

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

**на тему «Підвищення ресурсу роботи кранових коліс методом
направлення в умовах металоторгівельної організації»**

Керівник роботи

Олег БУНДЗА

Консультант від
бази практики

Олександр
ПАЛАМАРЧУК

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

Здобувач

Валерій БОЙКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Бойкові Валерію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ресурсу роботи кранових коліс методом наплавлення в умовах металоторгівельної організації»

керівник роботи Бундза Олег Зіновійович, доцент, кандидат техн. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані металоторгівельної організації, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (Потреба в ремонті кранових коліс для роботи металоторгівельної організації. Діючий технологічний процес, виробнича потужність. Такт виробництва, визначення операції що потребує вдосконалення). 2. Теоретичні дослідження (Теоретичний опис процесу наплавки. Способи та матеріали наплавки/зварювання. Режим наплавки. Обладнання для наплавки. Конструкція вузлів головного руху та руху подачі). 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Програма експерименту; 3.2 Виконання експерименту та отримані результати; 3.3 Аналіз результатів та висновки). 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 2. Теоретичні дослідження	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Розділ 4. Економічний розрахунок	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

Бойко В.О.

Керівник
роботи

Бундза О.З.

АНОТАЦІЯ

Бойко Валерій Олександрович. Підвищення ресурсу роботи кранових коліс методом наплавлення в умов металоторгівельної організації. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Об'єктом дослідження є кранові колеса вантажопідйомних кранів.

Предметом дослідження є підвищення продуктивності процесу відновлення кранових коліс методом наплавки.

У першому розділі проаналізовано використання вантажопідйомних кранів на металоторгівельній організації. Надана загальна характеристика основних способів відновлення кранових коліс та наявного обладнання. В результаті визначена необхідність модернізації наявного обладнання з метою підвищення продуктивності дільниці.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу наплавки, обґрунтовано вибір всіх технічних складових обладнання, виконання теоретичних досліджень, запропоновано конструктивне виконання вузлів головного руху та руху подач.

У третьому розділі наведено методику визначення режимів роботи обладнання. Крім того, розроблено технологію ремонту кранових коліс найбільш затребуваних розмірів.

У четвертому розділі наведено відповідні розрахунки, що підтверджують економічну обґрунтованість впровадження запропонованого технічного рішення в металоторгівельній організації.

Ключові слова: вантажопідйомний кран, наплавка, електропривод, автоматизація, верстат, кранове колесо.

Апробація результатів:

Boiko V.O., Rybnytskyi M.V. Study of the efficiency of the metal trading organization. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. С. 14–17.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-85>

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	8
1.1. Потреба в ремонті кранових коліс для роботи металоторгівельної організації	8
1.2. Діючий технологічний процес, виробнича потужність	9
1.3. Такт виробництва, визначення операції що потребує вдосконалення	12
1.4. Висновки	13
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	14
2.1 Теоретичний опис процесу наплавки	14
2.2 Способи та матеріали наплавки/зварювання	16
2.3 Режими наплавки	18
2.4 Обладнання для наплавки	24
2.5 Конструкція вузлів головного руху та руху подач	30
2.6 Висновки	34
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Програма експерименту	36
3.2 Виконання експерименту та отримані результати	39
3.3 Аналіз результатів та висновки	42
3.4 Аналіз зварювального обладнання	45
3.5 Модернізація зварювального обладнання	47
3.6 Аналіз виконавчих органів верстати	48
3.7 Пропозиція щодо модернізації	50
3.8 Витрати на модернізацію	51
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗМІН	52
ВИСНОВКИ	53
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	55
ДОДАТКИ	56

ВСТУП

Вантажопідйомні крани використовуються у всіх галузях промисловості України та світу, від їх надійної та сталої роботи залежить ефективність підприємств та галузі в цілому.

Вантажопідйомальні крани бувають різних типів та різної вантажопідйомності в залежності від особливості технологічних процесів підприємств, на яких вони використовуються. Але, не зважаючи на різноманіття конструкцій кранів, в усіх рейкових кранах є деталь, яка практично без змін використовується - це кранові колеса.

Рейковий кран переміщується по підкрановій колії за допомогою колес, розміри та кількість яких залежить від вантажопідйомності крану.

Під час експлуатації кранів кранові колеса взаємодіють з підкрановими коліями, між якими відбуваються процеси тертя та зношування поверхового шару кранових коліс. Важливими факторами, які впливають на зношування кранових коліс є:

- Інтенсивність експлуатації крану;
- Довжина підкранової колії;
- Стан інших вузлів крану, таких як: підкранова колія, несучі металоконструкції, приводи та ін.

Першу два фактори насамперед залежать від режиму роботи підприємства, тобто на їх впливати не можна, навпаки, кранове обладнання повинно забезпечити потрібно інтенсивність експлуатації, а більша підкранова колії дозволяє зберігати під краном більшу кількість вантажів.

Стан інших вузлів напряму впливає на зношування коліс, тому що площа, в якій йде кочення може не співпадати з площиною рейки, і тоді кранове колеса починає тертись боковими поверхнями (ребордами).

Зазвичай, ремонт таких вузлів як підкранова колія, металоконструкції кранів дуже коштовні, потребують ретельної підготовки, та мають тривалий час виконання, під час якого експлуатація крану не можлива (що в першу чергу впливає на ефективність роботи компанії в цілому).

У той же час заміна кранового колеса займає на багато меншу часу, та вартість відновлення кранового колеса замала відносно ремонту, наприклад підкранової колії.

Виходячи з вищенаведеного, більшість компаній планують капітальні ремонти підкранових рейок та інших важливих вузлів не частіш ніж раз у рік, а щоб кран працював весь час – виконують заміну кранових колес по зношенню.

Сервісні металоцентри (надалі – «СМЦ» металоторгівельної організації мають велику завантаженість та дуже високу інтенсивність використання кранового обладнання, що в свою чергу, потребує мати резерв кранових коліс для заміни зношених.

СМЦ працюють у різних областях України, та не в кожній області зараз можливо знайти підрядників, які мають змогу якісно та в строк виконати ремонт (відновлення) зношених кранових коліс.

Найбільша кількість компаній, які мають можливість виконати якісний ремонт кранових коліс знаходяться в Дніпропетровській області, тобто металоторгівельна організація (надалі – «компанія») вимушено нести логістичні затрати на транспортування кранових коліс на відновлення та навпаки.

Виходячи з цього керівництвом компанії було прийнято рішення про організації дільниці по відновленню кранових коліс на базі СМЦ, розташованих в Київській області.

Як доведено в [1] наявна потужність дільниці по відновлення кранових коліс недостатня для потреб компанії, тобто потрібно за рахунок технології відновлення та подальшої модернізації обладнання підвищити виробничу потужність ділянки.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Потреба в ремонті кранових коліс для роботи металоторгівельної організації

Згідно [1] компанія має наступні вантажопідйомні крани:

Таблиця 1.1 Вантажопідймальні крани компанії

Вантажопідйомність, т.	Кількість кранів, шт.		Кількість разом, шт.
	Козлові	Мостові	
До 10 т.	16	10	26
10 – 12,5 т.	9	0	9
15 – 16 т.	0	5	5
20 – 50 т.	2	3	5
Разом	27	18	45

Згідно [1] компанія має наступний парк кранових коліс вантажопідйомних кранів:

Таблиця 1.2. Парк кранових коліс

Діаметр стрічки кочення, мм	Кількість к, шт.		Стан коліс, шт.		
	Разом	встановлено	Задовільний	Потребує ремонту в 2024 р.	Експлуатація заборонена
Ф500	116	96	73	30	13
Ф710	69	64	45	17	2
Ф630	4	4	4		

Ф900	4	4	4		
Разом	193	168	126	47	15

1.2. Діючий технологічний процес, виробнича потужність

Згідно [1] технологічний процес ремонту (відновлення) кранових коліс складається з наступних операцій:

Таблиця 1.3 Технологічний процес ремонту кранових коліс

№ операції	Найменування та короткий зміст операції	Модель верстата	Ріжучий інструмент,	Технологічна база	Час на операцію, год
000	Заготівельна (розборка, очищення)				
005	Токарна Точити зовнішні поверхні ф710, ф770 та реборди знявши не менш 8 мм на сторону, та до «чистого металу» з переустановленням	1М55	Різець прохідний Т5К10	Зовнішній ф770	2,56
010	Наплавочна Наплавити зовнішні поверхні ф710, ф770 та реборди збільшивши діаметр не менш 5 мм на сторону від розміру креслення.	Агрегатний		Внутрішній ф130	28,1

015	Термічна Виконати низьку відпустку з нагрівом до 450°С з охолодженням на вулиці	Газовий пальник			
020	Токарна Встановити деталь на самоцентруючу оправку внутрішнім діаметром, встановити оправку на центра у верстаті Точити зовнішні поверхні φ710, φ770 (з однієї сторони) та реборди згідно креслення Перевстановити, точити φ770 з іншої сторони	1М55	Різець прохідний Т5К10	Внутрішній φ130	8 , 4 2
025	Контрольна	Стенд			

Операції 005 та 015 виконуються на одному верстаті: токарно – гвинторізної верстаті моделі 1Н55

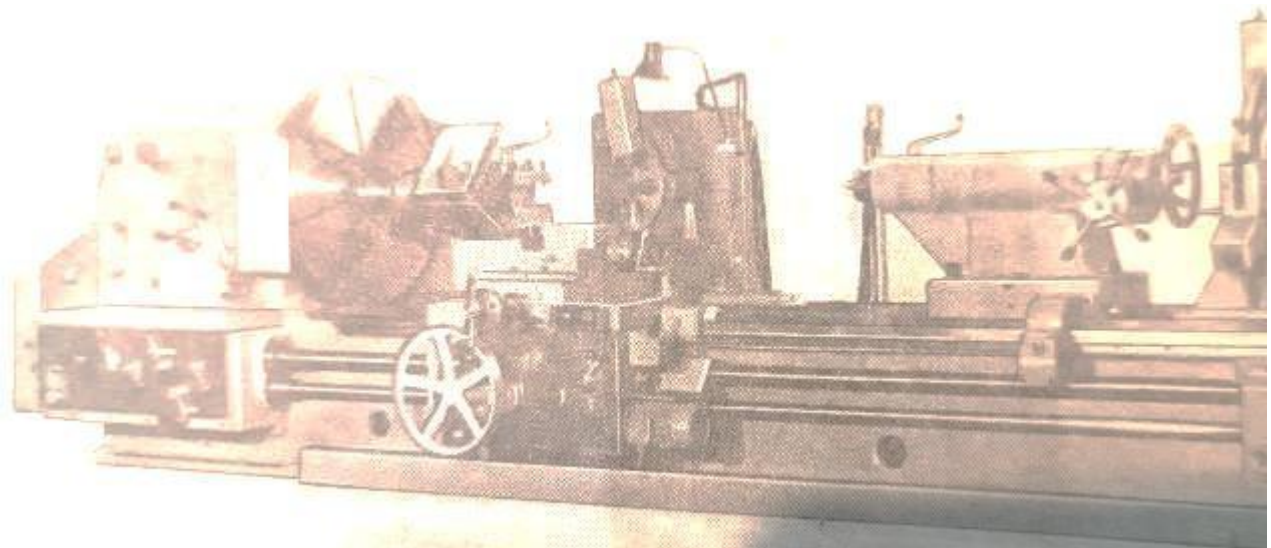


Рис. 1.1 Верстат моделі 1Н55

Характеристики верстату

- Найбільший діаметр заготовки, яку можливо встановити та обробити: **над станиною – 1000 мм, над супортом – 650 мм.;**

- Найбільший діаметр заготовки, яку можливо встановити та обробити у виїмці станини – **1400 мм.**;
- Довжина виїмці від торця дзеркала станини – **390 мм.**;
- Найбільша довжина оброблюємої заготовки - **5000 мм.**;
- Найбільша вага встановлюємої заготовки – **5000 кг.**
- Частота обертання шпинделю: **5 - 500 об/хв.**;
- Швидкість прискореного переміщення супортів: **1000...3000 мм/хв.**;
- Робоча подача: повздовжня – **0,1...3,05 мм/об**, поперек – **0,035...1,04 мм/об.**;
- Найбільше зусилля різання – **41 кН**;
- Найбільший крутний момент на шпинделі – **9,5 кН*м**;
- Потужність приводу – **22 кВт**

Операція 010 виконується на агрегатній верстаті, яку побудована на базі радіально – свердлильної верстати з під'ємно-поворотним столом моделі 2532Л

