



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 «Удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива
з урахуванням параметрів наплавочної лінії»

Керівник роботи

Микола ГОЛОТЮК

Консультант від
бази практики

Сергій ЗОРЯ

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

Здобувач

Юрій КАШУБА

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

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

Кривий Ріг 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кашубі Юрієві Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії

керівник роботи Голотюк Микола Віталійович, 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 бази практики, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Розділ з економіки. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Вузол пальника колісних пар локомотива. Технологічний процес наплавочної лінії. Представлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
2	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
3	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС
4	Голотюк М.В, доцент кафедри АБЕРС

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.204 – 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

(Кашуба Юрій Володимирович)

Керівник роботи

(Голотюк Микола Віталійович)

АНОТАЦІЯ

Кашуба Юрій Володимирович. Удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії. - 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'єкт дослідження: Автоматичні зварювальні і наплавні лінії.

Предмет дослідження: Пальник з модулем позиціонування і зварювання.

В першому розділі було виконано аналіз предметної області, де було виконано огляд літератури, існуючих конструкцій і сучасні напрямки розвитку теми, розглянутій в роботі.

В другому пункті виконано виклад проведених автором теоретичних досліджень, розглянуто існуючий процес виконання робіт на підприємстві і розробка удосконалення процесу, обґрунтування параметрів пальника , розробка та обґрунтування робототехнічної системи.

У третьому розділі наведено методику проведення дослідження та приведені результати експериментальних досліджень.

У четвертому розділі наведено відповідні розрахунки, що підтверджують економічну обґрунтованість впровадження запропонованої зміни в організації виробничого процесу машини.

Ключові слова: Пальник, гребінь, напавлення, зварювання, колісна пара.

Апробація результатів:

1. Кашуба Ю.В. Удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії. Матеріали міжн. наук. конф. «The mining and metals sector: integration of business, technology and education». Riga, the Republic of Latvia. November 29–30, 2023. Volume 2. PP. 49-51. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-96>.

<https://dspace.mipolytech.education/server/api/core/bitstreams/1f45545e-cda6-45a2-b8ae-b49ff2c780a9/content>

2. Кашуба Ю., Голотюк М, Бундза О. Дослідження вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії / Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасний стан та пріоритети модернізації науки, освіти та технологій", 10 січня 2024, Біла Церква. – Центр фінансово-економічних наукових досліджень, 2024. – с. 28-29.

<http://www.economics.in.ua/2024/01/10-3.html>

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз предметної області.....	9
1.1. Загальновідомі дослідження в області наплавлення.....	9
1.2. Аналіз конструктивних особливостей колісних пар та оцінка існуючих наплавних ліній	10
Розділ 2. Теоретичні дослідження	18
2.1. Дослідження зварюваності металів і сплавів.....	19
2.2. Дослідження зварювальних і наплавних робіт.....	22
2.3. Дослідження вибору типу джерела живлення.....	24
2.4. Дослідження автоматичного зварювання під флюсом	29
2.5 Дослідження зварювання та наплавлення самозахисним порошковим дротом.....	33
2.6 Дослідження режимів наплавлення	37
Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень.....	43
3.1. Мета та методи експериментальних досліджень	43
3.2. Перелік наявного використаного обладнання	47
3.3. Результати досліджень із аналізом отриманих результатів.....	57
Розділ 4. Розрахунок економічної доцільності удосконалень...	72
4.1. Розрахунок витрат на переоснащення вузла пальника із зварювальним модулем.....	73
4.2. Розрахунок витрат, пов'язаних із ремонтом колісних пар .	74
4.3 Розрахунок економічної доцільності переоснащення вузла пальника	75
Висновки	65
Список використаних джерел	77

