

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження технології відновлення чавунних деталей машин»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1  
Ягнюк Артем Сергійович  
Керівник: Лапенко Г. О.  
Рецензент: Яхін С. В.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Машинно-тракторний парк України нараховує 55...65% сільськогосподарських машин, які вже відпрацювали свій амортизаційний термін і має загальну технічну готовність до 60% [1, 2]. За останні роки сільськогосподарське виробництво підтримує роботоздатність машин за рахунок ремонтів, використовуючи деталі з однієї машини для відновлення іншої подібної машини. Тому актуальним є удосконалення або створення конкурентоспроможного ремонтного виробництва для підтримання належного технічного рівня наявного машинно-тракторного парку [3].

Особливу увагу на ремонтних підприємствах приділяють розвитку існуючих і впровадженню нових ресурсощадних технологій відновлення зношених деталей, які є дієвим заходом не тільки для зниження собівартості ремонту в цілому, але й економії металопрокату, паливно-енергетичних і трудових ресурсів [5]. Понад 60% конструктивно-технологічних груп деталей відновлюються за технологіями, що базуються на процесах наплавлення [6]. Питома вага процесів наплавлення в загальному об'ємі відновлення деталей сягає 75...80% [5], що обумовлено: простотою технологічних прийомів, нескладністю обладнання, доступністю його освоєння, високою продуктивністю, універсальністю і відносною дешевизною даних технологій. Собівартість відновлення деталей не перевищує 40...60% ринкової ціни на нові запасні частини [5].

Як правило, в процесі ремонту складних агрегатів машин, зношені деталі конструктивно-технологічної групи "корпусні деталі" підлягають вибракуванню і заміні новими, або відновлюються за технологіями, що поряд із низькою ресурсощадністю і високою собівартістю відновлення, охарактеризовані, як екологічно шкідливі процеси [6]. Тому актуальним для ремонтного виробництва є розробка ресурсощадної технології відновлення корпусних чавунних деталей сільськогосподарських машин наплавленням з

використанням дешевих, екологічних матеріалів – сталевих нелегованих дротів.

Основні ускладнення технологічної операції наплавлення сталевим дротом пов'язані з високою схильністю до утворення гартівних структур в наплавленому шарі, що значно погіршує його оброблюваність і збільшує схильність до утворення тріщин [7].

Пропонується відновлювати корпусні чавунні деталі сільськогосподарських машин за технологією з базовою технологічною операцією – наплавлення розщепленим електродом. Особливості даної технології є: поєднання дії попереднього підігріву виробу; регулювання в широкому діапазоні окисного потенціалу захисного середовища; зменшення частки основного металу в наплавленому; можливість комбінування присадочним матеріалом. Тобто забезпечення отримання і регулювання необхідних механічних і технологічних властивостей за однопрохідне наплавлення.

Враховуючи різнотипність деталей групи “корпусні деталі”, в кожному типовому випадку визначено найдоцільніший варіант наплавлення та наступної механічної обробки.

**Мета дослідження.** Підвищити довговічність корпусних чавунних деталей сільськогосподарських машин на основі розробки ефективної технології їх відновлення..

**Об'єкт дослідження.** Зношені і відновлені робочі поверхні корпусних чавунних деталей сільськогосподарських машин, наплавлені і механічно оброблені поверхні цих деталей та дослідних зразків з сірого чавуну.

**Предмет дослідження** є закономірності процесів втрати роботоздатності корпусних деталей сільськогосподарських машин та її відновлення, залежності зношення робочих поверхонь цих деталей і закономірності відновлення геометричних параметрів і механічних властивостей поверхневих шарів.

**Методика досліджень.** Застосовувались лише ті методи вивчення механічних і технологічних властивостей робочих поверхонь деталей, які надійно апробовані в роботах вітчизняних дослідників і набули широкого застосування на практиці: математичного моделювання і інтегральних обчислень, фізичного моделювання і планування експерименту, математичної статистики і аналітичної обробки експериментальних даних, метод відбору проб досліджуваного матеріалу, метод Роквелла (дослідження твердості), макроструктурний (виявлення тріщин, пор) і мікроструктурний аналізи, механічні випробування стандартних зразків на оброблюваність і зносостійкість.

**Теоретична та практична значущість.** Досліджено і виявлено закономірності сукупного впливу технологічних параметрів режиму наплавлення розщепленим електродом на механічні властивості (твердість), технологічні властивості (лінійна усадка, оброблюваність), формування сталевго шару наплавленого на зношені поверхні корпусних чавунних деталей. Практичним значенням одержаних результатів є застосування на ремонтних підприємствах агропромислового комплексу України ресурсоощадної технології відновлення корпусних чавунних деталей сільськогосподарських машин із використанням вітчизняних ремонтних матеріалів.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Конструктивні особливості, умови експлуатації і вплив корпусних деталей на роботоздатність сільськогосподарських машин

Корпусні деталі сільськогосподарських машин забезпечують точне координоване розташування різних складальних одиниць і деталей протягом заданого ресурсу в статичному стані і при експлуатації, плавність їх роботи при передачі крутних моментів і осьових навантажень. Це досягається за рахунок установочних поверхонь, які створюються при проектуванні машин і агрегатів [8].

Вимоги до корпусних деталей зумовлені умовами роботи, характером виробництва сільськогосподарських машин, технічною і економічною доцільністю конструкцій, зумовили застосування ливарних сплавів, переважно сірих чавунів ГОСТ 1412-79 СЧ18 – 79%, в меншій мірі СЧ21 – 12% та СЧ24 і СЧ 20 по 4% і 3% (твердість робочих поверхонь 160...255 НВ), і лише 2% на ковкого чавуну, алюмінієвих сплавів, сталі і пластмаси [9].

Найбільш важливі корпусні деталі сільськогосподарських машин є основами для енергетичних і передавальних механізмів, елементи яких скоординовані багаточисельними жорсткими розмірними ланцюгами. За формою корпусні деталі умовно можна поділити на прості і складні, за розмірами – на дрібні, середні і крупні. З технологічної точки зору їх можна поділити на: деталі, механічна обробка яких здійснюється точінням (деталі за формою наближені до тіл обертання); деталі, основні оброблювані поверхні яких взаємно паралельні і перпендикулярні.

Незважаючи на різноманітність вони мають ряд подібних конструктивних елементів, однакові або близькі за розмірами геометричні параметри, загальний технологічний маршрут для усунення дефектів.

Характерною особливістю корпусних деталей [10], і сільськогосподарських машин зокрема, є наявність точно скоординованих між собою базових площин і отворів. Найбільш високі вимоги точності пред'являються до базових поверхонь, в які встановлюють елементи кінематичних і силових ланцюгів механізмів. Так посадочні поверхні підвали і підшипники оброблюються з високою точністю за розмірами та розміщенням між собою і до базових площин.

За розташуванням поверхонь можна виділити деталі: з лінійним розташуванням базових ліній; з паралельним розташуванням базових ліній (найбільш розповсюджені); з розташуванням базових ліній у різних площинах і під різним кутом.

Діаметри базових отворів більшості корпусних деталей в сільськогосподарських машинах при рівні надійності 0,95 знаходяться в межах (рис.1.1):

- зовнішні – від 40 мм до 170 мм (середнє значення 104,7 мм, стандартна похибка 1,16);

- внутрішні від 50 мм до 170 мм (середнє значення 95,0 мм, стандартна похибка 2,56);

- під підшипники – від 52 мм до 150 мм (середнє значення 94,9 мм, стандартна похибка 2,46), а їх довжини від 14 мм до 36 мм (середнє значення 22,4 мм, стандартна похибка 1,74).

Маса корпусних деталей сільськогосподарських машин при рівній ймовірності 0,95 становить від 0,7 кг до 51,3 кг (середнє значення 10,0 кг, стандартна похибка 1,29 кг).

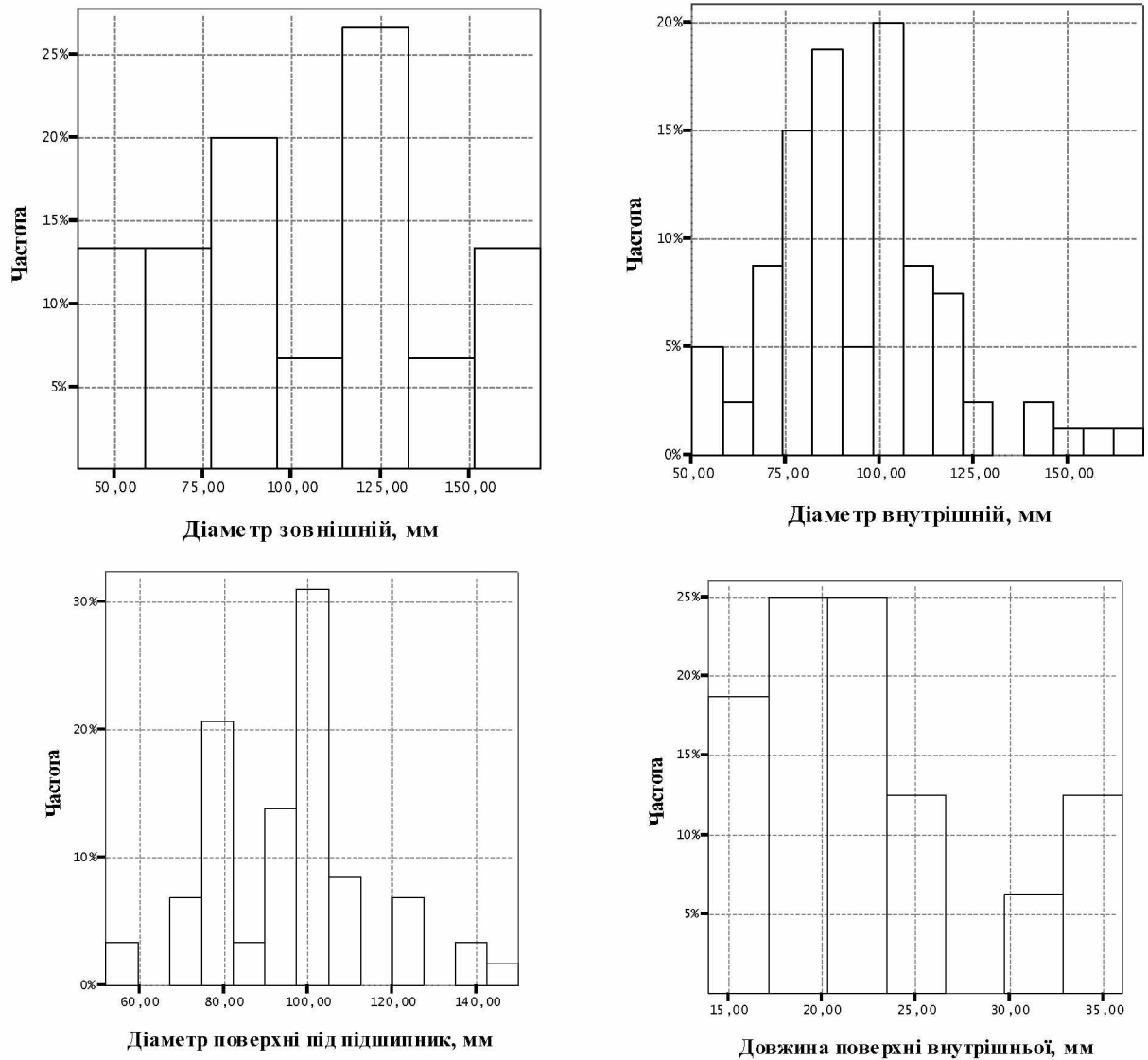


Рисунок 1.1 – Розподіл діаметрів і довжин базових поверхонь корпусних деталей

Діаметри поверхонь під підшипники і гнізда підшипників в корпусних деталях сільськогосподарських машин складають 95% від всіх поверхонь. Основним конструктивним рішенням поверхонь під підшипники є наскрізні і глухі гладкі отвори з буртиком або кільцевими канавками під стопорні кільця. Їх оброблюють в основному за 5-6 ступенем точності з шорсткістю  $R_a$  1,0...0,2 мкм, неплощиністю 0,05 мм на довжині 1 м. Неспіввісність отворів допускається в межах половини допуску на діаметр меншого отвору – 0,03...0,06 мм, а їх конусність і овальність – не більше 0,03-0,05 мм на діаметр.

Аналіз корпусних деталей сільськогосподарських машин дозволяє відмітити певні загальні положення. Вимоги точності допуску міжосьової відстані – 0,03-0,1 мм, допуску співвісності – 0,02-0,06 мм, допуску паралельності і перпендикулярності осей – 0,03-0,05 мм на довжині 100 мм. Позиційний допуск знаходиться в межах 0,05-0,15 мм, допуск пересікання осей – 0,05-0,1 мм, де жорсткі допуски відносяться до посадочних поверхонь під підшипники. Допуски міжосьових відстаней для циліндричних зубчастих передач з міжцентровою відстанню 50-800 мм складають від  $\pm 25$  мкм до  $\pm 280$  мкм. Непаралельність осей отворів складає 0,02-0,05 мм на 100 мм довжини. Поверхні прилягання оброблюють з шорсткістю  $R_a$  6,3...0,63 мкм, а їх відхилення від прямолінійності допускається 0,05-0,20 мм на всій довжині. Неперпендикулярність торцевих поверхонь до осей отворів допускається в межах 0,01-0,1 мм на 100 мм радіуса. Шорсткість цих поверхонь задається в межах  $R_a$  6,4...1,25 мкм.

Корпусні деталі сприймають більшість зовнішніх і внутрішніх навантажень, які діють на деталі, вузли і агрегати машини. Експлуатуються вони при статичних і динамічних навантаженнях, які сприймаються, головним чином, посадочними поверхнями під підшипники. Аналіз експлуатації спряжень корпус-підшипник сільськогосподарських машин показує, що вони працюють при питомих навантаженнях не більше 1,0-1,5 МПа. Підшипники працюють при швидкостях до 1,0-1,5 м/с і розраховані на помірний температурний діапазон – 50...+ 65° С при змащенні незначною кількістю мастильного матеріалу.

Аналіз умов роботи корпусних деталей сільськогосподарських машин, а також їх технічного стану і різноманітності за конструктивно-технологічним виконанням, величиною і характером навантаження дозволили зробити висновок, що всі деталі можливо систематизувати за групами [11]: деталі, що працюють при постійних динамічних навантаженнях – для передачі крутних моментів і осьових навантажень; деталі, що

працюють при знакозмінних навантаженнях – для перетворення одного виду руху в інший.

Особливі умови експлуатації чавунних деталей у значній мірі пов'язані з тривалим зберіганням (до 83-98% всього календарного часу) і наступною активною експлуатацією сільськогосподарських машин. Ця особливість має домінуюче значення в зміні властивостей і характеристик корпусних деталей. Оскільки сірий чавун чутливий до впливу таких зовнішніх факторів, як вологість, забрудненість і температура навколишнього середовища [12].

Найбільш характерною особливістю умов роботи корпусних деталей сільськогосподарських машин є запиленість навколишнього середовища. Рівень запиленості навколишнього середовища залежить від пилимості ґрунту, швидкості руху повітря і агрегату, розташування вузлів машини, характеру виконуваних робіт і метеорологічних умов. Величина природної запиленості складає приблизно  $0,005 \text{ г/м}^3$  мікрочастинок, а при збиранні цукрових буряків може досягати  $8-9 \text{ г/м}^3$  (в зоні підшипникових вузлів – до  $6 \text{ г/м}^3$ ) [13].

Внаслідок специфічних умов експлуатації сільськогосподарських машин в спряження корпус-підшипник можуть потрапляти абразивні частинки і волога. Тверді і м'які мікрочастинки проникають в зону тертя, створюючи умови для виникнення абразивного зношування посадочних поверхонь корпусних деталей. Крім того, можливе несвоєчасне технічне обслуговування з очищення і змащування підшипникових вузлів.