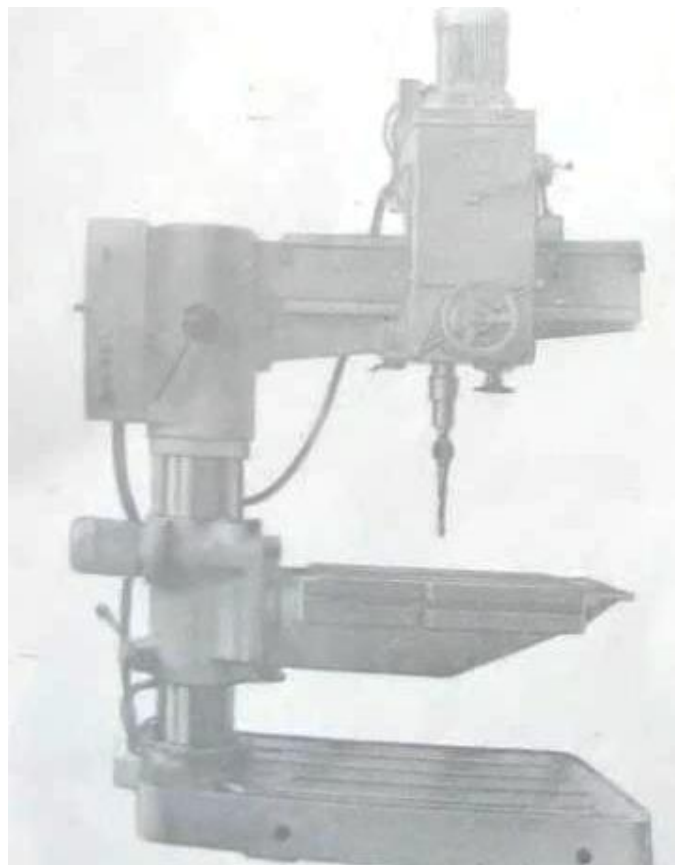


Рис. 1.2 Верстат моделі 2532Л

Характеристики верстати

- Клас точності машини: **N**

- Максимальний номінальний діаметр свердління в сталі 45, мм.: **32**
- Діапазон різьблення зі сталі 45, мм.: **M24 × 3**
- Відстань від осі шпинделя до направляючої колони (зміщення шпинделя), мм.: **280..1000**
- Максимальне горизонтальне переміщення свердлильної головки по шлангу, мм.: **720**
- Максимальна відстань від торця шпинделя до пластини, мм.: **1120**
- Відстань від торця шпинделя до столу, мм.: **630**
- Максимальне вертикальне переміщення шпинделя уздовж колони (установки), мм.: -
- Максимальне вертикальне переміщення таблиці по колонці, мм.: **340**
- Діаметр колони, мм.: **240**
- Кут повороту втулки навколо колони, град.: **360°**
- Розмір поверхні плити (ширина, довжина), мм.: **800 x 1120**

1.3. Такт виробництва, визначення операції що потребує вдосконалення

Згідно [1] потрібна кількість обладнання складає:

Таблиця 1.4 Розрахунок обладнання

№ операції	Назва операції	Модель верстати	t шт, год	Добовий фонд роботи, год	Кількість верстат
005+020	Токарна	1M55	2,56+8,42=11	4	1
010	Наплавна	Агрегатний	28,1	8	2

Згідно результату розрахунку для операцій 005 та 015 вистачить однієї верстати, для операції 010 треба 2 верстати, але є в наявності лише 1.

Розрахунковий час на наплавлювальну операцію для колеса Ф500 становить 26,565 год., для колеса Ф710 – 28,1 год. Середнє значення становить $(26,565 + 28,1)/2 = 27,33$ годин

Потрібний час на наплавлювальну операцію - виходячи з річного фонду робочого часу = 1000 годин та плану виробництва у 79 колес становить:

$$T_{\text{нап}} = \frac{1000}{60+19} = 12,65 \text{ год.} \quad (1.1)$$

Вдосконалення наплавлювальної операції повинно привести до зменшення часу на операцію у 2,16 разу до 12,65 годин/одиницю

1.4 Висновки

В межах розділу 1 розглянули

- Загальний стан парку кранових коліс Компанії;
- Технологічний процес ремонту/відновлення кранових коліс та час на виробництво;
- Обладнання, на якому виконується ремонт коліс
- Розрахували такт випуску

Прийшли до висновку, що в межах діючого технологічного процесу не має можливості задовольнити всю потребу компанії в ремонтах кранових коліс.

Першопричиною є досить великий час на наплавлювальну операцію, який треба зменшити в 2,16 раз.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Теоретичний опис процесу наплавки

Наплавка це нанесення шару металу або сплаву на поверхню виробу зварюванням плавленням [2]. У свою чергу, зварювання - це процес отримання монолітного з'єднання матеріалів за рахунок термодинамічно необоротного перетворення теплової і механічної енергії і речовини в з'єднанні.

Зварювальні процеси в металі згідно [4] в більшості випадків відбуваються при швидкій зміні температури, починаючи від температури навколишнього повітря і закінчуючи температурою випаровування металу. У цьому дуже широкому інтервалі температур розвиваються різноманітні фізико-хімічні процеси, такі як плавлення основних і присадних металів, структурні та об'ємні зміни металу шва і основного металу, процеси локальної пластичної деформації. Для того щоб контролювати зварювальні процеси, необхідно знати, як на них впливають всі визначальні параметри.

Термічний цикл, тобто зміна температури в заданій точці зварного шва або зоні зварного шва при зварюванні, є основою для оцінки впливу параметрів режиму зварювання на зміну структури основного металу або металу шва [6].

Тепловий цикл навколошовної зони визначається прийнятим режимом зварювання, що відповідає заданій продуктивності процесів плавлення основи і присадного металу. Часто вдається вибрати режими осадження таким чином, щоб вони відповідали вимогам продуктивності осадження і формування шва і забезпечували термічний цикл, що викликає сприятливі зміни в структурі і властивостях.

Просування реакцій при зварюванні приводить к зміні складу переплавляемого (як правило, якісного) металу і, отже, до зміни його властивостей. Також можливе утворення в результаті реакцій - пір, неметалевих включень і інших дефектів в металі шва.

Згідно [5] виділяють дві основні зони або стадії взаємодії розплавленого металу з газами і шлаком:

- Кінець електрода з крапельками, що утворюються на ньому;
- Зварювальна ванна

Розподіл температур в зварювальній ванні наведено на рис. 3

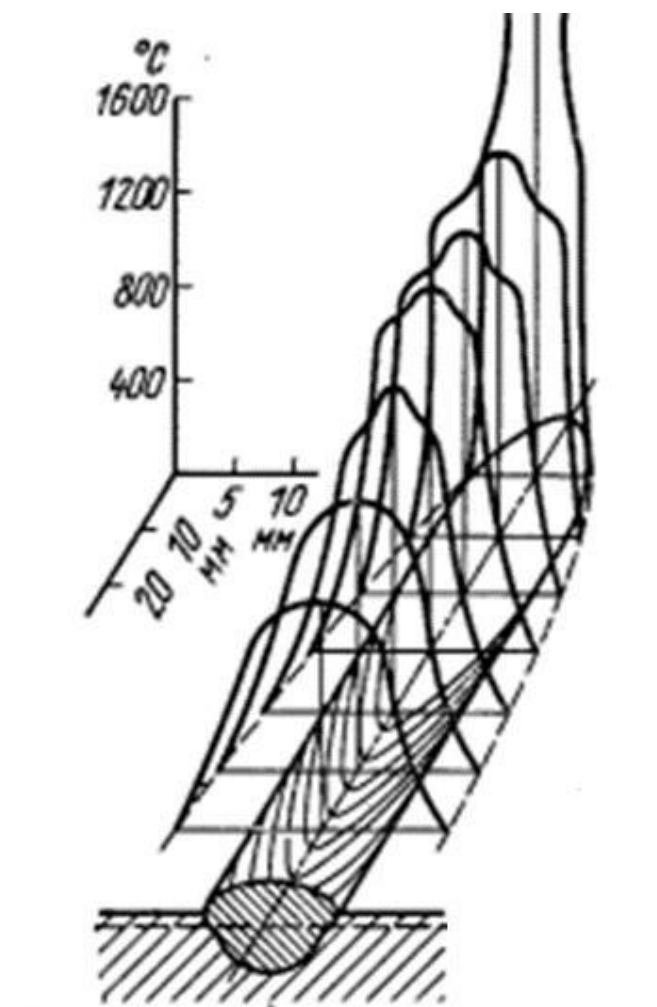


Рис.2.1 Розподіл температури в зварювальній ванні

Середня температура ванни при дуговому зварюванні [8] характеризується значним перевищенням температури плавлення. Перегрів становить 100 - 500°C. Середня температура крапель електродного металу, що потрапляють в зварювальну ванну, зростає зі збільшенням струму і зменшенням діаметра електрода.

Розплавлений метал, взаємодіючи з навколишньою атмосферою, поглинає кисень, азот, водень, що істотно впливає на властивості металу шва. Поглинання кисню металом погіршує його механічні властивості, а саме зменшення подовження і ударної в'язкості. Азот також значно зменшує подовження, але підвищує міцність металу на розрив. Водень викликає утворення пір і є причиною так званих зварювальних флокенів – невеликих тріщин розміром з волосся, які зустрічаються у вигляді світлих плям у металевих тріщинках.

При зварюванні зерно аустеніту інтенсивно росте, а ступінь його гомогенізації зазвичай невисока [10]. Це істотно впливає на стабільність аустеніту при охолодженні металу і температурні інтервали його перетворення. Кристалізація зварювальної ванни

відбувається в нерівноважних умовах, що пов'язано з малим об'ємом затверділого металу, високою швидкістю охолодження і значним впливом крайок основного металу на характер росту кристалітів, їх орієнтацію, розміри і неоднорідність за складом.

Одним з найбільш небезпечних дефектів зварного шва і прилеглої до нього зони часткового плавлення основного металу є гарячі тріщини, що утворюються по границях кристалітів на кінцевій стадії затвердіння (тріщини кристалізації) або нижче температури солідусу при подальшому охолодженні (субсолідусні руйнування). У зв'язку з цим принципове значення має механізм формування меж зерен.

Будова зварного з'єднання показана на рис.4

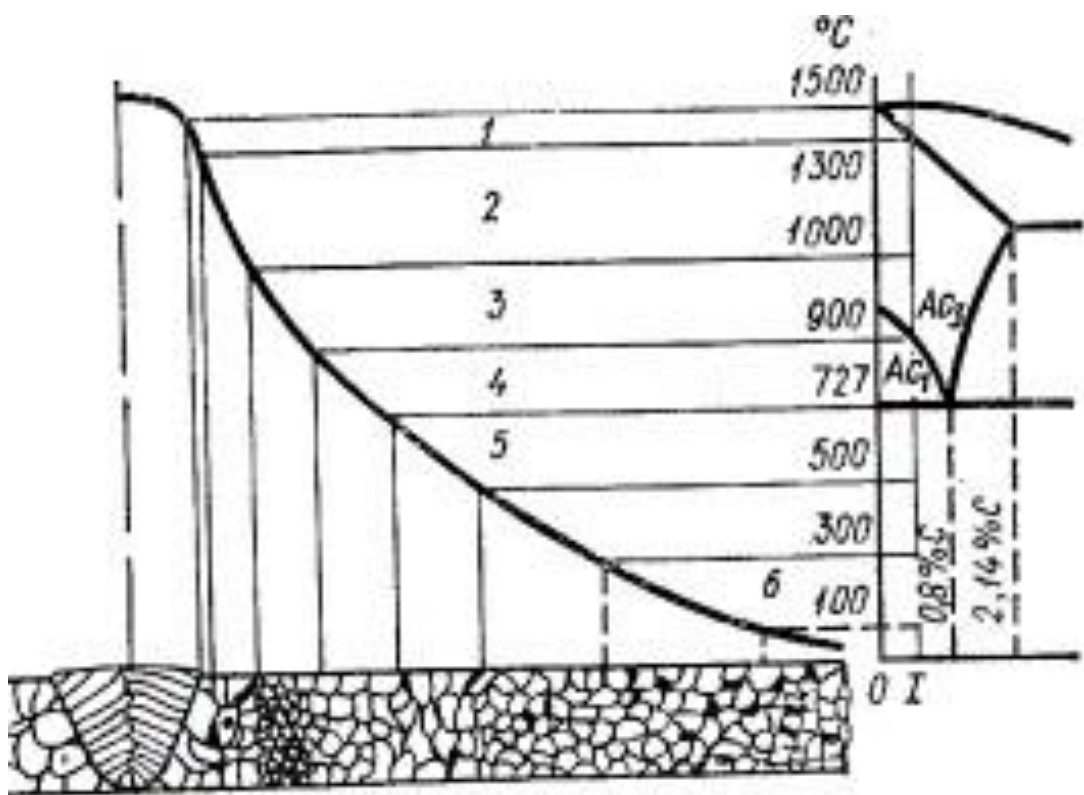


Рис. 2.2 Схема зварного шва для зварювання в стик

- 1 – зона плавлення;
- 2 – зона перегріву;
- 3 – зона повної рекристалізації;
- 4 – зона часткової рекристалізації;
- 5 – зона високотемпературної відпустки;
- 6 – зона низькотемпературного відпустки і механічного впливу

2.2. Способи та матеріали наплавки/зварювання

Вуглець є основним легуючим елементом у вуглецевих конструкційних сталях і визначає механічні властивості сталей цієї групи. Збільшення його змісту ускладнює технологію зварювання і ускладнює отримання настільки ж міцного з'єднання без дефектів.