Вступ

Темою роботи є удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії. Дана тема була обрана з метою обрання подальшого покращення результатів роботи локомотиворемонтного депо, зокрема, дільниці з ремонту колісних пар шляхом наплавлення гребня без викочування колісної пари з локомотива. На сьогоднішній день існуюче обладнання окрім морального старіння має ще й незадовільний технічний стан. Його експлуатація вимагає частого тривалого обслуговування, а виконання робіт вимагає високої кваліфікації працівників. В результаті цих недоліків ми отримуємо завищені терміни ремонту рухомого складу, підвищений знос гребнів колісних пар в результаті несвоєчасного ремонту. Також негативний вплив відображається на якості. Все це значно підвищує експлуатацію рухомого складу, а, зважаючи і так скрутне становище металургії в сьогоденні ми отримуємо додаткові паразитні витрати, які в гіршому випадку зменшувати, і в кращому- нівелювати в рамках окремого виробництва. Отже, кінцевим результатом виконаних покращень має стати скорочення термінів ремонту рухомого складу, а також підвищення якості виконуваних робіт і, як наслідок, зменшення вартості експлуатації рухомого складу. Зрозуміло, що це має призвести до зменшення собівартості кінцевого продукту, яким, в перерізі ГЗК є сировина для чорної металургії- одного із китів економіки України. Зниження собівартості призведе, відповідно, до конкурентоспроможності чорної металургії України. А, оскільки, даний спосіб подовження терміну експлуатації використовується і на деяких інших підприємствах галузі, то логічним наступним кроком, при позитивних результатах, можна запропонувати розповсюдити і на інші підприємства. Тому дана тема є досить актуальною в сучасному сьогоденні.

Базовим для розгляду покращень депо було обрано локомотиворемонтне депо станції Сировинна ГЗК. Також на базі

даного підприємства була пройдена переддипломна практика автора нижче розглянутої роботи. За результатами практики було проведене ознайомлення зі структурою підприємства і робочим процесом ремонту рухомого складу загалом і безпосередньо розглянуто існуючу лінію наплавлення гребнів колісних пар з розбором існуючих проблем. Практика на підприємстві проходила під керівництвом висококваліфікованого досвідченого керівника від підприємства ГЗК.

Теоретичні знання та деякі практичні навички згідно навчальної програми було здобуто в процесі навчання на денній формі навчання на факультеті цифрових технологій та автоматизації виробництва, кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем на лекціях, лабораторних і практичних заняттях колективом досвідчених викладачів. Написання дипломної роботи виконувалось під керівництвом доцента і кандидата технічних наук.

Загалом дана робота містить , окрім вступу і висновків, чотири розділи.

В першому розділі було виконано аналіз предметної області, де було виконано огляд літератури, існуючих конструкцій і сучасні напрямки розвитку теми, розглянутій в роботі.

В другому пункті виконано виклад проведених автором теоретичних досліджень, розглянуто існуючий процес виконання робіт на підприємстві і розробка удосконалення процесу, обґрунтування параметрів пальника , розробка та обґрунтування робототехнічної системи.

Третім розділом були розглянуті результати експериментальних досліджень, а четвертим- економічне обґрунтування запропонованих покращень.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Загальновідомі дослідження в області наплавлення

Тему дослідження відновлення гребенів колісних пар залізничного транспорту розглядають досить давно, оскільки вона є актуальною в умовах промислового виробництва, де не такі жорсткі умови до методів відновлення колісного парку, як, наприклад, на Укрзалізниці, де рух пов'язаний з перевезенням пасажирів і відносно високими швидкостями. Серед українських дослідників варто згадати статтю О.А. Гайворонського [1], метою роботи якого було встановлення основних закономірностей у формуванні структури і фізико-механічних властивостей колісних сталей при дуговому наплавленні та розроблення технологічних рекомендацій щодо відновлення поверхонь зносу залізничних коліс, які забезпечать підвищення надійності та безпеки руху транспорту в умовах зростаючих експлуатаційних навантажень.

Цим же автором було зареєстровано патент за номером 107301, де запропоновано один із методів відновлення виробів з високовуглецевих сталей електрозварюванням. Ця робота також внесла певний вклад в дослідження методів наплавлення деталей [2].

Також, окрім безпосередньо дослідження наплавлення колісних пар проводяться дослідження в області зварювальних робіт в посібнику О.А.Гаєвського та В.О.Гаєвського [3]. Викладені основні нормативні вимоги до зварників, операторів зварювальних установок, дефектоскопістів, інженерно-технічних працівників, які координують виконання робіт у зварювальному виробництві. Розглянуті умови допуску персоналу зварювального виробництва до виконання робіт та функції інженерно-технічних працівників. Надані відомості про норми оцінювання дефектності при зварюванні, методи атестації процесів зварювання та вимоги до якості зварювання за національними та міжнародними стандартами.