При роботі сільськогосподарських машин дефекти корпусних деталей впливають на ресурс інших і машини в цілому. Так, наприклад, при виході з ладу редуктора ексцентрикового механізму копача-валкоутворювача КВЦБ-1,2 не вібрують лемеші викопуючого пристрою, не обертається ексцентриковий вал; транспортер і ротор нерухомі – вийшов з ладу головний редуктор. Пошкодження в з'єднанні корпусних деталей зі стаканами і зовнішніми кільцями підшипників повністю порушують роботоздатність вузла. В ряді випадків навіть незначне пошкодження корпусних деталей

викликає додаткове навантаження на передавальні механізми (внаслідок підвищення вібрацій і перекосів валів) і приводить до відказів останніх. Будь-яке послаблення посадочних поверхонь, яке спричинене появою взаємного переміщення деталей на установочних поверхнях [13], призводить до порушення режиму експлуатації і, як наслідок, відказ підшипників кочення та тривалий простій машини. В процесі річної експлуатації сільськогосподарських машин до 20% підшипників кочення вибраковуються з причини порушення нерухомості посадки.

Знос посадочних поверхонь підшипників в корпусних деталях приводить до зниження довговічності машин [13], за рахунок збільшення зазорів в спряженнях, виникнення перекосів і зростання інтенсивності вібрацій. Із збільшенням зазору в елементах опор змінюються майже всі параметри, які характеризують роботу шестерень. Порушення цих параметрів приводить до збільшення напружень на поверхні зуба шестерень, до нерівномірного навантаження за довжиною і викришуванню поверхні зуба [14]. Якщо при перекосі осей валів в 0,2 мм напруження в зубах зростають до 135%, при непаралельності осей в 0,2 мм – до 128%, то при одночасному порушенні цих параметрів напруження збільшиться до 155% [14].

Напруження, що виникають в підшипниках через перекошування осей валів, також приводять до їх відказів [15]. В результаті знижується довговічність підшипників і валів. Наприклад, при посадці підшипника 208 з зазором 0,095 мм його довговічність знижується в 1,4, а з зазором 0,139 мм – в 1,8 рази в порівнянні з розрахунковою [14]. В роботах [10] встановлено, що при зазорі посадки 0,3 мм швидкість зносу підшипників кочення збільшується в 1,25...1,35, а при зазорах посадки 0,4...0,8 мм – в 1,62...1,75 разів.

Знос посадочних поверхонь перевищує допуск на капітальний ремонт в 50...80% корпусних деталей [15]. Розподілення величини зносу відповідають нормальному закону розподіленню випадкової величини. Середній знос лежить в межах 0,03...0,04 мм. Максимальний знос посадочних поверхонь знаходиться

в межах 0,25...1,20 мм. Порушення міжцентрових відстаней – 0,4...1,1 мм, а середнє значення неперпендикулярності – 0,08...0,14 мм при допуску 0,05 мм [10-15]. Аналіз джерел дозволяє зробити висновок про нерівномірне зношення посадочних поверхонь корпусних деталей і низьку зносостійкість поверхонь під підшипники. Такі поверхні, як правило, зношуються з однієї сторони, набуваючи форму овалу на ділянках, які сприймають відносно більші динамічні навантаження.

Аналіз проведених досліджень дозволив подати найбільш прийнятну структурно-логічну схему виникнення зносу посадочних отворів (рис.1.2) [16].

Так, з причини порушення параметрів поверхні після виготовлення корпусної деталі і збільшення допуску спряження, величина зазору між підшипником і отвором корпусу перевищує граничний допуск спряження. При збільшенні зазору спряження збільшується амплітуда вібрації зовнішнього кільця підшипника, так як вони знаходяться в прямолінійній залежності. При цьому частота власних коливань підшипників знаходиться в середньому діапазоні вібрації. Амплітуда і частота вібрації обумовлені: закономірностями зміни крутного моменту і контактного тиску зовнішнього кільця підшипників. Вібрації зовнішнього кільця підшипників створюються головним чином циклічними змінами навантаження підшипників. В таких випадках вібрація виникає навіть в підшипниках з ідеальною формою [16].

Під впливом релаксації залишкових внутрішніх напружень змінюється просторова геометрія корпусних деталей, тобто відбувається відхилення від взаємної паралельності осей посадочних отворів і перпендикулярності осей отворів до площин. Незважаючи на деякий перерозподіл і зменшення напружень у відливках при механічній обробці, рівень напружень в готових деталях досить високий. Так величина таких напружень розтягу в корпусах після їх виготовлення досягає 150 МПа, а стиснення – 120 МПа [16]. Ці напруження в процесі експлуатації зменшуються і стабілізуються. Найбільш

інтенсивно релаксація залишкових напружень відбувається протягом перших трьох років.



Рисунок 1.2 – Структурно-логічна схема виникнення зносу посадочних отворів

В процесі експлуатації ударне і знакозмінне навантаження в спряженнях з зазором викликає наклеп і наступне руйнування від втоми установочних поверхонь, а в спряженнях з натягом, внаслідок пружної і

пластичної деформації спостерігається змінання-зношування [17]. Причинами передчасного зносу корпусних деталей є також порушення при ремонті співвісності посадочних місць і перекошування осей [17].

Отже, причинами, які впливають на характер і величину зносу, є:

а) порушення геометрії посадочних поверхонь при експлуатації корпусної деталі в результаті її деформації, що призводить до порушення посадки;

б) пластичні деформації опорних поверхонь під дією одностороннього навантаження при роботі зубчастої передачі спричинюють знос і змінання стінок посадочного отвору корпусної деталі;

в) переміщення контактуючих поверхонь в нерухомих спряженнях в результаті послаблення кріплення;

г) порушення після ремонту в корпусних деталях міжцентрових відстаней, паралельності осей і виникнення конусності посадочних поверхонь.

## **1.2. Причини і особливості зношування посадочних поверхонь під підшипники корпусних деталей**

При надходженні на ремонт корпусні деталі сільськогосподарських машин характеризуються наявністю тріщин, обломів, пошкоджень різі та інших дефектів. Однак довговічність корпусних деталей найчастіше обмежується передчасним зносом контактуючих поверхонь в спряженні корпус-підшипник [10, 13, 16]. З цієї причини вибраковується до 80% корпусних деталей. Також слід відмітити, що ресурс корпусних деталей, ремонт яких виконувався шляхом заміни зношених вузлів новими, без відновлення посадочних поверхонь під підшипники, складає лише 30-40% від ресурсу нових [16]. Це пояснюється зміною геометрії посадочних поверхонь під впливом деформації від розбирання і складання, а також неточностей системи формоутворення отворів.

В процесі експлуатації машини відбувається знос посадочних поверхонь під впливом складного комплексу факторів. Наприклад поряд з фреттінг-корозією, яка є домінантом процесу зношування нерухомого з'єднання корпус-підшипник, посадочні поверхні корпусних деталей сприймають абразивне зношування [14], а із збільшенням зазору до 0,18...0,20 мм руйнування відбувається в результаті явищ з гідродинамічною природою.

Кінематичною умовою виникнення зносу при фреттінг-корозії є коливальний рух на фрикційних контактах при малих амплітудах. Фреттінг-процес виникає при терті ковзання з дуже малими ( $8 \times 10^{-7}$  мм – на порядок вище міжатомної відстані) зворотно-поступальними переміщеннями та динамічним навантаженням або навіть в непрацюючих вузлах машини [17].

На початку розвитку фреттінг-корозії інтенсивність руйнування поверхонь визначається в основному механічним фактором, а саме сукупним впливом амплітуди відносного переміщення, питомого контактного навантаження, частоти коливання, кількості циклів навантаження, твердості контактуючих матеріалів та їх окисів [17]. При цьому можливі дві особливості. Перша, коли продукти фреттінг-корозії мають частковий вихід з зони контакту, що приводить до послаблення натягу спряжених деталей. Друга – продукти фреттінг-корозії не мають вільного виходу з зони контакту, що зумовлює перекошування в спряженні. Величина зносу переважно прямо пропорційна амплітуді відносного переміщення. Однак в ряді випадків ця залежність параболічна. При цьому особливо різке зростання зносу відбувається при амплітудах більше 0,10...0,15 мм, внаслідок інтенсифікації процесів схвачування [18]. Залежність зносу від питомого контактного навантаження має екстремум при 60...80 МПа [18]. Подальше зниження швидкості зносу при збільшенні питомого навантаження пояснюється ускладненням доступу кисню з повітря до контактуючих поверхонь, інтенсифікацією процесів схвачування і перенесення металів.

Поряд з цим динамічні навантаження інтенсифікують процеси пластичної деформації, котрі проявляються при більш низьких значеннях навантажень. Багатократне деформування поверхневих об'ємів матеріалу під дією нормальних навантажень і тангенційних сил тертя сприяє інтенсивному зміцненню матеріалу. При цьому мікротвердість сірого чавуну збільшується в 1,6...1,8 рази [18]. При перших циклах навантаження відбувається послаблення міжатомних зв'язків (зниження модуля пружності), збільшення щільності дефектів кристалічної будови. Продукти руйнування при фреттінг-корозії посадочної поверхні корпусної деталі інтенсифікують пластичну деформацію поверхні і, частково, викликають її абразивне зношування. Процес накопичення структурних пошкоджень завершується руйнуванням матеріалу і загальним зниженням всіх міцнісних характеристик металу при видаленні частинок зношування [18].

Хімічний фактор проявляється [19] через окислювальну активність навколишнього середовища, як наслідок активації корозійних процесів в спряженні та впливу хімічного складу і структури контактуючих матеріалів. Інтенсивність фреттінг-корозії зростає з підвищенням корозійної активності газового середовища і хімічної активності металу. Знос у повітряному середовищі більший, ніж у вакуумі, азоті, водні і гелії, але менший, ніж у кисні.

Досліджуючи продукти руйнування при фреттінг-корозії можна виділити три основні стадії розвитку фреттінг-корозії.

*Перша.* Відбувається зміцнення поверхонь контакту і циклічна текучість підповерхневих шарів за рахунок схвачування ювенільних поверхонь металу після руйнування природних окисних плівок. В значній частині виступів фактичного контакту відбувається пластична деформація. На цій стадії роботи спряження корпус-підшипник домінує процес руйнування металу на щільно контактуючих поверхнях в результаті відносних циклічних тангенціальних мікрозміщень. Зруйновані, внаслідок втоми, виступи і зрізані вузли схвачування утворюють первинні продукти

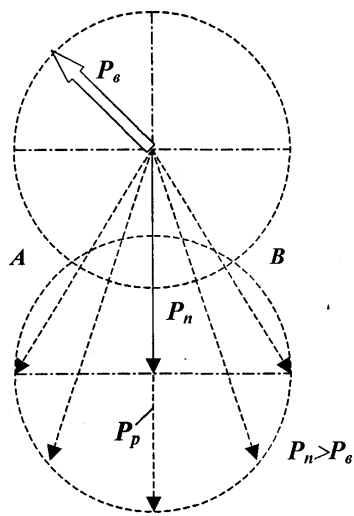
руйнування, незначна частина яких окислюється. В початковій стадії роботи спряження утворюються продукти зношування, які складаються в основному з  $Fe_2O_3$  і невеликої кількості  $Fe_\alpha$ .

*Друга.* В підповерхневих шарах спряження продовжують накопичуватись втомлювальні пошкодження і формується корозійно-активне середовище. Швидкість зносу на цій стадії невелика, і пов'язана, в основному, з накопиченням між спряженими поверхнями продуктів фреттінг-корозії і руйнуванням оксидних плівок. Утворені оксиди мають об'єм і твердість у 2-4 рази більші порівняно з матеріалом поверхні. Продукти фреттінг-корозії, в основному, складаються з  $Fe_2O_3$ , незначної кількості  $Fe_\alpha$ ; присутні  $FeO$ ,  $Fe_3O_4$  і  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ . Інколи утворюються нітриди. Продукти фреттінг-корозії, які видаляються з зони тертя, складаються з  $Fe_2O_3$ , присутні також  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$  і металеві частинки. Так як об'єм продуктів зношування більший за об'єм зруйнованого матеріалу, і їх видалення з зони тертя обмежене, то вони здатні створювати високий локальний тиск і знакозмінні напруження.

*Третя.* Значне і завершене руйнування зон пошкодження. Продукти фреттінг-корозії третьої стадії мало відрізняються від продуктів другої стадії, але більш дисперсні. При накопичуванні продуктів зношування коефіцієнт тертя різко падає, падає утримуючий момент, і зовнішня обойма підшипника починає провертатись. Утворені продукти зношування, які перевищують за твердістю матеріал корпусу, стають абразивом і ведуча роль у зношуванні переходить до них.

Зовнішні кільця підшипників сільськогосподарських машин можуть приймати місцеві, циркуляційні та коливальні навантаження. Наявність зазору в спряженні через різницю довжини кіл отвору і кільця приводить до провертання кільця по посадочному місцю в напрямку протилежному обертанню вала [18]. В результаті цього відбувається розвальцювання і знос посадочного отвору корпусної деталі, матеріал якої має значно меншу твердість, ніж матеріал підшипника.

При коливальному навантаженні зовнішнього кільця (рис.1.3), крім постійно направленою радіального навантаження, на підшипник діє відцентрова сила. Вектор цієї сили обертається синфазно з внутрішнім кільцем коли радіальне навантаження менше відцентрового, а рівнодійна сил обертається відносно зовнішнього кільця. При цьому провертання кільця в посадочному отворі пов'язано з його обкочуванням. При рівних радіальній і відцентровій силах сили тертя в підшипнику можуть бути більшими від сил тертя між кільцями і посадочними поверхнями, і кільце буде дискретно провертатись в напрямку обертання вала [19].



$P_n$  – радіальне навантаження постійного напрямку;

$P_e$  – обертальне радіальне навантаження;

$P_p$  – рівнодійне навантаження

Рисунок 1.3 – Розподілення сил при коливальному навантаженні

Максимальне значення моменту провертання зовнішнього кільця підшипника спостерігається при зазорі у спряженні кільце-корпус 0,2 мм і знижується до нуля як при зменшенні зазору, так і при його збільшенні до 0,5 мм. Основною причиною провертання кільця автори визнають пружні деформації зовнішньої поверхні кільця, які виникають при перекочуванні тіл кочення через зону навантаження. При коченні кульки перед нею утворюється випуклість, а позаду – вгнутість, тобто кільце в зоні контакту з кулькою ніби розтягується. В міру виходу кульки з зони навантаження випуклість зникає, але розтягнута (деформована) частина кільця не може повернутись у вихідне положення. Це зумовлено більшою силою тертя між кільцями підшипника і поверхнею посадочного отвору в зоні прикладання максимального

навантаження [19]. Під дією навантажень в межах пружності матеріалів кільце підшипника повертається в напрямку перекочування кульок.

Процес повертання кільця пов'язаний з коливанням у самому підшипнику і накладеними на них коливаннями інших вузлів машини. Тому повертання місцево навантаженого кільця пов'язують з автоколиваннями центру рухомого кільця підшипника. Автоколивання і зазор у з'єднанні приводять до систематичного підскакування зовнішнього кільця в посадочному отворі. Під час цього сила тертя знижується, а інерційні сили можуть викликати збільшення моменту тертя в підшипнику і привести до мікропереміщень кільця.

Повертання може бути ознакою неякісного виготовлення або ремонту підшипникового вузла [20]. Повертання місцево навантажених кілець підшипників найбільш ймовірно для кулькопідшипників, які встановлені в нерухомих опорах, при непаралельності осі підшипника з віссю обертання вала. Наприклад, незначна неспіввісність (осьове биття торця зовнішнього кільця підшипника при радіальному навантаженні 50 Н не перевищує 0,1 мм) вже викликає повертання зовнішнього кільця [20]. Це зумовлено силами тертя, які виникають при проковзуванні тіл кочення відносно кілець, які можуть перевищувати сили тертя між зовнішнім кільцем підшипника і корпусом.

Значна кількість факторів, які визначають активність фреттінг-корозії в кожному конкретному випадку, ускладнює розробку універсальних методів захисту деталей. Відомі методи захисту деталей від фреттінг-корозії можна розділити на дві групи [21]: конструктивно-технологічні; методи захисту від провідних процесів пошкодження при фреттінг-корозії. Перша група запобігає відносному переміщенню контактуючих поверхонь. Друга об'єднує технологічні способи обробки поверхонь, які застосовуються для запобігання або сповільнення розвитку провідних процесів при фреттінг-корозії, таких як корозійна втома, схвачування, абразивне руйнування, окисні процеси.

Існують загальні принципи, якими керуються при виборі заходів, що сприяють зменшенню пошкодження при фреттінг-корозії. Наприклад, запобігання проковзуванню, виключення кисню із зони контакту, застосування поєднань металів менш схильних до пошкодження.

