

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.11 - МР.2223 С 2023.12.07. 089 ПЗ

**БУЛАХ МИКОЛА ІГОРОВИЧ**

**2024 р.**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.354:621.81

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко - технологічного факультету

\_\_\_\_\_  
(підпис) Вячеслав БРАТШКО  
(ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного  
(назва кафедри)  
менеджменту імені М.П. Момотенка

\_\_\_\_\_  
(підпис) Іван РОГОВСЬКИЙ  
(ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему Удосконалення ремонтпридатності поперечних планок основного підбарання комбайнів «Claas»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**  
доктор технічних наук, професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Братішко Вячеслав Вячеславович  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**  
д.т.н., проф. каф.  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Ганженко Олександр Миколайович  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_  
(підпис) Булах Микола Ігорович  
(ПІБ)

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Механіко – технологічний факультет**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

д.т.н., проф. Іван РОГОВСЬКИЙ  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Булаху Миколі Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення ремонтпридатності поперечних планок основного підбарабання комбайнів «Claas»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 р. № 2223 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню питання технологічних операцій механізованого обробітку ґрунту

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Сучасний стан питання ремонту комбайнів «Class»

2. Теоретичне обґрунтування параметрів процесу відновлення поперечних планок підбарабань комбайнів tusano «Class»

3. Проведення експериментальних досліджень

4. Аналіз та обробка результатів досліджень

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 15 слайдах

Дата видачі завдання «10» листопада 2023 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_

(підпис)

Ганженко О.М.

(прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання** \_\_\_\_\_

(підпис)

Булах М.І.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи 85 сторінок, у тому числі 76 сторінок основного тексту, 22 рисунки, 12 таблиць та 1 схема.

Робота присвячена підвищенню довговічності підбарабань зернозбиральних комбайнів TUCANO «CLAAS» шляхом відновлення зношених поперечних планок.

Вивченню процесу відновлення деталей машин наплавленням і ремонту молотильних апаратів комбайнів присвячені роботи багатьох вчених. Однак запропоновані технології і методи не відображають повною мірою технологію наплавлення поперечних планок підбарабань і тому не можуть бути використані без додаткових досліджень для відновлення деталей комбайнів імпортного виробництва.

Результатом теоретичних досліджень стала розроблена технологія відновлення підбарабань комбайна TUCANO «CLASS» в середовищі вуглекислого газу та встановлені граничні значення допустимої величини твердості наплавленого матеріалу на основі електрохіманаліза вихідного матеріалу (підбарабаня).

Для визначення невідомих зовнішніх величин моделі було здійснено ряд експериментальних досліджень, які підтвердили адекватність прийнятої математичної моделі. У якості означених характеристик, що були емпірично визначені прийнято: силу напруги та діаметр електроду.

Використання методу векторної оптимізації дозволило визначити оптимальні параметри процесу в розглянутій конструкції підбарабаня. Також запропоновано оптимальні параметри, що дозволяють на основі експериментальних даних виконати процес відновлення підбарабаня шляхом наплавлення поперечних планок.

Ключові слова: підбарабаня, наплавлення, комбайн, поперечні планки, оптимізація, коефіцієнт корисної дії.

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ.....</b>	<b>3</b>
<b>ЗМІСТ.....</b>	<b>4</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ РЕМОНТУ КОМБАЙНІВ «CLASS».....</b>	<b>9</b>
1.1. Огляд технологій і засобів для відновлення вузлів і деталей молотильно-сепаруючого пристрою зернозбиральних комбайнів «CLASS» TUCANO.....	9
1.2. Технології та обладнання для діагностики, обслуговування та ремонт молотильного апарату комбайна TUCANO «CLASS».....	14
1.3. Аналіз технології та засобів відновлення поперечної планки основного підбарабаня молотильного апарату комбайна TUCANO «CLASS».....	18
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ПЛАНОК ПІДБАРАБАНЬ КОМБАЙНІВ TUCANO «CLASS».....</b>	<b>25</b>
2.1. Завдання теоретичних досліджень, визначення оптимальних параметрів наплавлення.....	25
2.2. Розрахунок та обґрунтування параметрів наплавлення.....	26
2.2.1. Розрахунок та обґрунтування геометричних параметрів наплавлення.....	26
2.2.2. Розрахунок твердості та обґрунтування умов отримання якісної наплавочної.....	31
2.3. Розрахунок та обґрунтування зносостійкості наплавленої поверхні	33
<b>РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>43</b>
3.1. Загальні положення та методика проведення експериментальних досліджень.....	43
3.2. Визначення марки, твердості і властивостей металу підбарабаня комбайнів TUCANO «CLASS».....	

3.3. Підготовка та наплавлення зразків.....	
3.4. Обробка експериментальних даних	47
<b>РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>58</b>
Аналіз результатів лабораторних експериментів.....	58
Аналіз результатів виробничих експериментів.....	64
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>69</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>71</b>

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Аналіз напрямків модернізації та ремонту техніки в Україні та за кордоном, опитування експертів і думок вчених і фахівців показують, що найбільш перспективними з них є підвищення продуктивності машин, їх надійності, економічності і комфортності обслуговування. Підвищення надійності відремонтованих машин повинно відбутися за рахунок використання більш досконалих конструкцій агрегатів, нових матеріалів, технологій, в тому числі при відновленні деталей. [6, 61,91,101,145].

Великі можливості підвищення ресурсу відновлених деталей при ремонті і модернізації сільськогосподарської техніки (в тому числі комбайнів) відкривають технології наплавлення, нанесення зміцнюючих покриттів, в тому числі композиційних, які увійшли до переліку критичних технологій.

Позитивним прикладом застосування наплавлення металів в сільському господарстві може бути відновлення поперечних планок підбарабань (ППП) зернозбиральних комбайнів іноземного виробництва. В процесі експлуатації комбайна при обмолоті зернових культур відбувається значний знос поперечних планок підбарабань, що призводить до недовимолоту і відповідно технологічних і виробничих втрат зерна [46,61,91].

На даний момент для відновлення іноземних комбайнів, потрібна розробка технологій, обладнання, рекомендацій для проведення відповідного ремонту з метою забезпечення заданої твердості покриття і оптимізації собівартості виконуваних робіт в умовах сучасної ринкової економіки. Вартість нового підбарабаня для комбайну CLAAS станом на 10.05.2019 р становить 3450 €. І це вагомий аргумент на користь розробки технології відновлення підбарабань імпортованих комбайнів в Україні. [6,46,61,91,143].

Тому дослідження, які проводяться в цьому напрямку і яким присвячена ця робота, є дуже актуальними в світлі підвищення довговічності вузлів і агрегатів комбайнів TUCANO CLAAS. Зокрема, відновлення поперечних планок підбарабань комбайнів (далі по тексту ПППК) TUCANO CLAAS

узгоджується з програмою імпортозаміщення.

Вивченню процесу відновлення деталей машин наплавленням і ремонту молотильних апаратів комбайнів присвячені роботи вчених. Однак запропоновані технології і методи не відображають повною мірою технологію наплавлення поперечних планок підбарабань і тому не можуть бути використані без додаткових досліджень для відновлення деталей комбайнів імпортного виробництва.

**Мета дослідження.** Підвищення довговічності підбарабань зернозбиральних комбайнів TUCANO «CLAAS» шляхом відновлення зношених поперечних планок. Для досягнення мети роботи поставлені наступні завдання досліджень:

1. Проаналізувати причини несправностей і способи відновлення молотильних апаратів комбайнів TUCANO «CLASS» і вибрати найкращий для підвищення довговічності.
2. Обґрунтувати режимні параметри відновлення поперечних планок підбарабанням комбайна TUCANO «CLASS» в середовищі вуглекислого газу.
3. Розробити технологію відновлення ПППК TUCANO «CLASS» звизначенням хімічного складу вихідного металу.
4. Дослідити відновлені підбарабанням комбайна TUCANO «CLASS» в лабораторних умовах.

**Об'єкт дослідження.** Підбарабанням комбайна TUCANO «CLASS».

**Предмет дослідження.** Технологічні процеси нанесення металу на зношені поперечні планки підбарабання комбайна TUCANO «CLASS» в середовищі вуглекислого газу.

**Методологія і методи дослідження.** Теоретичні дослідження базувати на відомих законах математики, фізики, хімії та ін. наук. Для отримання розрахункових залежностей використовувалася теорія подібності, розмірності і моделювання фізико-хімічних процесів, що дозволяють встановити параметри і режими відновлення підбарабань комбайна TUCANO «CLASS» Дослідження

проводилися на основі відомих і приватних методик з використанням теорії планування експерименту, сучасних приладів і ПК, спеціально розроблених установок і стендів, а також комп'ютерного моделювання в компасі - 3D.

Наукова гіпотеза: підвищення довговічності підбарабань зернозбиральних комбайнів TUCANO «CLASS» за допомогою наплавлення поперечних планок в середовищі вуглекислого газу.

**Наукова новизна роботи:**

- розроблена технологія відновлення підбарабань комбайна TUCANO «CLASS» в середовищі вуглекислого газу;
- встановлені граничні значення допустимої величини твердості наплавленого матеріалу на основі електрохімічного аналізу вихідного матеріалу (Підбарабанням);

**Теоретична і практична значущість роботи.** Отримано аналітичні залежності визначення технологічних параметрів наплавлення підбарабань комбайна TUCANO «CLASS» в середовищі вуглекислого газу: сила струму  $I$ , напруга дуги  $U$ , діаметр електродного дроту  $d_E$ , марка електродного дроту підтверджені лабораторними випробуваннями, дозволяють розширити знання в теорії відновлення деталей машин імпортного виробництва.

## РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ РЕМОНТУ КОМБАЙНІВ «CLAAS»

### 1.1 Огляд технологій і засобів для відновлення вузлів і деталей молотильно-сепаруючого пристрою зернозбиральних комбайнів «CLAAS» TUCANO.

У комплекс основних машин для збирання зернових культур на території України входять такі зернозбиральні комбайни іноземного виробництва марок John Deere, CLAAS, Case, New Holland тощо.

Однією з найважливіших складових технічного рівня зернозбирального комбайна є його надійність. Надійність сільськогосподарської техніки оцінюють при експлуатаційних випробуваннях з обов'язковим виконанням передбаченого нормативними матеріалами обсягу робіт за основним призначенням машини відповідно до існуючої нормативно-технічної документації.

Основними показниками надійності згідно нормативних документів прийняті:

- напрацювання на одну технічну відмову,  $T_B$ , г (т, га);
- коефіцієнт готовності,  $K_G$ .

При визначенні показників надійності для зернозбиральних комбайнів сумарний обсяг робіт повинен становити  $T_{\Sigma} \geq 200$  годин.

Всі технічні відмови, що виникають при роботі зернозбиральних комбайнів, ділять по тяжкості наслідків, тривалості і трудомісткості їх усунення на три групи [20,28,34]:

- I група складності - дрібні відмови, легко виявляються і усуваються, як правило, самим комбайнером з використанням наявного на комбайні інструменту, запасних частин і пристосувань;
- II група складності - відмови середньої тяжкості, які потребують для їх усунення пересувного обладнання, яке ремонтується (в тому числі

зварювання) і додаткового кваліфікованого ремонтного персоналу (фахівців з двигунів, гідравліки, електроустаткування, електроніці, та т.п.);

➤ III група складності - важкі відмови базових пристроїв і систем комбайна, що виводять його з роботи на досить тривалий термін і що вимагають для їх усунення проведення спеціалізованого ремонту (відмови двигуна зі зламом колінчастого валу, тріщинами блоку-картера або головки блоку; мосту ведучих коліс з руйнуванням зубчастих коліс, корпусів коробки діапазонів або бортових редукторів і т.п.).

Відмови III групи складності на зернозбиральних комбайна не допускаються. При виявленні таких відмов конструкція комбайна повинна вважатися непридатною до масового виробництва і використання в сільському господарстві.

Високий загальний рівень зарубіжного сільгоспмашинобудування, двигунобудування, виробництва гідрообладнання, електрообладнання, електроніки, приводних, гумотехнічних і інших виробів, високу якість металута інших конструкційних і експлуатаційних матеріалів забезпечують підвищену, але далеко не на порядок, надійність зарубіжних зернозбиральних комбайнів. В зв'язку з цим цікаві відгуки сільськогосподарських виробників європейських країн про надійність окремих складових частин зернозбиральних комбайнів компанії CLAAS згідно даних німецьких сільсько-господарських видань (Рис. 1.1) [4,101,145].



Рис. 1.1 - Діаграма несправностей зернозбиральних комбайнів CLAAS0  
Найбільша кількість відмов припадає на жнивну частину (36%), також значна

кількість відмов (23%) відбувається в клиноремінних і ланцюгових передачах. На 6% менше відмов в електроніці та на (9%) в гідравлічній системі порівнянні з жнивної частиною. І найбільш безвідмовними є робочі органи молотильного апарату (10%). Але при цьому, саме молотильний апарат має найбільший вплив на якість обмолоту, недовимолот, травмування і втрати зерна.

Модельний ряд комбайнів TUCANO «CLAAS» оснащують молотильною системою APS (Accelerated Pre Separation - прискорення перед обмолотом). Молотильно-сепарувальний пристрій зернозбиральних комбайнів TUCANO «CLAAS» складається з наступних основних частин: реверсивний барабан, молотильний барабан, підбарабання, барабан прискорювач, сегментне підбарабання МУЛЬТІКРОП, органи управління і контролю. Основні технічні характеристики модельного ряду TUCANO «CLAAS» представлені в Додатку Б. Конструктивна схема зернозбирального комбайна TUCANO «CLAAS» представлена в Додатку В.

В основі молотильного пристрою APS використаний ефект молотильного барабана-прискорювача, встановленого перед основним молотильним барабаном, що дає перед класичним МСП наступні переваги:

- підвищення швидкості проходження руху матеріалу через основний барабан;
- частковий обмолот зерна при проходженні матеріалу через сегментне підбарабання МУЛЬТІКРОП до потрапляння на основний барабан;
- збільшення площі сепарації зерна за рахунок збільшення кута охоплення молотильного барабана його підбарабанням до 151°;
- змінні сегменти підбарабанн МУЛЬТІКРОП дозволяють перелаштувати комбайн на інші культури, забезпечити його роботу при зміні погодних умов.

Для визначення найбільш значущих дефектів МСП, розглянемо основні ключові техніко-експлуатаційні параметри молотильного апарату, що впливають на якісний, кількісний склад обмолочуваної маси і відповідно втрати згідно з технологією обмолоту, представленої на Рис. 1.2:

- технологічні зазори (між робочими частинами барабана прискорювача і поперечними планками підбарабання МУЛЬТІКРОП);
- технологічні зазори (між бичами бильного барабана і поперечними планками підбарабання);
- частота обертання бильного барабана і барабана прискорювача.

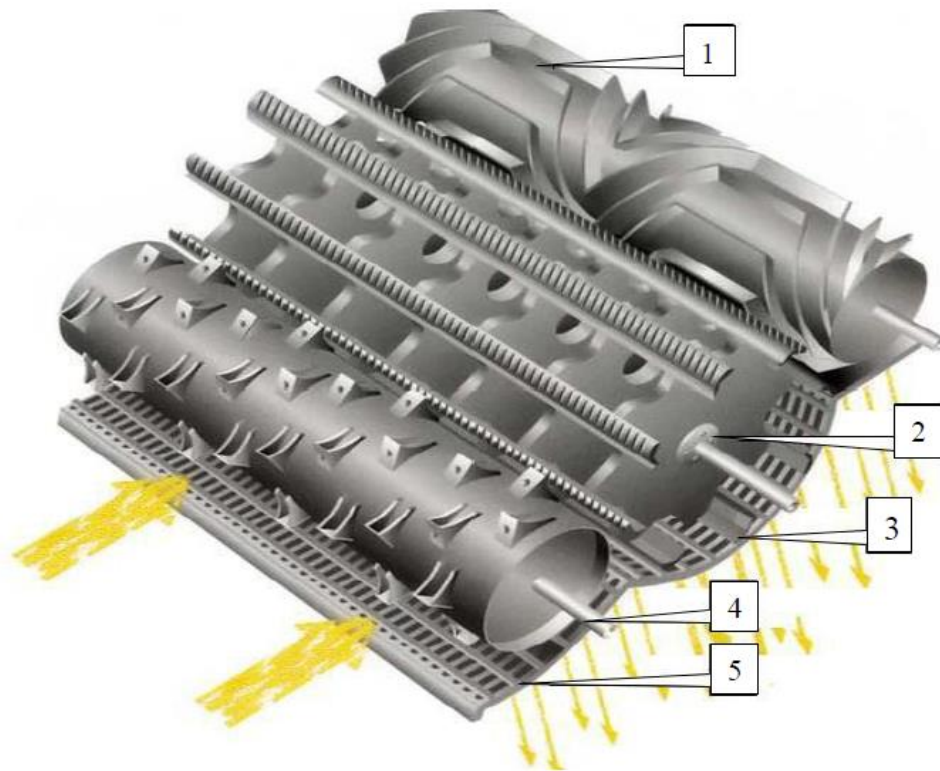


Рис. 1.2 - Конструктивна схема МСП зернозбирального комбайна TUCANO «CLAAS» 1 - реверсивний барабан; 2 - бильний барабан; 3 - підбарабання; 4 - барабан прискорювач; 5 - сегментное підбарабання МУЛЬТІКРОП

Згідно з дослідженнями втрати зерна під час збирання складаються з втрат за окремими робочими органами комбайна, які значною мірою визначаються конструкцією і технічним станом молотильного апарату.