Переважає більшість кранових колес вироблена зі сталі 65Г (увесь парк кранових коліс компанії виготовлена зі сталі 65Г).

Хімічний склад сталі 65Г [12] наведено в таблиці 5

Таблиця 2.1 Хімічний склад сталі 65Г

C, %	Cr, %	Ni, %	Mn, %	Si, %	Cu %	S %
0,62-0,7	До 0,25	До 0,25	0,9 - 1,2	0,17 – 0,3	0,2	до 0.035

Сталі, які містять 0,46-0,75% C, відносять до високовуглецевих. Вони характеризуються поганою зварюваністю і не використовуються для виготовлення зварних конструкцій. Необхідність зварювати такі сталі виникає при проведенні ремонтних робіт методом наплавлення. Сталі з вмістом вуглецю до 0,25% відносяться до низьковуглецевих, вони мають гарну засвоюваність.

Знос деталей, що працюють в умовах тертя металу об метал, наприклад кранових коліс, відбувається при високих контактних навантаженнях. Наплавлення цих деталей проводиться для відновлення їх початкових розмірів без істотного підвищення зносостійкості, так як висока твердість однієї контактної поверхні викликає підвищений знос іншої. Тому для наплавлення високовуглецевих сталей застосовують наплавлювальний матеріал, який відноситься до низьковуглецевих і низьколегованих сталей, що містять не більше 5% легуючих елементів (08Г, 08ГС і ін.).

Існує 5 основних способів виконання операції наплавлення [2]:

- 1) Електрична дуга, Переваги: висока продуктивність і простота обладнання; Недоліки: підвищене окислення металу і вигорання елементів, що лещить;
- 2) Плазма. Переваги: можливість отримання покриття з вогнетривких і зносостійких матеріалів; Недоліки: дефіцит присадних матеріалів, відносно висока вартість;

- 3) Високий. Переваги: низька вигоряння легуючих елементів, висока якість покриття, високі експлуатаційні характеристики; Недоліки: складність обладнання;
- 4) Полум'я. Переваги: низьке окислення металу і низький вигоряння легуючих елементів; Недоліки: складність обладнання, низька продуктивність;
- 5) Детонації. Переваги: високі експлуатаційні характеристики, низька пористість і висока адгезійна міцність покриття; Недоліки: складність обладнання, високий рівень шуму

Виходячи в вищенаведеного, треба наплавляти саме вуглецеві сталі, а не леговані, тому найбільш доцільним є наплавка електричною дугою.

У свою чергу, способи дугового зварювання залежать від типу електрода, захисту і струму, що використовується при зварюванні. Розрізняють такі основні види ручного дугового зварювання [9]:

- 1) Зварювання електродом з покриттям - зварювання, при якому електрод покривається спеціальним флюсом, який утворює шлак і газ для захисту зварювальної калюжі від окислення і забруднення.
- 2) Зварювання під флюсом - це зварювання, при якому електрод і деталі, що зварюються, знаходяться під шаром флюсу, який плавиться і захищає дугу і зварювальну калюжу від впливу повітря.
- 3) Вакуумне зварювання - це зварювання, при якій електрод і деталі, що зварюються, поміщаються у вакуумну камеру, в якій створюється низький тиск і відсутній кисень.
- 4) Порошкове зварювання - це зварювання, при якому електродом є тонкий дріт, заповнений порошком, що виділяє при плавленні захисний газ.
- 5) Зварювання в захисному газі - це зварювання, при якій дуга і зварювальна калюжа оточені потоком інертного або активного газу, що перешкоджає окисленню і азотуванню металу.
- 6) Комбіноване зварювання екранованим зварюванням — це зварювання, у якому використовуються різні комбінації електродів, флюсів і газів для досягнення оптимальних властивостей зварного шва.

2.3 Режими наплавки

Основний час або час формування зварного шва зварюванням електродного матеріалу, тобто час горіння дуги в годиннику, визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{F \cdot l \cdot \gamma}{J \cdot \alpha} = 12,65 \text{ год.} \quad (2.1)$$

Де:

F - площа поперечного перерізу металу зварного шва, м².

l - довжина шва, мм.;

γ - щільність наплавленого металу, г/м²;

J - зварювальний струм, А;

α – коефіцієнт наплавлення, г/(А*год);

Разом F * l * γ є загальною вагою наплавленого металу, якій потрібно нанести для відновлення колес. Геометричні розміри поверхонь коліс, які потребують відновлення та наплавки, наведено в додатку Б.

Для колеса ф500 мм треба наплавити поверхню, яку можливо розділити на три кільця

Кільце 1 та кільце 3 – ф550мм / ф490 мм довжиною 24,5 мм.;

Кільце 2 – ф510 мм./ ф490 мм. Довжиною 90 мм.

Об'єм кільця розраховуються за формулою

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) \quad (2.2)$$

Для кільця 1 та 3

$$V = (\pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2)) * 2 = (3,14 * 0,0245 * (0,275^2 - 0,245^2)) * 2 = 0,0024 \text{ м}^3$$

Для кільця 2

$$V = (\pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2)) = (3,14 * 0,09 * (0,255^2 - 0,250^2)) = 0,0014 \text{ м}^3$$

$$\text{Разом: } 0,0024 + 0,0014 = 0,0038 \text{ м}^3$$

Для колеса ф710 мм треба наплавити поверхню, яку можливо розділити на три кільця

Кільце 1 та кільце 3 – ф770мм / ф700 мм довжиною 22,5 мм.;

Кільце 2 – ф720 мм./ ф700 мм. Довжиною 100 мм.

Об'єм кільця розраховуються за формулою

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) \quad (2.3)$$

Для кільця 1 та 3

$$V = (\pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2)) * 2 = (3,14 * 0,0225 * (0,385^2 - 0,350^2)) * 2 = 0,0036 \text{ м}^3$$

Для кільця 2

$$V = (\pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2)) = (3,14 * 0,1 * (0,360^2 - 0,350^2)) = 0,0022$$

м^3

$$\text{Разом: } 0,0036 + 0,0022 = 0,0058 \text{ м}^3$$

Вагу наплавлено металу розрахуємо за формулою

$$m = V * \rho \quad (2.4)$$

Де:

ρ - щільність металу, 7800 кг/ м^3

Для колеса $\phi 500$ мм

$$m = V * \rho = 0,038 * 7800 = 29,74 \text{ кг.}$$

Для колеса $\phi 710$ мм

$$m = V * \rho = 0,058 * 7800 = 45,74 \text{ кг.}$$

Формулу представимо у вигляді

$$J * \alpha = \frac{m}{t_o} \quad (2.5)$$

де:

m – вага наплавленого металлу;

t_o – час на операцію.

Згідно розрахованого у розділі 2.3 такту виробництва, час потрібний на наплавлювальну операцію не повинен перевищувати 12,65 год. Час на операцію включає до себе час на наплавку (основний час), час на допоміжні переходи, час на підготовку та інші. Основний час складає орієнтовно 80% від часу на операцію, тому попередньо для розрахунків приймемо $t_o = 80\%$ від 12,65 год, та дорівнює 10,12 год.

Для колеса $\phi 500$ мм

$$J * \alpha = \frac{m}{t_0} = \frac{29,74}{10,12} = 2,94 \text{ кг/год}$$

Для колеса $\phi 710$ мм

$$J * \alpha = \frac{m}{t_0} = \frac{45,74}{10,12} = 4,52 \text{ кг/год}$$

Кількість проходів розраховується за формулою

$$n = \frac{F_{\text{нап}}}{F_1} \quad (2.6)$$

Де:

$F_{\text{нап}}$ – площа поперечного перерізу усієї наплавки, м^2 ;
 F_1 – площа першого наплавленого шва, м^2 .

Площа поперечного перерізу розраховується по аналогії з об'ємом згідно креслення за формулою:

Для колеса $\phi 500$ мм

Прямокутник 1 та прямокутник 3 – 25 мм. / 24,5 мм.;

Прямокутник 2 – 10 мм./ 90 мм.;

Площа розраховуються за формулою

$$F = l \cdot h \quad (2.7)$$

Для кільця 1 та 3

$$F = (l \cdot h) * 2 = (0,0245 * 0,025) * 2 = 0,001225 \text{ м}^2$$

Для кільця 2

$$F = (l \cdot h) = (0,01 * 0,09) = 0,0009 \text{ м}^2$$

$$\text{Разом: } 0,001225 + 0,0009 = 0,002125 \text{ м}^2$$

Для колеса $\phi 710$ мм треба наплавити поверхню, яку можливо розділити на три кільця

Прямокутник 1 та прямокутник 3 – 35 мм / 22,5 мм.;

Прямокутник 2 – 10 мм./ 100 мм.;

Площа розраховуються за формулою

$$F = l \cdot h \quad (2.8)$$

Для прямокутників 1 та 3

$$F = (l \cdot h \cdot) * 2 = (0,035 * 0,0225) * 2 = 0,001575 \text{ м}^2$$

Для прямокутника 2

$$F = (l \cdot h) = (0,1 * 0,01) = 0,001 \text{ м}^2$$

$$\text{Разом: } 0,001575 + 0,001 = 0,002575 \text{ м}^2$$

Площа першого наплавленого шва розраховується за формулою:

$$F1 = (6 \dots 8) * \frac{d_{ел}}{100} \quad (2.9)$$

Де:

$d_{ел}$ – діаметр електродної проволочки, мм.

Розрахуємо зварювальні режими для найбільш поширених типів зварювальної проволочки в діаметрах - 0,8 мм., 1 мм., 1,2 мм., 1,4 мм., 1,6 мм., 1,8 мм., 2 мм. Результати розрахунків зведемо в таблицю 6.

Величина зварювального струму $I_{ЗВ}$ (А) визначається емпіричною залежністю з урахуванням числа проходів

$$I_{ЗВ} = \frac{(800 \dots 1000) * h_p}{n} \quad (2.10)$$

Розрахуємо щільність струму j (А/м²) за формулою:

$$j = \frac{I_{ЗВ}}{F_{ел}} \quad (2.11)$$

Де:

$F_{ел}$ – площа електродної проволочки, яку розраховуємо за формулою:

$$F_{ел} = \frac{\pi * d_{ел}^2}{4} \quad (2.12)$$

Напругу на дузі U_d розрахуємо за формулою:

$$U_d = 20 + \frac{5 * I_{ЗВ}}{100 * \sqrt{d_{ел}}} + 1 \quad (2.13)$$

Швидкість зварювання $V_{ЗВ}$ розраховуємо за формулою

$$V_{ЗВ} = \frac{\alpha * I_{ЗВ}}{3600 * F_{нап} * \rho} \quad (2.14)$$

Коефіцієнт наплавлення розраховуємо за формулою

$$\alpha = \alpha_p * \left(1 - \frac{k}{100}\right) \quad (2.16)$$

Де:

k – коефіцієнт втрат при переході розплавленого дроту в зварювальний шов, %. Візьмемо рівним 10%

α_p – коефіцієнт расплавления, может быть определен по графику на рис. 5

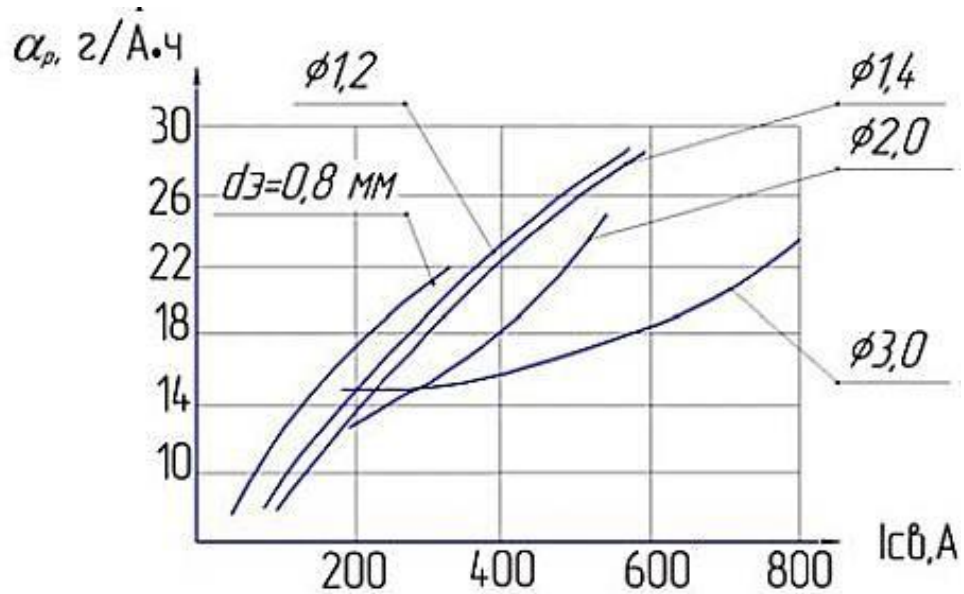


Рис. 2.4 Залежність коефіцієнта плавлення α_p від діаметра електродного дроту і величини зварювального струму [2].