Таким чином, констатуємо:

- довговічність корпусних деталей визначаються головним чином зносостійкістю посадочних поверхонь під підшипник;

- основними причинами зносу посадочних поверхонь під підшипники кочення в корпусних деталях є фреттінг-корозія, а також провертання підшипникових кілець при зазорах в посадці;

- на теперішній час завершеної теорії фреттінг-корозії не існує. Багатостадійність, складність розвитку фреттінг-корозії ускладнює оцінку і роль кожної складової процесу;

- методи, що пропонуються для захисту поверхонь від фреттінг-корозії, не тільки різноманітні, але й часом суперечливі. Суть їх зводиться до вибору раціональних конструкцій спряження, нанесення металевих, неметалевих або дифузійних покриттів, холодного деформування робочих поверхонь.

### **1.3. Доцільність відновлення корпусних чавунних деталей і сучасні технології**

В ремонтному виробництві аграрного комплексу намітилась тенденція до збільшення обсягів робіт з ремонту складних агрегатів сільськогосподарських машин, в тому числі і сільськогосподарських [4, 15] і, відповідно, ремонтні роботи виконуються власними силами господарств в ремонтних майстернях. В більшості випадків, такий ремонт виконують з низькою якістю, що значно скорочує ресурс агрегатів та призводить до додаткових витрат на їх повторний ремонт.

При цьому невирішеною проблемою, що потребує швидкого розв'язання, залишається проблема скорочення загальних витрат на

проведення ремонту. Основною складовою цих витрат є вартість запасних частин [5]. Так, при ремонті сільськогосподарських машин ці витрати складає 60% від загальних [7]. Ці значні витрати обумовлені тим, що понад 70% деталей машини при надходженні на ремонт вибраковуюються, з них 80% корпусних деталей – з причини зношення зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь [7].

Зниження витрат нових (заводських) корпусних запасних частин і тим самим собівартості ремонту забезпечується відновленням цих деталей [5, 13]. Економічна доцільність відновлення зумовлена можливістю повторного використання (65-70%) деталей. Їх собівартість складає до 75% вартості нових [6, 22, 53, 61, 64, 65], а витрати матеріалів в 15-20 разів нижчі, ніж при виготовленні [12]. Технологічна доцільність відновлення – необхідність підвищення довговічності посадочних поверхонь корпусних деталей.

Виробниче застосування значної кількості способів відновлення корпусних чавунних деталей як в Україні, так і за її межами, свідчить про актуальність проблеми як в практичному, так і в науковому плані.

На теперішній час при ремонті корпусних деталей поверхні під підшипники відновлюються запресуванням втулок, розкатуванням згортних втулок, наплавленням стрічки, нанесенням гальванічних покриттів, наплавленням, застосуванням полімерних матеріалів, місцевим нагріванням [10, 12, 14, 16].

Основним технологічним процесом відновлення посадочних місць під підшипники в корпусних деталях є запресування втулок. Для цього розточують зношену поверхню і встановлюють втулку (сталева труба з товщиною стінки 2,5-4 мм або чавунна гільза з товщиною стінки 4-5 мм) з перехідною посадкою на епоксидному клею або з пресовою посадкою без клею. До недоліків необхідно віднести таке: необхідність мати цільнокатані труби широкої номенклатури; втрати в стружку металу прокату (розточування зношеного отвору на 3-6 мм при величині зносу до 0,25 мм); при пресовій посадці виникнення напруженого стану [19]. Тому цей процес

характеризується значними трудоемністю, металоємністю і затратами на наступну механічну обробку.

Технологією відновлення розкатуванням згортних втулок [21] передбачено: виготовлення заготовки згортної втулки; згортання втулки із заготовки; підготовка зношеної поверхні; установка згортної втулки; розкатування згортної втулки; обробка фаски. До недоліків слід віднести: необхідність застосовувати велику кількість обладнання (радіально-свердлильний, горизонтально-розточувальний, фрезерний верстати та спеціальні багатороликові диференціальні розкатники); операція розкатування потребує прикладання до інструменту значних зусиль, що негативно впливає на вузли токарно-гвинторізних верстатів (на яких, в більшості випадків, виконується ця операція); висока трудомісткість і складність процесу.

Технологічний процес відновлення нерухомого з'єднання корпус-підшипник анаеробними матеріалами включає такі операції: зачищення і знежирення зношеної поверхні (не допускається попадання води, мастила і бруду [22]); нанесення анаеробного матеріалу; складання і фіксування просторового положення деталей з'єднання в спеціальному пристосуванні і витримування до повного затвердіння анаеробного матеріалу (при кімнатній температурі до 24 годин); зняття фіксуючого пристосування і контроль якості відновлення [22]. Процес характеризується з негативного боку, як тривалий і технологічно складний.

Практикує також технологія відновлення нанесенням покриття із розчинів герметика 6Ф ТУ 6-05-211-724-79 (при зносі не більше 0,20 мм на діаметр) і еластомеру ГЕН-150-В ОСТ 6-05-5101-78 (при зносі не більше 0,12 мм на діаметр) [22]. Технологією передбачено виконання таких операцій: приготування герметика; знежирювання посадочного місця деталі і його просушування (не допускається наявність корозії, бруду, мастила); нанесення необхідної кількості шарів з почерговим просушуванням (товщина одного шару 0,018...0,020 мм); витримка нанесеного покриття в сушильній шафі.

Технологія забезпечує якісне відновлення лише при зносі поверхні не більше 0,20 мм. До недоліків слід віднести: необхідність приготування композиції лише перед нанесенням; для формування композиції необхідна оснастка і нагрівальний пристрій для затвердіння або пристрій для обробки СВЧ; шкідливість виробництва; значні тривалість циклу і об'єм ручних робіт.

Тепловий метод відновлення [21] полягає в нагріванні чавунної деталі до температури 700-750°C і тривалій витримці (до 18 годин). Це приводить до росту об'єму чавуну в наслідок розпаду цементиту і залежить від кількості перліту в структурі чавуну. 1% зв'язаного вуглецю в чавуні забезпечує збільшення його об'єму на 0,7%. Якщо зважити, що корпусні деталі сільськогосподарських машин в основному виготовлені з СЧ20 з 0,7% зв'язаного вуглецю, то збільшення об'єму деталі буде відповідно 0,49%. Тобто цей спосіб може застосовуватись тільки при зносі до 0,1 мм. Крім цього, об'ємний ріст чавуну погіршує його фізико-механічні властивості, і сприяє коробленню деталі.

Електроконтактне приварювання низьковуглецевої сталевий стрічки або наплавлення стрічковим електродом достатньо продуктивне і дає можливість, без значного збільшення глибини проплавлення, регулювати в широких межах ширину і товщину наплавленого валика. При електроконтактному приварюванні наплавлений шар характеризується незадовільною оброблюваністю, високими залишковими термічними напруженнями. Для реалізації процесу необхідні 3-5 комплектів різних за розміром зварювальних лещат. В процесі відновлення однієї деталі при різниці діаметрів отворів до 20 мм необхідна заміна лещат [23].

Технологією залізнення передбачено: шліфування поверхні на глибину 0,15...0,30 мм до шорсткості 1,0 мкм; промивання органічними розчинниками; промивання у воді; ізолювання ділянок, що не підлягають покриттю; монтаж на підвісне пристосування; електрохімічне знежирювання; промивання в гарячій і холодній воді; анодне травлення; промивання у воді; електроосадження заліза. Технологія забезпечує якісне відновлення при зносі

поверхні 0,05...1,00 мм на діаметр. Вона характеризується: застосуванням дорогих додаткових матеріалів на ізоляцію і електрохімічне знежирювання; значними затратами часу на сушіння ізолюваних ділянок (2...3 годин) і на приготування електроліту залізнення (1...2 годин); необхідністю забезпечення низької шорсткості поверхні перед залізненням; незадовільною оброблюваністю покриття і його схильністю до корозії; зниженням довговічності спряження корпус-підшипник при застосуванні цинкозалізних покриттів [15] (цинкозалізне покриття не може пружно деформуватись при навантаженнях); високою собівартістю процесу відновлення та шкідливістю виробництва.

Електролітичне натирання є низькопродуктивний процес з високими вимогами щодо підготовки поверхні під відновлення (низька шорсткість, спеціальне приміщення і дотримання суворих заходів з техніки безпеки). Тому, незважаючи на активну агітацію цих способів в технічній літературі, в практиці ремонтних підприємств вони обмежено застосовуються при відновленні корпусних деталей [15].

Технологія відновлення наплавленням дротом Св-08 в потоці повітря рідко застосовується на ремонтних підприємствах України [23]. При багат шаровому наплавленні в металі другого і наступних шарів виникають пори. Для отримання безпористого наплавленого шару на чавунних деталях витрата повітря повинна бути не менше 2400 л/год., що спричинює погіршення якості формування наплавленого шару і збільшення забрудненості атмосфери газами і дрібними частинками конденсованих окисів.

Технологія відновлення наплавленням дротом Св-08 в середовищі водяної пари знайшла своє практичне застосування на ремонтних підприємствах України – лише поодинокі випадки її використання [23]. Приклад відновлення цим способом: кришка редуктора (наплавлення роз'ємної площини) і корпус підшипника трактора С-80 (тільки зовнішня циліндрична поверхня) [23].

При вібродуговому однопрохідному наплавленні дротом Св-08 метал наплавленого шару має невисоку твердість HB 250...350. Однак величина твердості наплавленого сталевого шару по поверхні нерівномірна, і в ньому наявні дрібні газові пори і тріщини [23], що є наслідком недостатнього перемішування наплавленого і основного металів (утворення обмеженого об'єму зварювальної ванни). Спосіб має низьку продуктивність 0,5...3 кг/год., якість наплавлення відчутно залежить від якості очищення і підготовки поверхні, і, крім того, через насичення наплавленого шару азотом повторне наплавлення іншим способом неможливе [15]. Технологією передбачено виконання попереднього проточування спрацьованої поверхні на глибину 1,0...1,5 мм та двох-трьох проходів наплавлення.

Теоретичні основи наплавлення сірого чавуну порошковим дротом створено в ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України [23]. Як практичний вихід є використання на виробництві дротів марок ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3, ППЧ-3М, ППСВ-7, ППЧ-1, ППЧ-2, ППЧ-9, забезпечення високої продуктивності процесу 8...10 кг/год [23]. Більш широкого застосування в ремонтній практиці набуло холодне наплавлення сірого чавуну порошковим дротом ПП-АНЧ-2, що містить титан, молібден і алюміній [23]. Механічні властивості наплавленого шару близькі до властивостей основного металу (твердість наплавленого шару - 160...200 HB) [23]. Використання вуглекислого газу при витраті 600...900 л/год. чи його суміші з киснем як захисного середовища зменшує схильність наплавленого шару до пороутворення. До недоліків наплавлення цим дротом слід віднести те, що вказані позитивні властивості можливі лише на середніх режимах наплавлення, що обмежує шляхи підвищення продуктивності процесу наплавлення. Досвід промислового використання порошкових дротів в нашій країні і за кордоном свідчить, що вони забезпечують більш глибоке проплавлення в порівнянні із суцільними дротами. Найсуттєвішим недоліком є висока вартість дроту.

При використанні дротів на основі міді, наплавлення проводять тонким дротом у вуглекислому газі чи аргоні [12]. Наплавлена поверхня має пори. Технологію рекомендують застосовувати тільки при зварювальних роботах для усунення тріщин в корпусних деталях з подальшим застосуванням полімерного покриття [24].

В США, Великобританії, Німеччині, Японії перевагу надають наплавленню дротом високонікелевого сплаву в аргоні чи в суміші 80% аргону і 20% вуглекислого газу [25]. Ця технологія характеризується високою собівартістю. Тому у вітчизняному виробництві технологію рекомендують застосовувати лише для зварювальних робіт для усунення тріщин і пробоїн в корпусних деталях (блоки циліндрів двигунів, корпуси коробок передач і розподільчих коробок), що експлуатуються під навантаженням і тепловим впливом.

В останні роки набув застосування спосіб наплавлення з газополуменевим захистом [16]. В умовах дрібносерійного виробництва цей спосіб універсальний, незалежно від матеріалу відновлюваної деталі. Він має розширені технологічні можливості при використанні дешевих наплавочних матеріалів і забезпечує отримання необхідної оброблюваності наплавленого шару. Цей спосіб особливо цінний для відновлення чавунних деталей (ролики опорні і підтримуючі, маточини ведучого колеса заднього мосту, ведені барабани, стакани, гнізда підшипників, гальмівні шківни тракторів). Технологією передбачено виконання таких операцій: точіння на глибину 2...3 мм; попереднє підігрівання зношеної поверхні до температури 150...250° С; наплавлення зношеної поверхні за два-три проходи; точіння наплавленої поверхні до номінального розміру; контроль якості відновлення. Однак, слід виділити недоліки даного способу: незадовільна оброблюваність наплавленої поверхні лезовим інструментом після однопрохідного наплавлення; необхідність проведення операції точіння перед наплавленням; обмеженість в підвищенні техніко-економічних показників процесу наплавлення (якості формування наплавленого валика, докритичних швидкостей наплавлення,

коефіцієнтів розплавлення електродного матеріалу і втрат електродного матеріалу на угар та розбризування) [25].

Всі вищеописані технології відновлення посадочних отворів мають як позитивні, так і негативні сторони, а також раціональні межі застосування:

- використання термічних способів стримується з причини виникнення температурних деформацій корпусних деталей складної конфігурації;

- відновлення постановкою додаткової ремонтної деталі має більшу трудоемкість і значні витрати металу. Крім того, розточування отворів знижує жорсткість деталі;

- відновлення гальванопокриттям не отримали належного розповсюдження в ремонтних підприємствах через малу продуктивність, недостатньої міцності зчеплення покриттів, нестабільності процесів.

### **Висновки та завдання роботи**

Розробка технології відновлення корпусних деталей сільськогосподарських машин дозволить до початку надходження машин в ремонт мати повнокомплектне технологічне обладнання і оснащення для відновлення. Покращення якості ремонту підвищує, в першу чергу, наробіток машини на відказ, сезонний наробіток і знижує затрати на усунення відказів. Отже, створення (удосконалення) і застосування ефективної технології для відновлення корпусних деталей є актуальною задачею.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі задачі дослідження:

1. Зібрати вихідну інформацію з надійності і ремонту сільськогосподарських машин і їх корпусних деталей.
2. Дослідити показники довговічності сільськогосподарських машин і дефекти корпусних деталей.
3. Провести лабораторні і стендові випробування відновлених деталей та виконати техніко-економічний аналіз виробничої ефективності розробки.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма досліджень

На теперішній час ремонтне виробництво володіє різноманітними технічними прийомами і способами відновлення деталей сільськогосподарських машин. Для досягнення номінальних розмірів поверхонь деталей використовують наплавлення, гальванічні покриття, полімерні і клеєві композиції, напилення порошкових матеріалів. Крім того, забезпечення відповідних посадок (зазорів, натягів) може бути досягнуто регулюванням, обробкою деталі під ремонтний розмір і постановкою додатково компенсуючих деталей.

При виборі того чи іншого способу відновлення конкретних корпусних деталей бурякозбиральних машин необхідно врахувати характер дефектів і величину зносу, матеріал, вагу, геометричні форми, точність і вид обробки, твердість і довговічність робочої поверхні (деталі в цілому), собівартість ремонтних робіт, концентрацію виробництва. За результатами аналізу дефектів, зносів і пошкоджень необхідно встановити характерні вимоги ви-конання технологічних операцій відновлення.

Передбачається, що для забезпечення оброблюваності лезовим інструментом наплавленої поверхні відновлених чавунних корпусних деталей, використовуючи наплавлення сталевими дротами, необхідно зменшити частку основного металу в наплавленому і застосувати попередній підігрів відновлюваної поверхні.

Застосовуючи математичне планування експерименту (методи структурного моделювання, кореляційного аналізу, регресій), плануємо отримати моделі залежності твердості, геометричних параметрів і якості формування наплавленого шару від технологічних параметрів режиму

наплавлення. Це стане основою для розробки технології відновлення корпусних чавунних деталей наплавленням розщепленим електродом.

У відповідності з поставленими в кваліфікаційній роботі задачами було сформовано програму досліджень, в якій передбачено виконання таких етапів:

1. Зібрати вихідну інформацію з надійності і ремонту сільськогосподарських машин. Узагальнити результати досліджень в області ремонту корпусних деталей та виконати аналіз існуючих технологій їх відновлення.

2. Дослідити дефекти корпусних деталей.