Окрім зварювальних робіт, запропоноване нижче обладнання передбачає використання частин ЧПК. В даній сфері також було виконано

багато досліджень українськими авторами, видавництвами. Наприклад, в посібнику Ельперіна І.В.[4] висвітлено загальні питання автоматизації виробничих процесів, описано автоматичний контроль технологічних параметрів, автоматизовані системи регулювання, технічні засоби автоматизації, основи проектування автоматизованих систем. Розглянуто основи автоматизації виробництва із застосуванням мікропроцесорних промислових контролерів і принципи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем управління з використанням автоматизованих робочих місць оператора-технолога.

1.2. Аналіз конструктивних особливостей колісних пар та оцінка існуючих наплавних ліній

Загальний парк рухомого складу ГЗК становить 88 рухомих одиниць. Серед них 34 серії ОПЕ\НП, 2 одиниці 2ТЕ116, 30 одиниць 2ТЕ10 і 22 одиниці серії ТЕМ2\ЧМЕЗ. Кожна тяговий агрегат серії ОПЕ налічує 12 колісних пар, інші типи локомотивів містять по 6 колісних пар кожна. Таким чином, ми маємо парк колісних пар в кількості 732 колісні пари. Враховуючи умови експлуатації, найбільшому зносу піддаються колісні пари локомотивів серії ОПЕ, парк яких налічує 408 одиниць. Середній термін експлуатації колісної пари тягового агрегату серії ОПЕ до наступного ремонту становить близько півроку. В середньому, при наявному обладнанні, за добу, при нормальних умовах, є можливість наплавляти три колісні пари. Тому на обслуговування лише локомотивів серії ОПЕ, нам необхідно витратити 136 діб. Окрім цього рідше, але все ж є необхідність ремонту колісних пар інших серій локомотивів. В результаті ми отримуємо невиконані показники по ремонтах колісних пар. Тому дуже гостро стоїть питання підвищення якості ремонту з підвищення термінів міжремонтних інтервалів і пришвидшення виконання ремонту за рахунок удосконалення обладнання.

Ключовою особливістю, колісної пари локомотива від інших залізничних рухомих одиниць (окрім приводної шестерні) є те, що її

колісний центр не є суцільним з гребнем, а містить бандаж. Бандаж- обід, напресований з відповідним натягом на колісний центр. Слугує для передачі тягових і гальмівних зусиль від колісної пари до рейки, а також для задання напрямку руху локомотива за рахунок особливого профілю. В заводських умовах наявність бандажу спрощує ремонт, адже не потрібно цілком відбраковувати колісний центр, а достатньо замінити бандаж. Але перебандажування можливе лише на спеціалізованих підприємствах так як вимагає використання спеціалізованого обладнання. Окрім того, ремонт колісної пари зі зміною бандажу буде тягнути за собою витрати на її демонтаж, монтаж і транспортування. До цього треба додати період простою локомотива на період ремонту колісної пари. Так, для демонтажу однієї колісної пари потрібно приблизно 23 люд/год, монтаж стільки ж, і до цього необхідно додати витрати на транспорт і ремонт. Серед основних дефектів колісних пар можна зазначити гострокінцевий підріз гребня, прокат більше 7мм, сковзуни, викрашування гребня, спресування бандажу і інше. Але найрозповсюдженішим дефектом є знос гребня. Найбільшому зносу піддається гребінь бандажу. Товщина гребня на висоті 18 мм повинна становити в експлуатації не менше 25 мм. Товщина нового гребня 33 мм.

На рисунку 1 зображено колісну пару тепловоза серії ТЕМ2. Якщо ми виключимо такі конструктивні особливості, як зовнішні розміри і тип приводної шестерні, то за принципом будови вона є аналогічною до інших типів локомотивів.