Вирішальна роль в молотильного апарату належить підбарабанню, як пристрою. Беручи до уваги те, що основний вимолот зерна 70...80% відбувається через сепаруючу деку, значить технічний стан підбарабання є основною ланкою технологічного ланцюга зернозбирального комбайна.

Для подальшого дослідження питання розглянемо дефекти молотильного апарату та причини, що їх викликають. На рис. 1.3 представлені причини дефектів молотильного апарату комбайнів TUCANO «CLAAS».



Рис 1.3 Причини дефектів молотильного апарату комбайнів «CLAAS» за період 2016р. - 2023 р. (за даними ТОВ «Європейська Агротехніка»)

Аналіз робіт спрямованих на дослідження дефектів молотильного апарату, дозволяє зробити наступні висновки :

➤ основні дефекти молотильного пристрою припадають на експлуатаційну напрацювання зернозбирального комбайна (85% всіх дефектів молотильного апарату);

➤ експлуатаційна напрацювання призводить до зносу робочих поверхонь, тоді як потрапляння в молотильний апарат сторонніх предметів призводить не тільки до зносу робочих органів, а й серйозних пошкоджень вузлів, внаслідок яких ремонт буде більш технологічно складним (усунення деформацій, прогинів, відновлення правильної геометрії деталей, балансування і т.д.), отже - дорогим;

Основна причина недовимолоту зерна - це знос робочих поверхонь поперечних планок підбарабань комбайнів TUCANO «CLAAS» внаслідок збільшення експлуатаційного напрацювання комбайна.

## 1.2 Технології та обладнання для діагностики, обслуговування та ремонту молотильного апарату комбайна TUCANO «CLAAS»

Технічне обслуговування та ремонт самохідних зернозбиральних комбайнів CLAAS переважно проводиться в умовах господарств, за місцем експлуатації.

Варто зазначити, що основні операції, рекомендовані заводом виробником носять переважно характер технічного обслуговування (Контроль, перевірка, підтяжка, очищення, регулювання), але в той же час вказується при необхідності на ремонт основного барабана і основного підбарабання. докладних технічних операцій по ремонту вузлів і деталей молотильного апарату завод-виробник не надає (незважаючи на звернення), це пояснюється комерційною зацікавленістю заводу-виробника і регіональних дилерів в придбанні нових вузлів і деталей споживачами.

На основі практичних даних про проведені ремонти МСУ та теоретичних досліджень з даного питання складена таблиця основних технологій ремонту вузлів і деталей молотильного апарату зернозбиральних комбайнів модельного ряду TUCANO «CLAAS» (Таблиця 1.1).

У випадках, коли ремонт проводиться без участі офіційного дилера операції по відновленню вузлів та деталей молотильного апарату TUCANO «CLAAS» виконуються безпосередньо в умовах майстерень господарств. технологічні карти на ремонт і відновлення деталей і вузлів розробляються фахівцями майстерень господарств, на основі власного досвіду, наявного матеріально-технічного забезпечення, і ресурсної бази.

Таблиця 1.1

Основні технології ремонту (відновлення) вузлів і деталей молотильного апарату

Спосіб ремонту (відновлення)	Основне підбарабання	Основний барабан	Сегментне підбарабання МУЛЬТІКРОП	Барабан (Прискорювач, реверсивний)
------------------------------	----------------------	------------------	--------------------------------------	------------------------------------

Механічний	Затиск знятого підбарабання на стенді і правка (усунення деформацій) поперечних планок, поздовжніх прутків за допомогою інструментів, пристосувань використанням нагріву	Затиск знятого барабана на стенді і правка (усунення деформацій) підбічників, бичів, вала за допомогою інструментів, пристосувань використанням нагріву	Затиск знятого барабана на стенді і правка (усунення деформацій) поперечних планок, поздовжніх прутків за допомогою інструментів, пристосувань використанням нагріву	Затиск знятого барабана на стенді і правка (усунення деформацій) робочих органів (лопаток), вала за допомогою інструментів, пристосувань використанням нагріву
Балансування		Балансування барабана на стенді		Балансування барабана на стенді
Ремонт з використанням зварювальних операцій	Використання зварювальних операцій в місцях руйнування зварювальних швів і появи тріщин	Використання зварювальних операцій в місцях руйнування зварювальних швів	Використання зварювальних операцій в місцях руйнування зварювальних швів і появи тріщин	Використання зварювальних операцій в місцях руйнування зварювальних швів і посилення робочих органів

Ремонт заміною робочих органів	з	Заміна зношених бичів потаємних болтів	Заміна зношених (пошкоджених ) секцій підбарабання. Перестановка	
Відновлення робочих поверхонь використання м процесів направлення та подальшим розточенням	Відновлення поперечних зпланок підбарабання з подальшою розточкою			

У випадках, коли ремонт проводиться без участі офіційного дилера операції по відновленню вузлів та деталей молотильного апарату TUCANO «CLAAS» виконуються безпосередньо в умовах майстерень господарств. технологічні карти на ремонт і відновлення деталей і вузлів розробляються фахівцями майстерень господарств, на основі власного досвіду, наявного матеріально-технічного забезпечення, і ресурсної бази.

На підставі вищевикладеного можна зробити наступні висновки:

➤ проведення ремонту вузлів, деталей молотильного апарату комбайнів фірми «CLAAS» з використанням методів відновлення деталей, застосовуваних до молотильним апаратів вітчизняного виробництва можливо з доопрацюванням наявних технологій і розробкою засобів відновлення, враховують специфіку молотильного апарату фірми «CLAAS» (Геометричні розміри деталей, марку металу, характер роботи МСУ і т.д.);

➤ найбільш складними (трудомісткими, витратними) операціями по

ремонту і відновленню вузлів молотильного апарату є: балансування барабанів (основний, прискорювач, реверсивний) і відновлення поперечних планок підбарабань;

Операції по балансуванню барабанів можуть бути проведені на вітчизняних стендах з використанням технічних вимог заводу-виробника, а при їх відсутності з використанням даних по балансуванню зразкового (тарованого) барабана.

Складніше йде справа з основним підбарабанням так в разі зносу робочих граней вхідного підбарабанням «Мультікроп» можлива заміна та / або перестановка окремих зношених секцій, то при зносі робочих граней основного підбарабання потрібно відновлення їх або заміна на нове підбарабанням. Необхідно також відзначити, що у підбарабань комбайнів, ACROS 530/580 і т.д. симетричність конструкції, забезпечує його оборотність (тобто в разі зносу передніх кромки поперечних планок, підбарабання можна зняти, повернувши на 180° в горизонтальній площині, знову встановити, в цьому випадку зношені кромки подадуться назад у напрямку обертання барабана), то у випадку з основним підбарабанням «CLAAS» виконати дану операцію буде не можливо (так як основне підбарабання «CLAAS» по геометричним параметрами не симетрично згідно рис. 1.4).

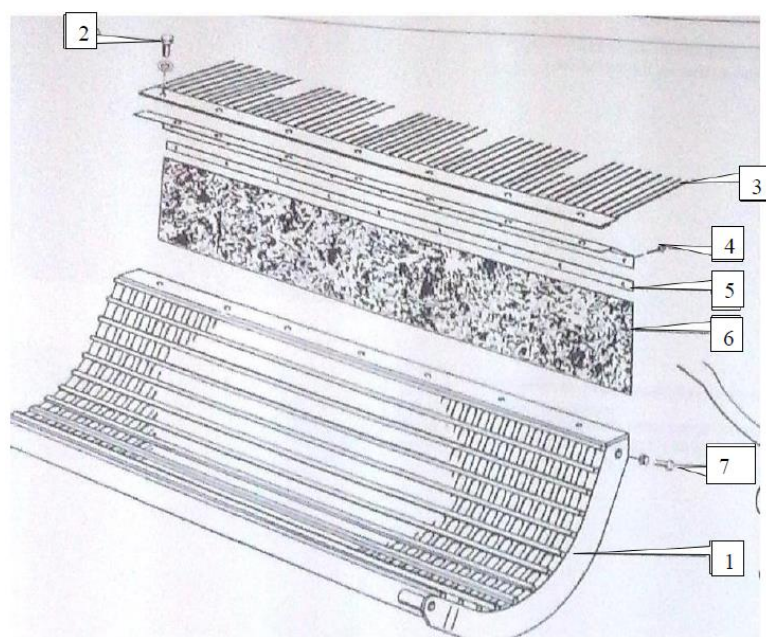


Рис. 1.4 Конструкція основного підбарабання TUCANO «CLAAS»

1 - основне підбарабання; 2 - гвинт з шестигранною головкою; 3 - решітка підбарабанням; 4 - глуха заклепка; 5 - затискна планка; 6 - фартух; 7 - гвинт з шестигранною головкою.

Цей факт створює передумови для проведення подальших досліджень спрямованих на підвищення ефективності ремонту зернозбиральних комбайнів TUCANO «CLAAS», в аспекті вибору і обґрунтування оптимальної технології відновлення поперечних планок підбарабання.

### **1.3 Аналіз технології і засобів відновлення поперечної планки основного підбарабання молотильного апарату комбайна TUCANO «CLAAS»**

На підставі практичних даних, нормативно-технічної документації зернозбиральних комбайнів був складений технологічний процес відновлення поперечної планки підбарабанням Таблиця 1.2.

Таблиця 1.2

Технологічний процес відновлення робочих граней поперечних планок основного підбарабання молотильного апарату комбайна TUCANO «CLAAS

№ п/п	Технологічна операція
1.	Демонтаж основного підбарабання з комбайну;
2.	Очистка, дефектація та підготовка до ремонту підбарабання;
3.	Відновлення робочих поверхонь поперечних планок підбарабання наплавленням;
4.	Механічна обробка робочих поверхонь поперечних планок підбарабань до номінальних розмірів;
5.	Монтаж основного підбарабання на комбайн. Регулювання. Обслуговування.

З усіх операцій, зазначених у даному процесі, заводом-виготовлювачем

«CLAAS» не надано технічну інформацію по п.3 «Відновлення робочих поверхонь наплавленням» і п.4 «Механічна обробка». Процес механічної обробки робочих поверхонь, як правило, виробляється на токарно-гвинторізних верстатах з дотриманням профілю та технічних розмірів до стану нового підбарання.

Аналіз наукових робіт по наплавленню, показав доцільність рішення проблеми відновлення поперечних планок зернозбиральних підбарань в середовищі захисного газу. У той же час технічних рішень і технологій відновлення поперечної планки основного підбарання молотильного апарату комбайна TUCANO «CLAAS» зараз покине розроблено.

Наплавка - це нанесення шару металу на поверхню заготовки або виробу за допомогою зварювання плавленням. Відновлювальна наплавка застосовується для відновлення початкових розмірів зношених або пошкоджених деталей. В цьому випадку наплавлений метал може бути близький за складом і властивостями основного металу (відновна розмірна наплавка) або відрізнятися від них (Відновна зносостійка наплавка).

Наплавляється метал в процесі перемішування з основним металом і взаємодії з повітрям і шлаком змінює, свої властивості і відрізняється по складом від електродного (присадочного) металу [48,49].

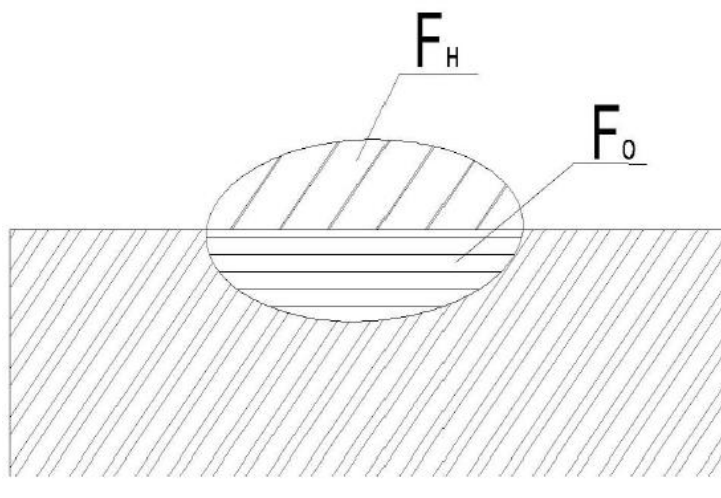


Рис.1.5 Перетин наплавленого валика:  $F_o$  - площа перетину розплавленого основного металу;  $F_n$  - площа перетину наплавленого металу.

Частка основного металу в наплавленому шарі  $\gamma_0$ , зазвичай виражається в відсотках, коливається в широких межах і залежить від способу і режиму наплавлення.

Механізоване наплавлення в середовищі захисних газів, що виконується полуавтоматами або автоматами, знайшла широке застосування у виробництві і промисловості. Сучасна назва способу наплавлення MAG/MIG (Metal Active/Inert Gas), відповідно при використанні активних і інертних газів Рис.1.5.

Наплавлення є однією з сучасних технологій дугового наплавлення. На даний момент існує досить велика кількість способів наплавлення (Рис.1.6), в середовищі захисних газів розрізняються:

- за типом захисного газу;
- за ступенем автоматизації;
- за характером горіння дуги;
- за типом електродного дроту;
- за типами джерела струму.

Дані способи знаходять застосування в залежності від призначення наплавлення, використовуваного обладнання, виду відновлюваного металу, товщини наплавлення, вартості робіт і т.д.

За обсягом виробництва наплавка електродним металом в середовищі вуглекислого газу займає одне з перших місць серед механізованих способів наплавлення, забезпечуючи широкий діапазон регулювань і налаштувань для досягнення необхідних результатів.

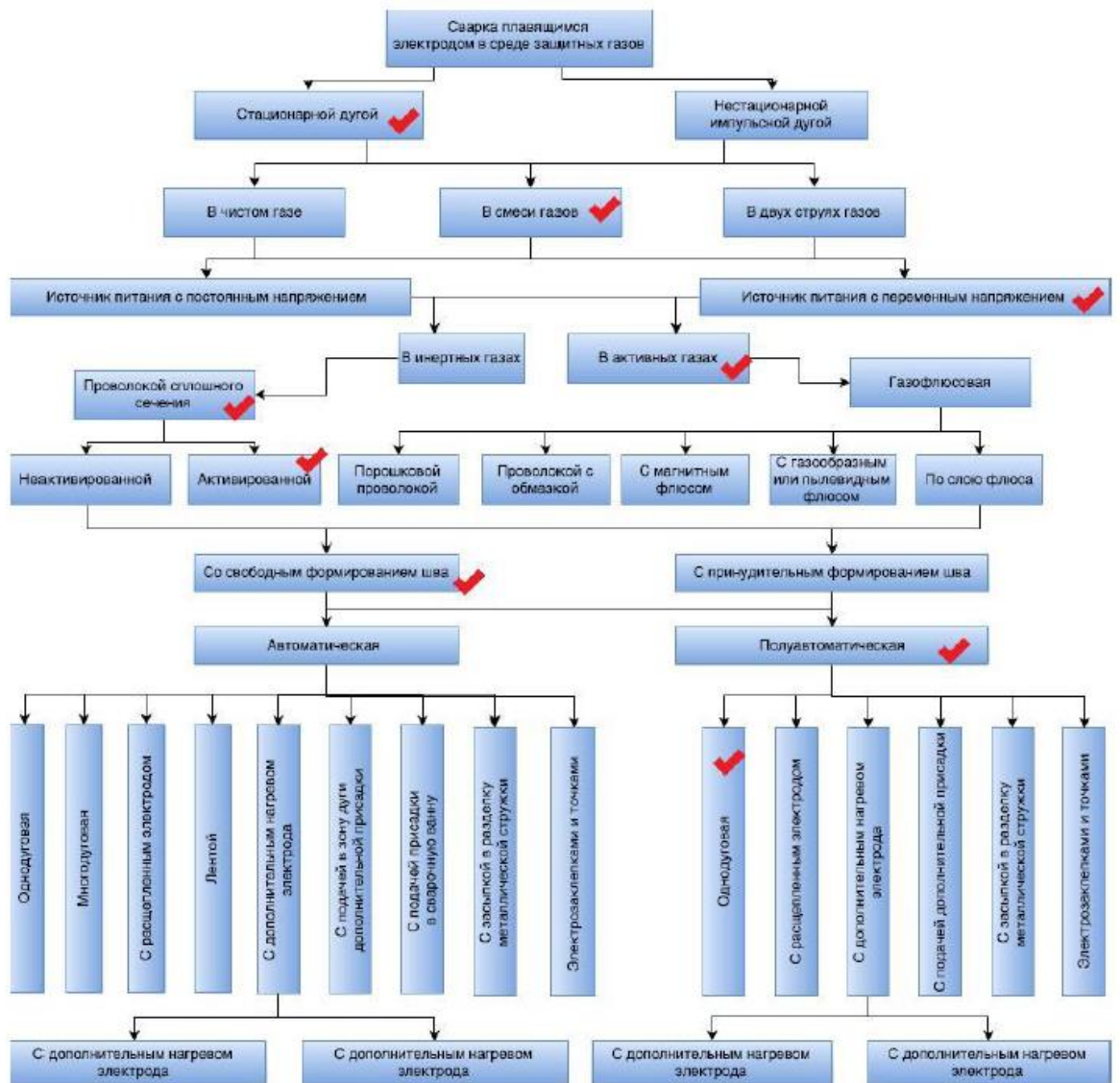


Рис. 1.6 Класифікація способів наплавлення в середовищі захисних газів (пояснення в тексті).