3. Визначити коефіцієнти придатності до відновлення, бракування, придатності до експлуатації і повторюваності дефектів.

4. Визначити аналітично основні шляхи підвищення ресурсоощадності технологічної операції наплавлення і вплив основних факторів процесу на зміну механічних властивостей наплавленого шару.

5. Провести експериментальні дослідження виявлення впливу параметрів режиму наплавлення на механічні властивості наплавленого шару і оптимізувати режими технологічних операцій наплавлення і точіння при відновленні корпусних чавунних деталей.

6. Провести металографічний аналіз відновлених поверхонь.

7. Провести стендові випробування зразків на зносостійкість.

8. Виконати техніко-економічний аналіз розробленої технології відновлення корпусних чавунних деталей.

## **2.2. Методика і методи досліджень**

Методика досліджень розроблена у відповідності із прийнятою програмою досліджень і базується, в основному, на застосуванні статистичного аналізу, аналітичного методу, математичного планування експерименту і багатокритеріальної оптимізації.

Вивчалася конструкція машин за інструкціями з експлуатації, натурними зразками і документацією на виготовлення машин. Вивчаються технологічні процеси на виготовлення деталей цих машин. За технічними вимогами на ремонт машин і натурними зразками виявляються можливі дефекти деталей. Як правило, всі деталі, що включені в таблиці дефектації технічних вимог на ремонт, підлягають оцінці.

Ремонтопридатні деталі виявляються на основі вивчення їх конструктивних особливостей, способів виготовлення і зміцнення робочої поверхні, наявності установочних баз, можливості усунення дефектів існуючими способами відновлення, точності виготовлення, наявності поверхонь деталей під обробку з однієї установки. Дані, які отримуються за ремонтними кресленнями, технологічними процесами, дефектними відомостями, аналізуються, узагальнюються і на їх основі визначаються коефіцієнти і норми виходу придатних для відновлення деталей. Деталі, на які відсутні розроблені і затверджені технологічні процеси і ремонтні креслення, досліджуються шляхом мікрометражу [23].

До номенклатури включаються всі ремонтнопридатні деталі, які: визначають економіку ремонту машин; швидкозношувані; лімітують ресурс основних агрегатів і вузлів; забезпечують підвищення якості ремонту машин.

Мікрометраж виконується для всіх ремонтнопридатних деталей. Мінімальна кількість деталей, які підлягають дослідженню, визначається за даними попереднього обстеження 5-10 деталей однієї назви. За цими даними визначається знос за дефектом, який має найбільшу повторюваність, середнє арифметичне значення зносу, середнє квадратичне відхилення досліджуваної величини і коефіцієнт варіації. За цим коефіцієнтом варіації при довірчій ймовірності 0,90 і відносній точності 0,20 визначається мінімальна кількість деталей, яка обстежується.

Мікрометраж деталей виконується у відповідності з методикою [24] із застосуванням універсального вимірювального інструменту. Вимірювання зовнішніх діаметрів корпусних деталей проводиться в двох взаємно

перпендикулярних площинах у трьох місцях: один посередині і два по краях зони зношення. Вимірювання внутрішніх діаметрів корпусних деталей виконується індикаторним нутромірором з ціною поділки 0,002 мм у двох взаємно перпендикулярних площинах і трьох перерізах: одне – посередині і два – по краях зони зношення на відстані 5 мм від краю з кожного боку. Знос визначається, як різниця між максимальним вимірним діаметром і діаметром, який допустимий при збиранні деталей з новим підшипником згідно технічних вимог на дефектування при капітальному ремонті [20, 26].

Методами математичної статистики і аналізу отриманих мікрометражних карт для всіх деталей визначаються величина і характер зносу, встановлюються коефіцієнти придатності до відновлення, бракування, придатності до експлуатації і повторюваності дефектів [26].

Коефіцієнт придатності до відновлення:

$$K_{ПВ} = \frac{N_{ПВ}}{N_{Д}}, \quad (2.1)$$

де  $N_{ПВ}$  – кількість деталей однієї назви, які підлягають відновленню, шт.;

$N_{Д}$  – кількість продефектованих деталей (загальна кількість деталей даної назви, які є на обстежуваних машинах, що надійшли в ремонт), шт.;

Коефіцієнти придатності до експлуатації і бракування визначаються, відповідно, за формулами:

$$K_{ПЕ} = \frac{N_{ПЕ}}{N_{Д}}, \text{ і } K_{Б} = \frac{N_{Б}}{N_{Д}}, \quad (2.2)$$

де  $N_{ПЕ}$  – кількість деталей однієї назви, які надійшли на ремонт і признані за результатами дефектації і обстеження придатними для подальшої експлуатації без ремонту (відновлення), шт.;

$N_{Б}$  – кількість деталей однієї назви, які підлягають бракуванню, шт.

Для перевірки правильності визначення коефіцієнтів придатності до відновлення, бракування і придатності до експлуатації за кожною назвою деталі використовується залежність:

$$K_{II} + K_{III} + K_B \leq 1. \quad (2.3)$$

При розрахунках повторюваності дефектів враховуються тільки дефекти, що усуваються. При цьому початкові, допустимі і аварійні зноси, для усунення яких відсутній економічно вигідний спосіб, не відносяться до вказаних дефектів. Для кожного з дефекту кожної назви деталі окремо визначається коефіцієнт повторюваності дефекту. Коефіцієнт повторюваності дефекту визначається для ремонтпридатних деталей за формулою:

$$K_{II} = \frac{N_{ДЕФ}}{N_D}, \quad (2.4)$$

де  $N_{ДЕФ}$  – кількість деталей з одним і тим же дефектом із усієї кількості деталей, які придатні до відновлення, шт.

Рекомендований спосіб відновлення зношених деталей сільськогосподарських машин вибирався прийнятно до всієї конструктивно-технологічної групи корпусних чавунних деталей, виходячи з програми ремонту, конструктивних особливостей деталей і застосовуваних способів відновлення.

З огляду на виробничий досвід та методів відновлення деталей прийнято – наплавлення сталевими дротами, яке забезпечує такі вимоги:

- покриття необхідної товщини, виходячи з величини зносу і з врахуванням попередньої механічної обробки;
- твердість поверхневого шару, виходячи з технічних вимог;
- точність відновлення геометричних параметрів деталі, виходячи з технічних умов на виготовлення нової деталі;
- шорсткість поверхні деталі, виходячи з технічних умов на виготовлення нової деталі;
- можливість виконання технологічних операцій на існуючому обладнанні з врахуванням впливу габаритів і конфігурації деталі, твердості матеріалу покриття;

- збереження міцності основного матеріалу деталі з врахуванням впливу товщини деталі; економічну ефективність відновлення.

Встановлення основних шляхів підвищення продуктивності процесу наплавлення і впливу основних факторів процесу на зміну механічних і технологічних властивостей наплавленого шару відбувається за науково-технічною літературою та шляхом теоретичного та експериментального дослідження технологічної операції наплавлення.

Зразки із сірого чавуну приймалися таких розмірів: зовнішній діаметр – 85 мм; внутрішній діаметр – 60 мм; довжина – 425 мм. Далі вирізаються дослідні зразки таких розмірів: зовнішній діаметр – 80 мм; внутрішній – 64 мм; довжина – 100 мм (для наплавлення) і довжина 350 мм (для досліджень на оброблюваність).

Зварювальний дріт для наплавлення Св-08А повинен мати такий хімічний склад: вуглецю – 0,09%, кремнію – 0,02%, марганцю – 0,05%, хрому – 0,12%; нікелю – 0,28%; а пружинний дріт другого класу: вуглецю – 0,50%, кремнію – 0,12%, марганцю – 0,40%, хрому – 0,14%; нікелю – 0,24%.

В процесі досліджень визначався характер впливу параметрів режиму наплавлення на такі параметри: якість формування, твердість і геометричні параметри наплавленого шару.

Експериментальне наплавлення виконується на лабораторній установці для наплавлення (рис. 2.1). При наплавленні використовуються переобладнаний токарно-гвинторізний верстат 1К62 (для зменшення частоти обертання шпинделя додано привід з понижуючим редуктором), наплавочна головка, яка оснащена подаючим механізмом зварювального півавтомату А-765, мундштук для подачі двох дротів та газоелектричний пальник (внутрішній діаметр сопла – 5 мм, зовнішній – 11 мм), джерело живлення ВДУ-306 (характеристика жорстка – за умови відповідності почерговому (імпульсному) індивідуальному плавленню електродного матеріалу), системи підведення газів.



Рисунок 2.1 – Загальний вид лабораторної установки для наплавлення

Принципова схема реалізації наплавлення розщепленим електродом ілюструється на рис.2.2. Пропан-бутан з балона 3 подається через редуктор газовий 4, відсікач газовий 5 і вентиль 6 у зовнішнє сопло газоелектричного пальника 13. Витрата пропан-бутану контролюється ротаметром 7 і регулюється редуктором 4. У внутрішнє сопло пальника з кисневого балона 1 через редуктор кисневий 2, вентиль 8 і ротаметр 9 подається технічний кисень. Два дроти подаються автоматично з катушок 16 та 17 за допомогою пакету зубчастих роликів і притискуючого ролика механізму подачі 15. Виріб 23 закріплений в патроні 12 установки для наплавлення. Відстань між електродами регулюється мундштуком 14 (рис.2.3). Живлення дуги здійснюється постійним струмом зворотної полярності від джерела зварювального струму з жорсткою характеристикою (випрямляч зварювальний) 20 через рубильник 18, дросель 19 і шунт 21. До шунта під'єднано амперметр і вольтметр, в також силовий контактор 22. Система підведення охолоджуючої рідини оснащується кранами водяними 10, 11, баком для води 24 і водяним насосом 25.

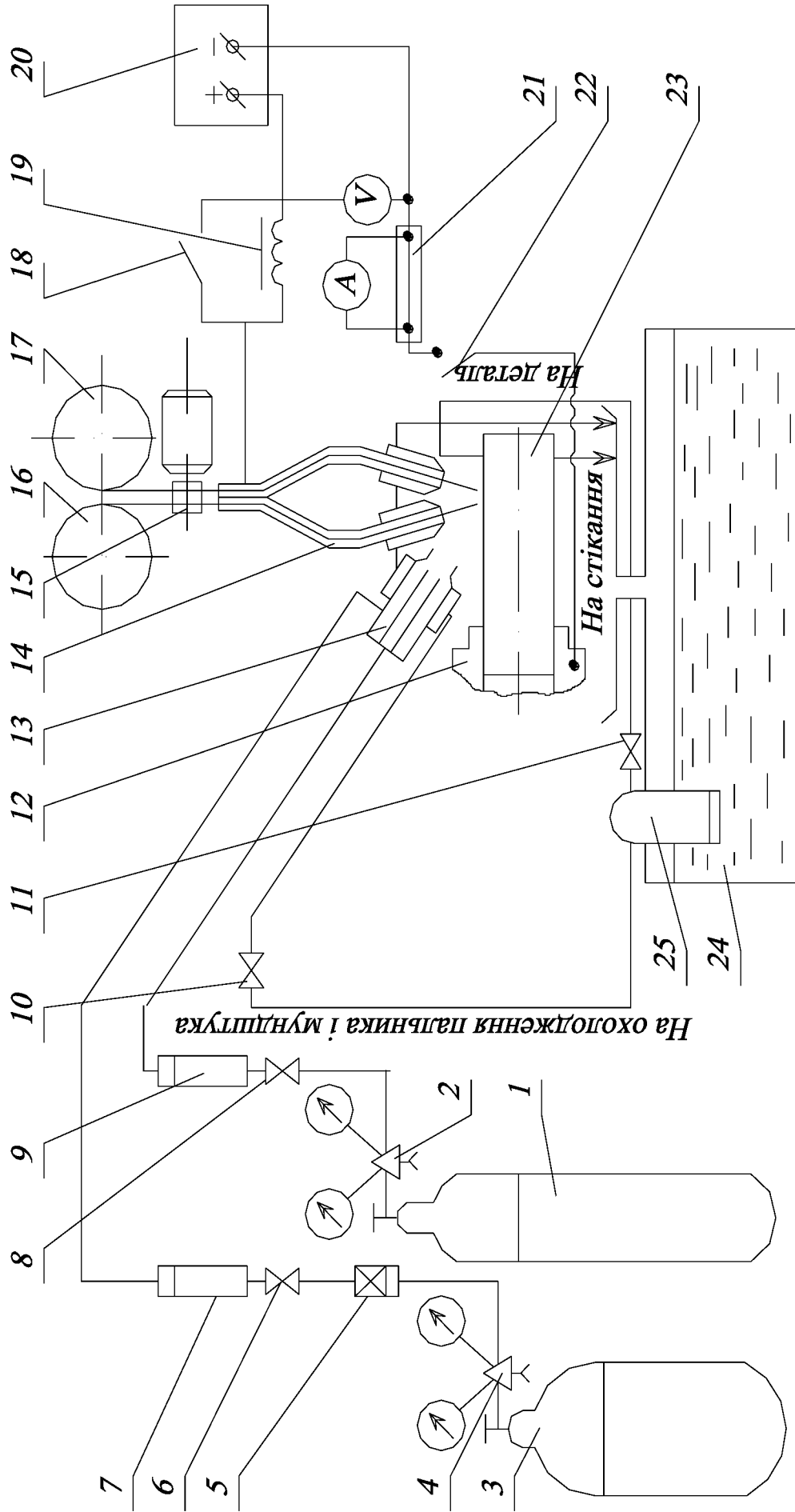


Рис. 2.2 – Принципова схема реалізації технологічної операції наплавлення розщепленим електродом

Наплавлення виконується на дослідних зразках за гвинтовою лінією з перекриттям валиків при зворотній полярності. Відстань від пальника до поверхні, що наплавляється, 45 мм. Вісь газового факела проходить через місце контакту дротів з поверхнею зразка.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд мундштука і газоелектричного пальника

При наплавленні охолодження здійснюється магістральною водою, яка подається крізь мідну трубку на наплавлений валик при постійній витраті 0,25 л/хв. Охолодна рідина подається на межу хвостової частини зварювальної ванни співвісно з її центром. Така витрата і схема подачі води дозволяють підтримувати максимально допустиму температуру розігрівання поверхні і запобігти пропаленню. Після наплавлення зразки охолоджуються на повітрі (+16...18°C).

Величина сили зварювального струму контролюється амперметром М-4202 ТУ 25.04.1382-73 класу точності 1,5, а напруга на дузі – вольтметром М-381 ТУ 25.04.3577-78 класу точності 1,5. Температура підігрівання зразків контролюється термоелектричним цифровим термометром ТТЦ-1-600 ТУ 25.02.683-75 з похибкою  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ . Витрата пропан-бутану контролюється ротаметром РМ-0,41ГУЗ, а кисню ротаметром – РМ-0,6ГУЗ з точністю до 5 л/год. Діаметр дроту, відстань між дротами на їх вильоті, виліт дротів

контролюються штангенциркулем ШЦ-I-150-0,05 ГОСТ 166-80 з похибкою 0,05 мм. Крок наплавлення і зміщення з zenіту регулюються супортом верстата (поперечна і повздовжня подачі) з похибкою до 0,1 мм. Швидкість наплавлення визначається як добуток частоти обертання шпинделя верстата на зовнішній діаметр дослідного зразка.

Якість формування наплавленого шару оцінюється за 5-бальною шкалою спочатку за зовнішнім видом наплавленого шару, а потім після проточування на токарно-гвинторізному верстаті. Приймається сукупне (до і після механічної обробки) середнє значення балу. При розходженні більш ніж на 30 % середніх значень балів дослід повторюється.

Твердість вимірюється на приладі ТР-5006 ТУ 25.06.844-79 (відносна похибка при загальних навантаженнях  $\pm 0,5\%$ ) з дотриманням вимог ГОСТ 9013-79. Геометричні розміри наплавленого шару і частку основного металу в наплавленому визначаються на макрошліфах вирізаних з дослідних зразків в перерізі перпендикулярному до наплавлених валиків. Макрошліфи протравлюються 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Протравлена поверхня проектувалась епідіаскопом на екран із міліметровим папером. Середнє арифметичне значення величин визначалось із п'яти замірів на трьох макрошліфах.

Величина коефіцієнтів розплавлення і наплавлення визначається за методикою [24], а також величина коефіцієнта втрат електродного металу на угар і розбризування визначається.

