталей електроіскровою обробкою їх робочих поверхонь визначали за такою залежністю:

$$C_y = C_k + C_{од} + C_{нд} + C_{сб} + C_{зв}, \quad (4.20)$$

де  $C_k$  – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{od}$  – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

$C_{nd}$  – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{cb}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

$C_{on}$  – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою витрати склали 10250 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях [34]:

$$\kappa_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}} \text{ де } C_{O1} \text{ і } C_{O2} \text{ – вартість основних виробничих фондів за діючої}$$

технології виготовлення і розробленої технології відновлення;

$B_{Г1}$  і  $B_{Г2}$  – річна програма виготовлення та відновлення за розробленою технологією.

Питомі капіталовкладення склали  $\kappa_1 = 1,65$  грн.;  $\kappa_2 = 1,32$  грн.

Собівартість відновлення  $C$  деталі визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_m + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.}, \quad (4.22)$$

де  $C_{з.п.}$  – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

$C_m$  – витрати на використанні при відновленні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$  – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$  – накладні витрати, грн.;

$C_{i.в.}$  – інші витрати, грн.

Собівартість однієї чавунної деталі складає  $C_1 = 650$  грн., а відновленої  $C_2 = 220$  грн.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(650 + 0,15 \cdot 1,65) - (220 + 0,15 \cdot 1,32)] \cdot 120 = 51600 \text{ грн.},$$

де 120 – річний обсяг відновлення корпусних деталей різної сільськогосподарської техніки.

Економічний ефект на одиницю продукції становить 430 грн.

Основні показники техніко-економічної ефективності відновлення чавунних деталей наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Показники техніко-економічної ефективності

| Показники економічної ефективності                   | Значення показників             |                                   |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|
|  | Існуюча технологія виготовлення | Розроблена технологія відновлення |
| 1. Річний обсяг виготовлення і відновлення лап, грн. | 120                             | 120                               |
| 2. Собівартість однієї деталі, грн.                  | 650                             | 220                               |
| 3. Питомі капітальні вкладення, грн.                 | 1,65                            | 1,32                              |
| 4. Річний економічний ефект, грн.                    |                                 | 51600                             |
| 5. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.      |                                 | 430                               |

### Висновки

1. Вартість однієї чавунної деталі, відновленої по розробленій технології в 2,9 рази нижча ніж вартість нової деталі.

2. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 51600 грн. при річному обсязі впровадження 120 деталей.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Приведені літературні дані про застосовані технології відновлення свідчать про недостатню їх ефективність для обробки чавунних корпусних деталей, внаслідок чого вони не одержали поки широкого застосування; метод підвищення зносостійкості чавунних деталей електроіскровою обробкою їх поверхонь, що застосовується в машинобудуванні, не знайшов належного застосування в ремонтному виробництві при їх відновленні через відсутність достатніх даних по його використанні.

2. Теоретично сформований механізм покриття, що враховує специфіку багатошарових покриттів з шарами із чавуну і сталі, що дозволило створити основи процесу відновлення чавунних деталей з експлуатаційними характеристиками, що закладені в матеріалі виробу.

3. Дослідження показали, що для одиничного шару чавуну слід вибирати режими з незначною енергією імпульсу і виконувати нанесення шарів з обмеженою швидкістю переміщення інструменту уздовж заготовки.

4. Для забезпечення необхідної якості використовуються багатошарові покриття, де товщина кожного чавунного шару не перевищує 0,3-0,5 мм, причому у ролі проміжних застосовують шари з маловуглецевих сталей, які знижують вміст вуглецю на приграничних ділянках зони відновлення за рахунок дифузії частини вуглецю в сталь. Використовуючи послідовне нарощування покриття через шари сталі вдається уникнути порушення якості відновлюваних виробів і підвищити загальну товщину шарів до 1,5 мм. При цьому зберігається бездефектна підповерхнева зона з чавуну.

5. Вартість однієї чавунної деталі, відновленої по розробленій технології в 2,9 рази нижча ніж вартість нової деталі. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 51600 грн. при річному обсязі впровадження 120 деталей.