На схемі червоними галочками відзначені найбільш перспективні способи наплавлення металу для відновлення поперечних планок підбарабань.

Дана технологія має серйозні переваги в порівнянні з іншими технологіями:

- найбільш поширений метод відновлення зношених деталей у вітчизняному ремонтному виробництві;
- мінімальна зона структурних змін металу при високій ступеня концентрації дуги і щільності струму;
- високі механічні властивості наплавленого шару;

- велика ступінь захисту зварювальної ванни від впливу зовнішнього середовища;
- висока продуктивність;
- можливість спостереження за формуванням шва;
- можливість наплавлення металу різної товщини (від десятих часткою до десятків міліметрів);
- легка механізація і автоматизація технологічного процесу;
- можливість виконання швів поблизу краю конструкції
- невисока собівартість в порівнянні з іншими способами наплавлення

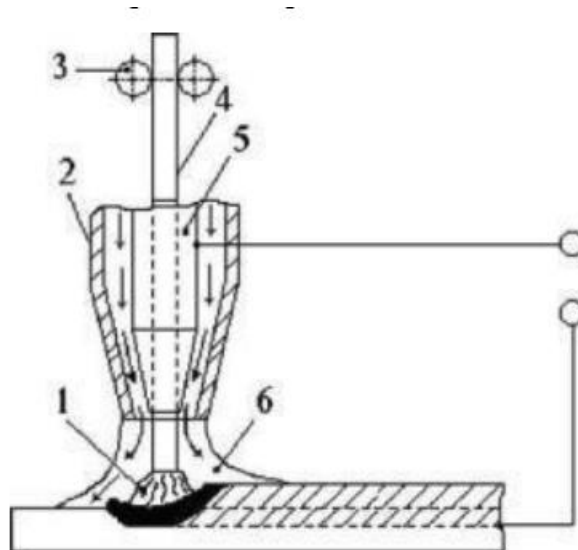


Рис. 1.7 Технологія наплавлення в середовищі вуглекислого газу

1 - електрична дуга; 2 - газове сопло; 3 подають ролики; 4 - електродний дріт; 5 - токопідводящий мундштук; 6 - захисний газ (CO<sub>2</sub>).

У процесі наплавлення вуглекислий газ під дією високих температур розпадається:  $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$  (Рис. 1.7)

Тому наплавка йде не в чистому вуглекислому газі, а в суміші газів CO<sub>2</sub>, CO і O<sub>2</sub>. У цьому випадку забезпечується практично повний захист розплавленого металу від азоту повітря, але зберігається майже такою, окислювальний характер газової суміші, яким він був би при зварюванні

дротом без захисту від атмосфери повітря. Це завдання вирішується використанням зварювальних дров діаметром 0,8-2 мм, до складу яких входять елементи розкислители. Найчастіше це кремній (0,6-1,0%) і марганець (1-2%). при наявності таких компонентів розкислення оксидів заліза відбувається по реакцій  $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO} + 2\text{Fe}$  і  $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$ . Утворені в процесі раскислення оксиди кремнію і марганцю спливають на поверхню зварювальної ванни і після кристалізації металу видаляються. На рис. 1.8 представлений загальна схема обладнання механізованого наплавлення в середовищі вуглекислого газу.

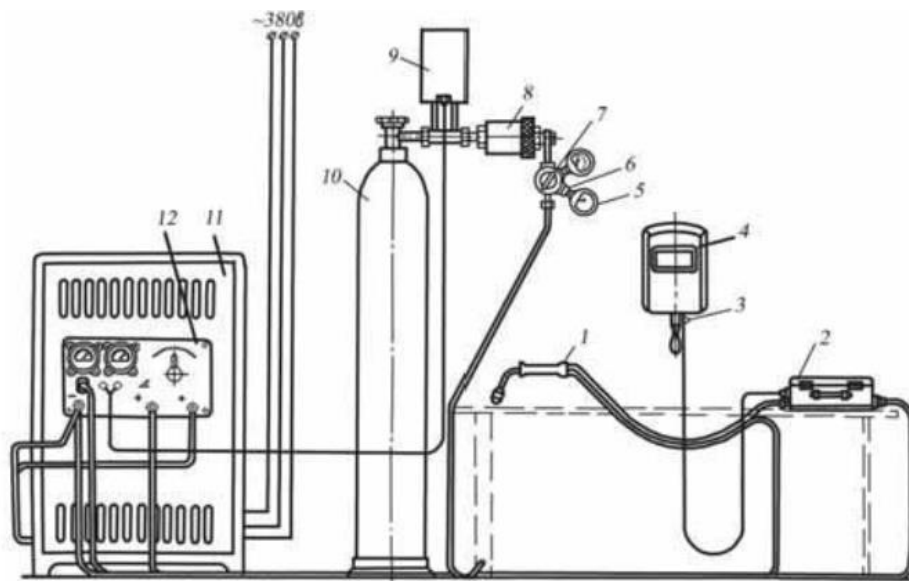


Рис. 1.8 - Схема обладнання механізованого наплавлення в середовищі вуглекислого газу: 1 - утримувач, 2 - механізм, що подає, 3 - кнопка включення, 4 - захисний щиток, 5 - манометр, 6 - перехідний штуцер для установки манометра, 7 - редуктор кисневий з манометром високого тиску, 8 - осушувач газу, 9 - підігрівач газу, 10 - балон з вуглекислим газом, 11 - зварювальний випрямляч, 12 - пульт управління

У нашій країні і в цілому в світовій науці процес відновлення (наплавлення) деталей механізмів і машин с/г призначення в даний момент вивчений досить широко. Однак у даний момент відсутня обґрунтовані технічні вимоги та рекомендації для способів і режимів наплавлення, необхідних для процесу відновлення підбарабань німецьких комбайнів

«CLAAS». Як показав проведений аналіз, процес наплавлення є основною ланкою в відновленні робочих граней поперечних планок підбарабань «CLAAS», так як від нього залежить:

- зносостійкість і довговічність робочих елементів;
- ступінь деформації планок, викликаних наплавленням
- геометричні та технологічні параметри відновлюваної поверхні.

Також необхідно враховувати високу вартість основного підбарабанням TUCANO «CLAAS» (3 450 Євро) час, витрати на доставку імпортного вузла (7-14 днів з моменту перерахування оплати регіональним дилерам),

Технічне забезпечення галузі зернозбиральними комбайнами іноземного виробництва становить 27,7 тис.од. або 22% від загальної кількості машин.

Щорічний намот на один комбайн становить не менше 20-25000 центнерів, тобто після трьох-чотирьох сезонів необхідна заміна підбарабань, тому що знос перевищує допустимі значення (понад 4 мм). Це призводить до недовимолоту, травмування зерна і т.п. Беручи до уваги високу вартість нового підбарабанням доцільно виконувати ремонт в спеціалізованих підприємствах. Для цього необхідно вивчити властивості металу підбарабанням, тому що тип і властивості не представлені компаніями, інформація засекречена. розробити технологію енергоекономно технологію відновлення.

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПОПЕРЕЧНИХ ПЛАНОК ПІДБАРАБАНЬ КОМБАЙНІВ TUSANO «CLAAS» НАПЛАВЛЕНИХ В СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГОГАЗУ

### 2.1 Завдання теоретичних досліджень, визначення оптимальних параметрів наплавлення.

Більшість дослідників, в своїх роботах широко практикує вибір параметрів наплавлення за різними формулами, таблицями, номограмами, побудованим на підставі великого числа експериментів. Використання цих даних дозволяє вибрати режими наплавлення  $I$  (сила струму),  $U$  (напруга дуги),  $V_n$  (швидкість наплавлення),  $V_{pd}$  (швидкість подачі дроту),  $d_e$  (діаметр дроту),  $l_e$  (Виліт дроту), які забезпечують необхідне проплавлення металу, задовільну форму зовнішньої частини поверхні.

Однак варто зазначити, що пропоновані формули, номограми і таблиці не містять інформації про такі важливі та необхідних значеннях як:

- розрахунок геометричних параметрів наплавлення;
- твердість наплавленої поверхні;
- забезпечення відсутності прихованих дефектів (гарячі та холодні тріщини);
- зносостійкість наплавленої поверхні.

Наявність даних відомостей дозволяє комплексно вибрати оптимальні параметри наплавлення, що забезпечують не тільки фізико-механічні, а й експлуатаційні якості наплавленої поверхні.

Тому на підставі вищевикладеного необхідно комплексне рішення задачі по наплавленню для отримання наплавленого шару металу з наступними характеристиками:

- із заданими фізико-механічними характеристиками (твердість HRC,

якісна наплавляюча поверхня, відсутність тріщин, непровареностей, раковини; зносостійкість не нижче параметрів основного металу підбарання;

- з заданими геометричними параметрами (висота наплавленого шару  $e$ , глибина проплавлення  $H$ );
- з оптимальними витратами при здійсненні процесу.

## 2.2 Розрахунок та обґрунтування параметрів наплавлення.

### 2.2.1 Розрахунок і обґрунтування геометричних параметрів наплавлення.

Вченими доведено, що при напавленні розплавлений основний метал, метал дроту і додаткові легуючі елементи перемішуються (Рис.2.1). У міру переміщення джерела теплоти за ним переміщується зварювальна ванна. В результаті втрат теплоти на випромінювання, тепловідвід в виробі в хвостовій частині ванни, відбувається зниження температури розплавленого металу, який затвердівши, утворює наплавлений шар.

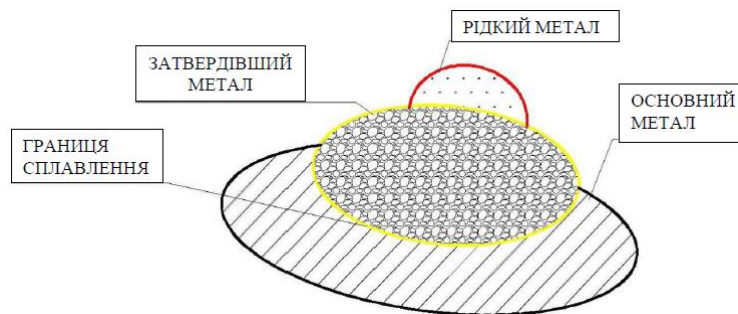


Рис. 2.1 -Будова зони плавлення

У зв'язку з цим змінюються і умови затвердіння (кристалізації) металу зварювальної ванни, які також залежать від умов тепловідводу, тобто від товщини наплавляемого металу, висоти з'єднання і т.д. Таким чином, названі вище умови визначають неоднакове час існування в розплавленому стані металу в різних ділянках наплавочної ванни.

Основним фактором, що визначає після закінчення наплавлення кінцеву

структуру, форму, розміри наплавленого металу є термічний цикл, якому піддавався метал цієї ділянки при наплавленні. Вирішальними факторами термічного циклу наплавлення є: максимальна температура ( $T_{max}$ ), досягається металом в розглянутому обсязі і швидкість його охолодження ( $W_{охол}$ ). Термічний цикл безпосередньо залежить від режимів наплавлення ( $I, U, V_{св}, V_{пл}, de, le$ ), геометричних параметрів основного і наплавляємого металів ( $g, e$ ) (Рис 2.2). З практичної точки зору для виконання поставлених завдань теоретичних досліджень необхідно надати залежність геометричних параметрів наплавлення від режимів наплавлення.

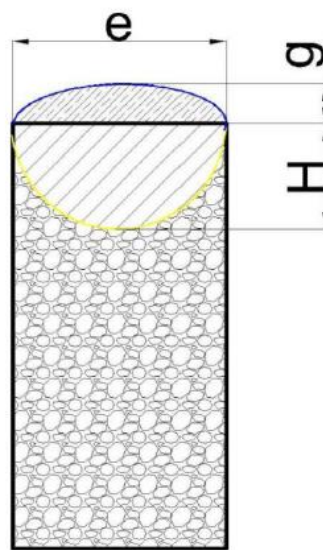


Рис. 2.2 Розрахунок геометричних параметрів наплавочного шару  
Спочатку на підставі геометричних параметрів визначаємо оціночні коефіцієнти наплавлення.

Коефіцієнт форми проплавлення  $\Psi_{пр}$

$$\psi_{пр} = \frac{e}{H}, \quad (2.1.)$$

де,  $H$  – глибина проплавлення,  $e$  - ширина наплавочного шару (валика)

Коефіцієнт форми посилення  $\Psi_{п}$

$$\psi_{п} = \frac{e}{g}, \quad (2.2.)$$

де,  $g$  - висота наплавлення шару (валика)

Встановлено, що розміри і форма валика визначаються кількістю теплоти, введеної в виріб і характером введення цієї теплоти. При дії точкового швидкого руху джерела квадрат відстані до ізотерми плавлення згідно з дослідженнями Акулова А.І. визначається за формулою:

$$r^2 = \frac{2Q_n}{\pi \cdot e \cdot \gamma \cdot T_{пл}}, \quad (2.3.)$$

де,  $r$  - відстань від точки дії тепла до ізотерми плавлення (радіус проплавлення), м;

$\pi$  - число Пі;

$e$  - ширина наплавочного шва (валика), м;

$\gamma$  - щільність наплавляемого металу м<sup>3</sup>;  $T_{пл}$  - температура плавлення °С

При розрахунковому визначенні за схемою точкового швидкого руху джерела теплоти площа, обмежена тією чи іншою ізотермою в поперечному перерізі являє собою півколо радіуса  $r$  ( крива 1, рис. 2.3).

Тому площа проплавлення (площа, обмежена ізотермою плавлення  $T_{пл}$ )

$$F_{пр} = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot e}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2Q_n}{\pi \cdot e \cdot \gamma \cdot T_{пл}} = \frac{1}{e \cdot \gamma \cdot T_{пл}} \cdot Q_n, \quad (2.4.)$$

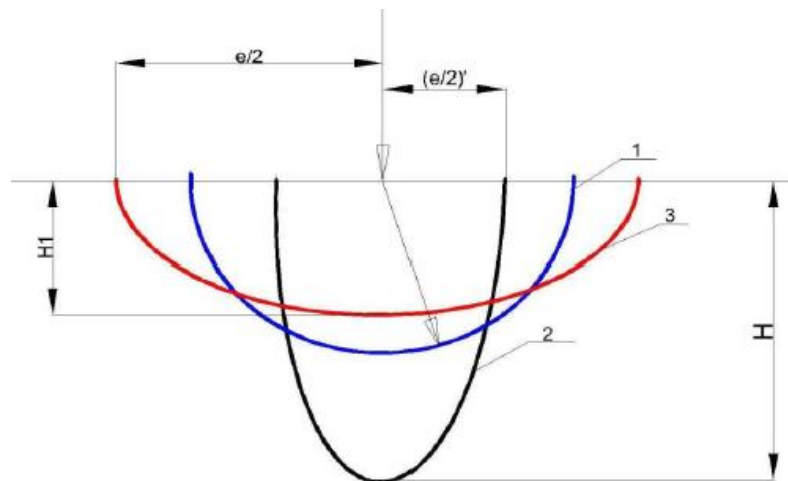


Рис. 2.3 Обриси площі проплавлення

Однак фактична форма проплавлення при напівавтоматичному наплавленні в більшості випадків відрізняється від півкола: при наплавленні на

великих силах струму і низькій напрузі  $\Psi_{\text{пр}} < 2$  (крива 2 рис. 2.3), а при порівняно невеликих силах струму і високих напружених  $\Psi_{\text{пр}} > 2$  (крива 3 рис. 2.3).