Тривалість часу наплавлення контролюється секундоміром двострілочним СДСпр-1 ГОСТ 5072-79Е 2-го класу точності з точністю до 0,1 секунди. Вага електродного дроту, вага зразків до і після наплавлення визначаються на вагах 126ЛВН-3ЦТ-УХЛ4 ТУ 25-06.1154-84 з точністю до 1 граму.

Стенові випробування на зносостійкість наплавлених дослідних зразків виконуються згідно методики [24]. Величина зносу визначається, як

середнє арифметичне значення втрати маси п'яти зразків, що наплавлені на оптимальному режимі. Для зважування використовуються терези лабораторні рівноплечові 3-го класу ВЛР-1 ТУ 25.06.1315-76 з точністю до 1 мг. Зразки перед зважуванням промиваються в бензині і просушуються.

Металографічним аналізом із застосуванням мікроскопу МИМ-8М досліджується структура наплавленого шару, зони сплавлення і основного металу в зоні термічного впливу. Мікрошліфи травляться в 4% розчині азотної кислоти в спирті. Мікротвердість визначається на протравлених мікрошліфах із застосуванням мікротвердоміра ПМТ-3М. Навантаження на індентор складає 0,981 Н.

### **Висновки**

Загальна методика досліджень розроблена у відповідності з прийнятою програмою досліджень, підпорядкована вирішенню поставлених в роботі задач і базується на застосуванні математичного планування експерименту.

При виборі основних методів досліджень перевагу надано тим методам вивчення механічних і технологічних властивостей відновлених поверхонь, які надійно апробовані в роботах інших дослідників і набули широкого застосування на практиці: статистичний аналіз, метод відбору проб досліджуваного матеріалу макроструктурний (виявлення тріщин, пор на поперечних макрошліфах) і мікроструктурний аналізи, планування експерименту і механічні випробування. Обробку експериментальних даних передбачено виконувати за допомогою методів математичної статистики і комп'ютерних програм.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Обґрунтування режиму наплавлення

На режим і кінцеві характеристики технологічної операції наплавлення розщепленим електродом впливає значна кількість технологічних і електричних параметрів процесу наплавлення та характеристики деталі. За впливом на процес і кінцевий результат наплавлення параметри можна розділити на групи:

- група 1 – які залежать від способу наплавлення і характеристики дроту (коефіцієнт наплавлення, коефіцієнт втрат металу на угар і розбризування, ККД дуги, коефіцієнт форми валика, діаметр дроту, вага погонного метра дроту, густина матеріалу дроту, хімічний склад дроту та твердість, яка ними забезпечується);

- група 2 – які визначають стабільність процесу (виліт дротів, зміщення дротів з zenіту, відстань між дротами на їх вильоті, дискретність подачі дротів у зварювальну ванну, індуктивність, полярність, напруга на дузі);

- група 3 – які визначають технологічні властивості наплавленого шару (швидкість наплавлення, швидкість подачі дротів, сила зварювального струму, крок наплавлення, температура попереднього підігріву, витрата охолоджуючої рідини, витрата захисних газів).

Параметри першої і другої груп, як правило, відомі за результатами досліджень способу наплавлення і матеріалів для наплавлення, а деякі з них закладені в конструкцію наплавочної головки і джерела живлення зварювальної дуги. Параметри третьої групи залежать від параметрів перших двох груп, а також взаємозалежні між собою.

До параметрів третьої групи, як технологічні властивості наплавленого шару, можна віднести силу зварювального струму (реалізується через швидкість подачі дротів), швидкість наплавлення (реалізується через частоту обертання деталі), крок наплавлення (реалізується через подачу супорта верстата з наплавочною головкою). Аналіз цих параметрів дозволив скласти структурно-логічну схему їх визначення (рис.3.1). В основу схеми закладено поетапне визначення параметрів за умови, що наступні параметри, котрі будуть визначатись, мають оптимальні значення.



Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема аналітичного визначення параметрів режиму наплавлення

Від величини сили зварювального струму, крім якості наплавлення, залежить і продуктивність процесу наплавлення розщепленим електродом  $G_n$ , яка визначається за формулою [21]:

$$G_n = \frac{\alpha_{\text{нап}} \cdot I_{\text{зв}}}{1000}, \text{ кг/год.} \quad (3.1)$$

де  $\alpha_{\text{нап}}$  – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год.);

$I_{зв}$  – сила зварювального струму, А.

Однак збільшення величини сили зварювального струму обмежується підтіканням зварювальної ванни та небажаним перегрівом деталі. Це погіршує формування наплавленого шару і призводить до вибракування деталі внаслідок сильного короблення або пропалення поверхні, що наплавлялась. Ступінь нагрівання деталі визначається залежністю [23]:

$$\Delta T_d = \frac{0,24 \cdot I_{зв} \cdot U_d}{m \cdot c}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

де  $\Delta T_d$  – підвищення температури деталі,  $^\circ\text{C}$ ;

$U_d$  – напруга на дузі, В;

$m$  – маса деталі, г;

$c$  – питома теплоємність матеріалу деталі, Дж/(кг· $^\circ\text{C}$ ).

З формули (3.2) випливає, що для уникнення перегрівання деталі необхідно, щоб сила зварювального струму відповідала масі деталі та її розмірам. Мінімальне значення сили струму обмежене умовами стабільності процесу горіння дуги і сплавлення валиків (витків) між собою, а максимальне, як було вище зазначено, перегріванням деталі і підтіканням зварювальної ванни.

При наплавленні за гвинтовою лінією циліндричних поверхонь температура деталі зростає, тобто кожен наступний валик наплавляється на метал з більш вищою температурою, ніж попередній. При цьому швидкість охолодження розплаву металу зварювальної ванни зменшується з причини меншого тепловідведення в деталь. Тому можливий момент, коли рідкий метал не буде утримуватись на поверхні циліндричної деталі і почне стікати з неї.

При перегріванні деталі, під час її наплавлення, розплавлений, в місці горіння дуги, метал ще не встиг охолонути до зміщення з зеніту деталі і може текти в напрямку обертання деталі. При більших величинах зміщення дротів з зеніту метал може текти в протилежному обертанню деталі.

Дослідним шляхом встановлено [24], що температура в zenіті повинна бути меншою  $1430^{\circ}\text{C}$ , щоб запобігти перетіканню рідкого металу.

Для такого стану (граничного нагрівання) деталі температуру точок осі останнього валика позаду точкового джерела тепла, тобто в zenіті, можна визначити з рівняння [25]:

$$T_{(r,t)} - T_0 = T, \quad (3.3)$$

яке для вищенаведених умов можна розписати:

$$T_{(r,t)} - T_0 = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot V_{nan} \cdot t}, \quad ^{\circ}\text{C} \quad (3.4)$$

де  $T_{(r,t)}$  – миттєва температура в точці  $r$  в момент  $t$ , яка викликана процесом розповсюдження тепла зварювальної дуги,  $^{\circ}\text{C}$ , приймаємо  $1400^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$  – початкова температура деталі, яка дорівнює температурі навколишнього середовища або температурі попереднього підігрівання,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$q$  – ефективна теплова потужність зварювальної дуги, Вт;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м $\cdot^{\circ}\text{C}$ );

$V_{nan}$  – швидкість переміщення джерела тепла, см/с;

$t$  – час, який відрахований від моменту, коли швидкорухоме джерело живлення перетинає плоский шар металу, що розглядається, с.

Величина  $q$  визначається з рівняння [25]:

$$q = 0,24 \cdot \eta \cdot I_{zs} \cdot U_d, \quad \text{Вт} \quad (3.5)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який дорівнює відношенню ефективної потужності дуги до її повної потужності;

$U_d$  – напруга на дузі, В.

Нагрівання деталі від наплавлення деякої кількості валиків можна вважати попереднім підігрівом для останнього валика, що розглядається. Підігрівання від раніш наплавлених валиків здійснюється в напрямку перпендикулярному до осі валиків, тобто за твірною циліндричної поверхні. Якщо наплавлену деталь подати, як напівнескінченне тіло, а наплавлення – як почергову миттєву дію дуги за твірною деталі, то підвищення температури

в місці наплавлення останнього валика від дії дуги з місця наплавлення будь-якого раніш наплавленого валика можна визначити з рівняння [25]:

$$T_{(0,t)} = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot V_{\text{нап}} \cdot t} \cdot e^{-\frac{r^2}{4at}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.6)$$

де  $T_{(0,t)}$  – температура точки в перерізі перпендикулярному до осі наплавленого валика,  $^\circ\text{C}$ ;

$t$  – час, який відраховується з моменту, коли джерело тепла перетинає переріз, в якому знаходиться точка, с;

$r$  – відстань від місця дії дуги до точки, що розглядається, см;

$a$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \text{ } \text{см}^2/\text{с}. \quad (3.7)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу, що наплавляється,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Шлях наплавлення за гвинтовою лінією дорівнює:

$$V_{\text{нап}} \cdot t = \pi \cdot D \cdot N, \quad (3.8)$$

де  $D$  – діаметр поверхні деталі, що наплавляється, см;

$N$  – кількість наплавлених валиків (витків), шт.;

$a$  – відстань від місця дії дуги до точки, що розглядається:

$$r = S_{\text{нап}} \cdot N, \quad (3.9)$$

де  $S_{\text{нап}}$  – крок наплавлення, см/об.

Для реалізації сили зварювального струму при наплавленні розщепленим електродом необхідно встановити відповідну швидкість подачі дротів. Враховуємо, що для стабільного проходження процесу і якісного формування шару дроти повинні подаватись зі швидкістю, яка дорівнює швидкості їх плавлення. Для наплавлення розщепленим електродом вважаємо, що дроти рівномірно почергово подаються і забезпечується постійне сукупне плавлення. Тобто можна розглядати, що наплавлення відбувається з безперервною подачею одного дроту. Тоді маса розплавленого дроту, котрий подається з певною швидкістю, за визначений час дорівнює [25]:

$$G_{dp} = \frac{\pi \cdot d_{dp}^2 \cdot V_{dp} \cdot t \cdot \rho}{4000}, \quad (3.10)$$

де  $G_{dp}$  – вага розплавленого дроту, кг;

$d_{dp}$  – діаметр дроту, мм;

$V_{dp}$  – швидкість подачі дроту, м/год.;

$t$  – час наплавлення, год.

Маса розплавленого дроту при наплавленні розщепленим електродом можна також визначити за формулою [23]:

$$G_{dp} = \frac{\alpha_p \cdot I_{ze} \cdot t}{1000}. \quad (3.11)$$

Прирівнявши праві частини формул (3.10) і (3.11) отримаємо, що швидкість подачі дротів можна подати у виді:

$$V_{dp} = \frac{1,273 \cdot \alpha_p \cdot I_{ze}^{\max}}{d_{dp}^2 \cdot \rho}, \text{ м/год.} \quad (3.12)$$

### **3.2. Вплив параметрів режиму наплавлення на властивості наплавленого шару**

Запропонована методика дає можливість розрахувати основні параметри режиму наплавлення для отримання шару заданої товщини. Проте не ясно, чи будуть забезпечуватись при такому режимі оптимальні механічні властивості наплавленої поверхні деталі.

По-перше розглянемо питання можливості наплавлення шару з товщиною, яка відрізняється від заданої, з метою підвищення механічних властивостей деталі. Очевидно, що шар менше заданої товщини наплавляти неможливо, оскільки деталь за розмірами не буде відповідати технічним вимогам. Проте можна наплавити шар значно товстіший заданого, потім з більшими затратами на механічну обробку довести його до необхідного розміру, сподіваючись отримати вищі механічні властивості.

Збільшення товщини шару шляхом збільшення сили струму обмежується тим, що прийнята нами методика передбачає максимальну величину струму, яка виключає перегрівання деталі. Тому збільшення товщини шару можна досягти або за рахунок зменшення швидкості наплавлення, або за рахунок зменшення кроку наплавлення. Зменшення швидкості наплавлення призведе до збільшення глибини проплавлення, що при наплавленні чавунних деталей сталевими дротами збільшить твердість через збільшення частки основного металу в наплавленому шарі. Збільшення твердості сприяє тріщиноутворенню.

Зі зменшенням кроку наплавлення сплавлення шару з основним металом погіршується, але й знижується твердість наплавленого шару. Крім того, збільшення товщини наплавленого шару збільшує час наплавлення і, відповідно, нагрівання деталі.

Режим наплавлення повинен не тільки забезпечувати якісне формування шва (перша умова), але й не викликати істотного погіршення властивостей навколошовної зони. Очевидно, другою умовою вибору раціонального режиму наплавлення є забезпечення оптимальних властивостей зони термічного впливу і наплавленого шару. При наплавленні сірих чавунів сталлю властивості навколошовної зони залежать від швидкості охолодження металу, яка дорівнює:

$$w_{\text{охол}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (T - T_0)^2 \cdot V_{\text{нап}}}{q}, \quad (3.13)$$

де  $w_{\text{охол}}$  – швидкість охолодження металу шва.

З рівняння (3.13) видно, що із зменшенням швидкості наплавлення швидкість охолодження зменшиться. Зменшення швидкості охолодження не усуває утворення ледебуриту, але призводить до значного росту зерна, яке в свою чергу знижує пластичність.

Таким чином видно, що допускати надмірне збільшення висоти наплавленого шару нерационально з причини погіршення не тільки економічних показників, але й механічних властивостей деталі.

Однак задану товщину наплавленого шару можна отримати і при другому поєднанні параметрів режиму наплавлення: сили зварювального струму, швидкості і кроку наплавлення. Таким чином, очевидно, що теоретично не можливо визначити з достатньою точністю вплив таких змін на твердість. Відповідь на це питання можна отримати, дослідивши такий вплив експериментальним шляхом.

Результати досліджень властивостей зварного шва графічно подані на рис.3.2–3.6. Дані дослідження дали підставу стверджувати наступне.

Необхідна (з точки зору оброблюваності) твердість відновленої поверхні (22...29 HRC<sub>E</sub>) забезпечується при швидкості наплавлення 6,7...10,8 м/год (рис.3.2). При цій швидкості утворюється найширший валик 15,5...14,5 мм (рис.3.3) при максимальній висоті наплавленого шару 3,9...3,3 мм (рис.3.4). В даному інтервалі швидкості наплавлення глибина проплавлення зменшується інтенсивно з 4,3 до 3,0 мм (рис.3.5), а частка основного металу в наплавленому зростає, незначно, з 0,41 до 0,43 (рис.3.6). Збільшення швидкості більше 10,8 м/год забезпечує стрімке зменшення, в 1,63 рази, ширини валика до 9,2 мм при  $V_{\text{нап}} = 22,3$  м/год (рис.3.3), уповільнене зменшення висоти наплавленого шару до 2,7 мм (рис.3.4), глибина проплавлення з 3,0 до 2,0 мм (рис.3.4) і незначне зменшення частки основного металу в наплавленому до 0,43 мм (рис.3.4). При більших швидкостях наплавлення якість формування шару погіршувалась з 5 до 3 балів.

Знижену твердість наплавленого шару при  $V_{\text{нап}} = 6,7...10,8$  м/год можна пояснити меншою часткою основного металу в наплавленому, утворенням значної кількості рідкого металу між торцями електродів і наплавленою поверхнею, найширшого валика 15,5...14,5 мм і відповідно розсіюванням теплового потоку.