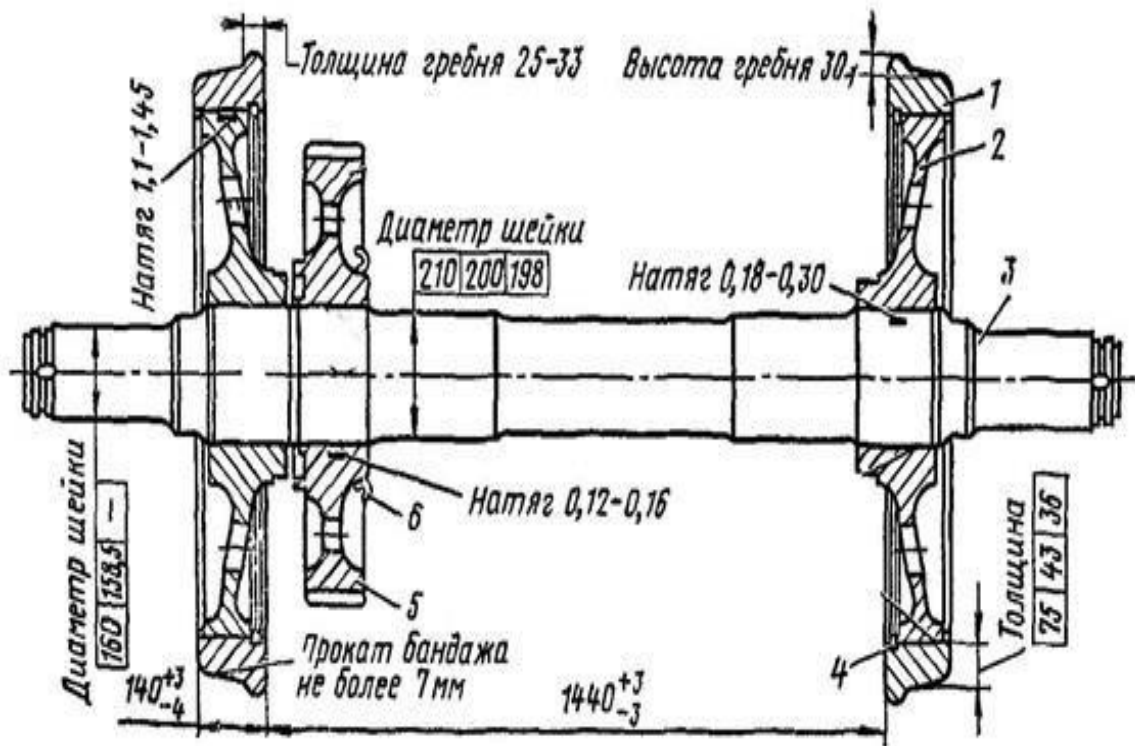


Рис.1: Колісна пара

де 1-бандаж; 2-колісний центр; 3-вісь; 4-кільце; 5-шестерня.

Вказані на рисунку вимоги щодо висоти, товщини, прокату і натягу гребня є дійсними і для інших типів локомотивів, оскільки задають профіль кочення колеса і чітко регламентовані в Правилах техніки експлуатації рухомого складу. Проблема продовження термінів експлуатації колісних пар не є актуальною лише для цього підприємства. Існує деякий досвід використання подібних за призначенням, але дещо відмінних за виконанням конструкцій на інших підприємствах. Відповідно, не зайвим буде розглянути і їх конструктивні особливості і оцінити переваги й недоліки.

Пошук тематичних патентів по базі бюро патентів України показав низький рівень розповсюдження запропонованих рішень даної проблеми. Найбільш тематично наближеним є патент №35035 від 15.03.2001 «пристрій для механізованого наплавлення», в якому описані загальні принципи переходу до автоматизації процесу наплавлення. Подібні принципи застосовані на наплавних установках автоматичної наплавлення, на яких виконується відновлення гребня окремо взятої колісної пари. Відповідно до цього, дана установка не може бути застосована у відповідності до вимог.

Вона є актуальною для вагоноремонтного депо, де наплавлення виконують при повному демонтажі колісної пари, або при ремонті окремо взятої колісної пари. Це дуло б зручно, наприклад, на дільниці ремонту колісно-моторних блоків з подальшим проточуванням бандажу. Конструктивно, подібні верстати представляють собою зварювальний автомат, де встановлений на верстат колісній парі надається обертальний рух з відповідною частотою, а зварювальними колонами виконується наплавлення бандажа. На сьогоднішній день ці верстати в багатьох випадках автоматизовані, мають числове програмне керування, вплив людського фактору мінімальний, тому і якість виконання робіт на високому рівні. На рисунку 2, наведено приклад такої установки.