Професором Дятловим В.І. запропоновано допущення, що фактична форма проплавлення представляє напівеліпс, площа якого дорівнює площі півкола, визначена за формулою 2.4 [33,48,94,95,133,134,135].

Тоді площа напівеліпса, одна з піввісь, якого дорівнює  $\frac{e}{H}$ , а інша  $H$  буде визначена за формулою:

$$F_{\text{пр}} = \pi \cdot \frac{e}{2} \cdot \frac{H}{2}, \quad (2.5.)$$

Застосовуючи формулу 2.1 підставляємо  $\Psi_{\text{пр}} \cdot H$  та отримуємо

$$F_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot \Psi_{\text{пр}} \cdot H \cdot H}{4}, \quad (2.6.)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь 2.4 та 2.5, отримуємо

$$\frac{1}{e \cdot \gamma \cdot T_{\text{пр}}} \cdot Q_n = \frac{\pi \cdot \Psi_{\text{пр}} \cdot H \cdot H}{4}$$

Вирішуючи рівність щодо  $H$

$$H = 2 \sqrt{\frac{Q_n}{\pi \cdot e \cdot \gamma \cdot T_{\text{пр}} \cdot \Psi_{\text{пр}}}}, \quad (2.7.)$$

Погонна енергія визначається за формулою

$$Q_n = \frac{0,24 \cdot I_H \cdot U_d \cdot \mu}{V_H}, \quad (2.8.)$$

$I_H$  – сила зварювального струму, А;

$U_d$  – напруга зварювальної дуги, В;

$\mu$  – ККД зварювальної дуги;

$V_H$  – швидкість наплавлення, м/с.

Підставляємо рівняння  $Q_n$  в формулу 2.6 та отримуємо

$$H = 2 \sqrt{\frac{0,24 \cdot I_H \cdot U_d \cdot \mu}{\pi \cdot e \cdot \gamma \cdot T_{\text{пр}} \cdot \Psi_{\text{пр}} \cdot V_H}}, \quad (2.9.)$$

Аналізуючи рівняння можна також, виділити три складові, від яких залежить геометричний параметр наплавлення  $H$ :

$2 \sqrt{\frac{0,24}{\pi}}$	$\sqrt{\frac{1}{e \cdot \gamma \cdot T_{\text{пр}} \cdot \Psi_{\text{пр}}}}$	$\sqrt{\frac{I_H \cdot U_d \cdot \mu}{V_H}}$
A1	B1	B1

A1 – безрозмірний числовий коефіцієнт;

B1 – параметр, що характеризує метал, який наплавляється; B1 – параметр, що характеризує режим наплавлення.

Обробка експериментальних даних, накопичених протягом багатьох років, дозволила встановити таку залежність коефіцієнта форми проплавлення від основних параметрів конструктивних режимів наплавлення

$$\Psi_{\text{пр}} = k' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_H) \cdot \frac{d_e \cdot U_d}{I_H}, \quad (2.10.)$$

$k'$  - коефіцієнт, величина якого залежить від роду струму і полярності в діапазоні (0-1);

$d_e$  – діаметр електродного дроту, мм;

Знаючи глибину проплавлення  $H$  і  $\Psi_{\text{пр}}$  можна визначити ширину направляючого валика  $e$  за формулою

$$e = \Psi_{\text{пр}} \cdot H \quad (2.11.)$$

Для визначення висоти валика  $g$  розраховується площа поперечного перетину  $F_H$  і розраховується значення коефіцієнта наплавлення  $a_H$  при наплавленні в середовищі захисних газів величина коефіцієнта наплавлення  $a_H$  істотно відрізняється від величини коефіцієнта розплавлення  $a_p$  в зв'язку з втратами електродного металу.

$$a_H = a_p \cdot (1 - \Psi_B), \quad (2.12.)$$

де,  $\Psi_B$  – коефіцієнт втрат, під яким розуміють відношення кількості металу, втраченого у вигляді бризок і чаду, до повної кількості розплавленого електродного металу;

$$\Psi_B = 1 - \frac{G_H}{G_P}, \quad (2.13.)$$

де,  $G_H$  – кількість наплавленого металу;

$G_P$  – кількість розплавленого металу.

Аналіз експериментальних даних, отриманих дослідниками при наплавленні в середовищі вуглекислого газу електродним дротом, показав, що величина коефіцієнта втрат (%) при оптимальних режимах наплавлення залежить від щільності струму  $j$  в електроді і може бути визначений за такою формулою:

$$\psi_B = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2, \quad (2.14)$$

Таким чином, після розрахунку  $a_H$  визначаємо площу поперечного перетину наплавлення  $F_H$

$$F_H = g \cdot \mu_B \cdot k_{\text{мех}} \cdot a_H \cdot e, \quad (2.14)$$

де,  $g$  – висота валика, мм;

$\mu_B$  – коефіцієнт повноти валика;

$k_{\text{мех}}$  – коефіцієнт на механічну обробку виробу, визначається параметрами готового виробу (0,9 ... 0,95);

$e$  – ширина валика, мм.

$$\mu_B = \frac{F_H}{F_{\Pi}}, \quad (2.15.)$$

де,  $F_H$  – площа поперечного перерізу наплавлення, мм<sup>2</sup>;

$F_{\Pi}$  – площа прямокутника (основа і висота якого рівні відповідно ширині і висоті наплавочного валика), мм<sup>2</sup>.

## 2.2.2 Розрахунок твердості і обґрунтування умов отримання якісної наплавочної поверхні

Умовою отримання якісної наплавочної поверхні є відсутність дефектів. Основними поширеними дефектами наплавлення, знижують механічні та експлуатаційні характеристики наплавленого шару, є тріщини, раковини,

непровар.

Тріщини, раковини, непровар є локальні руйнування, що виникають в результаті деформацій в наплавленому і основному металі.

Відсутність раковин і непровару досягається за рахунок вибору оптимальних режимів наплавлення згідно формул (2.1 – 2.15).

Тріщини виникають при різній твердості наплавленого шару і основного металу і при незадовільній наплавляемості (здатність металів утворювати якісне з'єднання). Згідно з дослідженнями, відсутність дефектів наплавлення досягається за умови відхилення твердості поверхонь основного і наплавленого металів в інтервалі +/- 15 – 20%. Таким чином при виборі марки і хімічного складу наплавочної дроту повинно бути забезпечено така умова [33,48,94,95,108,104,116,136,137]:

$$0,85HRC_{\text{осн.метал}} \leq HRC_{\text{напл.}} \leq 1,15HRC_{\text{осн.метал}} \quad (2.16)$$

Тріщини, що виникають при наплавленні поділяються на такі види:

➤ гарячі тріщини, утворюються в процесі охолодження і кристалізації рідкого металу або ділянок зони термічного впливу в інтервалі температур твердожидком стану (більш 300°C);

➤ холодні тріщини утворюються в процесі охолодження і кристалізації твердого металу або ділянок зони термічного впливу в інтервалі температур (150 ... 300°C) через надмірне насичення шкідливими домішками (водень H, сірка S).

Зазначений поділ на види тріщин, в певній мірі є умовним, так як зародитися може гаряча тріщина, а поширюватися холодна тріщина і навпаки (Рис. 2.4).

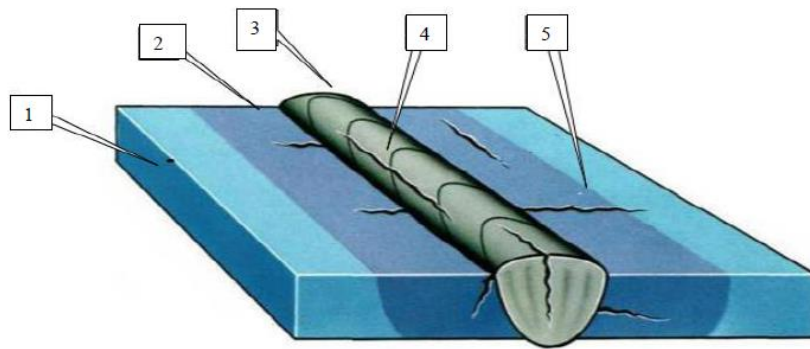


Рис. 2.4 Утворення тріщин. 1 - основний метал, 2 - зона термічного впливу, 3 - наплавляється метал, 4,5 - гарячі та холодні тріщини.

Розрахунково-експериментальним способом стійкість металу наплавленого шару до утворення тріщин оцінюється за хімічним складом згідно залежностей (2.26, 2.27):

$$HCS = \frac{C(S+P+\frac{Si}{25}+\frac{Ni}{100})}{3Mn+Cr+Mo+V} \cdot 10^4 \quad (2.17)$$

$HCS$  - показник стійкості металу наплавленого шару до гарячих тріщинах

$C, S, P, Si, Ni, Mn, Cr, Mo, V$  - процентний вміст хімічних елементів в металі наплавленого шару.

При показнику  $HCS < 4$  метал наплавленого шару не схильний до утворення гарячих тріщин.

$$HV = +90 + 1050C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr, \quad (2.18)$$

показник стійкості металу наплавленого шару до холодних тріщин.

$C, Si, Ni, Mn, Cr$  - процентний вміст хімічних елементів в металі наплавленого шару.

При показнику  $HV < 350$  метал наплавленого шару не схильний до утворенню холодних тріщин.

### 2.3 Розрахунок та обґрунтування зносостійкості наплавленої поверхні.

Для характеристики наплавленого металу даних про хімічний складі і

твердості недостатньо. Наплавлений метал повинен відповідати умовам експлуатації робочої поверхні, тому також найважливішим його властивістю є здатність чинити опір зносу (зносостійкість).

На основі аналізу наукової літератури можна виділити фактори, найбільш відповідальні за зносостійкість наплавлення. Основними з них є структура металу, твердість і ступінь легування. Однак однозначно відповісти на питання про ступінь впливу кожного з них на зносостійкість без урахування умов середовища зносу практично складно.

Дослідження впливу твердості сталі на зносостійкість наплавленої поверхні при терті в присутності абразиву, наведене в роботі Боголюбова Б.М., показує, що зі збільшенням твердості знос зменшується.

$$I \sim HRC, \quad (2.19)$$

$I$  – зносостійкість

$HRC$  – твердість

В роботах Хрущова М.М. вказується відсутність лінійної залежності твердості від зносостійкості для металів [10,17,69,120,121]. У дослідженнях Боголюбова Б.Н. сільськогосподарських машин наведені дані про зносостійкості металів при терті ковзанні і абразивному зношуванні, яких впливає, що інструментальна сталь твердістю  $HRC$  56 ... 57 менше зносостійка, ніж шар, наплавлений сормайтотом  $HRC$  49 ... 51, який, в свою чергу, менш зносостійкий в порівнянні з наплавленим шаром сталіта В2К, В3К твердістю  $HRC$  42 ... 44 [10,64,65]. У роботах Козака Ю.Г. досліджувалася відносна зносостійкість наплавлень, нанесених дротами ПК-2, 9ХС, 50ХФА і 18ХМА, в умовах тертя ковзання. найменшу зносостійкість показала наплавка дротом 18ХМА. Автор пояснює це низькою твердістю наплавлення, при якій полегшується механічне впровадження контактируємих ділянок, зняття і зріз мікровиступів і пластичне деформування тонких поверхневих шарів металу. При цьому встановити певну залежність зносостійкості від твердості вищевказаних наплавлень автор не зміг. також на це вказує В.Г. Колесов,

досліджуючи зносостійкість наплавлених сплавів при роботі в абразивному середовищі, приходиться до висновку, що твердість не визначає їх зносостійкості і не може служити параметром при їх виборі. твердість є наближеною характеристикою тільки міцності, а зносостійкість визначається ще цілим рядом інших властивостей, що застосовуються в залежності від складу, способу обробки і т. д.

У роботах проведені експериментальні дослідження порівняльної зносостійкості наплавленого металу в залежності від його структури в умовах сухого і граничного тертя. Результати дослідження показують, що найбільшою зносостійкістю володіють структури мартенситу, найменшою - структури ферриту і перліту. Наплавлення, структура яких неоднорідна, займають проміжне положення, наближаючись по зносостійкості до однієї із зазначених груп, в залежності від переважаючого впливу тієї чи іншої структури складової. Так, в дослідженні яскраво виражена тенденція підвищення зносостійкості з збільшенням вмісту вуглецю в електродної дроті від 0,08 до 1,2%.

$$I \sim C, \quad (2.20)$$

$I$  – зносостійкість

$C$  – вміст вуглецю, %

Вплив різних структур на зносостійкість при абразивному зносі досліджувався в роботі, де абразивний знос поділявся на два етапи. На першому етапі відбувається впровадження абразивних частинок в поверхню металу. Оціночним параметром впровадження є твердість досліджуваного металу. На другому етапі відбувається процес взаємного переміщення досліджуваного зразка та впровадженої частки абразиву. відповідальними за знос зразка є сили межатомної зв'язку і міцність зчеплення між собою структурних складових через кордон їх розділу. Найбільшою зносостійкістю в цих умовах має аустенітно-карбідна структура. Мартенсітно-карбідна структура володіє меншою зносостійкістю в зв'язку з наявністю тріщин на межі поділу мартенситу з карбідами зважаючи на різний тип та розміри їх кристалічних решіток, що,

очевидно, послаблює зв'язок мартенситної основи з карбідами. На підставі вищевказаних робіт можна зробити висновок, що на зносостійкість наплавлювальних матеріалів великий вплив робить зміст вуглецю, який є найважливішим елементом, що визначає структуру і багато фізико-механічні властивості металів.

В дослідженнях вчених в умовах абразивного зносу металу встановлено, що зносостійкість залежить від навантаження, що діє на матеріал згідно за формулою.

$$I_{\text{знос}} = I_1 \cdot q^a, \quad (2.21)$$

$I_{\text{знос}}$  – визначається знос, мм;

$I_1$  – знос при навантаженні 0,1 МПа, мм;

$q$  – прикладне навантаження, кгс/см<sup>2</sup>;

$a$  – коефіцієнт навантаження, значення приймається в інтервалі (0 ... 1).

В умовах граничного тертя ковзання і при терті об наждачну шкурку легуючі елементи хром і марганець сприятливо впливають на зносостійкість. Однак в роботі наводяться дані, що свідчать про те, що високий ступінь легування дроту не гарантує гарну зносостійкість в абразивному середовищі і підкреслюється, що збільшення зносостійкості може бути досягнуто при поєднанні легування з оптимальним структурним станом. В дослідженнях також підкреслюється, що легуючі присадки (хром, марганець, вольфрам і т. д.) при легких режимах зношування не роблять істотного впливу на зносостійкість сплавів, а головним є зміст вуглецю. А при важких режимах зношування і сильному нагріванні легуючі елементи являються головними чинниками, що визначають зносостійкість сплавів.

В роботах В.С.Новікова, О.М.Самойленко була представлена залежність відносної зносостійкості поверхні від змісту вуглецю ( $C$ ), легуючих елементів ( $C, Cr, B, Mo, W, Ti$ ), твердості:

$$e = 0,18X1 + 0,0023X2 + 0,15X3 + 0,076X4 + 0,3X5 + 0,4X6 + 0,21X7 - 7,47, \quad (2.22)$$

$e$  – відносна зносостійкість наплавлувальних металів;  $X_1$  - вміст  $C$  (вуглецю),%;

$X_2$  - вміст  $Cr$  (хрому),%;  $X_3$  - вміст  $B$  (бору),%;

$X_4$  - вміст  $Mo$  (молібдену),%;  $X_5$  - вміст  $W$  (вольфраму),%;  $X_6$  - вміст  $Ti$  (титану),%;

$X_7$  –  $HRC$ .

З цієї залежності можна побачити, що найбільший вплив (Показник більше 0,15) на зносостійкість наплавленої поверхні надає  $Ti$  (титан),  $W$  (вольфрам),  $C$  (вуглець) і твердість металу; найменше (показник менше 0,15) -  $Cr$  (хром)  $Mo$  (молібден),

Дана формула відносної зносостійкості також має наступні недоліки:

- відноситься до певних марок сталі (вміст вуглецю 0,45 ... 1,6%,  $HRC$  40 ... 50);
- не враховується вплив найважливіших хімічних елементів  $Mn$  (Марганець),  $Si$  (Кремній) грають істотну роль в підвищенні зносостійкості металів.