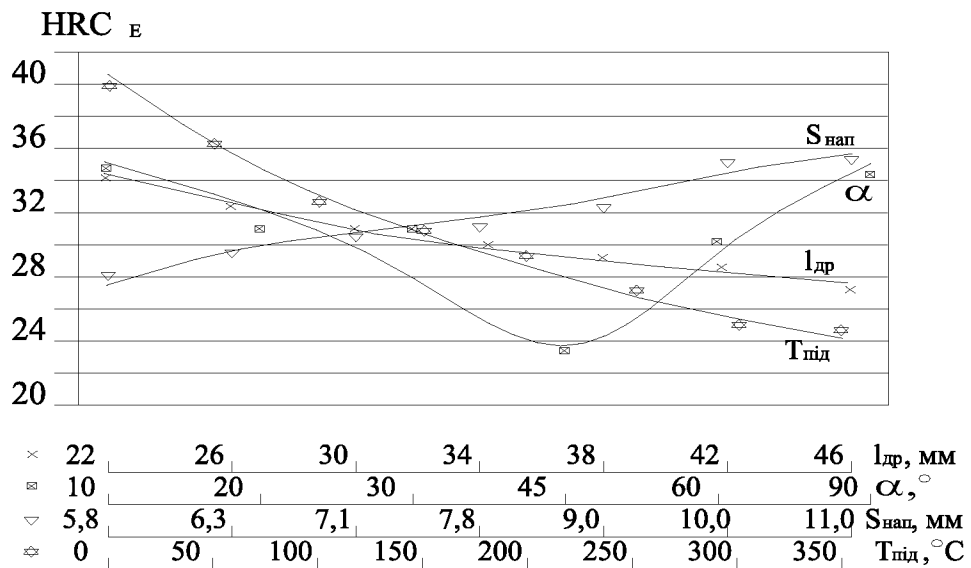
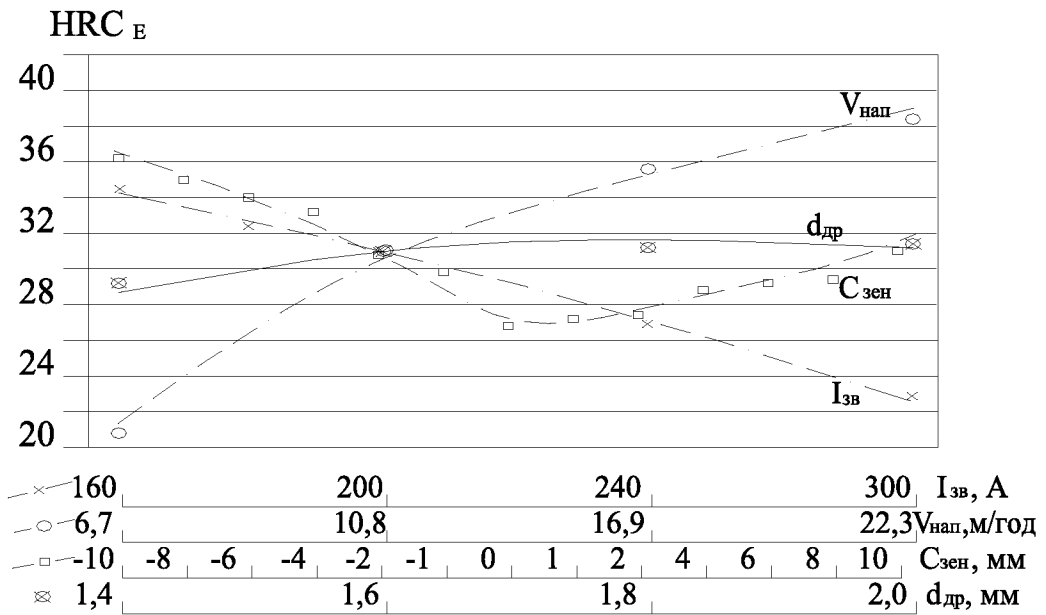
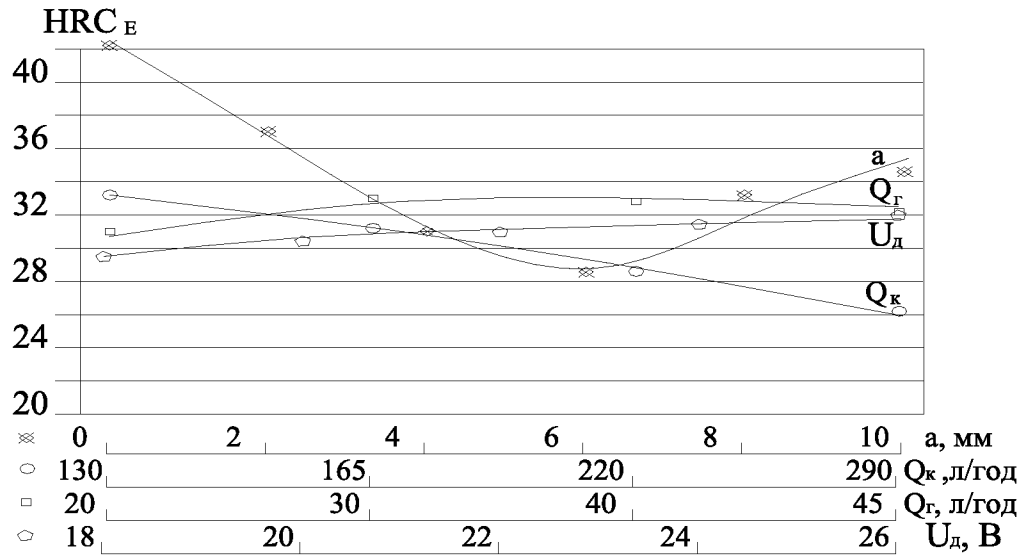


Рисунок 3.1 – Вплив параметрів режиму наплавлення на твердість наплавленого шару

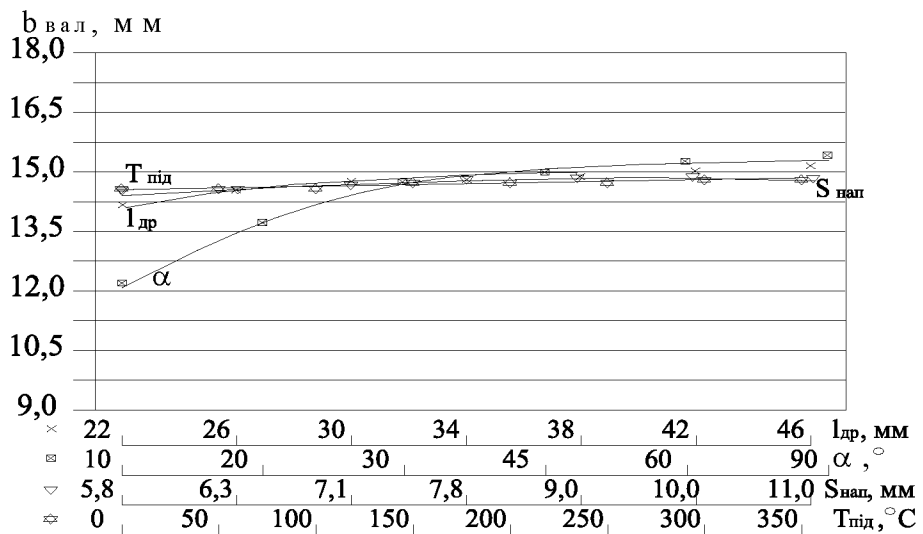
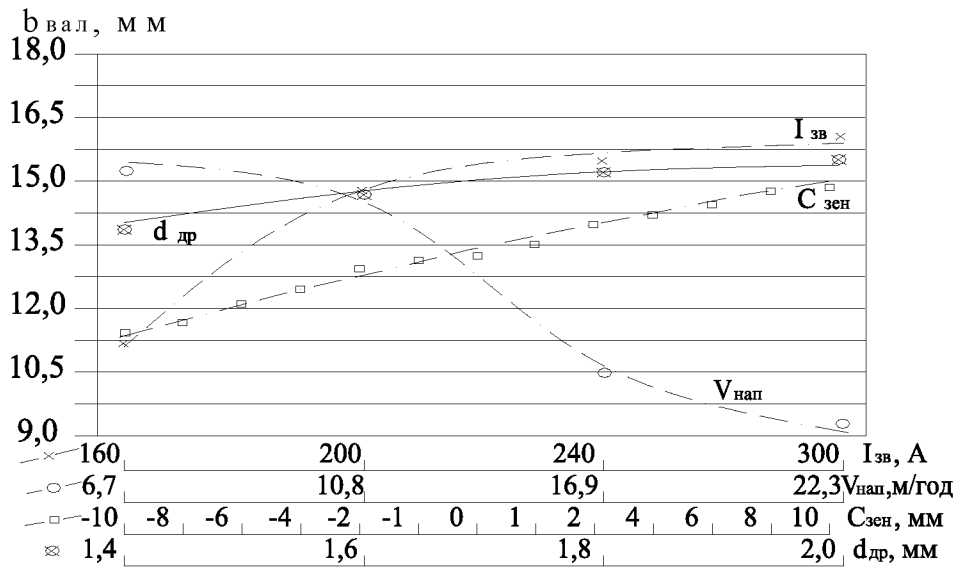
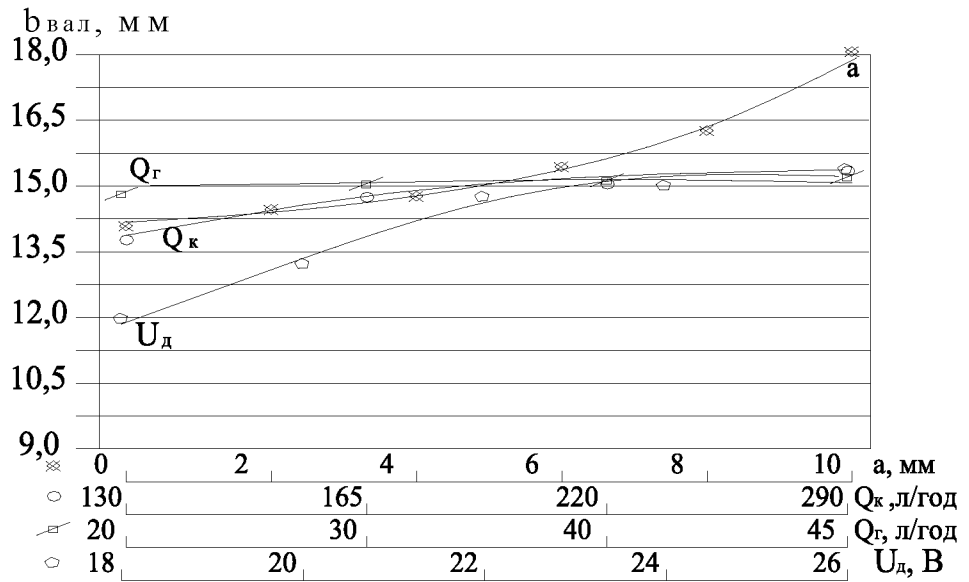


Рисунок 3.2 – Вплив параметрів режиму наплавлення на ширину валика наплавленого шару

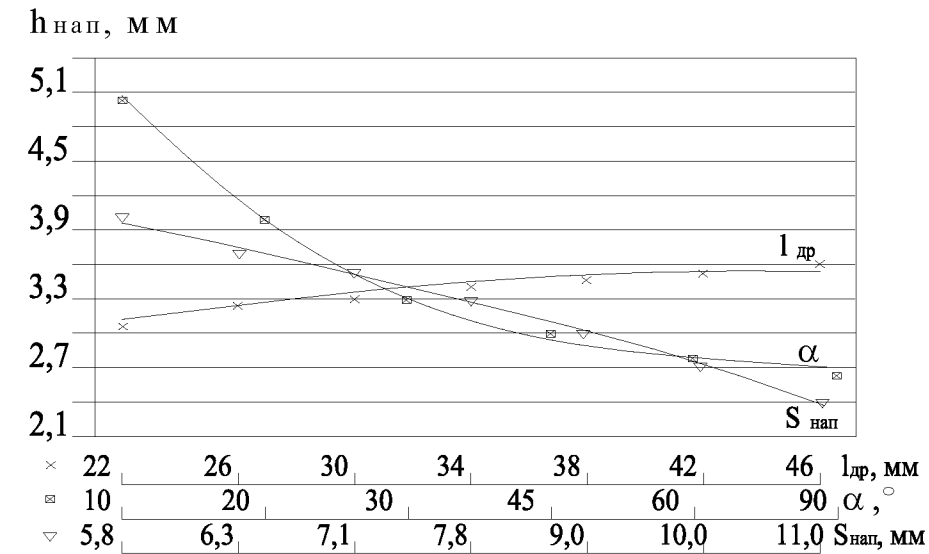
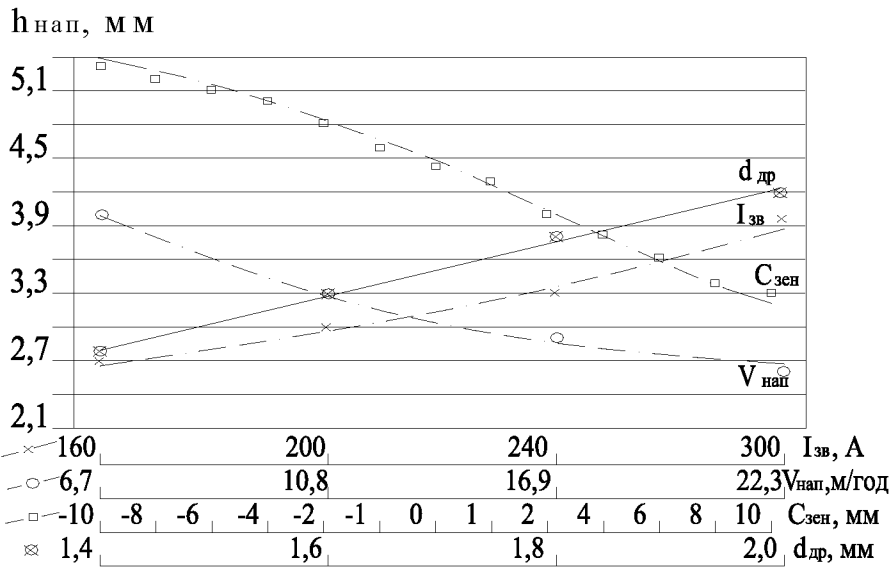
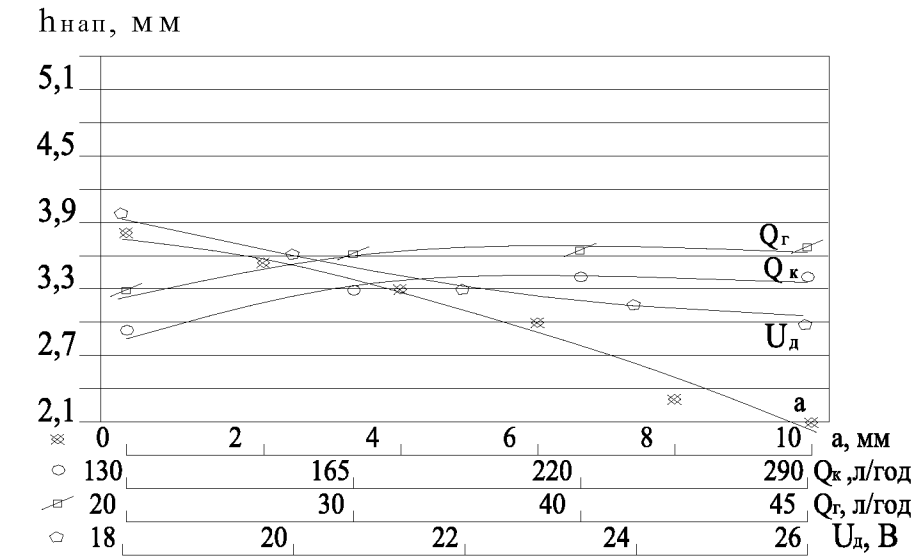


Рисунок 3.3 – Вплив параметрів режиму наплавлення на висоту наплавленого шару за однофакторним експериментом