Для колеса $\phi 500$ мм

Таблиця 2.2 Розрахунок режимів зварювання

d	F нап	F1	n	Ізв	Fел	j	Uд	Vзв	α_p	α
0,8	0,002	0,000056	37,94	105,41	0,502	209,81	26,89	0,02	13	11,7
1	0,002	0,00007	30,35	131,76	0,785	167,85	27,58	0,025	13	11,7
1,2	0,002	0,000084	25,29	158,11	1,13	139,87	28,21	0,035	15	13,5
1,4	0,002	0,000098	21,68	184,47	1,538	119,89	28,79	0,038	14	12,6
1,6	0,002	0,000112	18,97	210,82	2,009	104,90	29,33	0,047	15	13,5
1,8	0,002	0,000126	16,86	237,17	2,543	93,25	29,83	0,053	15	13,5
2	0,002	0,00014	15,17	263,52	3,14	83,92	30,31	0,063	16	14,4

Для колеса $\phi 710$ мм

Таблиця 2.3 Розрахунок режимів зварювання

d	F нап	F1	n	Ізв	Fел	j	Уд	Vзв	αр	α
0,8	0,002	0,000056	45,98	97,86	0,5	194,79	26,47	0,015	13	11,7
1	0,002	0,00007	36,78	122,33	0,78	155,83	27,11	0,019	13	11,7
1,2	0,002	0,000084	30,65	146,79	1,13	129,86	27,70	0,027	15	13,5
1,4	0,002	0,000098	26,27	171,26	1,53	111,31	28,23	0,029	14	12,6
1,6	0,002	0,000112	22,99	195,72	2,01	97,39	28,73	0,036	15	13,5
1,8	0,002	0,000126	20,43	220,19	2,54	86,57	29,20	0,041	15	13,5
2	0,002	0,00014	18,39	244,66	3,14	77,91	29,65	0,048	16	14,4

Швидкість подачі електродного дроту розраховується за формулою

$$V_{\text{под}} = \frac{V_{\text{св}} \cdot F_{\text{нап}}}{F_{\text{ел}} \cdot \left(1 - \frac{k}{100}\right)} \quad (2.17)$$

Визначаємо висоту шва а1

$$a1 = \frac{a \cdot b}{h1 \cdot \varphi} \quad (2.18)$$

Результати розрахунків зведемо до таблиці 2.4

Таблиця 2.4 Режими зварювання

d	Вага 1 м. п. ел, кг.	Довжина подачі, м.	Vпод	Вага наплавки в 1 хв.
0.8	0,039	5,828	9,713	0,228
1	0,061	4,662	7,770	0,285
1.2	0,088	4,483	7,472	0,395
1.4	0,120	3,586	5,977	0,430
1.6	0,156	3,362	5,604	0,527
1.8	0,198	2,988	4,981	0,592
2.0	0,244	2,869	4,782	0,702

2.4 Обладнання для наплавки

Зварювальний або наплавлювальний агрегат - це сукупність технологічно взаємопов'язаного обладнання, необхідного для проведення зварювальних (наплавочних робіт).

До складу агрегату входять:

- 1) Зварювальне обладнання, що включає в себе блок живлення і зварювальний апарат з пристроями управління і регулювання процесу;
- 2) Технологічні складальні та зварювальні апарати, що дозволяють швидко і точно збирати (встановлювати) деталі для зварювання (облицювання), утримуючи їх в потрібному положенні під час роботи;
- 3) Механічне або допоміжне обладнання, призначене для маніпулювання зварюваним виробом в процесі наплавлення;
- 4) Інструменти – набір інструментів, що використовуються при наплавленні – електродотримачі, щітки, подрібнювачі тощо.

1. Захисні огорожі

Процес формування зварного з'єднання складається з 3 етапів:

- Початок зварювання (запалювання дуги і встановлення стійкого дугового розряду);
- Підтримка розряду і рух дуги;
- Зупинка зварювання

Для живлення зварювальної дуги використовуються джерела змінного і постійного струму. Джерелами змінного струму є зварювальні трансформатори та генератори змінного струму. Зварювальні генератори і випрямлячі, а також імпульсні джерела живлення складають групу живлення постійного струму. Джерела живлення можуть бути одностанційними, що живлять одну зварювальну станцію, або багатостанційними, що живлять кілька зварювальних постів одночасно.

В компанії на ділянці по ремонту кранових коліс є випрямляч для дугового зварювання моделі ВДУ-506 (рис. 7) з ультразвуковим зварюванням, який призначений для:

- Для ручного дугового зварювання сталей на постійному струмі штучними електродами з основним покриттям діаметром 2 – 6 мм.;
- Для механізованого (напівавтоматичного і автоматичного) зварювання в захисному газі.



Рис. 2.5 Випрямляч моделі ВДУ-506

Технічні дані та характеристики наведені в таблиці 8

Таблиця 2.5 Технічні дані ВДУ-506

Найменування параметра	Значення
Номінальний зварювальний струм при $PT=60\%$ і тривалості циклу 5 хв, А	500
Номінальна напруга дуги, В.	50
Чинне регулювання	Плавне
Межі регулювання напруги дуги, В.	18-50
Межі регулювання зварювального струму, А.	40-350
Напруга холостого ходу, В., не більше	85
Максимальна споживана потужність, кВА, не більше	40
ККД, %, не менше	75

Технічні дані випрямляча в цілому відповідають розрахованим режимам зварювання.

Зварювальний апарат - це сукупність механізмів і електричних пристроїв, необхідних для механізації процесу зварювання. В цілому він складається з:

- 1) Зварювальна головка – для подачі електродного дроту в зону дуги і подачі на неї зварювальної напруги;
- 2) Живильник електродів є основним вузлом зварювальної головки, який зазвичай складається з роликової системи подачі дроту та приводу;
- 3) Струмоведучі мундштуки призначені для спрямування електрода в зварювальну ванну і подачі на неї струму;

При напівавтоматичному зварюванні механізується тільки операція подачі дроту. На виробничій дільниці підприємства використовується система подачі дроту модель «Патон» БП-608 (рис. 8).



Рис. 2.6 Система подачі дроту «Патон» БП-608

Вузол подачі БП-608 - пристрій для подачі суцільного і порошкового зварювального дроту на пальник. Він має плавно регульовану швидкість подачі дроту, два режими роботи (нарізування різьблення та зварювання), плавний пуск, затримку газу після

завершення зварювання та цифровий амперний вольтметр для контролю режимів зварювання. Фідерний блок ВР-608 може працювати з джерелами живлення різних виробників, а також з різними типами та діаметрами дроту. Живильник БП-608 має наступні технічні характеристики:

Технічні дані та характеристики наведені в таблиці 9

Таблиця 2.6 Технічні дані БП-608

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення, В.	220/380
Зварювальний струм, макс.	600
Дріт зварювальний одножильний, мм	1,0 – 2,5
Дріт зварювальний порошковий. Мм	1,2 – 3,6
Швидкість подачі, м/год	120 - 1200

Пристрій, що дозволяють швидко і точно збирати (встановлювати) деталі для зварювання (облицювання), утримуючи їх в потрібному положенні під час роботи збудовано на базі радіально свердлильної верстати моделі 2532Л

Технологія наплавлення різних поверхонь передбачає ряд способів нанесення зварного шару (рис. 9)

- 1) Різьбові ролики перекривають один з іншим на 0,3... 0,4 їх ширини;
- 2) Широкі ролики одержують за рахунок поперечних коливань електрода до напрямку осі ролика, електродних стрічок і т. д.

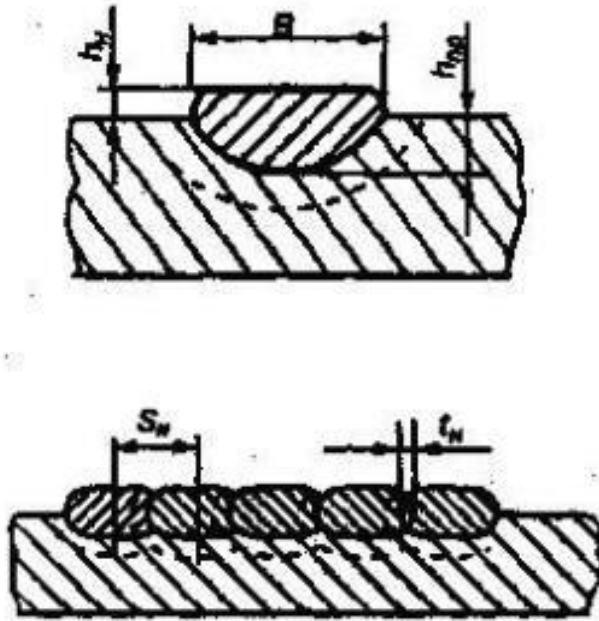


Рис. 2.8 Способи наплавлення: B , $ч$, $год$ – ширина борту, висота напавлення, глибина проникнення відповідно; $См$ - крок напавлення.

Розташування роликів з урахуванням їх взаємного перекриття характеризується кроком напавлення. Напавлення криволінійних поверхонь тіл обертання здійснюється трьома способами (рис. 2.9):

- 1) Напавлення роликів уздовж формуючого тіла обертання;
- 2) Окружні;
- 3) Спіральна лінія.

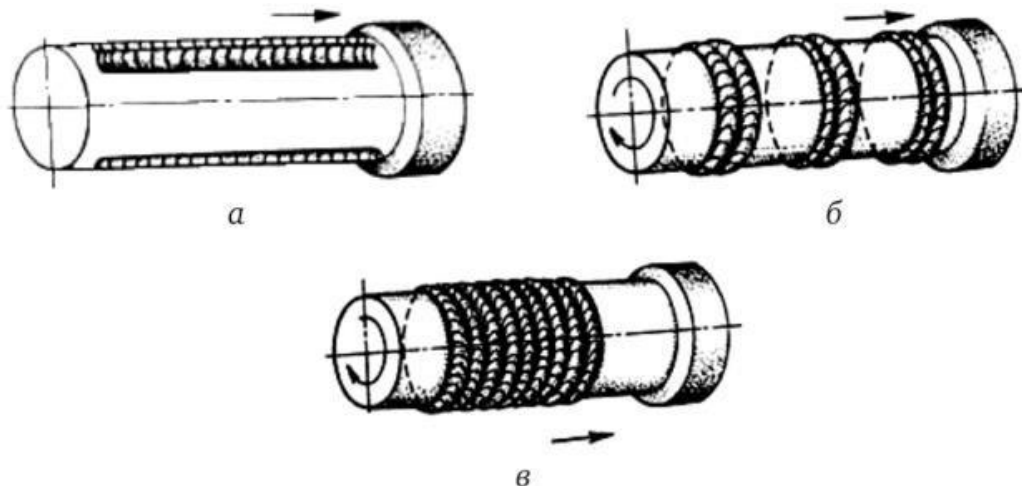


Рис 2.9. Наплавка поверхонь обертання.
 а – за формотворчим; б – окружність; в – уздовж гвинтової лінії

Напавлення на формоутворення проводиться окремими валиками так само, як і при напавленні плоских поверхонь. Окружне

наплавлення проводиться також окремими роликками до повного закриття початкової і кінцевої ділянок і їх зміщення на певний крок уздовж формує ділянки. У гвинтовому плакуванні деталь обертається безперервно, при цьому джерело нагріву рухається уздовж корпусу зі швидкістю, при якій один оберт деталі відповідає зміщенню джерела нагріву, рівному кроку наплавлення.

Найбільш поширений є спосіб наплавки уздовж гвинтової лінії, який забезпечує зменшення часу на наплавку, а також зменшує ймовірність утворення дефектів.

На кресленні [додаток Г] наведена схема наплавки коліс $\phi 500$ та $\phi 710$ та прорахована загальна довжина валику під час наплавки. Вона складає 123266,9 мм для колеса $\phi 500$ м та 208989,4 мм для колеса $\phi 710$ мм.

Результати розрахунку зведемо до таблиці 2.7

Таблиця 2.7. Розрахунок часу на наплавку

d	Vзв	d500	d710	t710	t500	s500	s710
0,8	0,413	123266,85	208989,42	140,434	82,831	0,049	0,034
1	0,516	123266,85	208989,42	112,347	66,265	0,062	0,043
1,2	0,715	123266,85	208989,42	81,139	47,858	0,085	0,060
1,4	0,779	123266,85	208989,42	74,516	43,951	0,093	0,065
1,6	0,953	123266,85	208989,42	60,854	35,893	0,114	0,08
1,8	1,287	123266,85	208989,42	45,077	26,587	0,154	0,108
2	1,430	123266,85	208989,42	40,569	23,929	0,171	0,12

Також можна бачити, що найменший час на операцію дає використання зварювального дроту товщиною 1,8 да 2 мм, що також повністю відповідає результатам, відображеним у Звіті.