Також необхідно відзначити, що легуючі елементи також позитивно впливає на процеси наплавлення:

- легування елементом  $Ti$  зменшує ймовірність виникнення холодних тріщин;
- легування елементом  $Mo$  надає додаткову міцність Наплавлений шару;
- легування елементами  $V$  сприяє отриманню дрібнозернистої структури наплавленого шару, і відповідно підвищує стійкість до утворення кристалізаційних тріщин.

З усього вищесказаного випливає, що зіставлення показників зносостійкості і будь-якого іншого ознаки, що характеризує якість наплавлення, призводить до того, що можна вказати достатню кількість досліджень, одні з

яких підтверджують пряму, а інші - зворотний зв'язок між цими характеристиками. Очевидно, що в різних умовах зносу, що відповідають різним переважним форм руйнування, спостерігається різний зв'язок між якісними характеристиками наплавлень.

У роботах по оцінці впливу параметрів на зносостійкість наплавленої поверхні вказувалося, що в зв'язку з великим числом факторів, щовиникають при наплавленні і при експлуатації деталей, необхідно проведення лабораторних і виробничих випробувань для встановлення точних залежностей.

Необхідно відзначити, що всі вищевказані дослідження зносостійкості наводилися з урахуванням того, що авторам були відомі наступні параметри:

- марка і хімічний склад досліджуваного металу;
- умови експлуатації і зносу металу.

Для підбарабань комбайнів TUCANO «CLAAS» такі параметри невідомі, тому буде потрібно проведення додаткових досліджень, щонаголошує на необхідності проведення лабораторних і виробничих випробувань для підтвердження теоретичних досліджень.

На підставі аналізу літературних джерел і з огляду на недостатність наявних даних приймаємо, що зносостійкість металів в умовах ударно-абразивного зношування - це комплексна величина яка залежить від значної кількості параметрів, і її можна представити в наступному вигляді:

$$I = K_1 HRC + K_2 E_x + K_3 H_H + K_4 U, \quad (2.23)$$

$I$  – зносостійкість;

$HRC$  – твердість;

$E_x$  – хімічний склад наплавленого шару металу;

$H_H$  – навантаження, яке діє на робочу поверхню планки підбарабання;

$U$  – показник, що визначає фізичні умови зносу;

$K_1, K_2, K_3, K_4$  – коефіцієнти, визначаються в результаті випробувань

підбарабань на зносостійкість.

Більш детально розглянемо показник  $У$ , який визначає умови зносу. Фактори, що впливають на знос поперечних планок підбарабань класифікують відповідно до схеми 2.1.

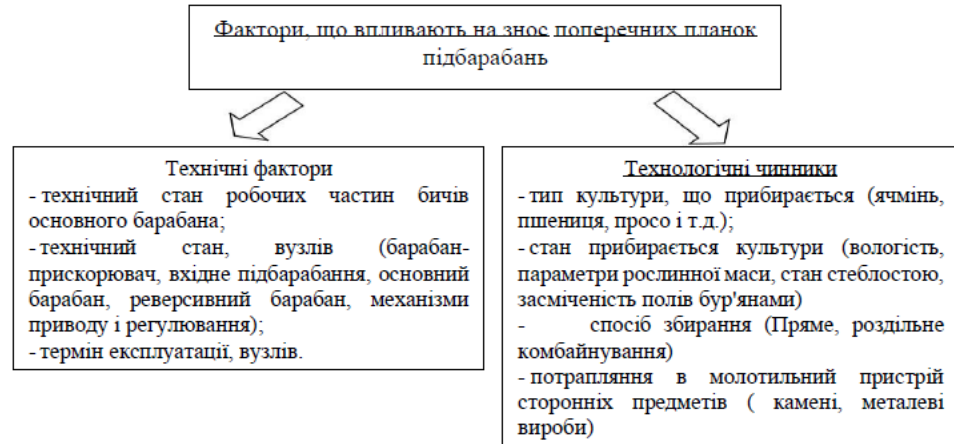


Схема 2.1. фактори, що впливають на знос поперечних планок.

Найбільш значущим чинником є тип і стан культури , що прибирається. Для вивчення цих процесів необхідно досліджувати рівень взаємодії пристроїв «молотильний барабан - зерно-соломистая суміш - поперечна планка підбарабанням ». На підставі наукових робіт про вплив тертя хлібної маси на підбарабанням, знос поперечних планок проявляється в наступному [5,8,9,10,17]:

- округлення передніх граней;
- зносу торцевої (робочої) частини по їх довжині.

В результаті абразивного зносу і ударних навантажень відбувається зміна стану поверхонь деталей, соударяючихся з хлібною масою і зерном, і їх первинних розмірів.

Очевидно, що знос поперечних планок підбарабання в різних зонах молотильного простору відбувається нерівномірно. так згідно класичним уявленням на підставу досліджень робочу поверхню підбарабання можна розмежувати на три зони різної протяжності згідно Рис. 2.5.

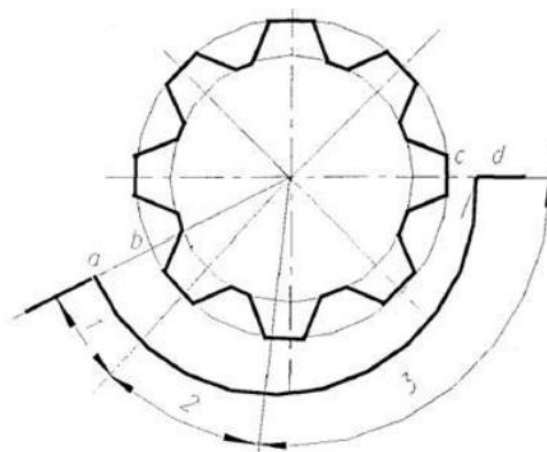


Рис. 2.5. Зони молотильного простору підбарабання: 1 - вхідна; 2 - середня; 3 – вихідна.

При такому підході об'єктом вивчення з точки зору геометрії завжди була зона, що заповнює викривлений звужується канал  $abcd$  (Рис.2.5). при даному підході (макрорівень) необхідно вивчення процесів зносу в кожній зоні так, як на робочу поверхню поперечної планки діють різні за величиною навантаження (в зоні 1 більше діють ударні навантаження, в зоні 3 перетираючі навантаження і т.д.).

Однак всі ці зони об'єднує одна загальна властивість: процеси зносу поперечної планки підбарабання, як процеси обмолоту при проходженні хлібної маси за малі проміжки часу, що обчислюються тисячними частками секунди, і мають характер імпульсів різної інтенсивності. Робоча швидкість бичів становить приблизно 30 м/с, швидкість потоку хлібної маси 5 ... 7,5 м/с. Таким чином, взаємодія елементів системи «зерно-соломиста маса – поперечна планка» є швидко протікаючим імпульсним процесом.

На підставі вищевикладеного для дослідження процесів зносу поперечної планки в усіх зонах підбарабання можна використовувати молотильний зазор - простір між бичем барабана і поверхнею поперечної планки підбарабання (мікрорівень). Даний підхід забезпечує повноцінну картину для визначення сил, діючих на робочу поверхню поперечної планки підбарабання.

Розглядаючи знос робочих граней поперечної планки підбарабання, в

рамках молотильного зазору, відповідно до теорії обмолоту на поперечну планку підбарабання будуть діяти сили, зазначені на Рис. 2.6. [17,18,42,50].

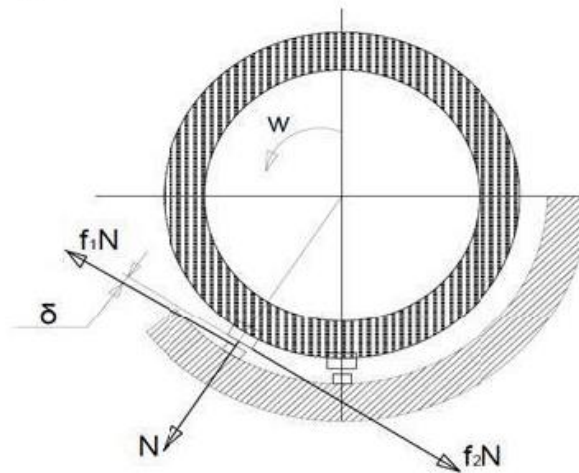


Рис. 2.6. Схема сил, що діють на поперечну планку підбарабання, в момент обмолоту.

$\delta$  – молотильний зазор;

$w$  – радіальна швидкість барабана;  $N$  – нормальна сила стиснення;

$f_1$  – коефіцієнт тертя хлібної маси об поверхню бича барабана;

$f_2$  – коефіцієнт тертя хлібної маси об поверхню поперечної планки підбарабання;

$f_1N$  – сила тертя хлібної маси об поверхню бича барабана;

$f_2N$  – сила тертя хлібної маси об поверхню поперечної планки підбарабання.

З наведеної схеми, сила  $f_2N$  – сила тертя хлібної маси об поверхню поперечної планки підбарабання. Коефіцієнт тертя хлібної маси об поверхню поперечної планки підбарабанням  $f_2$  (Далі по тексту коефіцієнт зносу) характеризує сукупність факторів, що впливають на знос поперечних планок підбарабання залежить від ряду факторів: тип культури (ячмінь, пшениця, просо і т.д.), стан культури, (вологість, параметри рослинної маси, стан стеблостою, засміченість полів бур'янами) і т.д.

Важливою величиною є значення нормальної сили стиснення, діючої на робочу поверхню поперечної планки підбарабання  $N$ . Виміром нормальної сили

стиснення  $N$  займалися багато вчених. Один з них знаходили як нормальну, так і тангенціальну складову сили стиснення за допомогою тензобічей. Інші вимірювали нормальну силу стиснення за допомогою тензопланки, а тангенціальну визначали перерахунком з використанням коефіцієнта тертя (зчеплення).

## **РОЗДІЛ 3 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Загальні положення та методика проведення експериментальних досліджень.**

В процесі проведення теоретичних досліджень були отримані основні параметри наплавлення в середовищі вуглекислого газу (сила струму, напруги дуги, марки і діаметр наплавочной дроту) для відновлення поперечної планки підбарабання на прикладі зернозбирального комбайна TUCANO «CLAAS» в зв'язку з цим поставлена практична мета отримати наплавлену поверхню з наступними необхідними характеристиками:

- твердість напавленої поверхні не нижче твердості планки нового підбарабанням (твердість напавленого шару не повинна перевищувати твердість основного металу підбарабанням на 20%);

- показники зносостійкості напавленої поверхні не повинні поступатися показниками зносостійкості поперечної планки нового підбарабанням;

- відсутність дефектів напавлення (тріщини, раковини, непровар), які призводять до ослаблення напавленої поверхні, ускладнюють процес механічної обробки і т.д. ;

На підставі поставленої мети сформулювали завдання експериментальних досліджень:

- розробити методику проведення експериментальних досліджень; визначити марку сталі підбарабанням зернозбирального комбайна «CLAAS»;

- розробити обладнання для дослідження процесів зносу;

- виконати практичні заходи згідно з розробленою методикою досліджень на основі проведених теоретичних досліджень;

Беручи до уваги відсутність нормативно-технічної документації (марки сталі, фізико-механічні характеристики сталі (твердість, зносостійкість)) по підбарабанням зернозбирального комбайна «CLAAS» в дослідженні був

застосований принцип послідовності і систематизації інформації, отриманої в ході експериментів для оптимізації часу і трудомісткості робіт, налізу і проведення подальших дослідів.

На підставі вищевикладеного експериментальні дослідження були послідовно розділені на шість етапів (порядок і послідовність виконуваних етапів визначалися поставленими завданнями досліджень):

1 етап. Визначення марки, твердості і властивостей металу підбарабанням комбайнів TUCANO «CLAAS»;

2 етап. Підготовка та наплавлення зразків (підготовка зразків для наплавлення, наплавлення відновного шару);

3 етап. Мікроаналіз результатів наплавлення і вимір твердості. Даний етап проводився в лабораторних умовах на базі НУБіП;

4 етап. Хімічний аналіз напавленого шару металу. даний етап проводився на ділянці контролю якості;

5 етап. Проведення досліджень на зносостійкість напавлених зразків підбарабань.

6 етап. Обробка експериментальних даних.

В якості досліджуваної і напавляючті поверхні використовувалися поперечні планки зернозбирального комбайна «CLAAS» модель TUCANO 450 (2012 р.в.) Результати всіх досліджень оформлялися в електронному вигляді і документально.

3.2. Визначення марки, твердості і властивостей металу підбарабання комбайнів TUCANO «CLAAS».

Як вже зазначалося раніше, інформацію про марку металу підбарабанням отримати з нормативно-технічної документації не виявилось можливим, тому були проведені дослідження даного матеріалу з використанням спектрометра PMI-MASTER UVR (PRO).

Дослідження хімічного складу напавленого шару проводилося з допомогою оптико-емісійного спектрометра для металів PMI-MASTER UVR (PRO).

Мобільний оптико-емісійний аналізатор хімічного складу РМІ – MASTER UVR (PRO) дозволяє проводити точний експрес-аналіз складу сплавів, визначає вміст, в тому числі легких елементів: вуглецю, сірки, фосфору. Спектрометр РМІ-MASTER (Рис. 3.1) дозволяє виконати швидке сортування та ідентифікацію марки металів в режимі "дуга". Спектрометр оснащений запатентованою системою обтікання електрода аргоном, для вимірювання зразків складних форм без застосування спеціальних адаптерів. Технічні характеристики спектрометра наведено на рис. 3.1.



Рис. 3.1 Оптико-емісійний спектрометр РМІ-MASTER:

1 - підвідний шланг; 2 - корпус вимірювального комплексу; 3 - ручка для пересування спектрометра; 4 – монітор; 5 - пістолет з іскровим датчиком; 6 - пневматичні колеса.

Результати дослідження металу представлені в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Параметри (хімічний склад) металу підбарання зернозбирального комбайна CLAAS

Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Al	Co
98	0,169	0,243	1,40	0,0224	<0,0050	0,0287	0,0305	0,0051
Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Zr		HRC
0,0312	<0,0020	<0,0050	0,0254	<0,0500	0,0500	0,0050		34

Аналіз хімічного складу і процентного вмісту елементів металів підбаранням (Таблиця 3.1), якщо прирівняти його до стандартів, чинних на території України, показав відповідність типу хромокремнемарганцовмістих мікролегованих сталей, в яких вміст вуглецю, не перевищує 0,20%.

Мікрорегулюючі елементи, що входять до складу сталі, знаходяться в таких межах,%: Al <0,06; Cr <0,25; Zr <0,1; V <0,15; Ti 0,1-0,2; Nb <0,06; Mo <0,20; B <0,05. Сумарний вміст Zr і Ti не перевищує 0,2%, а Nb, Ti і W - 0,16%. Мікрорегулюючі елементи вводять до складу сталі як в процесі її виплавки, так і в ході випечних обробки. За ступенем розкислення дана марка сталі відноситься до спокійних сталей. Поряд з економією легуючих елементів при їх використанні особливо в термо- і термомеханічно оброблених станах забезпечується висока міцність і опірність крихкому руйнуванню металу.

За хімічним складом, процентним вмістом елементів і по твердості методом відповідності підібрана сталь у відповідність із зарубіжними каталогами на підставі стандартів країн Євросоюзу EN10025, EN10113.

Таблиця 3.2.

## Марки сталі країн Євросоюзу

№ п/п	Країна	Стандар	Марка сталі відповідно до стандарту держави	Твердість, HRC
1	Німеччина	DIN 17175	17Mn4	34
2	Китай	GB	15MnVN	34
3	Чехія	CSN	13220	34

При пошуку оптимальних значень параметрів процесу наплавлення, необхідно орієнтуватися на мінімально необхідне значення твердості, яке буде відповідати необхідним експлуатаційним характеристикам досліджуваного процесу. І безумовно це твердість нового підбарання. У проведенні подальших експериментів відповідні вимірювання проводилися твердоміром ТЕМП-2 (Рис.3.2.). Твердомер переносний, призначений для локального

експрес-виміру динамічним методом твердості різних виробів (зі сталі, її сплавів і зварних з'єднань, чавуну, кольорових металів та ін. матеріалів) за шкалами Брінелля (HB), Роквелла (HRC), Віккерса (HV), Шора "D" (HSD). Вимірювання твердості зразків проводилось твердоміром за методом Роквелла приладом ТЕМП-2. Спеціальним кабелем твердомер з'єднували з комп'ютеромі, використовуючи відповідну програму РС «Office», виводили результати вимірювань на дисплей та зберігали.



Рис.3.2. Твердомір ТЕМП-2.

В нашій роботі для виконання поставлених завдань необхідно розглядати дану марку сталі з позиції матеріалу, на який буде наноситися відновлювальний шар, отже, необхідно оцінити вплив легуючих елементів хімічного складу для визначення оптимальних режимів і технології.