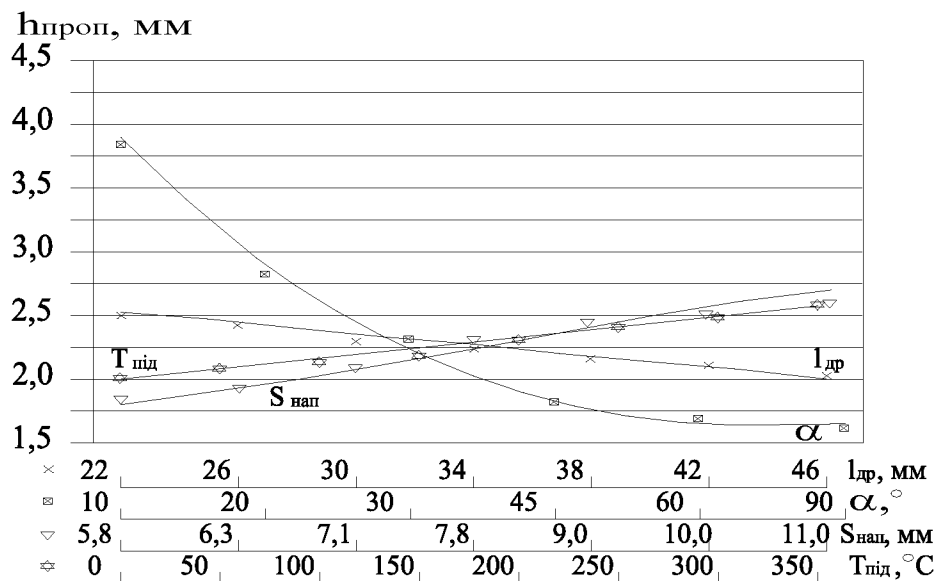
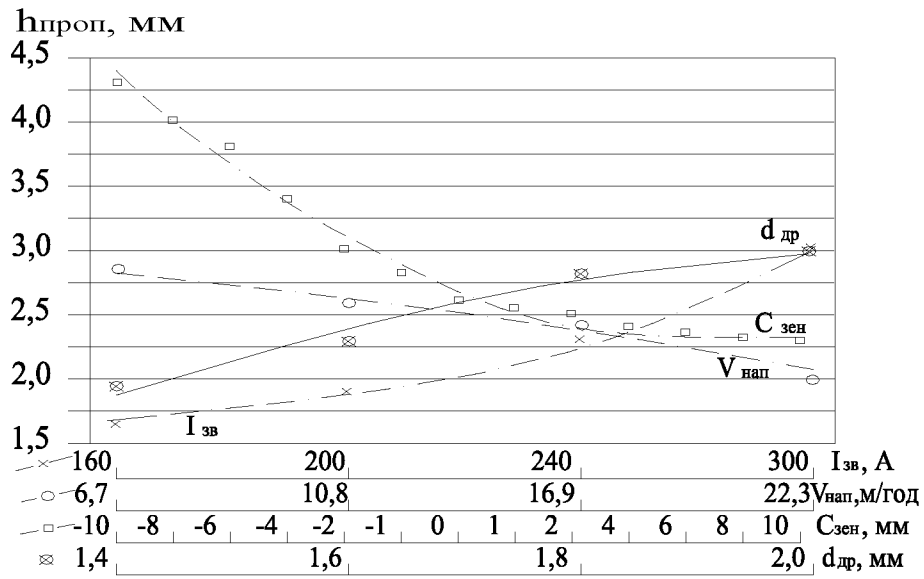
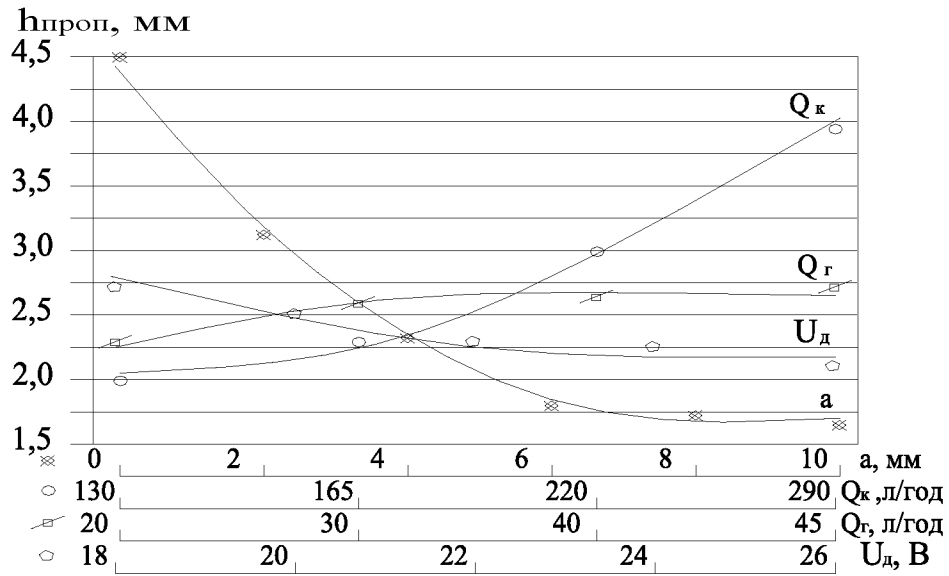


Рисунок 3.4 – Вплив параметрів режиму наплавлення на глибину проплавлення

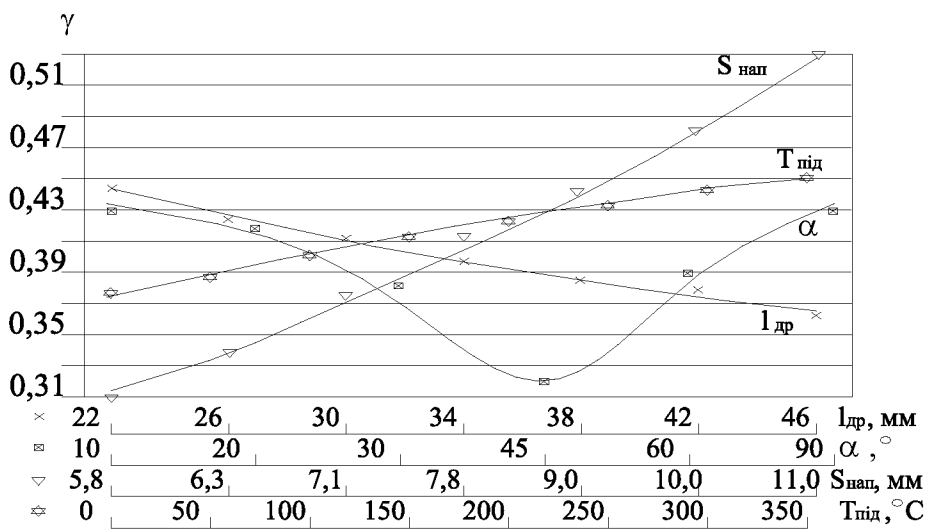
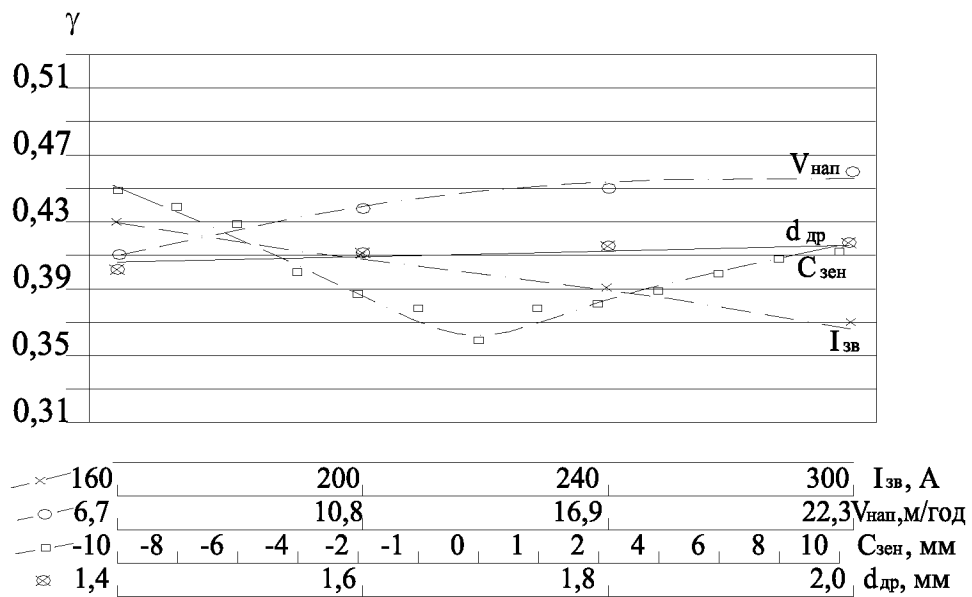
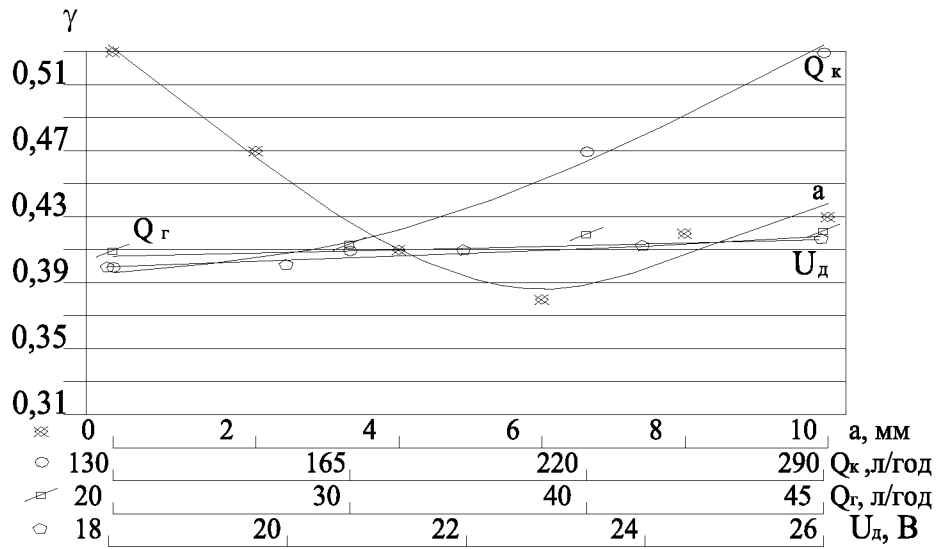


Рисунок 3.5 – Вплив параметрів режиму наплавлення на частку основного металу в наплавленому

Зважаючи на характер впливу швидкості наплавлення, можемо окреслити діапазон її значень 6,7...10,8 м/год, який забезпечує умову оброблюваність лезовим інструментом при твердості до 29 HRC<sub>E</sub>, підвищення продуктивності процесу наплавлення за рахунок отримання більш широкого валика наплавленого шару, забезпечення якісного формування наплавленого шару, забезпечування якісного формування наплавленого шару 4 – 5 балів і ресурсозбереження.

Сила зварювального струму має подібний за значимістю вплив на досліджувані параметри, але носить обернений характер. Так твердість наплавленого шару набуває свого найменшого значення 23 HRC<sub>E</sub> при максимальному значенні сили зварювального струму (рис.3.2). Такий вплив можна пояснити збільшенням тривалості горіння дуги, яка прямо пропорційна величині сили зварювального струму. Якість формування 4 бали при 160...200 А і 5 балів для більших значень сили зварювального струму. Отже, для забезпечення умови процес наплавлення рекомендується вести при силі зварювального струму 200...300 А.

Зміщення дротів з “зеніту” сприяє утворенню наплавленої поверхні із задовільною твердістю до 29 HRC<sub>E</sub> в діапазоні –1...+6 мм (рис.3.2). Слід відмітити, що меншій твердості відповідає і менше значення частки основного металу в наплавленому шарі (рис. 3.6). При значеннях +7...+10 мм спостерігалось інтенсивніше стікання розплавленого металу. В діапазоні 0...+5 мм якість формування шару складала 5 балів і погіршувалась до 2 балів при 0...-10 мм (стікання металу зварювальної ванни не спостерігалось). Межі зміни значень зміщення дротів з “зеніту”, які задовольняють поставленій умові, є 0...+5 мм.

Відстань між дротами 6 мм (рис.3.2) забезпечує найменшу твердість наплавленого шару 28...29 HRC<sub>E</sub>. Це можна пояснити мінімальною глибиною проплавлення 1,7...1,8 мм (рис.3.5) і часткою основного металу в наплавленому 0,37 (рис.3.6). При відстані між дротами 4...7 мм проявляється

ефект розщепленого електрода, а характер її впливу на твердість наплавленого шару.

Відстань між дротами 0...3 мм забезпечує підвищення твердості наплавленого шару до 42...31 HRC<sub>E</sub> (рис.3.2) при найбільшій глибині наплавлення 4,5...3,0 мм (рис.3.5) і частці основного металу в наплавленому 0,53...0,43 (рис.3.6). Таким чином межами варіювання відстані між дротами, які відповідають повній умові є 4,5...6 мм.

Дискретність подачі дротів у зварювальну ванну в межах 30°...60° забезпечує найнижчу твердість наплавленого шару, яка при  $\alpha=45^\circ$  складає 24 HRC<sub>E</sub> (рис.3.2). Таким чином межі варіювання дискретності подачі дротів у зварювальну ванну, які задовольняють умові є 30°...60°.

За результатами досліджень крок наплавлення зумовлює пропорційну зміну досліджуваних параметрів. Виходячи з встановленого характеру впливу кроку наплавлення на досліджуванні параметри і зазначеної умови, ефективними межами його варіювання є 5,8...6,3 мм.

Діапазон значень витрати кисню, який забезпечує умову необхідної твердості наплавленого шару, знаходиться в межах 165...290 л/год, з наданням переваги меншим значенням з точки зору ресурсозбереження і мінімально можливої частки основного металу в наплавленому.

Виходячи з умови ресурсощадності і неістотного впливу витрати газу слід вести наплавлення на менших витратах газу (20 л/год).

Якість формування наплавленого шару складала 4 бали і не залежала від напруги на дузі. Однак при збільшенні напруги на дузі до 26 В посилювався “тріск” дуги. Таким чином найбільш повно забезпечує необхідну умову напруга на дузі в межах 22...24 В.

Діаметр дроту майже не впливає на твердість наплавленого шару, яка складає 29...32 HRC<sub>E</sub> і частку основного металу в наплавленому (рис.3.6). З врахуванням отриманого результату і промислове виготовлення електродного дроту, оптимальним є наплавлення дротом діаметром 1,6 мм.

Збільшення вильоту дротів зменшує твердість наплавленого шару з 35 до 27 HRC<sub>E</sub> при  $I_{др} = 46$  мм. Виліт дротів 45 мм призводить до їх оплавлення майже біля торця наконечника. Тому для забезпечення умови наплавлення рекомендується вести при вильоті дротів у межах 32...34 мм.

Попереднє підігрівання поверхні, що наплавляється, до 350° С істотно знижує твердість наплавленої поверхні з 35 до 25 HRC<sub>E</sub>. Зниження твердості з підігрівом зумовлено процесами відпуску структур гартування, зняттям внутрішніх напружень. Якість формування наплавленого шару при підігріванні до 100° С складала 3 бали, до 100...150° С – 4 бали і до 200...350° С – 5 балів. Межами зміни температури попереднього підігріву які забезпечують умову є температура 150...350° С.

### 3.3. Мікротвердість і структура наплавленого шару

Основними показниками якості будь-якого з'єднання в тому числі і «наплавлений сталевий шар – сірий чавун» є характер структури, який, в значній мірі, визначає як механічні, так і технологічні властивості відновлених поверхонь. При наплавленні сталі на сірий чавун відбувається нагрівання і охолодження з різною швидкістю, а також дифузія вуглецю в перерізі поверхневого шару. Для оцінки цих процесів вимірювалась мікротвердість зразків наплавлених за оптимальним режимом.

Дослідженнями встановлено, що мікротвердість наплавленого шару (рис.3.7) складає 2760...3060 МПа така як і для вихідного чавуну. Це зумовлено перлітно-ферритною структурою (рис.3.8) дещо перегрітої сталі. З наближенням до зони сплавлення кількість фериту зменшується (рис.3.9). Це свідчить про зростання кількості вуглецю розчиненого з розплавленого шару чавуну.

В шарі наплавленої сталі товщиною 0,2...0,3 мм біля зони сплавлення

відмічено підвищення мікротвердості до 3560...3860 МПа (рис.3.7). Це зумовлено трооститною структурою біля зони сплавлення, а місцями перлітом і цементитом у вигляді сітки і пластин. Пластини цементиту спостерігаються безпосередньо біля зони сплавлення з чавуном. Наявність цементиту свідчить, що кількість вуглецю в цьому шарі перевищує 0,8%.