Рис 2. Установка автоматичної наплавлення колісної пари

На рисунку 3 зображено безпосередньо пальник, призначенням якого і є процес наплавлення шляхом подачі зварювальної проволочки до ванни під відповідною напругою і струмом. Наплавлення виконується в захисному

середовищі під шаром флюсу АН-348А. Подача проволоки виконується механізмом, розташованим безпосередньо біля зварювального сопла. Живлення зварювальним струмом виконується джерелом постійного струму з межами регулювання зварювального струму 200-1000А і межами регулювання напруги 20-56В. Напруга подається на проволоку діаметром 2-5мм в залежності від умов наплавлення і обраного механізму подачі проволоки. Швидкість подачі проволоки 30-300м/годину. Ці межі дозволяють виконувати ремонтні роботи на більшості типах колісних пар рухомого складу. Але, нажаль, як видно із рисунку 3, подібні конструкції, незважаючи на свої переваги дана конструкція буде суперечити вимогам, що пред'являються.

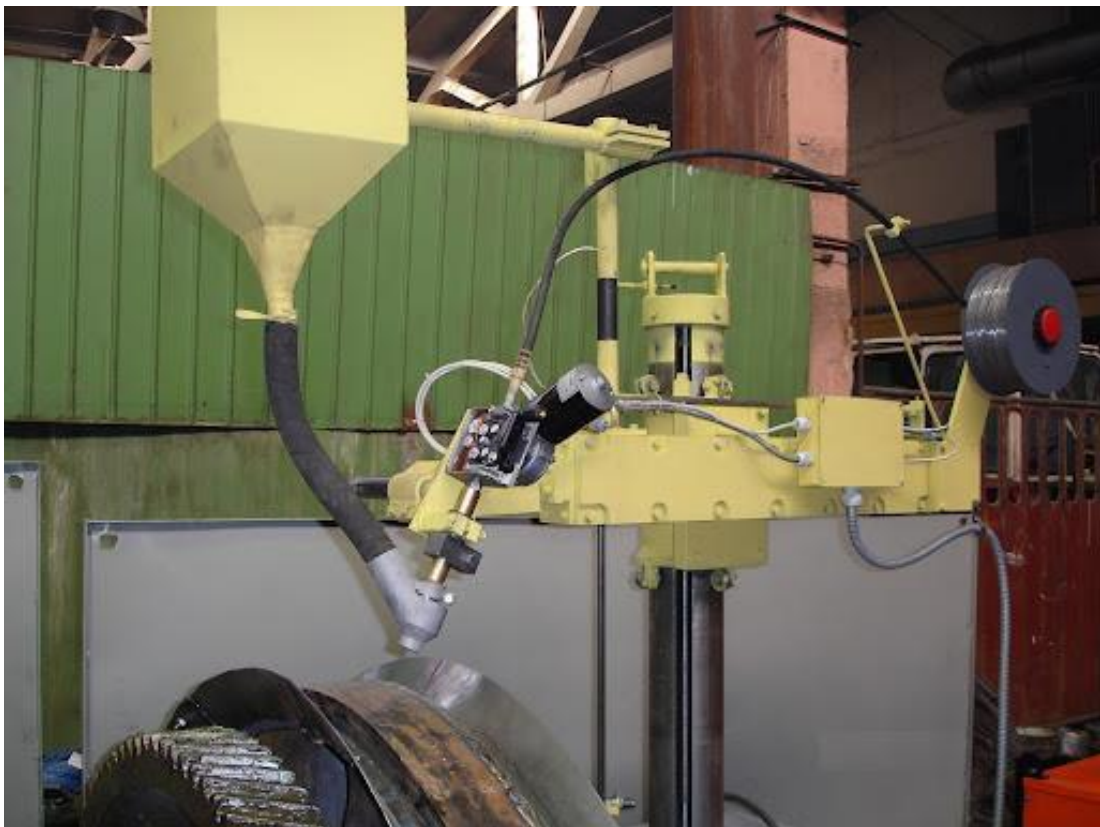


Рисунок 3: Пальник

Як видно із фото, по своїй суті, пальник представляє собою автоматизовану зварювальну колону, яка є в даному випадку стаціонарною. Окрім того, розташування флюсового бункера і компоновка пальника унеможливила б його розміщення при наплавленні колісної пари,

розташованої на локомотиві, оскільки заважало б розташоване на рамі локомотива і візка обладнання.