### 3.3 Підготовка та наплавлення зразків

З метою якісного аналізу, зношеного підбаранням CLAAS, поперечна планка була зрізана і для проведення експериментів з неї були виготовлені зразки довжиною 120 мм і шириною 40мм. Дані геометричні параметри зразків визначили можливість мінімальних додаткових налаштувань вимірювального обладнання і тим самим скоротили час проведення дослідження.

Перед початком досліджень всі зразки для достовірності експериментів були позначені двома способами:

- маркером, що вказує номер;
- насічками (в разі якщо фарба буде стерта).

Для дотримання достовірності експериментів наплавочні процеси проводились на ділянці наплавлення при температурі  $+18\text{ C}^\circ$  при увімкненій обмінно-примусовій вентиляції приміщення виробничого цеху і локальної вентиляції зварювальної ділянки з дотриманням вимог до виробничого процесу наплавлення.

З метою підвищення точності проведення дослідження для подальшої роботи на вимірювальному обладнанні наплавка проводилася за наступними умовами:

- попередньо проведена зачистка поверхні, зразків підбарабанням;
- наплавка на поперечної стороні планки;
- наплавлена поверхня шириною 10-15 мм, довжиною 60 - 70мм.

Грунтуючись на теоретичних дослідженнях і опираючись на отримані дані в розділі 3.2 приймаємо діапазони варіювання параметрів, що впливають на властивості наплавлення металу (Таблиця 3.3).

Для забезпечення заданої твердості напавленої поверхні дріт був підібраний з підвищеним вміст кремнію і марганцю.

Таблиця 3.3.

Діапазон варіювання параметрів, що впливають на твердість напавлюваної поверхні при відновленні поперечної планки підбарабання

Параметри	Одиниці вимірювання	Мінімальне значення	Максимальне значення	Крок вимірювання
Сила зварювального струму	А	280	300	5
Напруга зварювальної дуги	В	28	30	1
Діаметр електроду	мм	1,6	2,0	0,2

Напавлювальне обладнання, що використовується для проведення

експерименту, що складається з зварювального напівавтомата ВЕГА-МІГ 400, механізму подачі дроту Асистент 400L і допоміжного обладнання (пальник, шланги та т.д.). напівавтомат ВЕГА-МИГ-400 призначений для стандартної зварювання / наплавлення електродом, що плавиться в середовищі захисних газів (МИТЬ / МАГ) металоконструкцій з вуглецевих і легованих сталей, алюмінію, міді й їх сплавів. Має ручне і автоматичне регулювання параметрів процесу наплавлення (U, I, V під). За рахунок електронної системи управління і роликів механізму подачі дроту напівавтомат забезпечує стійке горіння дуги і високу стабільність процесу наплавлення, внаслідок цього мінімальна потреба в подальшій обробці шва (наплавка без розбризкування металу короткою дугою і дугою з дрібнокраплинним перенесенням металів в середовищі захисних газів). В апараті є 3 (три) дросельних відведення для наплавлення в CO<sub>2</sub>, газових сумішах і аргоні, тим самим забезпечуються високі зварювальні властивості дуги. Є роз'єм для підключення інтерфейсу ПК для передачі даних і документування.

Механізм подачі дроту Асистент 400L - пристрій, що входить в зварювальний модульний комплект, дозволяє проводити зварювальні (наплавочні) роботи у всіх просторових положеннях точковими, короткими, довгими (протяжними) швами.

Перед початком наплавних робіт регулюється витрата захисного газу, продуваються газові рукава для видалення залишків повітря і візуально оглядаються робочі органи обладнання. При включенні зварювального циклу (Натискання на кнопку пальника) спрацьовує напівавтомат ВЕГА-МИГ-400 (1), тим самим забезпечується подача напруги в зварювальну ланцюг і відкривається газовий клапан, що забезпечує необхідне відтискування повітря зони наплавлення з газового балона (7). Після цього напівавтомат ВЕГА-МИГ-400 за допомогою ланцюга управління (2) подає сигнал на механізм подачі дроту Асистент 400L (3) і починається подача електродного дроту через направляючий канал 4 в пальник (5) (Рис. 3.3).

Як тільки дріт доходить до зварюваного металу запалюється дуга і

утворюється зварювальна ванна, яка з рівномірною швидкістю формує шов.



Рис. 3.3. Схема роботи поста наплавлення: 1 - зварювальний напівавтомат; 2 - ланцюг управління; 3 - механізм подачі дроту; 4 - направляючий канал; 5 - пальник; 6 - зворотний провід із затиском; 7 – газовий балон.

З метою забезпечення якісного процесу наплавлення відповідно до вимогами нормативно-технічної документації для наших умов проведення експериментів були забезпечені такі додаткові вимоги:

- виліт електродного дроту при напавленні встановлюється в межах 10-15 мм (при діаметрі дроту 1,6-2,0 мм);
- рух пальника повинно здійснюватися без затримки дуги на зварювальній ванні;
- наплавка в нижньому положенні проводиться з нахилом пальника під кутом 30-45° назад.

#### 3.4. Обробка експериментальних даних.

При напавленні діє багато факторів, що впливають в різному ступені на кінцеві розміри і властивості напавленого матеріалу. Як було зазначено раніше, це - сила струму, напруга, швидкість наплавлення, діаметр і хімічний склад металу електродного дроту, склад захисного середовища, розміри, хімічний склад основного металу, температура навколишнього повітря і т.д.

Врахувати взаємний вплив кожного фактора складно і тим більше, привести результати дослідження в певну систему, кількісні зв'язку, і співвідношення в рамках нашого дослідження.

Тому необхідно вибрати чинники, які мають найбільший вплив на якість і ефективність напавлення поперечних планок підбарабання, задавшись інтервалом можливих значень, що визначаються як теоретично, так і емпірично. В даному випадку - це керовані чинники, на які може впливати дослідник.

У зв'язку з вищевикладеним оптимальним рішенням отримання експериментальних даних було визнано проведення багатofакторного експерименту.

На підставі процесів математичного моделювання будь-який процес може бути описаний деякою залежністю виходу процесу ( $y$ ) від факторів ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ).

Тому досліджувані параметри можна представити у вигляді функцій декількох змінних виду:

$$y = g \cdot (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.1.)$$

Це рівняння описує деяку гіперповерхність в багатовимірному просторі (факторний простір), і представляє поверхню відгуку.

Оскільки істинний вид функції  $y = g \cdot (x_1, x_2, \dots, x_n)$  невідомий, для опису поверхні відгуку використовують рівняння, що представляє собою розкладання цієї функції в статеchnій ряд (рівнянням регресії)

$$y = b_0 + \sum_i^n b_i x_i + \sum_i^n \sum_j^n b_{ij} x_i x_j + \sum_i^n \sum_j^n \sum_h^n b_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \sum_i^n \dots \sum_m^n b_i \dots m x_i \dots m$$

$x_i x_j$  – змінні (фактори);

$b_i b_j$  – коефіцієнти регресії при відповідних змінних, значення яких визначають форму поверхні відгуку в досліджуваній області.

У рівнянні регресії члени другого ступеня  $x_i x_j$  характеризують кривизну

поверхні. У найвищій точці поверхні відгуку, де кривизна зростає, для точного опису процесу потрібні члени третьої ступеня.

Чим більше кривизна поверхні, тим більше в рівнянні регресії членів вищого ступеня, а, отже, і коефіцієнтів регресії, які необхідно визначити. Це призводить до різкого збільшення числа дослідів, які треба поставити для знаходження невідомих коефіцієнтів регресії. Тому в практиці прагнуть обмежитися лінійною моделлю, проводячи експерименти в досить вузькій області поверхні відгуку, щоб досліджуваній ділянці можна було уявити площиною. При цьому рівняння регресії матиме вигляд:

$$y = \beta_0 + \sum^n \beta_i \cdot x_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_n \cdot x_n + \dots \quad (3.3.)$$

оскільки площина являє собою поверхню першого порядку, і всі коефіцієнти при змінних вище першого ступеня звертаються в нуль.

В окремому випадку залежність функції ( $y$ ) від трьох змінних  $x_1, x_2, x_3$  представимо у вигляді рівняння лінійної регресії:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_{12} \cdot x_1 + \beta_2 + \beta_{23} \cdot x_2 + \beta_3 \quad (3.4.)$$

На першому етапі роботи визначаємо число дослідів і умови їх проведення для подальшого складання матриці планування експериментів, яка представляє собою всі можливі комбінації поєднання чинників, які перебувають на різних рівнях.

Число дослідів  $N$  залежить від числа незалежних факторів  $k$  і числа рівнів  $n$ , які може приймати кожен фактор:

$$N = n^k \quad (3.6.)$$

Найбільш часто обмежуються двома рівнями верхнім і нижнім, тобто, приймаємо  $n = 2$ .

Отже, перед плануванням і побудовою матриці експерименту, необхідно вибрати параметри оптимізації, найбільш значущі фактори, що впливають на результат. В даному випадку розглядаємо тільки керовані чинники, тобто тільки ті, на значення яких ми можемо зробити безпосередній вплив і підлягає об'єктивній оцінці (Фактори, значеннями яких ми можемо управляти незалежно

від різних умов).

Параметрами оптимізації приймаємо твердість і зносостійкість відновлюваної поверхні підбарабанням. При цьому необхідно враховувати, що дані параметри повинні відповідати нормативно-технічним документам.

У процесі досліджень необхідно встановити вплив на параметри оптимізації таких факторів як:

$I$  – сила зварювального струму;  $U$  – напруга зварювальної дуги;  $M_e$  – марка електродного дроту;

$d_e$  – діаметр електродного дроту;

Для цього залежність параметра твердості наплавленого поверхні від керованих факторів процесу наплавлення представимо в вигляді рівняння лінійної регресії, яке для 4-факторного експерименту буде мати вигляд:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_4 + \\ \beta_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + \beta_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + \beta_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + \beta_{123} \\ x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_{124} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + \beta_{134} \cdot x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + \beta_{234} \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + \beta_{1234} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \\ (3.7)$$

де  $y_1 = \lg \text{HRC}$  логарифмічний вираз параметра твердості наплавленого металу (відгук моделі);

$x_1 x_2 x_3 x_4$  - змінні фактори в закодованому вигляді, відповідні силі зварювального струму ( $I$ ), напрузі зварювальної дуги ( $U$ ), марці електродної дроту ( $M_e$ ), діаметру електродного дроту ( $d_e$ );

$b_1 b_2 b_3 b_4$  - коефіцієнти регресії при змінних факторах, є оцінками їх значимості;

$b_{12} b_{13} b_{23} b_{123}$  - коефіцієнти регресії, що враховують значимість взаємовпливу змінних факторів на процес наплавлення.

Кодування факторів  $x_1 x_2 x_3 x_4$  в рівнянні регресії (3.7) здійснюється за такими залежностями:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\lg d - \lg d_{\max})}{\lg d_{\max} - \lg d_{\min}} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(\lg \Omega - \lg \Omega_{\max})}{\lg \Omega_{\max} - \lg \Omega_{\min}} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(\lg \omega - \lg \omega_{\max})}{\lg \omega_{\max} - \lg \omega_{\min}} + 1; \\ x_4 &= \frac{2(\lg v - \lg v_{\max})}{\lg v_{\max} - \lg v_{\min}} + 1. \end{aligned} \right\} (3.8)$$

Розрахунок коефіцієнтів регресії  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  в рівнянні (3.7) здійснюється з урахуванням знака ( $\pm$ ) при змінних факторах по залежностям:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i; \\ b_j &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} \bar{y}_i \end{aligned} \right\} (3.9)$$

де,  $\bar{y}_i$  - середнє значення логарифма твердості наплавленої поверхні чотирьох паралельних дослідів.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії здійснюється за допомогою  $t$  - критерію Стюдента. коефіцієнт регресії  $b_j$  статистично значимий, якщо виконується умова:

$$b_j \geq \pm t_{T(p\bar{f}_1)} S_{b_j} \quad (3.10.)$$

де,  $t_{T(p\bar{f}_1)}$  - табличне значення критерію Стюдента;

$S_{b_j}$  - середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії.

При рівні довірчої ймовірності  $p = 0,95$  і числі ступенів свободи дисперсії адекватності табличне значення дисперсії адекватності критерію Стюдента становить 2,12.

Середньоквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії визначається:

$$S_{b_j} = \sqrt{\frac{S \frac{2}{y_t}}{N}}$$

де,  $S \frac{2}{y_t}$  - оцінка середнього значення дисперсії відтворюваності дослідів:

$$S^2_{y_t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2$$

де,  $S_i^2$  - дисперсії відтворюваності паралельних дослідів.

Згідно з методикою проведення повного факторного експерименту з чотирма змінними факторами на двох рівнях нам потрібно 16 незалежних дослідів ( $N = 2^4$ ). Кожен з дослідів при цьому повинен відповідати граничній точці фактора. Для достовірності отриманого результату по кожному незалежному досвіду рекомендується проводити не менше чотирьох паралельних дослідів.

Далі визначаємо рівні варіювання факторів.

Рівні варіювання  $I$  (сила зварювального струму),  $U$  (напруга зварювальної дуги) приймаються з розрахунків, ефективності наплавочного процесу:

-  $I = 280 \dots 300$  А;

-  $U = 28 \dots 30$  В.

Марка електродного дроту приймається виходячи з отримання необхідної твердості наплавлюваного поверхні  $HRC = 30 \dots 45$  марки іхімічного складу сталі поперечних планок підбарання.

Діаметр наплавочного дроту приймається виходячи з необхідної висоти наплавлення відповідно до рекомендацій  $d = 1,6 \dots 2,0$  мм.

Таблиця 3.4.

Рівні варіювання змінних факторів при наплавленні поперечної планки підбарання

Рівень варіювання	Сила зварювального струму		Напруга зварювальної дуги		Марка електроду		Діаметр електроду	
	I, А	X <sub>1</sub>	U, В	X <sub>2</sub>	М <sub>е</sub>	X <sub>3</sub>	d <sub>е</sub>	X <sub>4</sub>
Верхній	300	+1	20	+1	НП-40ХЗГ2МФ	+1	2,0	+1
Основний	290	0	29	0	НП-30Х5	0	1,8	0
Нижній	280	-1	28	-1	НП-60Г	-1	1,6	-1

У нашому випадку є чотири комбінації чинників на всіх рівнях їх варіювання ( $k = 4$ ), тоді матриця плану проведення експерименту буде мати вид (таблиця 3.5.).

Таблиця 3.5.

Матриця плану чотирьохфакторного експерименту  $N = 2^4$ 

№ досліду, $N$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_1x_4$	$x_2x_3$	$x_2x_4$	$x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
3	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-
4	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+
5	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
6	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+
7	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+
8	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
9	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
10	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+
11	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+
12	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-
13	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+
14	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-
15	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
16	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+

У наведеній матриці плану проведення експерименту рядки відповідають проведеним дослідом, а стовпці  $X_j$ - факторам незалежного і їх взаємного впливу. Знаку (+) відповідає максимальне значення фактора в експерименті, знаку (-) мінімальне значення.

Для побудови рівняння регресії в логарифмічних координатах, представимо отримані експериментальним шляхом значення твердості як

логарифм її значень з символом  $y_{ik}$ , а середнє арифметичне логарифмів як  $y_r$ .

Формула для перекладу натуральних значень факторів в кодовані параметри:

$$t_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i}, \quad (3.13.)$$

$t_i$  – кодоване значення  $i$  фактора;

$x_i$  – поточне натуральне значення  $i$  фактора;

$x_{i0}$  – натуральне значення нульового (основного) рівня  $i$  фактора;

$\Delta_i$  – натуральне значення інтервалу варіювання  $i$  фактора.

Натуральні значення інтервалу варіювання та нульового (основного) рівня  $i$  фактора визначаються за формулами:

$$\Delta_i = \frac{x_{imax} - x_{imin}}{2}, \quad x_{i0} = \frac{x_{imax} + x_{imin}}{2} \quad (3.14.)$$

де,  $x_{i \max}$  та  $x_{i \min}$  – натуральні максимальні та мінімальні значення  $i$  фактора відповідно.