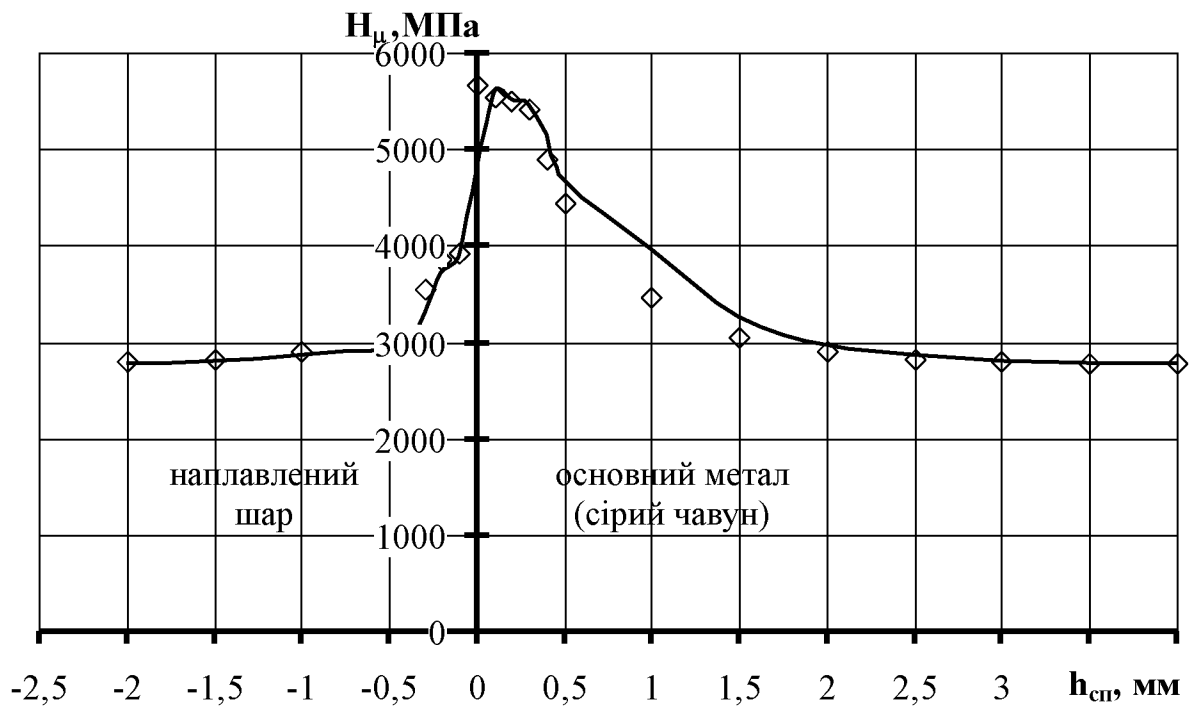


Рисунок 3.6 – Мікротвердість в перерізі з'єднання «наплавлений шар – сірий чавун»

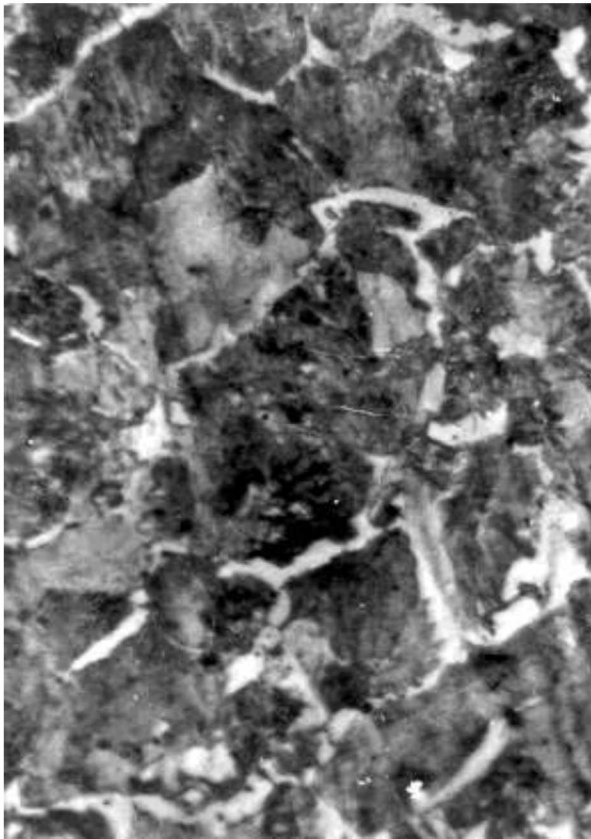


Рисунок 3.8 – Мікроструктура наплавленого шару у поверхні.  $\times 500$

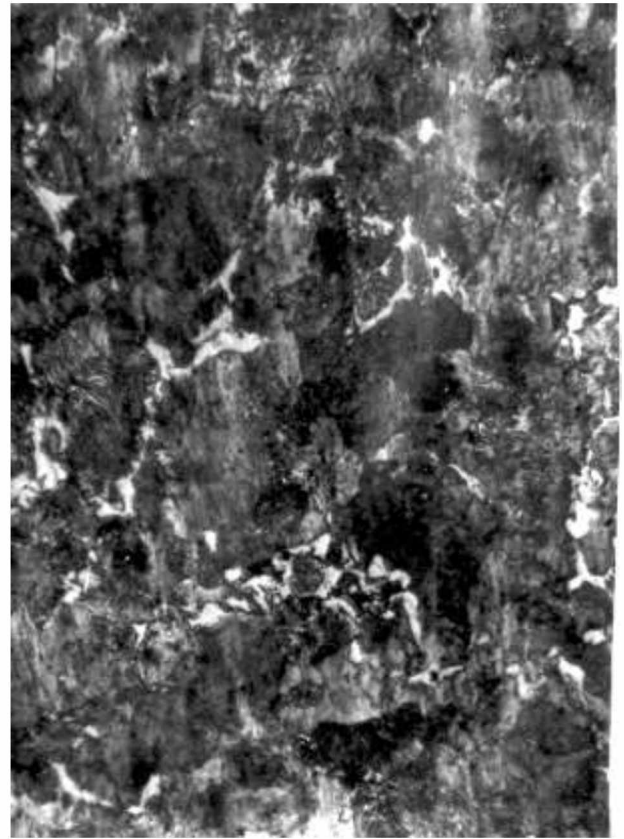


Рисунок 3.9 – Мікроструктура середньої зони наплавленого шару.  $\times 500$

В зоні сплавлення товщиною 0,1...0,3 мм мікротвердість складає 5420...5670 МПа. Така висока мікротвердість зумовлена місцевим вибілюванням чавуну з чітко вираженою структурою ледебуриту, цементиту і перліту.

Мікротвердість чавуну на відстані 0,15...0,20 мм від зони сплавлення зменшується і на глибині 0,5 мм складає 4320...4450 МПа. Це зумовлено графітно-мартенситно-цементитною структурою чавуну, а місцями структурою залишкового аустеніту, крупногочастого мартенситу і графіту. На відстані 1,4...1,5 мм від зони сплавлення мікротвердість чавуну досягає вихідної (вихідний чавун мав структуру перліту і пластинчастого графіту (рис.И.7)) і складає 2760...3060 МПа (рис.3.7). Таким чином при наплавленні чавуну на оптимальному режимі, структурні перетворення зумовлені нагрівом відбуваються в ньому лише на глибині до 1,5 мм.

## Висновки

При наплавленні розщепленим електродом можливо забезпечити оброблюваність наплавленого шару вже після однопрохідного наплавлення. Отримано значення твердості наплавленого шару 24...28 HRC<sub>E</sub>. Вирішальним критерієм отримання оброблюваного наплавленого шару є зменшення частки основного металу в наплавленому (зменшується вміст вуглецю в наплавленому шарі), і чим вона менша, тим менша твердість наплавленої поверхні.

Отримано значення частки основного металу в наплавленому до 16% в порівнянні з одноелектродним 43% і більш ширший наплавлений валик 21 мм в порівнянні з 3,5 мм при меншій величині 0,10% лінійної усадки в порівнянні з 1,4%. Це дозволяє забезпечити зниження тепловкладу в деталь при наплавленні, дає підстави очікувати підвищення тріщиностійкості наплавленої поверхні і підвищення продуктивності процесу за рахунок застосування вищого діапазону кроку наплавлення.

Даний спосіб наплавлення забезпечує безпористий наплавлений шар, тобто усуває одну з першопричин утворення відривів наплавленого шару на внутрішніх циліндричних поверхнях, що розширює його область застосування.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності 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, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітлені у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що зацікавлені у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою зацікавлених юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка здійснюється Міністерством екології та природних ресурсів України разом із Міністерством охорони здоров'я України.

При ремонті і відновленні деталей автотракторних двигунів основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- ПММ та продукти їх згорання, що утворюються під час обкатки двигунів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів, обкатувальних стендів та ін.

## **4.2. Охорона праці**

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

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому

впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

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

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як наука, 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.

## Висновки щодо підвищення стану охорони праці

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 розробки

Фактичний річний економічний ефект від використання розробленої технології відновлення розраховується за формулою (4.1) і дорівнює 99890 гривень.

$$E_p = \sum((B_i - B_{li}) A_{li}), \quad (4.1)$$

$E_p = (36,17 \cdot 1,11 - 12,19) \cdot 94 + (33,49 \cdot 1,11 - 6,85) \cdot 126 + (39,14 \cdot 1,11 - 7,32) \cdot 98 = 99890$  грн.

де  $E_p$  – річний економічний ефект, грн.;

$B_i$  – приведені витрати на придбання нової  $i$ -тої деталі (добуток середньої ринкової ціни на нову деталь  $C_i$  і коефіцієнта, який враховує транспортно-заготівельні витрати на нові деталі), грн.;

$B_{li}$  – приведені витрати на відновлення наплавленням однойменної спрацьованої  $i$ -тої деталі, грн.;

$A_{2i}$  – кількість відновлених наплавленням спрацьованих  $i$ -тих деталей в розрахунковому році.

Термін окупності капіталовкладень  $T$  розраховується за такою формулою:

$$T = 1,6 \Phi / (A_{2i} (C_i - C_{2i})). \quad (4.2)$$

$T = 1,6 \cdot 1817 / [(36,17 - 12,19) \cdot 94 + (33,49 - 6,85) \cdot 126 + (39,14 - 7,32) \cdot 98] = 0,33$  роки.

де  $C_{2i}$  – собівартість відновлення наплавленням однойменної  $i$ -тої деталі, грн;

$\Phi$  – виробничі фонди цеху відновлення деталей (сума вартості обладнання, яке використовується при відновленні деталей, вартість його транспортування і монтажу з врахуванням складських витрат).

Економічна ефективність технології відновлення корпусних чавунних деталей наплавленням розщепленим електродом визначається тим, що відносна собівартість відновлення деталі менша чи рівна вартості нової деталі (відносній собівартості виготовлення нової деталі) або коли витрати на відновлення виправдовуються збільшенням ресурсу їх експлуатації, тобто виконується така умова [29]:

$$C_{1i} / t_B \leq C_i / t_H, \quad (4.3)$$

де  $t_B, t_H$  – середній ресурс відповідно відновленої і нової деталі, год.

Зважаючи на те, що ресурс відновлених деталей і нових однаковий можемо формулу (4.3) подати у такому вигляді:

$$C_{1i} \leq C_{1i}, \quad (4.4)$$

Тоді відносна ефективність технології  $E_0$  визначається з такого виразу:

$$E_0 = \Sigma C_i / \Sigma C_{1i} \geq 1. \quad (4.5)$$

$E_0 = (36,17 + 3,49 + 39,14) / (12,19 + 6,85 + 7,32) \geq 1; \Rightarrow E_0 = 108,8 / 23,36 \geq 1; \Rightarrow E_0 = 4,66 \geq 1.$

Показники техніко-економічної ефективності використання технології відновлення чавунних деталей за технологією наплавлення розщепленим електродом наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники техніко-економічної ефективності використання розробленої технології відновлення чавунних деталей

| Назва показника  | Одиниці виміру | Значення показника |
|--|----------------|--------------------|
| 1. Річний об'єм відновлення  | шт.            | 300                |
| 2. Загальні капіталовкладення                                      | грн.           | 29000              |
| 3. Питомі капіталовкладення у виробничі фонди:                     | грн./шт.       |                    |
| корпус підшипника  |                | 23,3               |
| кришка   |                | 20,5               |
| шків   |                | 28,0               |
| 4. Продуктивність процесу:   |                |                    |
| - коефіцієнт розплавлення  | г/(А год.)     | 23,8               |
| - коефіцієнт втрат електродного матеріалу на угар і розбризкування | %              | 8,6                |
| 5. Витрата електроенергії при відновленні на одну деталь           | кВт·год.       | 1,54               |
| 6. Собівартість відновлення деталі типу:                           | грн.           |                    |
| корпус підшипника  |                | 118,4              |
| шків   |                | 69,0               |
| кришка   |                | 65,4               |
| 7. Річний економічний ефект на виробництві                         | грн            | 99890              |
| 8. Термін окупності  | роки           | 0,33               |

Отже, сумарний фактичний річний економічний ефект від впровадження технології відновлення за 2018 рік дорівнює 99890 гривень з терміном окупності капіталовкладень 0,33 року.

Ефективність розробленої технології у порівнянні з відомою (базова) визначали за методикою [30] через відносну собівартість відновлення деталі.

$$C_1 + E_n K_1 > C_2 + E_n K_2, \quad (4.6)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – собівартість відновлення за технологією наплавлення одиночним дротом Св-08А з газополуменевим захистом (базова) і за технологією наплавлення розщепленим електродом (розроблена), грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ( $E_n=0,15$  [30]);

$K_1$  і  $K_2$  – капітальні витрати при впровадженні технологій відновлення чавунних деталей наплавленням з газополуменевим захистом, відповідно, одиночним і розщепленим електродом, прийнято рівними один одному, зважаючи на те, що різниця в застосовуваному обладнанні тільки в мундштуках і подаючих роликах вартість виготовлення яких однакова, тому формулу 4.6 можна представити у виді:

$$C_1 > C_2, \quad (4.7)$$

Розрахунок собівартості відновлення за технологією наплавлення одиночним дротом і основні статті витрат зведено до табл.4.3.

Таблиця 4.3 – Собівартості відновлення за базовою і розробленою технологіями на прикладі деталі типу «корпус підшипника»

| Статті витрат                              | Витрати, грн. |             |
|--|---------------|-------------|
|  | Базовий       | Розроблений |
| Вартість підготовки деталі для відновлення | 0,52          | 0,13        |
| Вартість наплавлення деталі, в тому числі  | 55,5          | 32,7        |
| вартість електродного матеріалу (дроту)    | 34,8          | 23,2        |
| вартість газів (пропан-бутану і кисню)     | 15,0          | 6,4         |
| вартість електроенергії                    | 5,7           | 3,1         |
| Вартість обробки деталі після наплавлення  | 15,8          | 15,8        |
| Вартість амортизаційних відрахувань        | 2,42          | 2,42        |
| Собівартість відновлення                   | 190,7 > 118,4 |             |

Отже, собівартість відновлення за технологією відновлення одиночним дротом в 1,6 рази більша за собівартість відновлення за розробленою технологією. Це зумовлено зменшенням трудомісткості робіт з підготовки деталі до наплавлення (відмова від проведенні попереднього проточування) та робіт з наплавлення (наплавлення здійснюється за один прохід). Разом з цим, розроблена технологія характеризується ресурсоощадністю, так витрати матеріалів і електроенергії в процесі наплавлення менші, відповідно, в 1,7 рази і в 1,8 рази.

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу складе 99890 гривень з терміном окупності капіталовкладень 0,33 року.

### **Висновки**

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія відновлення робочих поверхонь корпусних чавунних деталей сільськогосподарських машин є безпечною для навколишнього середовища.

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

Річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу відновлення поверхонь деталей складе 99890 гривень з терміном окупності капіталовкладень 0,33 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення довговічності корпусних деталей бурякозбиральних машин можливо досягти застосуванням ефективної технології їх відновлення, з новими технічними рішеннями, що дозволить підвищити якість ремонту і, в цілому, міжремонтний ресурс машини та знизити затрати на усунення відказів.

2. При виборі методів досліджень перевагу надано тим методам, які надійно апробовані в роботах інших дослідників і набули широкого застосування на практиці: статистичний аналіз, метод відбору проб досліджуваного матеріалу, механічні випробування та інші.

3. Запропонована структурно-логічна схема аналітичного визначення параметрів режиму технологічної операції наплавлення ґрунтується на умові забезпечення максимальної продуктивності операції і враховує конструктивні особливості корпусних деталей та технологічні параметри, які залежать від способу наплавлення.

4. Запропоновано відновлення чавунних корпусних деталей наплавленням сталевому шару розщепленим електродом, яке дозволяє забезпечити оброблюваність наплавленого шару вже після однопрохідного наплавлення. Отримане значення твердості наплавленого шару складає 24...28 HRC<sub>E</sub>. Даний спосіб наплавлення забезпечує безпористий наплавлений шар, досить високу продуктивність 20,2 г/(А·год.) і задовільні умови для подальшої механічної обробки різальним інструментом.

5. Річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу відновлення поверхонь деталей складе 99890 гривень з терміном окупності капіталовкладень 0,33 року.