Потрібна частота обертання (головний рух) складає від 0,1 до 0,17 об/хв, переміщення зварювальної головки (рух подачі) згідно креслення [додаток Б] складає 5,3 мм/об, або від 0,6 до 1 мм в хвилину.

Як можливо бачити на кресленні [додаток В] радіально – свердлильна верстата була дообладнана 2-ма вузлами:

- 1) Вузол обертання кранового колеса, який розташовано посередні рухомого столу (головний рух);
- 2) Вузол переміщення зварювальної головки перпендикулярно осі рухомого столу (рух подачі), який розташований на торці шпинделя.

2.5 Конструкція вузлів головного руху та руху подач

Вузол головного руху повинен виконувати наступні функції:

- 1) Забезпечити встановлення колес в завдане положення;
- 2) Забезпечити закріплення/розкріплення колес
- 3) Забезпечити обертання колеса для виконання процесу наплавки та плавне регулювання кількості обертів;
- 4) Забезпечити стабільне підведення «маси» до колеса для забезпечення процесу зварювання

Вузол руху подач повинен виконувати наступні функції:

- 1) Забезпечити встановлення та закріплення зварювальної головки;
- 2) Забезпечити переміщення зварювальної головки та її плавне регулювання;

Згідно креслень кранових коліс (додаток Г) базовою поверхнею є поверхня внутрішнього отвору, тобто вузол руху повинен забезпечити базування саме по цій поверхні, але, незважаючи на те, що діаметр бігової стрічки у коліс однаковий, діаметри внутрішнього отвору відрізняються досить суттєво.

Щоб забезпечити базування по поверхні внутрішнього отвору, треба виготовити оправки під кожен діаметр, що є досить не зручно. Виходячи з того, що для наплавлювальної операції не потрібна точність, яка передбачена кресленням (вона забезпечується на наступній токарній операції) найбільш технологічним рішенням буде використання поверхонь фасок $2 \times 45^\circ$, які знаходяться на поверхні внутрішнього отвору колеса.

В даному випадку використаємо схема базування «на два конуса», яка виглядає наступним чином:

Перший конус використовується для центрування деталі. Його форма повинна відповідати формі і розміру фаски внутрішнього отвору. Його форма повинна відповідати формі і розміру фаски внутрішнього отвору

Обидва конуси, які контактують з поверхнею фасок, в свою чергу також базуються по внутрішній поверхні на одній поверхні іншої деталі – валу.

Під час виконання наплавлювальної операції на колесо не діють зовнішні сили, тому зажим колеса повинен забезпечувати лише передачу обертального моменту від валу до колеса.

Конструкція вузла головного руху наведена на рис. 2.10.

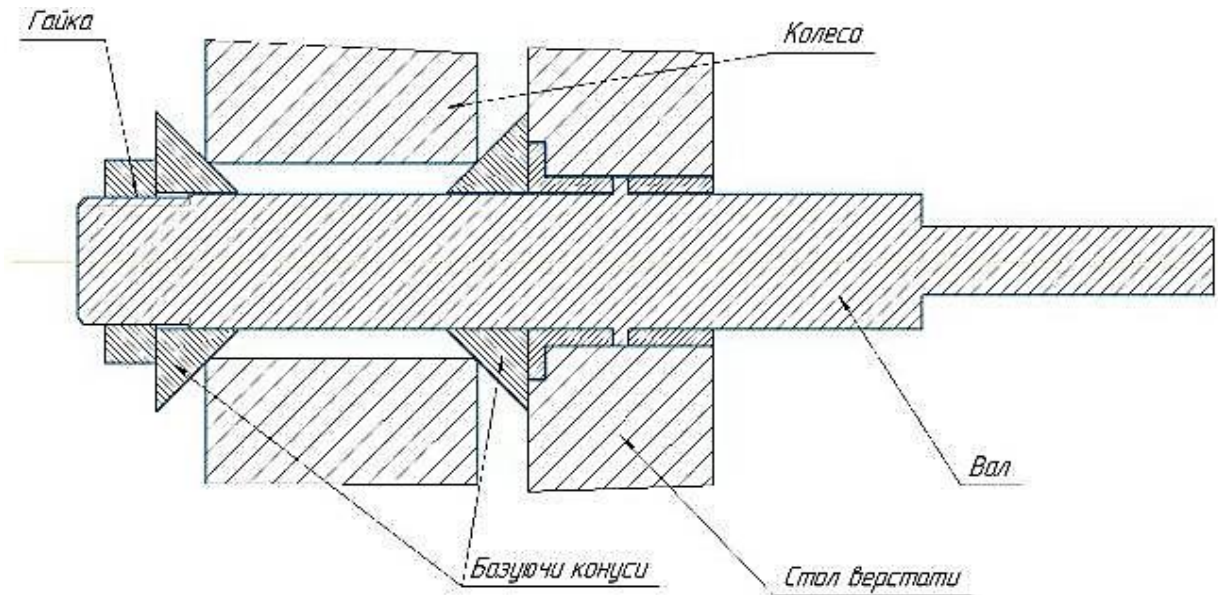


Рис. 2.10 Вузол закріплення колеса

Вал приводиться до руху за допомогою мотор – редуктору NMRV 130 (Рис. 2.11). Мотор редуктор має наступні характеристики:

- Передаточне відношення – 100;
- Крутний момент – 855 Н*м;
- Вихідна потужність - 1,6 кВт;
- ККД – 62%



Рис. 2.11 Мотор-редуктор редуктору NMRV 130

Додатково встановлено редуктор NMRV 75 з передаточним відношенням 25.

Обертання надається за допомогою електродвигуна АІР 100S4, який має наступні характеристики

- Частота обертання – 1500 об/хв
 - Потужність – 3 кВт
- Керування електродвигуном виконується за допомогою частотного перетворювача CFM-210 (рис. 2.12)
- Частотний перетворювач має наступні характеристики:
- Потужність – 0,4 кВт;
 - Живлення – 42 В.
 - Вихідний струм: номінальний - 13,5 А., максимальний - 20,3 А.;
 - Вхідний струм: номінальний – 22 А., автоматичний вимикач на струм 30 А.



Рис.. 2.12 Частотний перетворювач CFM-21

Рух подачі виконується на додатково встановленому вузлі з іншої верстати – а саме верхні салазки з токарно – гвинторізної верстати моделі 1К62 (рис. 2.13).

Зварювальна головка встановлюється та закріплюється в різцетримачу за допомогою гвинтів.

Різцетримач має можливість обертання на 360°, що дозволяє виставити зварювальну головку в найбільш сприятливе положення.



Рис. 2.13 Верхні салазки токарно гвинторізного верстату моделі 1K62

Різцетримач має можливість на рух довжиною до 150 мм. За допомогою гвинтової пари. Гвинт приводиться до руху за допомогою мотор редуктора NMRV 40 з передаточним відношенням 20. В свою чергу мотор – редуктор приводить до руху електродвигун MS-712-4.

Керування двигуном виконується за релейною схемою, а саме – по завершенню обороту колеса вмикається кінцевий вимикач, котрий вмикає двигун на фіксований час – на 2 с.. За цей час зварювальна головка переміщується на шаг наплавки, тобто реалізована не гвинтова, а кільцева схема наплавки

3.6 Висновки

В рамках розділу прийшли к наступним висновкам

- В рамках теоретичного обзору процесу зварювання/наплавки прийшли к висновку, що головними показниками процесу є струм, діаметр зварювального дроту, швидкість зварювання та швидкість подачі дроту, а обмежуючими факторами є температура ванни розплаву та колеса в цілому;
- В рамках розгляду існуючого обладнання прийшли к висновку, що потужності обладнання дозволяють виконувати

наплавку на швидких режимах, але існуюча система керування не дозволяє оператору контролювати процес.

Загалом, для роботи на більш швидких режимах, треба щоб усі показники процесу, а саме:

- Струм;
- Частота обертання колеса;
- Рух подачі;
- Подача проволони

Та обмежуючи показники, такі як:

- Температура після зони зварювання;
- Температура колеса в цілому

Робили с взаємною залежністю по певному алгоритму, тобто, щоб змінюючи головний з них – струм – решта змінювалась автоматично.

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експерименту

Зварювальні матеріали

Наплавку будемо виконували зварювальним дротом ВЕЛТЕК-Н285-РМ діаметром 1,6 мм під шаром захисного газу С1 (100% CO₂)

Зварювальний дріт має зварювально-технологічні властивості згідно таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Зварювально – технологічні властивості

Показник	Значення
Формування осадженого валика	Хороший
Відокремлюваність шлакового пирога	Хороший
Продуктивність наплавлення, кг/год	5-13
Схильність металу зварного шва до розтріскування	Малий
Витрата дроту на 1 кг наплавленого металу, кг	1.1-1.15
Твердість наплавленого металу, (HRC для 3-4-го шару, якщо не вказано інше)	після наплавлення HV 250-HV 320 після затвердіння 42-47

Хімічний склад згідно таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Хімічний склад наплавочного дроту

C, %	Cr, %	Ti, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %
0,3	9,5	0,5	9,5	0,7	0,012	0.017

Виробник рекомендує режими зварювання згідно таблиці 3.3

Таблиця 3.3 Рекомендовані режими зварювання

Діаметр , мм	Захисний газ	Струм, А	Напруга, В	Швидкість наплавки м/год	Витрата л/мін
1,6	CO2	120 - 320	23 - 32	10 - 15	0,012

Перед початком наплавлення виробу слід попередньо нагріти виріб до температури 200 – 300 °С. Нагрів здійснюється при безперервному обертанні колеса. Нагрівання здійснюється полум'яним пальником моделі «Донмет» 284 Мікро на стойці.



Рис. 3.1 Газовий пальник «ДОНМЕТ» 284

Температуру контролюватиме за допомогою інфрачервоний термометр Mestek IR02C (-50 ~ 800 °С)



Рис. 3.2 Інфрачервоний термометр Mestek

В межах експерименту проводимо випробування наплавки на 3 різних режимах згідно таблиці 3.4

Таблиця 3.4 Експериментальні режими зварювання

№ варіанту	Струм, А	Напруга, В	Частота обертання колеса об/хв	Подача проволочки, м/хв	Рух подачі, мм/об
1	250	30	0,42	7	6
2	280	38	0,47	9	6
3	330	42	0,55	10,5	6

Наплавку виконувати на поверхні $\phi 710$ колеса, на кожному варіанту наплавити не менш 30 мм поверхні завширшки.

Під час наплавки на кожному $\frac{1}{2}$ обороті колеса фіксувати наступні параметри:

- Струм;
- Напругу
- Температуру колеса;
- Температуру на відстані 500 після ванни розплаву (метал затвердів);

Після закінчення наплавки по кожному із варіантів виконати візуальний контроль на наявність тріщин, непроварів та інших дефектів, при потребі – підплавити.

Після наплавлювальної та токарної операції виміряти твердість наплавлюваного шару за допомогою твердоміру NOVOTEST T-УД2



Рис. 3.3 Твердомір NOVOTEST T-UD2

3.2 Виконання експерименту та отримані результати

Згідно технологічного процесу наплавки, спочатку виконується підігрів колеса до температури 168°C



Рис. 3.4 Підігрів кранового колеса

Далі встановлюємо режим 1

Струм 250 А, напруга 30 В, швидкість подачі дроту – 7 м/хв.,
завантаженість частотного перетворювача 33,5% - що відповідає 0,42
об/хв.



Рис. 3.5 Режим наплавки 1

Маємо наступний результат – температура на відстані 50 мм
від ванни плавлення 640°C, якість наплавки задовільна.

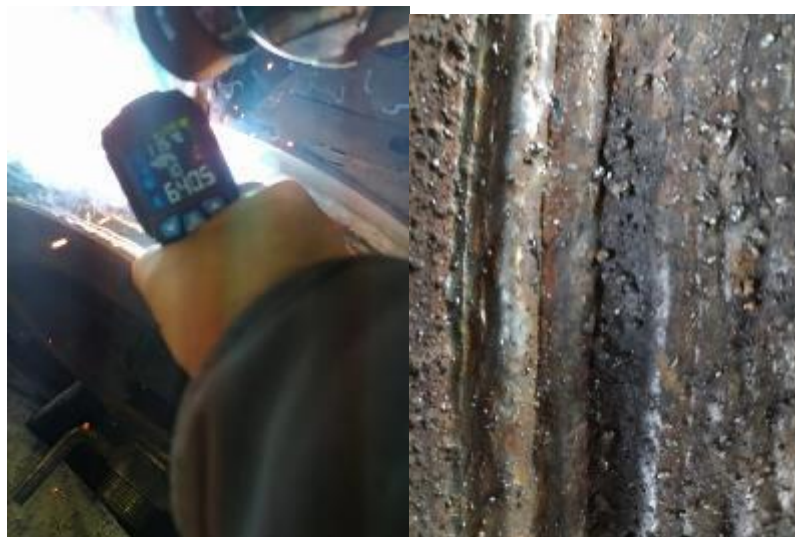


Рис 3.6 Результати наплавки згідно режиму 1

Далі встановлюємо режим 2

Струм 280 А, напруга 38 В, швидкість подачі дроту – 9 м/хв.,
завантаженість частотного перетворювача 40,4% - що відповідає 0,47
об/хв.