Оцінка відтворюваності паралельних дослідів в логарифмічному вираженні здійснюється по G-критерію Кохрена, згідно з яким гіпотеза відтворюваності дослідів приймається, якщо розрахункове значення G до критерію буде менше його табличного значення:

$$G_p \leq G_T(p, N, f_i), \quad (3.16)$$

де  $p$  – рівень довірчої ймовірності, прийнятої в експерименті;

$N$  – число дослідів;

$f_i$  – число ступенів свободи кожного досвіду. Для прийнятих в експерименті умов дослідів:

$p = 0,95$ ;  $N = 16$ ;  $f_i = k - 1 = 4 - 1 = 3$  табличне значення критерію Кохрена становить:  $G_T(0,95; 16; 3) = 0,5157$

## РОЗДІЛ 4 ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.

### 4.1. Аналіз результатів лабораторних досліджень.

Опираючись на результати в третьому розділі, приймаємо оптимальні значення за такими параметрами:

- показники твердості наплавленої поверхні в інтервалі 32-38 од. HRC згідно висновків за результатами досліджень, проведених в розділі 2 і главі 3;
- отримання мінімальних показників зносу в інтервалі твердості наплавленої поверхні не менше 34 од. HRC.

Отримання оптимальних значень в цих інтервалах будуть вважатися необхідною умовою для режимів наплавлення, що відповідає цілі експерименту.

З практичної точки зору, краще при цьому отримати тривимірні графіки залежностей вихідного параметра від наведених режимів наплавлення, щоб їх вибір в сукупності забезпечував необхідний рівень твердості наплавленої поверхні і мінімальний знос.

Побудова таких графіків можливо при наявності математичної залежності (моделі) твердості і зносу наплавленої поверхні від наведених факторів, поверхня відгуку, якої можна уявити, як геометричне місце точок значень параметрів режиму, що відповідають одному конкретно заданому параметру наплавлення.

Грунтуючись на результатах, отриманих в процесі проведених експериментів, які оброблялися в програмі «Statistika 10» були отримані значення коефіцієнтів регресії (представлені в Таблиці 4.1).

Таблиця 4.1.

Результати експерименту по наплавленні поперечної планки  
підбарабання

N = 135	Підсумки регресії для залежної змінної: $Y_1$
---------	---

	БЕТА	Ст.ош. БЕТА	В	Ст.ош. В	T (130)	P-знач.
Св.член			36,55556	0,09265	394,5670 0	0,00000
$x_1$ I (сила струму)	0,09641	0,03395	0,32222	0,11347	2,83970	0,00524
$x_2$ U (напруга зварювальної дуги)	0,22607	0,03395	0,75556	0,11347	6,65870	0,00000
$x_3$ Me (марка зварювального дроту)	0,88868	0,03395	3,42963	0,13102	26,17580	0,00000
$x_4$ de (діаметр зварювального дроту)	0,00332	0,03395	0,01111	0,11347	0,09790	0,92215
$x_1x_2$	0,02179	0,00115	0,24346	0,01288	18,90871	0,00000
$x_1x_3$	0,08568	0,00115	1,10510	0,01487	74,33142	0,00000
$x_1x_4$	0,00032	0,00115	0,00358	0,01288	0,27801	0,00483
$x_2x_3$	0,20090	0,00115	2,59129	0,01487	174,2968 0	0,00000
$x_2x_4$	0,00075	0,00115	0,00839	0,01288	0,65189	0,00000
$x_3x_4$	0,00295	0,00115	0,03810	0,01487	2,56261	0,00000
$x_1x_2x_3$	0,01937	0,00004	0,83497	0,00169	494,9506 2	0,00000
$x_1x_2x_4$	0,00028	0,00004	0,01228	0,00169	7,27705	0,00000
$x_2x_3x_4$	0,00067	0,00004	0,02879	0,00169	17,06366	0,00000
$x_1x_2x_3x_4$	0,00006	0,00000	0,00928	0,00019	48,45567	0,00000

Таблиця 4.2.

## Результати розрахунку коефіцієнтів регресії

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$
36,55556	0,32222	0,75556	3,42963	0,01111	0,24346	1,10510	0,00358
$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{34}$	$b_{123}$	$b_{124}$	$b_{234}$	$b_{1234}$	
2,59129	0,00839	0,03810	0,83497	0,01228	0,02879	0,00928	

З урахуванням оцінки значущості коефіцієнтів, рівняння регресії (3.7) для параметра твердості матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}
Y_1 = & 36,55556 + 0,32222x_1 + 0,75556x_2 + 3,42963x_3 + 0,01111x_4 \\
& + 0,24346x_1x_2 + 2,59129x_2x_3 + 1,10510x_1x_3 + 0,00358x_1x_4 \\
& + 0,00839x_2x_4 + 0,03810x_3x_4 + 0,83497x_1x_2x_3 + 0,01228x_1x_2x_4 \\
& + 0,02879x_2x_3x_4 + 0,00928x_1x_2x_3x_4
\end{aligned}$$

Таблиця 4.3.

Результати експерименту по наплавленню поперечної планки  
підбарання

N = 135	Підсумки регресії для залежної змінної: $Y_2$					
	БЕТА	Ст.ош. БЕТА	В	Ст.ош. В	T (130)	P-знач.
Св.член			1,085061	0,004913	220,8386	0,00000
$x_1$ I (сила струму)	-0,003623	0,03395	0,32222	0,11347	2,83970	0,00524
$x_2$ U (напруга зварювальної дуги)	-0,009745	0,065399	-0,000897	0,006018	-0,1490	0,881779
$x_3$ $M_e$ (марка зварювального дроту)	-0,000930	0,065399	-0,070788	0,006018	-0,0142	0,988678
$x_4$ $d_e$ (діаметр зварювального дроту)	-0,666246	0,065399	-0,000086	0,006949	-10,1875	0,000000
$x_1x_2$	0,00004	0,00428	0,00000	0,00004	0,00825	0,84290
$x_1x_3$	0,00000	0,00428	0,00002	0,00004	0,00079	0,94509
$x_1x_4$	0,00241	0,00428	0,00000	0,00004	0,56431	0,00000
$x_2x_3$	0,00001	0,00428	0,00006	0,00004	0,00212	0,87180
$x_2x_4$	0,00649	0,00428	0,00000	0,00004	1,51800	0,00000
$x_3x_4$	0,00062	0,00428	0,00001	0,00004	0,14484	0,00000
$x_1x_2x_3$	0,00000	0,00028	0,00000	0,00000	-0,00012	0,83336
$x_1x_2x_4$	0,00000	0,00028	0,00000	0,00000	-0,00802	0,00000
$x_2x_3x_4$	-0,00001	0,00028	0,00000	0,00000	-0,02158	0,00000
$x_1x_2x_3x_4$	0,00000	0,00002	0,00000	0,00000	0,00120	0,00000

## Результати розрахунку коефіцієнтів регресії

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$
1,085061	-0,000333	-0,000897	-0,070788	-0,000086	0	0,00002	0
$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{34}$	$b_{123}$	$b_{124}$	$b_{234}$	$b_{1234}$	
0,00006	0	0,00001	0	0	0	0	

З урахуванням оцінки значущості коефіцієнтів, рівняння регресії (3.7) для параметра зносу наплавленої поверхні матиме такий вигляд:

$$Y_2 = 36,55556 + 0,000333x_1 + 0,000897x_2 + 0,070788x_3 + 0,000086x_4 + 0,24346x_2x_3 + 2,59129x_3x_4$$

Як вказувалося, раніше, значення змінних факторів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  і  $x_4$  в рівнянні регресії (4.1, 4.2) знаходяться в закодованому вигляді за виразами (3.2).

За результатами експериментів були побудовані поверхні відгуку для визначення оптимальних режимів наплавлення ПППК.

$$HRC = 1226,0667 - 2,5794 * x - 58,2444 * y + 0,0023 * x * x + 0,045 * x * y + 0,8 * y * y$$

( $y$  - напруга дуги,  $x$  - сила струму)

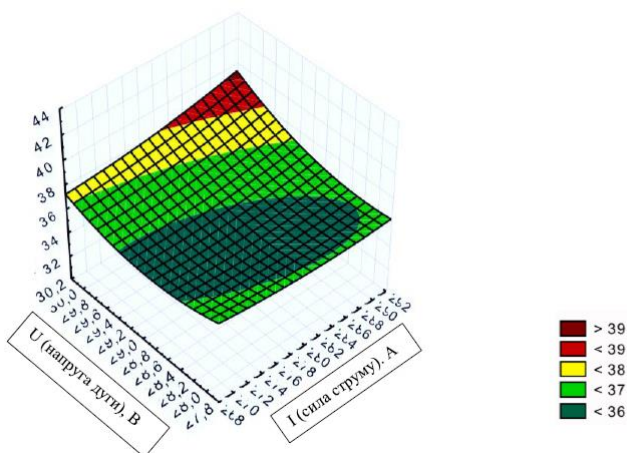


Рис. 4.1. - Залежність твердості наплавленого поверхні від сили струму і напруга дуги

Отримана поверхня показує, що необхідні значення твердості ( $HRC \geq 34$ ) досягаються при силі струму  $I$  в інтервалі / 280 ... 289 / А, при напруги дуги  $U_{дв}$  інтервалі / 28,2 ... 28,8 / В. Твердість наплавленої поверхні становить 34 ... 38 HRC.

$$HRC = -1805,7048 + 39,4683 * x - 0,7594 * y - 0,1931 * x * 0,005 * x * y + 0,0023 * y * y$$

$x$  - марка електроду,  $y$  - сила струму

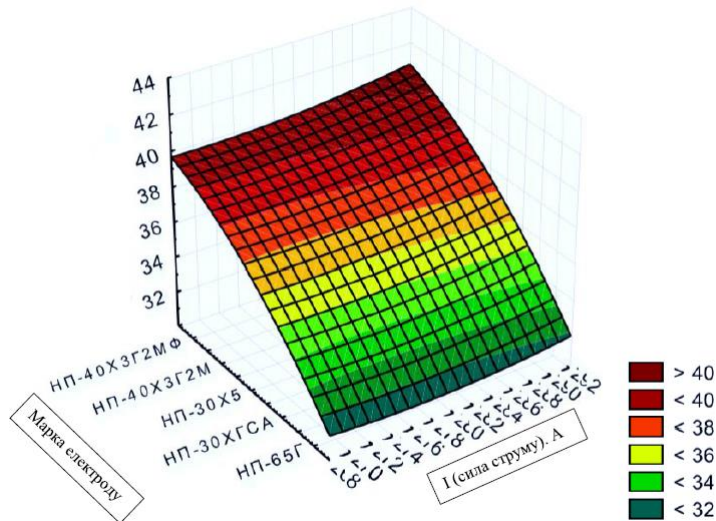


Рис. 4.2. - Залежність твердості наплавленої поверхні від сили струму і марки наплавочного дроту

Отримана поверхня показує, що оптимальними значеннями твердості досягаються при силі струму  $I$  в інтервалі /280...290/А, при марці дроту Ме: НП-40ХЗГ2МФ, 40ХЗГ2М, НП-30х5, НП-30ХГСА. Твердість наплавленої поверхні становить 32 ... 38 HRC.

$$HRC = 678,7778 - 45,6444 * x + 9,0556 * y + 0,8 * x * x + 1,3338E-9 * x * y - 2,5 * y * y$$

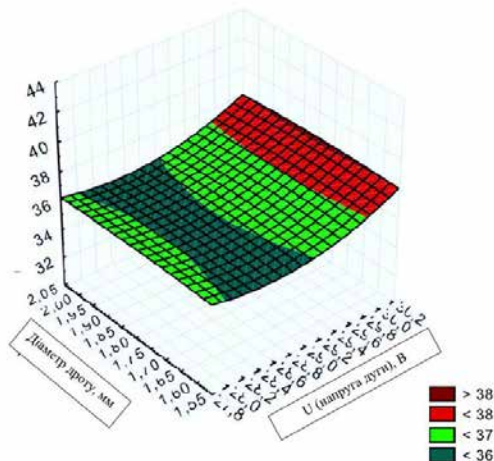


Рис. 4.3. Залежність твердості наплавлюваної поверхні від напруги дуги та діаметру наплавочного дроту.

Отримана поверхня показує, що оптимальними значеннями твердості досягаються при напрузі дуги в інтервалі 29 ... 30 В, при діаметрах електродного дроту 1,6 мм, 1,8 мм, 2,00 мм. Твердість напавленої поверхні становить 32 ... 38HRC.

$$Q_{zn} = 296,5726 - 0,0005 * x - 5,7726 * y + 8,1556E-6 * x * x - 3,9444E-5 * x * y + 0,0282 * y * y$$

x - I (сила струму), y - марка дроту

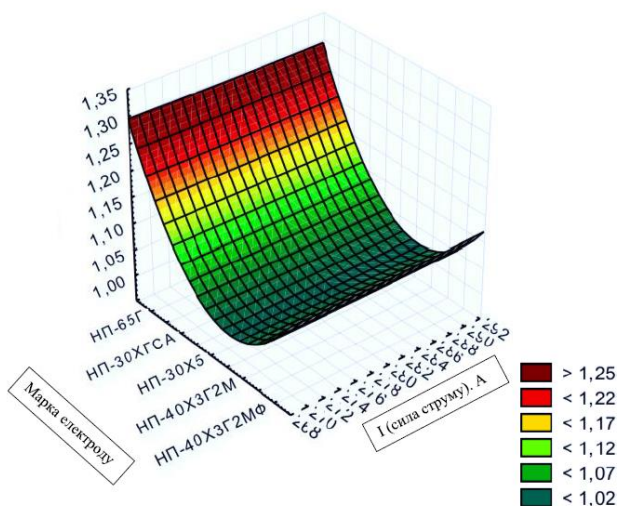


Рис. 4.4. - Залежність зносу наплавлюваної поверхні від сили струму і марки наплавочного дроту.

Отримана поверхня показує, що мінімальні значення зносу досягаються

при силі струму в інтервалі 280 ... 290а, при марках дроту НП-30х5, НП-40Х3Г2М. Твердість наплавленої поверхні становить 32 ... 38HRC.

Аналіз отриманих поверхонь відгуку твердості і зносу наплавленої поверхні від незалежних і керованих факторів ( $I$ ,  $U$ ,  $M_e$ ,  $d_e$ ) і рівнянь регресії 4.1, 4.2 показав, що оптимальні параметри наплавлення:  $U = 29В$ ,  $I = 280А$ ,

$M_e$  -НП-40Х3Г2М,  $d_e = 1,8$  мм. Дані параметри найбільш повно задовольняють вимогам досліджень і узгоджуються з висновками, зробленими в 2,3 розділах магістерської кваліфікаційної роботи).

Використовуючи вищевикладені результати теоретичних і лабораторних досліджень, для перевірки достовірності отриманих даних були проведені виробничі випробування на комбайнах «CLAAS» в польових умовах.

#### 4.2 Аналіз результатів виробничих експериментів.

Відновлення ПППК по режимам наплавлення, проводилося за розробленою технологією з наступною механічною обробкою під номінальний розмір (висоту) поперечної планки.

Висота планки після наплавлення повинна бути рівною 10,1 мм.

Наступний етап відновлення механічна обробка наплавленого шару.

На відміну від підбарабанья з постійним радіусом, що застосовуються на комбайнах російських виробників, підбарабанням комбайна «CLAAS» має змінний радіус в результаті чого механічну обробку необхідно проводити при поздовжньої подачі. Для цього використовується горизонтально-фрезерний верстат 6Н82. Підбарабанням фіксується в спеціальному пристосуванні, закріпленому болтами на робочому столі верстата. Воно виставляється так, щоб планка розташовувалася строго під різцем (рис 4.5). Після чого здійснюється прохід з глибиною різання 1-3 мм (в залежності від товщини наплавленого шару) і подачею столу 2 см / хв. Висота планки після обробки повинна бути в межах 9,0-10,1 мм.

Для відновлення крайок роблять ще два проходи, по обидва боки планки,

при яких різці знімають тільки бічні виступаючі частини, при цьому для більш чистової обробки подачу столу рекомендується зменшити до 1 см / хв.

Для оптимізації робіт, пов'язаних з виконанням механічної обробки використовується спеціальне пристосування для відновлення подбарабанья комбайнів «CLAAS» на горизонтально-фрезерному верстаті 6Н82.

Пристрій складається з двох складальних одиниць: 5 - стаціонарна частина пристосування (рама), 1 - пересувна частина пристосування. За допомогою чотирьох болтів 7 і гайок 6 стаціонарна частина пристосування 5 кріпиться до робочого столу горизонтально-фрезерного верстата 6Н82.

Пересувна частина 1 спирається куточками на підшипники 4, розміщені на осях рами. Рухому частину пристосування фіксують щодо стаціонарної частини за допомогою двох болтів 8. Переміщення подбарабанья в горизонтальній площині обмежують два болта 2, а у вертикальній дві скоби 3. Для роботи верстата використовується кнопка включення і виключення 10/11.