Рис. 3.7 Режим наплавки 2

Маємо наступний результат – температура на відстані 50 мм від ванни плавлення 936°C, якість наплавки задовільна.



Рис 3.8 Результати наплавки згідно режиму 2

Далі встановлюємо режим 3

Струм 330 А, напруга 42 В, швидкість подачі дроту – 10,5 м/хв.,
завантаженість частотного перетворювача 45,5% - що відповідає 0,55 об/хв.



Рис. 3.9 Режим наплавки 3

Маємо наступний результат – температура на відстані 50 мм від ванни плавлення 852°C, якість наплавки задовільна.



Рис 3.10 Результати наплавки згідно режиму 3

3.3 Аналіз результатів

Аналіз показників наведено на рис 3.11 – 3.15.

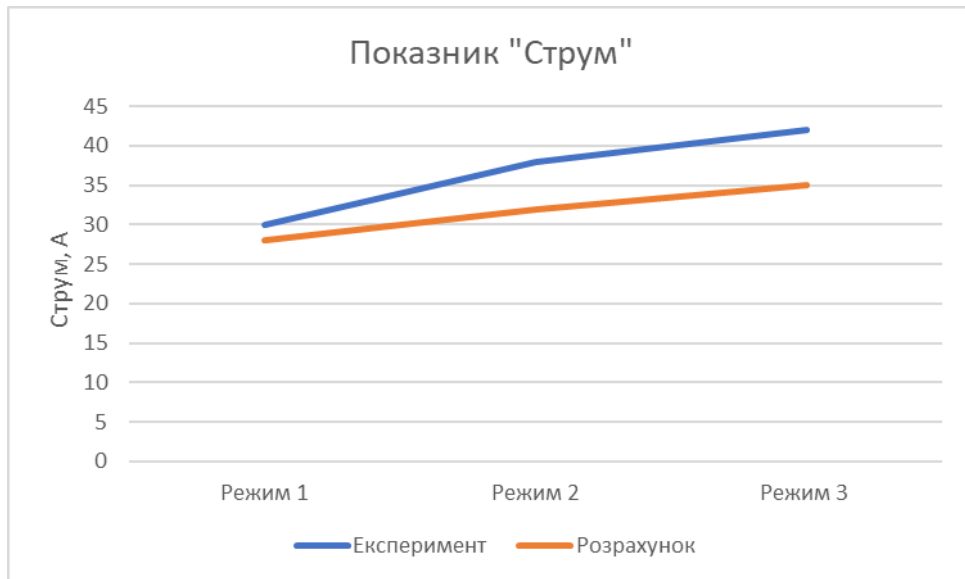


Рис. 3.11. Показник «Струм»

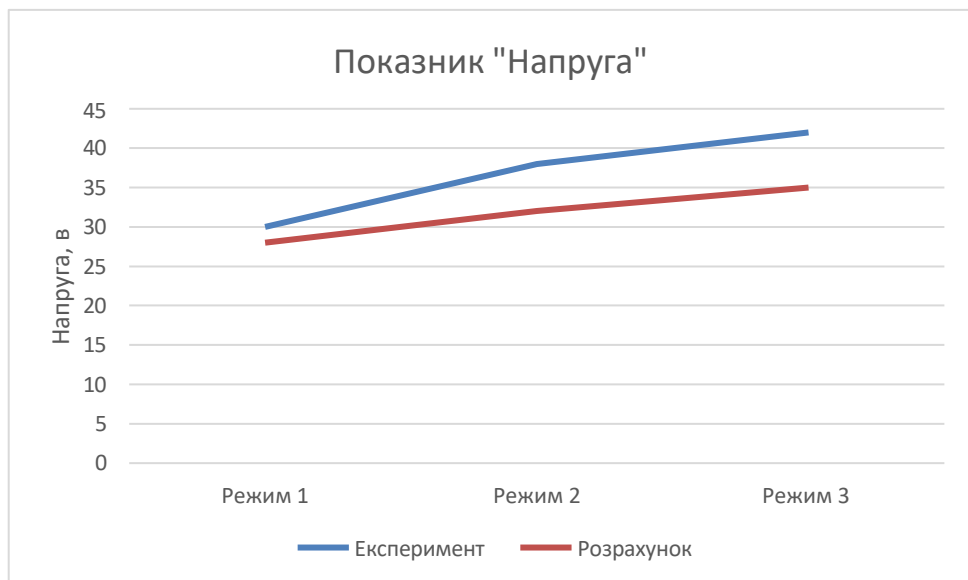


Рис. 3.12 Показник «Напруга»

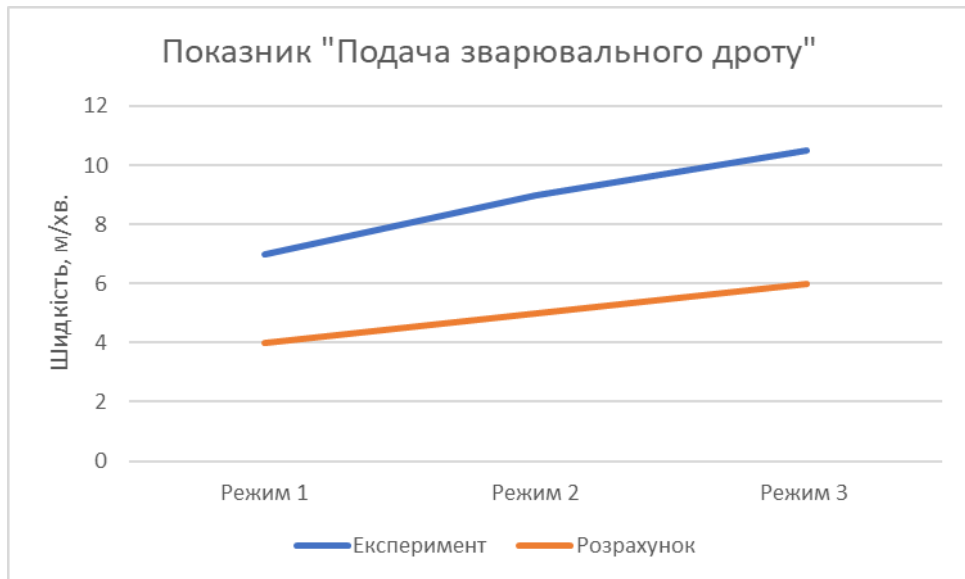


Рис. 3.13 Показник «Подача зварювального дроту»

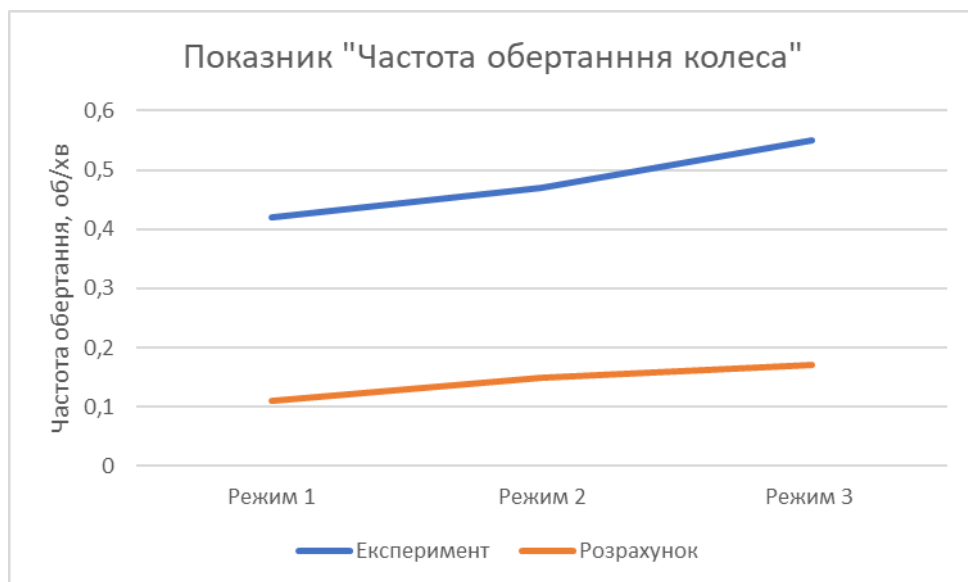


Рис. 3.14 Показник «Частота обертання колеса»

Як бачимо із графіків, найбільше відхилення фактичних параметрів від теоретичних має показник «Частота обертання колеса», встановити яку оператор не має можливості (оператор бачить тільки № завантаженості частотного перетворювача).

В залежності від встановленої частоти обертів оператор коригує показник «Подача зварювального дроту», який в свою чергу напряму впливає на показник «Струм».

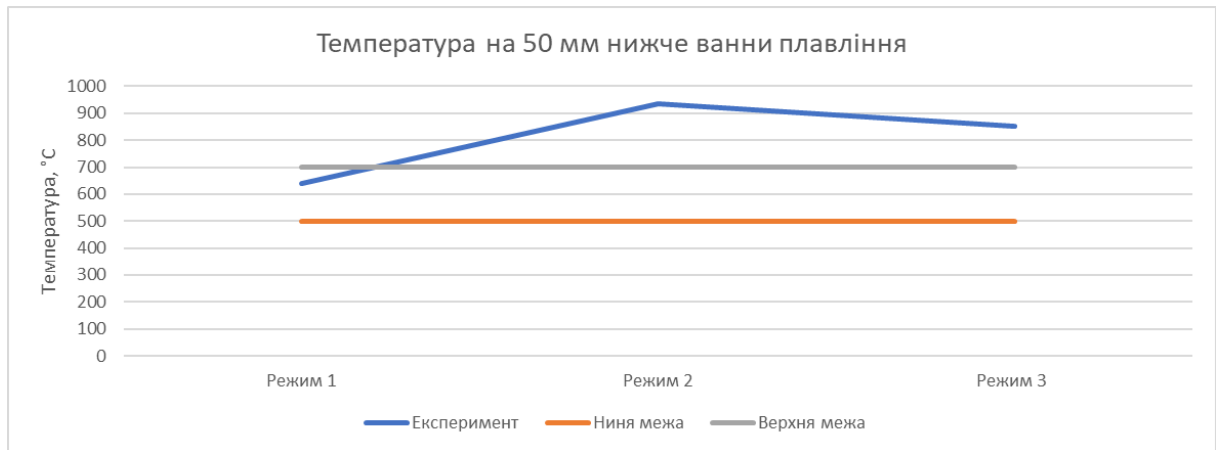


Рис. 3.15 Температура біля ванни плавлення

Якщо подивитися на температуру нижче ванни плавлення, то на 2 та 3 режимі вона перевищує рекомендовану, тобто при роботі на цих режимах збільшується вірогідність отримання браку, такого як:

- Тріщини;
- Неметалеві включення;
- Розшарування

Виходячи з вищенаведеного, оптимальним є 1-й режим наплавлення.

Висновки

В рамках розділу прийшли к наступним висновкам

- Провели експеримент , який скоригував бачення головних показників процесу наплавки. Виявилось, що головний показник це частота обертання колеса, від якого залежить швидкість подачі зварювального дроту, а вже від нього – струм та напруга.
- Підтвердилась гіпотеза, що обмежуючим фактором є температура ванни розплаву, яку міряємо непрямым методом (на відстані 50 мм від ванни).
- Виявлений під час експерименту оптимальний режим наплавки дозволяє виконати наплавку в межах потрібного часу.

3.4 Модернізація зварювального обладнання

Висновки проведеного експерименту вказують на те, що потужності встановленого обладнання в цілому вистачає, але складність в керуванні – а саме - встановлення оптимальних режимів та швидке реагуванні на їх зміну в залежності від стану процесу наплавку виконувати дуже не зручно. Кожен раз треба зупиняти наплавку, вносити зміну в режими наплавки та запускати ще раз. Процес наплавки після запуску відрізняється від того, що був до зупинки, тому оператор наплавлювальної верстати не має можливості відслідкувати зміну процесу від внесеного коригування режимів наплавки.

Виходячи з вищенаведеного, приходимо к висновку, що для зручності керування верстатом, оператору потрібен єдиний пульт керування, з якого оператор буде керувати такими параметрами

- Струм;
- Напруга;
- Швидкість подачі зварювального дроту;
- Швидкість обертання колеса;
- Швидкість руху подачі;
- Подача захисного газу

Керування параметром включає до себе:

- 1) Відображення фактичного значення показника в реальний момент часу;
- 2) Можливість збільшення/зменшення показника параметра шляхом введення значення коригування до поточного значення на індикаторі (параметричне керування);
- 3) Можливість встановлення абсолютного значення показника за допомогою ручного вводу;

Регулювання показника «напруга» є на випрямлячі моделі ВДУ-506 – тобто на центральному пульті потрібно зробити дублювання: встановити індикатори та змінний резистор для регулювання.

Показник «Струм» залежить від швидкості подачі зварювального дроту, тобто регулювання струму в процесі зварювання виконується автоматично. Індикатор для відображення показника потрібен.

Швидкість подачі дроту регулюється плавно. Живильний вузол забезпечує два режими подачі дроту: «нарізування різьблення» і «зварювання», «м'який» пуск, а також затримку подачі газу в кінці зварювання.

Електрична схема блоку подачі «Патон» БП-608 наведена на рис 3.16.

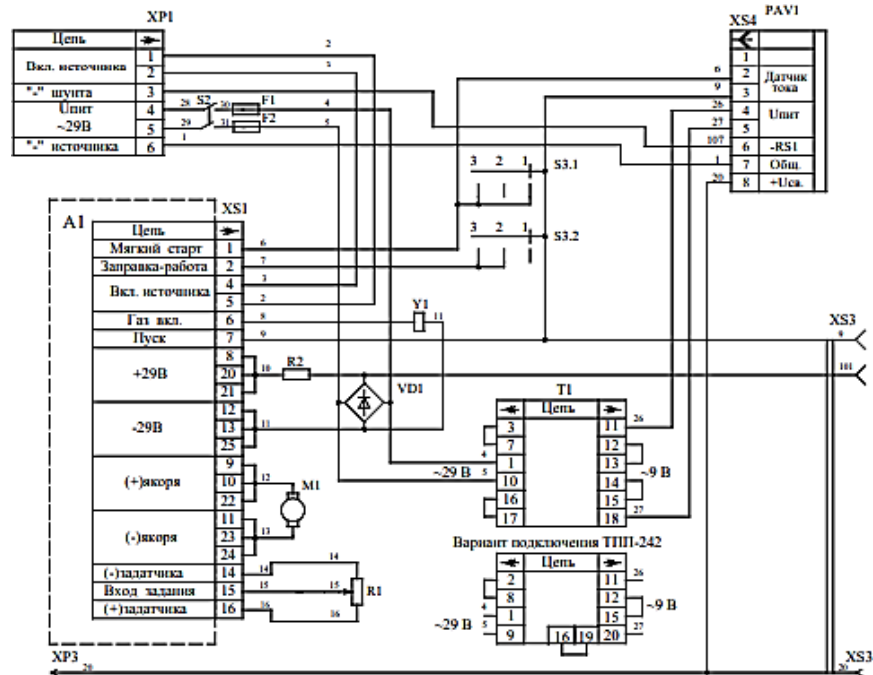


Рис. 3.16 Схема електрична блоку подачі «Патон» БП-608

Як бачимо зі схеми, керування двигуном М1 (який приводить до руху живильний вузол) виконуються блоком керування А1, в якому не передбачена можливість приєднання блоку до будь-яких інших приладів

3.5 Аналіз виконавчих органів верстату

Наплавлювальний верстат має 2 рухи, які безпосередньо впливають на процес наплавки. Це:

- Головний рух - обертання кранового колеса;
- Рух подачі - переміщення зварювальної головки перпендикулярно осі рухомого столу;.

Рух подачі впливає лише на процес розміщення шарів наплавленого металу та може бути виконано 2-ма способами:

1. Окружне наплавлення - до повного закриття початкової і кінцевої ділянок і їх зміщення на певний крок уздовж. Реалізовано за допомогою встановлення кінцевого вимикача на початку наплавки – тобто колесо виконую повний оберт, після чого вмикається кінцевий вимикач та разом з ним на декілька секунд рух привода подачі, після чого таймер часу

вимикає привід подач. Під час вмикання зварювальна головка переміщується на певний крок, після чого колесо йде на наступний оберт;

2. Гвинтове наплавлення - деталь обертається безперервно, при цьому зварювальна головка рухається уздовж корпусу зі швидкістю, при якій один оберт деталі відповідає зміщенню зварювальної головки, рівному кроку наплавлення. Виконується за рахунок синхронізації приводів обертання та переміщення за допомогою контролеру та відповідного скетчу.

В наплавлюваному верстаті реалізовано перший варіант – окружна наплавка. Цей спосіб не є найбільш продуктивним, але в цілому задовольняє вимоги існуючого процесу наплавки.

Найбільш недопрацьованим є привід головного руху. Відсутність зворотного зв'язку не дає можливість оператору визначити кількість обертів колеса – оператор лише бачить показник завантаженості частотного перетворювача у відсотках та саме цим показником керує. Тобто – при збільшенні завантаження частотного перетворювача збільшується частота обертання колеса, та навпаки.

Існуюча конструкція приводу головного руху не дозволяє виконати його вдосконалення, тому він потребує переробки. Нову конструкцію вузла приводу головного руху треба виконати за допомогою сервопривода або крокового двигуна

3.6 Пропозиція щодо модернізації

Головним показником, від якого залежить процес наплавки є головний рух – обертання колеса. Взаємозв'язок між показниками наведено на рис. 3.17



Рис 3.17 Схема ЧПК наплавлювального верстата

- 1 – Ланка обертання колеса, 2 – ланка переміщення зварювальної головки, 3 – Ланка подачі зварювально дроту, 4 – ланка зварювального агрегату, 5 - ланка контролю температури

В цілому, модернізація включає:

- 1) Ланка обертання колеса: заміна двигуна та редукторів на серводвигун, заміна частотного перетворювача на контролер, доробка виконавчого механізму;
- 2) Ланка переміщення зварювальної головки – заміна двигуна та редуктора на серводвигун, встановлення контролеру, заміна пари гвинт/гайка на коло-гвинтову пару, доробка виконавчого механізму;
- 3) Ланка подачі зварювального дроту – заміна двигуна та блока керування на серводвигун та контролер;
- 4) Дообладнання зварювального агрегату реле;
- 5) Встановлення датчиків контролю температури
- 6) Монтаж шлейфів та проводів на верстаті;
- 7) Встановлення контролера ЧПК
- 8) Розробка програмного забезпечення для кожного контролеру та ЧПК

3.7 Витрати на модернізацію.

Витрати на модернізації розраховуємо виходячи з того, що усі роботи будуть виконані власними силами, тобто роботи будуть виконана фахівцями, які вже працюють на підприємстві та підприємство вже несе витрати на оплату їх праці.

Ціни на обладнання взяти з відкритих джерел, тобто зміняться при отриманні фактичних комерційних пропозицій.

Модернізація ланки обертання колеса:

- Серводвигун SZGH-11060DC – 13500 грн.
- Модульний контролер SPLC-AC10S0P – 6480 грн.
- Доробка виконавчого механізму – 15000 грн (експертно)
- РАЗОМ – 34980 грн.

Модернізація ланки переміщення зварювальної головки:

- Сервомотор и серводрайвер 750W 2.4 N/M 80ST-M02430 – 9600 грн.
- Гвинт ШВП зі здвоєною гайкою тип DFU2505 – 6300 грн.
- Доробка виконавчого механізму – 18000 грн (експертно)
- РАЗОМ – 33900 грн.

Дообладнання зварювального агрегату :

- Модуль 1 Relay Module High/Low Level Trigger – 2000 грн.
- Шунт – 2500 грн.
- РАЗОМ – 4500 грн.

Модернізація ланки подачі зварювального дроту:

- Серводвигун BRC-513A 550W – 3753 грн.
- Модульний контролер SPLC-AC10S0P – 6480 грн.
- РАЗОМ – 10233 грн.

Встановлення датчиків контролю температури :

- Модуль WAD-TC-MAXPro – 4500 грн.
- Монтажні елементи – 500 грн.
- РАЗОМ – 5000 грн.

Монтаж шлейфів та проводів :

- Монтажні елементи – 3500 грн.
- РАЗОМ – 3500 грн.

Встановлення контролера ЧПК :

- Контролер ЧПК SZGH-CNC990TDb-2 – 28125 грн.
- РАЗОМ – 28125 грн.

Розробка програмного забезпечення для кожного контролеру та ЧПК – 40000 грн (експертно)

Загалом вартість модернізації складає 160238 грн.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗМІН

Вартість ремонту кранових коліс в середньому по регіонам України становить:

- Ф500 мм – 18 тис. грн. (без урахування ПДВ та транспортування);
- Ф710 мм. – 20 тис. грн. (без урахування ПДВ та транспортування)

Річний фонд робочого часу:

- Для токарної верстати – 1000 год, тобто завантаженість складає $1000/786,9 = 79\%$
- Для наплавлювальної верстати – 1000 год, тобто завантаженість складає $1000/2127,8 = 47\%$

План виробництва (наявність колес, потребуючих ремонту) складає:

- Ф500 – 60 шт.,
- Ф710 – 19 шт.

Виходячи з наявних потужностей власними силами буде відремонтовано Ф500 – 30 шт., Ф710 – 9 шт. Колеса, які не має можливості відремонтувати власними силами, треба відремонтувати у підрядних організацій, тобто Компанія понесе витрати:

- Ф500 мм – 18 тис. грн. * 30 шт. = 540 тис. грн;
- Ф710 мм. – 20 тис. грн. 9 шт. = 180 тис. грн.
- Разом – 720 тис. грн.

Окупність інвестицій в модернізацію складає: 160,238 / 720 тис. грн – менше одного року

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було виконано:

В межах розділу 1 розглянули

- Загальний стан парку кранових коліс Компанії;
- Технологічний процес ремонту/відновлення кранових коліс та час на виробництво;
- Обладнання, на якому виконується ремонт коліс
- Розрахували такт випуску

Прийшли до висновку, що в межах діючого технологічного процесу не має можливості задовольнити всю потребу компанії в ремонтах кранових коліс.

Першопричиною є досить великий час на наплавлювальну операцію, який треба зменшити в 2,16 раз.

В межах розділу 2 розглянули прийшли к наступним висновкам

- В рамках теоретичного обзору процесу зварювання/наплавки прийшли к висновку, що головними показниками процесу є струм, діаметр зварювального дроту, швидкість зварювання та швидкість подачі дроту, а обмежувачими факторами є температура ванни розплаву та колеса в цілому;
- В рамках розгляду існуючого обладнання прийшли к висновку, що потужності обладнання дозволяють виконувати наплавку на швидких режимах, але існуюча система керування не дозволяє оператору контролювати процес.
- Провели експеримент, який скоригував бачення головних показників процесу наплавки. Виявилось, що головний показник це частота обертання колеса, від якого залежить швидкість подачі зварювального дроту, а вже від нього – струм та напруга.
- Підтвердилась гіпотеза, що обмежуючим фактором є температура ванни розплаву, яку міряємо непрямым методом (на відстані 50 мм від ванни).
- Виявлений під час експерименту оптимальний режим наплавки дозволяє виконати наплавку в межах потрібного часу.

В межах розділу 3

- Запропонували модернізацію наплавлюваного верстата;

- Розраховали вартість модернізації
- Розраховали окупність інвестицій, які склали менш одного року

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні / [Л.Є.Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко та ін.]. – К.: Інтерсервіс, 2016, 258 с..
2. Ловейкін В.С. Механотроніка / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк. К. : КНУБА, 2012, 357 с.
3. Пелевін Л. Є. Механотронні системи гідропневмоавтоматики / Л. Є. Пелевін, М. М. Балака, Г. О. Аржаєв. К. : Аграр Медіа Груп, 2014, 192 с.
4. Holotiuk M.V. Ensuring the efficiency of the system of technical maintenance and repair of transport and technological mashines / Holotiuk M.V. , Shymko A.V., Shovkomyd O.V., Martyniuk V.L. // The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji Vol. 99, No. 1, 2023, pp. 5–17
5. Ніколайчук В. М. Основи робототехніки : навч. посіб. / В. М. Ніколайчук. – Рівне : НУВГП, 2008. - 76 с.
6. Kurniawan A. Microcontroller-Based Experimental Setup and Experiments for SCADA Education. Experimental systems // Physical Review B. – V. 15(7). – 2020. – P. 1 – 67.
7. Автоматизація виробничих процесів, Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М., Швед С.М., Ліра-К, 2021, 378 стр.
8. Rahman, N., Muhammad, R., Khairul, S. Development of educational kit for IoT online learning. International Journal of Technology, Innovation and Humanities. Vol. 1, №1, 2020. P. 26-32. DOI : <https://doi.org/10.29210/881001>.
9. Ловейкін В.С. Механотроніка / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк. К. : КНУБА, 2012, 357 с.
10. Sanil P. Raspberry Pi based energy management system. Artificial Intelligence Evolution // Institute of Computer Engineering. – 2020. – V. 1(2). – P.63 – 144.
11. Подчашинський Ю. О. Проектування та конструювання пристроїв та систем управління : навч. посібник / Ю. О. Подчашинський, Ю. О. Шавурський, О. О. Лугових. – Житомир : ЖДТУ, 2018. – 280 с.