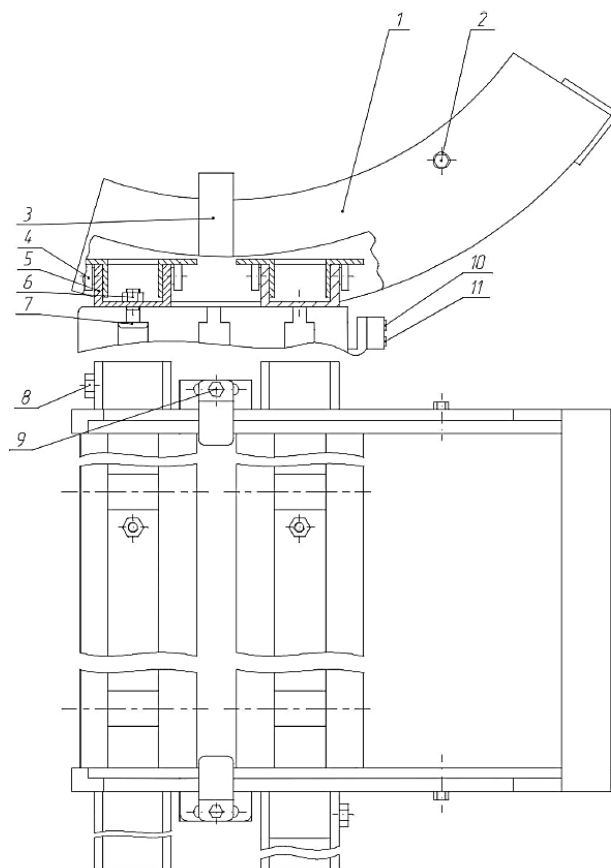


Рис. 4.5 Пристосування для фрезерування підбарабаньям «CLAAS»

Працює пристрій наступним чином. Стационарна частина 5 кріпиться на робочий стіл за допомогою болтів 7 і гайок 6. Зверху розміщується пересувна частина 1 таким чином, щоб зовнішні кільця підшипників потрапили в спеціальні поглиблення. При цьому внутрішня частина поверхні куточка ляжена швелер тим самим зніме навантаження з підшипників 4. У цьому положенні кріпиться пересувну частину 1 до стационарної 5 за допомогою болтів 8.

Встановлюється підбарабанням в пристосування.

Болтами 9 прикручується скоба 3 до рами, тим самим притискаючи підбарабанням до пристосування, тобто обмежуючи його переміщення у вертикальній площині.

Болти 2 вкручуються до упору для обмеження пересування в горизонтальній площині.

Встановлюється режим фрезерування і кнопкою 10 включається верстат. Після обробки першої половини пересувна частина 1 звільняється і під дією сили прикладеної фрезерувальником переміщається в друге положення. При цьому зовнішнє кільце підшипника 4, вийде зі спеціального поглиблення рухомої частини 1, і буде переміщатися по похилій до горизонтальної поверхні куточка, а потім по ній. При такому ході поверхню куточка не стосується швелера, що полегшує перебіг пристосування. Після того як пересувна частина дійде до наступного положення, підшипники знову займуть положення, при якому навантаження (вага підбарабанья) на них не діє.

Регулювання відновлених підбарабань проводилася під тип культури, а обслуговування відповідно до вимог заводу-виготовлювача. Дослідження проводилися протягом жнив протягом 2018-2019р. За час досліджень оцінка зносу відновлених підбарабань (вимірювання, візуальний огляд) проводилися два рази на сезон (перед початком збиральної і після її завершення). При цьому фіксувалася напрацювання в мото-годинах і намолотили за збиральний сезон. Вимірювання проводилося через оглядові люки камери підбарабанням, і визначалася різниця значення величин показників висот робочої планки між початком і закінченням збирання зернових культур. У зв'язку з

важкодоступністю дослідження точкою вимірювання висоти поперечної планки було відстань 100 мм від краю конструкції з лівого і правого боку підбарабанням. Виміри проводилися через оглядові люки, передбачені в конструкції корпусу молотильного апарату. В якості вимірювального інструмента використовувався спеціальний штангенциркуль для проведення вимірювань у важкодоступних місцях ABSOLUTE Digimatic 573-646 (Діапазон вимірювання 40 - 150мм, похибка вимірювання +/- 0,01 мм, маса 157г.).



Рис. 4.6 Штангенциркуль ABSOLUTE Digimatic 573-646.

Для ведення обліку напрацювання зернозбиральних комбайнів і зносу робочих поверхонь поперечних планок підбарабання застосовувався польовий журнал, в якому відображалася вся інформація. Результати випробувань представлені в таблиці 4.5.



Рис. 4.9. - Фотографії виробничих випробувань

Таблиця 4.5.

## Виробничі випробування.

Комбайн 1						
Період	Напрацювання, мото-годин		Знос за період, мм.	Загальний знос за період 2015-2023 р. мм.	Середній знос поперечної планки підбарабання мм./1000 мото-годин	Середній знос поперечної планки підбарабання мм/1000 т.
	Початок	Кінець				
2018	2205	2601	0,62	1,28	1,31	0,12
2019	2601	3181	0,68			
Комбайн 2						
Період	Напрацювання, мото-годин		Знос за період, мм.	Загальний знос за період 2015-2016р.мм.	Середній знос поперечної планки підбарабання мм./1000 мото-годин	Середній знос поперечної планки підбарабання мм/1000 т.
	Початок	Кінець				
2018	2099	2512	0,61	1,27	1,41	0,13
2019	2512	3102	0,66			

За підсумком проведених випробувань всі дані були зведені в підсумкову таблицю 4.5. в якій відображені

- вступна інформація (період експлуатації, напрацювання, знос по кожному з зернозбиральних комбайнів;
- аналітична інформація (знос (мм) за період експлуатації в розрізі 1000 мото-годину і 1000 тонн намоту по кожному з зернозбиральних комбайнів)

Оцінюючи по Таблиці 4.5. показники зносів поперечних планок, для нового підбарабання, (0,15...0,2мм./1000т. намоту) і отримані дані під час виробничих випробувань для відновлених підбарабань (0,12...0,14мм./1000т. намоту) можна зробити висновок, що отримані показники відповідають поставленим цілям дослідження.

## ВИСНОВКИ

Аналіз літературних джерел і спеціалізованої науково проектної документації показав актуальність і важливість питання відновлення та ремонту молотильних апаратів зернозбиральних комбайнів іноземного виробництва (15% від загального числа дефектів комбайнів фірми «CLAAS»). При цьому більше 80% зерна обмолочується через підбарабання, а якість зерна (відколи, руйнування оболонки, чистота і т.п.) в значній мірі (до 70%) залежить тільки від справності молотильного апарату.

З техніко-економічної точки зору найбільш перспективним способом з відновлення поперечної планки підбарабання є спосіб наплавлення в середовищі вуглекислого газу електродним металом.

Теоретично встановлено, що висоти наплавленого валика  $g$  прямо пропорційна силі струму  $I_{св}$ , Напрузі  $U_d$  і ККД зварювальної дуги  $\mu$  і обернено пропорційна ширині наплавочного валика  $e$ , щільності наплавленого металу  $j$ , температурі плавлення  $T_{пл}$ , коефіцієнту форми проплавлення  $\Psi_{пр}$  і швидкості наплавлення  $V_{св}$ . В результаті угруповання отриманих результатів запропонована закономірність, що характеризує глибину проплавлення безмірним числовим коефіцієнтом  $A_2$ , Параметрами  $B_2$  і  $C_2$ , Що характеризують відповідно наплавляється метал і режими наплавлення.

Встановлено граничні значення твердості HRC наплавленого металу від основного металу в межах 85-115%. При цьому досягаються найкращі якісні характеристики наплавленого шару.

Максимальна стійкість наплавленого металу до утворення гарячих і холодних тріщин досягається при значеннях відповідної стійкості HCS  $<4$  і HV  $<350$  і залежить від процентного співвідношення хімічних елементів: HCS - C, S, P, Si, Ni, Mn, Cr, Mo, V; HV - C, Si, Ni, Mn, Cr.

Розглянуто основні фактори, що впливають на зносостійкість наплавленої поверхні I і встановлена пряма залежність від твердості HRC, хімічного складу наплавленого шару  $E_x$ , Навантаження діючої на поверхню підбарабанням  $H_n$ , I показника характеризує фізичні умови зносу  $U$ . При

цьому, значення параметрів залежать від коефіцієнтів  $K_1$ ,  $Do_2$ ,  $Do_3$  і  $K_4$  визначаються експериментальним шляхом.

Використовуючи оптико-емісійний аналізатор хімічного складу РМІ - MASTER UVR вперше визначили хімічний склад і процентний вміст елементів металу підбарабанням TUCANO «CLAAS». Це метал відноситься до типу хромокремнемарганцевістих мікролегованих сталей, у яких вміст вуглецю не перевищує 0,2%. Мікролегуючі елементи, що входять до складу сталей, знаходяться в наступних межах, %: Al <0,06; Cr <0,25; Zr <0,1; V <0,15; Ti 0,1-0,2; Nb <0,06; Mo <0,20; B <0,05. Суммарное зміст Zr і Ti не перевищує 0,2%, а Nb, Ti і W - 0,16%.

На підставі проведених лабораторних експериментів з відновлення робочої поверхні поперечної планки підбарабання комбайна TUCANO «CLAAS» були визначені зразки, у яких твердість наплавленої поверхні відповідає інтервалу HRC не менше 34 одиниць. Найбільше збільшення твердості отримано з наплавочною дротом Нп-30х5, твердість від 34 до 40 одиниць HRC при діаметрі  $d_e = 1,9-2,0$  мм. З дротами марок НП40Х3Г2М і НП40Х3Г2МФ діаметром  $d_e = 1,8-2,0$  мм, твердість відповідно складала 34-38 і 36-40 HRC.

Виробничі випробування наплавлених поперечних планок підбарабань дротом Нп-30х5, П40Х3Г2М і НП40Х3Г2МФ показали збіжність результатів зносу з експериментальними даними на установці, розробленої авторами. Це пояснюється ідентичністю фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей нових підбарабань і відновлених згідно запропонованих режимних параметрів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш Р. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–150К–09. Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. Вип. 32. С. 18–26
2. Вітвіцький В. В., Лосина М. С., Гулька М. С. Методика розробки та типові норми часу на технічне обслуговування тракторів. Київ: НДІ «Укragропромпродуктивність», 2005. 219 с. 15.
3. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2016. 360 с.
4. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2006. № 10. С. 66–73. 40.
5. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Підвищення коефіцієнта технічного використання тракторів ХТЗ скороченням тривалості їх технічного обслуговування. Вісник ХНТУ ім. П. Василенка: 2015. № 163. С. 78–83. 41.
6. Кузьмінський Р. Д., Іванишин В. В., Барабаш Р. І., Ткач О. В. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522. Збірник наукових праць. Подільського державного аграрно-технічного університету: Технічні науки. 2016. № 24. т.2. С. 175–184
7. Kuzminskyj R., Krajnyk L., Barabash R., Sosnowski S. Organizational and technological compatibility of the technological processes of all different types of maintenance of KhTZ-3522 tractors in the joint technological flow. ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal. 2017. Vol. 6, No. 3, P. 5–16. 44.
8. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–17221. Развитие науки в

XXI веке: Междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 11 апр. 2015 г.). Харьков, 2015. С. 60–65. 45.

9. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Організаційно-технологічна сумісність технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Крамаровські читання: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 21 лют. 2019 р.). Київ: Вид. центр НУБіП України, 2019. С. 257–259. 46.

10. Кузьмінський Р. Д. Про можливість використання алгоритму “наповнення контейнерів” для моделювання технологічних процесів відновлення. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 1998. № 2. С. 25–28. 47.

11. Кузьмінський Р. Д., Соколовський О. Р. Алгоритм проектування технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Збірник наукових статей ЛНТУ: Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2011. Вип. 21, т. 1. С. 228–235. 51.

12. Кузьмінський Р. Д. Конструктивно-технологічний базис процесів ремонту коробок передач зернозбиральних комбайнів. Наукові і практичні аспекти агропромислового виробництва та розвитку сільських регіонів: матеріали Міжнар. науч.-практ. форуму, 22-24 вер. 2010 р. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2010. С. 458–467. 52.

13. Кузьмінський Р. Структура, параметри та ефективність технологічних процесів ремонту. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2005. № 9. С. 50–60.

14. Кузьмінський Р., Кордоба В. Алгоритм визначення продуктивності та виробничої структури технологічних ділянок відновлення зношених деталей на етапі проектування. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2011. № 15. С. 297–308.

15. Семкович О., Барабаш Р. Стан і перспективи розвитку ринку технічного сервісу в агропромисловому комплексі України. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2005. № 9. С. 9–15. 98.

16. Сидорчук О. В., Семерак М. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Концепція управління проектом технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2008. № 12, т. 1. С. 16–21. 99.
17. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Закономірності кількісних і якісних змін надходжень замовлень на ремонт агрегатів. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Вип. 10 (24), кн. 1. С. 69–76. 100.
18. Сидорчук О. В., Боярчук В. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Основні функції і форми управління системою технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 51–56. 101.
19. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І., Михалюк М. А. Технологічна складова функціональної структури системи фірмового технічного обслуговування тракторів ХТЗ. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 73–80.
20. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2016 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2017. 108.
21. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2017 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2018. 109.
22. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2018 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2019. 110.
23. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2019 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2020. 157 111.

24. Стукалець І. Г. Організаційно-технологічна сумісність ремонтновідновних процесів підприємств багатопредметної спеціалізації. Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: матеріали 4-ої Міжнар. студ. наук. конф. (26-30 верес. 2004 р.). Львів: ЛДАУ, 2004. С. 333–341. 112.
25. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2017 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2017. 226 с. 113.
26. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2018 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2018. 227 с. 114.
27. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2019 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2019. 226 с. 115.
28. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2020 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2020. 225 с.
29. Технологічні карти на передпродажне та технічне обслуговування тракторів ХТЗ–16131, ХТЗ–16331 / Харків, 2014. 92 с. 124.
30. Технологічні карти на передпродажне та технічне обслуговування тракторів ХТЗ–150К–09 / Харків, 2014. 67 с.
31. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / за ред. Сало В.М. –Х.: Мачулін, 2016. –244 с
32. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівозмінах/ В.М.Кабанець, М.Г.Собко, О.В.Радченко/під ред. М.Г. Собка. Сад, 2015. 16 с.
33. Надикто В. Оранка: міфи та реалії // Агробізнес сьогодні. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html](http://agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html)
34. Сивак Р.І. Пластичність металів при немонотонному навантаженні / Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця, 2016. - №1 (91). – С.108-111 10.
35. Сердюк О.В., Сивак І.О., Сухоруков С.І., Сивак Р.І. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / Наукові нотатки. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.277-281 (науково-метрична база РИНЦ)

36. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г. Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №3 (95). – Вінниця. – 2016. – С. 89-93.
37. Анісімов Ф.Ф. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів / В.Ф. Анісімов, Д.В. Борисюк, О.В. Черкевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №2 (94). – Вінниця. – 2016. – С. 34-36.
38. Булгаков В.М. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів / Г.М. Калетнік , В.В. Адамчук, В.М. Булгаков , В.В. Яременко // Всеукраїнський науковотехнічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №2 (94) 2016. – С.12- 19 73
39. Солоня О.В., Рудницький Б.О., Деревенько І.А., Омелянчук О.М. «Аналіз умов експлуатації електроустаткування в сільському господарстві» Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця – 2017. №4(99), – С. 41-45
40. Калетнік Г.М. Стан та основні перспективи підготовки висококваліфікованих та наукових кадрів в галузі агроінженерії / Г.М. Калетнік, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №1 (96) 2017. – С.5-15
41. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві [Текст] / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.
42. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашинський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132
43. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.

- Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2013. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.
44. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві // Навчальний посібник / В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула.– Мелітополь, 2005. – 337с.
45. Кувачов В.П. Потенційні можливості баластування колісного трактора за умовою екофільності шини в залежності від тиску повітря в неї / Кувачов В.П., Мітков В.Б., Аюбов А.М., Шульга О.В. // Науковий вісник ТДАТУ. - Мелітополь, 2016. - Вип. 6., т.3. - С. 26-33.
46. Сандомирський М.Г. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев– К.: Вища школа, 2000. – 357с.
47. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / А.Ф. Головчука , В.Ф. Орлов, О.П. Строков; – К.: Грамота, 2003 – Кн.1: Трактори. - 336 с.
48. Сандомирський М.Г., Бойко М.Ф., Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев і інш.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. – К.: Вища школа, 2000. – 357 с.
49. ДСТУ ГОСТ 10578:2003. Насоси паливні дизелів. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 17 с.
50. Шевчук Р. С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник / Р. С. Шевчук. – Львів: Львівський національний аграрний університет, 2016. – 236 с.