УДК 656.13

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МЕТАЛОТОРГУЮЧОЇ
ОРГАНІЗАЦІЇ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТУ КОЛІС
ВАНТАЖОПІДЙМАЛЬНИХ КРАНІВ**

INCREASING THE EFFICIENCY THE METAL TRADING ORGANIZATION DUE
TO THE IMPROVEMENT OF THE WHEELS OF CRANES

Бойко Валерій

*Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013*

The article deals with the issues of choosing a technology for repairing crane wheels and specialized equipment in order to increase the efficiency of a metal trading organization.

Торгові організації, які ведуть торгівлю металопрокатом в своїй діяльності використовують вантажопідіймальні механізми – козлові та мостові крани. В залежності від обсягу перевалки (прийняття/відвантаження) металопрокату інтенсивність роботи вантажопідіймальних кранів буває високою, що в свою чергу приводить до зношуванню окремих елементів крана і в першу чергу кранових коліс.

Для металоторгуючої організації ремонт кранових коліс не є основною діяльністю, тому більшість компаній замовляють послугу ремонту кранових коліс у підрядних організаціях, але від якості ремонту та безперебійної роботи кранів напряму залежить діяльність металобаз.

Починаючи з 2013 року в Україні скорочується кількість компаній які в змозі виконувати цю послугу, у зв'язку з чим вартість росте, а якість знижується. Нові кранові колеса придбати майже неможливо, тому що під виглядом нового колеса у 99% продають відновлене.

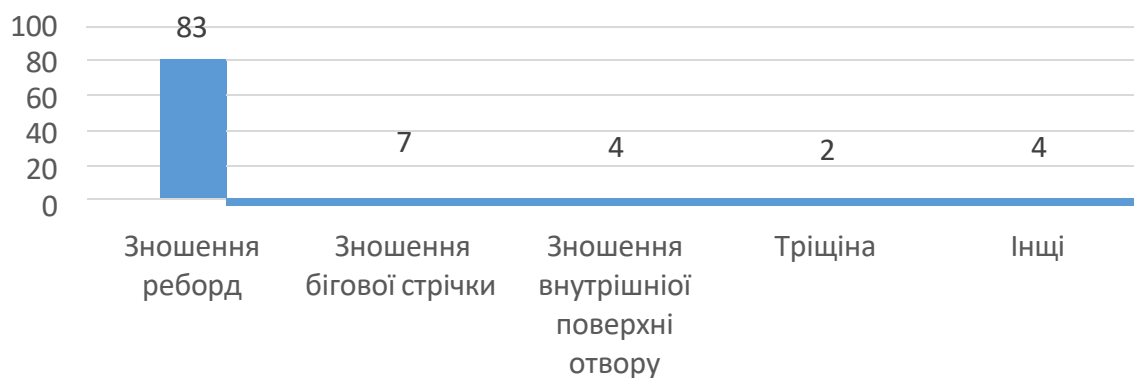


Рис. 1. Причини вибраковки коліс, %

Виходячи зі статистичної інформації, яка наведена на рис.1 та рис 2. (джерело – ТОВ «МЕТІНВЕСТ-СМЦ») приходим к висновку, що основними причинами вибраковки коліс являються зношення реборд та бігової стрічки, але у зв'язку зі складнощами в пошуку підрядних організацій для ремонту та збільшеної вибраковки у зв'язку з неякісним ремонтом 12% від всього парку кранових коліс знаходиться в невідремнтованому стані та при настанні негайної потребу їх буде не можливо встановити на кран.

Виходячи з цього, основною метою ремонту кранових коліс власними силами є необхідність відновлення саме коліс, на яких зношені реборди та бігова стрічка.

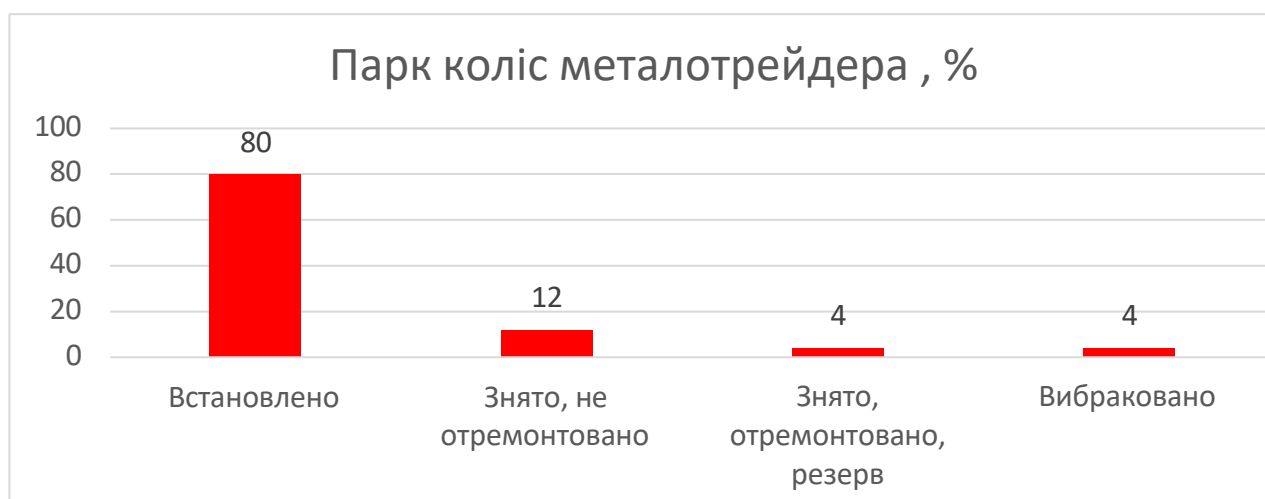


Рис. 2 Парк коліс металотрейдера, %

Згідно [1 с. 91] при ремонті машин і обладнання основне застосування отримало зварювання плавленням (наплавка) за допомогою теплової електричної дуги. На ремонтних підприємствах отримали розповсюджене застосування автоматичні (механізовані) способи зварювання і наплавлення під шаром захисних газів, в якості яких для сталі та чавуну застосовують вуглекислий газ.

Для наплавлення спрацьованих поверхонь деталі циліндричної форми [1 с. 101] як правило застосовують токарний верстат із зниженими оборотами шпинделя. Деталь встановлюють в центри токарного верстата. Механізм подачі електродного дроту разом з касетою встановлюють на супорті токарного верстата, разом з яким вони здійснюють в процесі наплавлення повздовжнє переміщення.

Наплавлення у середовищі вуглекислого газу виконують на постійному струмі зворотної полярності. Марку електродного дроту вибирають залежно від матеріалу відновлюваної деталі і потрібних фізико-механічних властивостей, рекомендується застосовувати дроти діаметром 0,5-2,5 мм марок Св-08Г2С, Св-08ХГСМА та ін.

Під час роботи кранових колес згідно [2] поверні тертя зазнають декілька видів пошкоджень

- Тріщиноутворення термічного походження – розтріскування поверхонь тертя в результаті термічного впливу (під час гальмування відбувається інтенсивне нагрівання, а потім охолодження);
- Утомне спрацювання – тріщини утворюються на поверхні тертя і входять, звужуючись у глибину шару. Розвиваючись по довжині, дрібні тріщини створюють сітку на окремих обмежених або великих ділянках поверхні.

Виходячи з вищенаведеного, приходимо к висновку, що колесо перед ремонтом методом наплавки необхідно прибрати зовнішній шар металу, в якому

утворились тріщини. Зняти зовнішній шар металу доцільно буде на токарному верстаті.

В роботі [3] з'ясовано, що в зоні термічного впливу (наплавки) спостерігається збільшення розмірів зерна, змішана феритно-перлітна структура з окремими ділянками відманштеттової структури, що свідчить про сильний перегрів і схильність до крихкого розтріскування. Для усунення наслідків перегріву потрібно провести термічну обробку для подрібнення зерна.

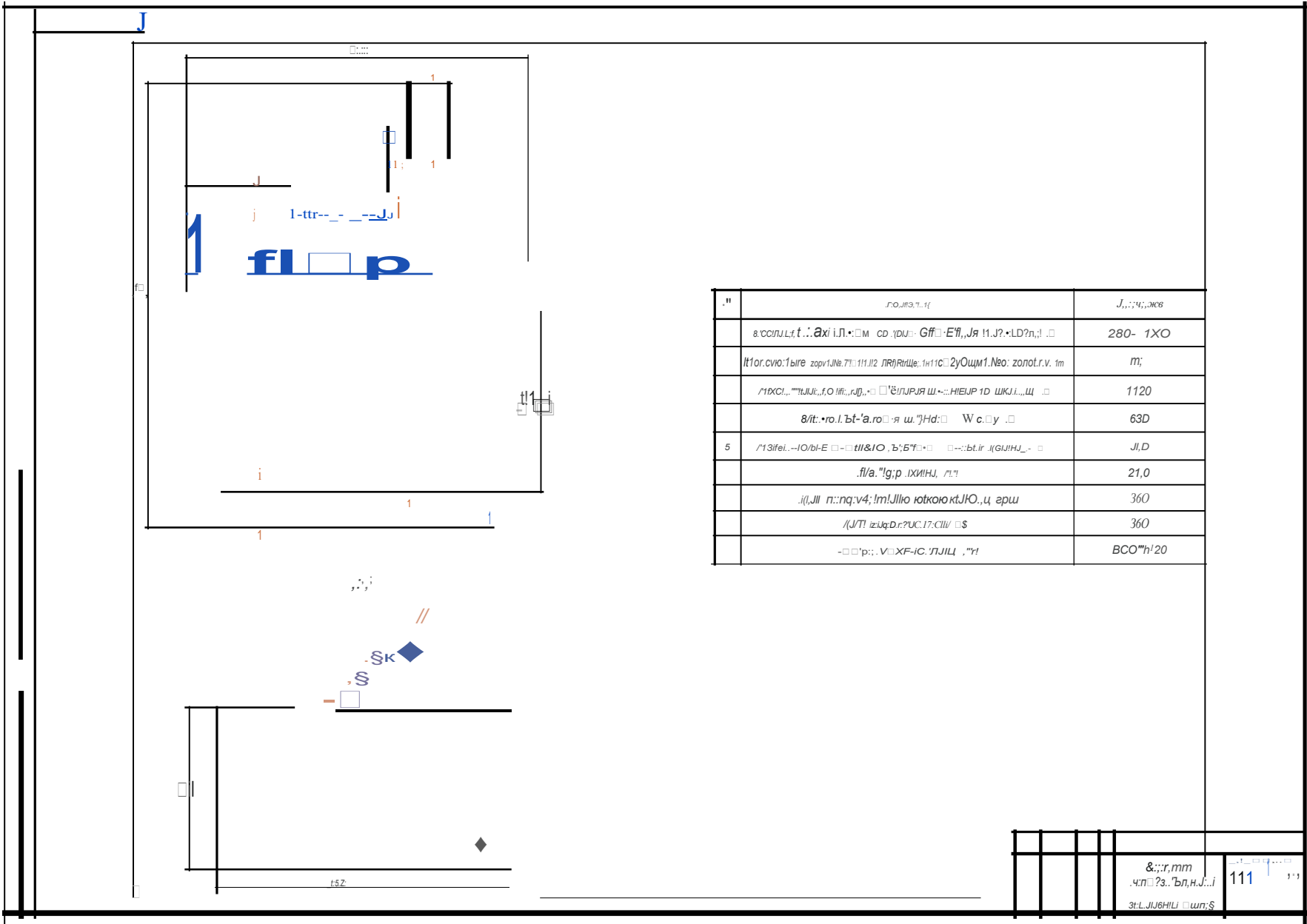
Виходячи з вищенаведеного технологія ремонту кранових коліс методом наплавки виглядає наступним чином:

1. Механічна обробка під наплавку (видалення розтріскувань, які утворились під час роботи колеса);
2. Наплавка (відновлення зношених поверхонь);
3. Термічна обробка (для подрібнення зерна);
4. Механічна обробка (доведення геометричних параметрів відновленого колеса до наведених у кресленні).

Наступним кроком є аналіз креслень коліс, які потрібно буде ремонтувати, їх кількості для визначення обладнання для виконання ремонту.

Література

1. Хітров І.О., Гавриш В.С. Ремонт машин і обладнання // Навчальний посібник / Рівне : НУВГП, 2012.-184 с.
2. Фесенко А.Г. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2015. – 104 с.



№	Наименование	Материал
1	Кнопка "Сброс"	280-1XO
2	Кнопка "Пауза"	m
3	Кнопка "Ввод"	1120
4	Кнопка "Выход"	63D
5	Кнопка "Справка"	ЖД
6	Кнопка "Настройка"	21,0
7	Кнопка "Справка"	360
8	Кнопка "Справка"	360
9	Кнопка "Справка"	BCO"h'20

Верстат наглавлювальний

Додаток В

Масштаб: 1:1
 Число листов: 111
 Дата: 2011.08.11

Колесо кранове 500 мм