Із представлених на ринку готових зразків, які дозволяють виконати наплавлення без викочування, можна розглянути комплекс обладнання для наплавлення колісних пар тепловоза в захисному середовищі вуглекислого газу без їх викатки виробництва заводу Svarzavod, РФ, зображено на рисунку 4 в процесі виконання робіт.

Комплекс складається з окремих складових частин, які встановлюються за потреби навколо верстата для обточування колісної пари. Безпосередньо на стінки ями верстата закріплюються на осях по обидва боки від коліс, що відновлюються, два трапи. У ямі на стінці приварюється плита приводу обертання колісної пари. За відсутності відновлювальних робіт трапи піднімаються та фіксуються на огорожі ями. Привід обертання складається з асинхронного двигуна, двоступінчастого черв'ячноциліндричного редуктора та ланцюгової передачі на приводний ролик. Натяг ланцюгової передачі здійснюється переміщенням опори з боку ролика. Переміщення та підтискання приводного ролика здійснюється від пневмоциліндра. Регулювання режимів роботи установки здійснюється від пульта керування. Пристрій для закріплення та переміщення зварювального пальника розташовується на трапах у спеціальних місцях, також є спеціальні вузли для повороту пальника у зручне положення. Конструкція пристрою дозволяє встановлювати пальник у зручне для наплавлення положення кожної колісної пари локомотива. Блок індукційного нагріву і двох основних блоків. Кінцевими елементами є гнучкі силові кабелі, на кінці яких припаяний індуктор. Сам індуктор закріплюється на спеціальному пристрої з поліаміду. Опорна пластина пристрою встановлюється в різцетримачі верстата.



Рисунок 4:Виконання наплавних робіт верстатом Svarzavod

Основною перевагою запропонованої конструкції є її відносно низька вартість, оскільки вона є комплексом стандартного обладнання. Це є зварювальний напівавтомат і привід роликів колісної пари. Стійка для кріплення пальника є дешевою у виробництві. В якості захисного середовища використовується лише вуглекислота. За рахунок цього зменшується вартість обладнання, але робить лінію менш універсальною оскільки відсутня можливість використання флюсу. Водночас, виникає необхідність зберігання балонів з вуглекислотою зберігати відповідно до правил охорони праці і створення їх запасу для безперебійного виконання робіт і виключення затримок на очікування доставки вуглецевої кислоти . В той же час, використання захисного середовища вуглецевою кислотою доцільно лише при зварюванні тонких металів, оскільки при високих температурах (а при наплавленні колісних пар струм вище, ніж при зварюванні тонкостінних деталей),вуглецева кислота розкладається на закис вуглецю і кисень, в зв'язку з чим порушуються механічні властивості

наплавленого металу. Але, при невеликому парку локомотивів ці недоліки не будуть критичними. В той же час, використання захисного середовища вуглецевою кислотою доцільно лише при зварюванні тонких металів, оскільки при високих температурах (а при наплавленні колісних пар струм вище, ніж при зварюванні тонкостінних деталей), вуглецева кислота розкладається на закис вуглецю і кисень, в зв'язку з чим порушуються механічні властивості наплавленого металу.

Але при цьому залишається ручне переміщення пальника, стаціонарне місце розташування приводу. Ланцюгова передача вимагає постійного контролю стану, оскільки при виходу її з ладу відбудеться аварійна зупинка колісної пари в процесі наплавлення, що призведе до утворення дефектів на гребні і виходу з лагу пальника і протяжного механізму дроту. При розтягненні ланцюга, можливі ривки при обертанні колісної пари. В результаті, на гребні утворюються хвилясті напливи, які вимагатимуть значної механічної обробки.

Виходячи з цього можна зробити висновок, що дана конструкція може бути використана в умовах незначного парку рухомого складу, де відновлення наплавленням буде скоріше за все винятком, ніж типовою ремонтною операцією, поставленою на потік.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Металургійний процес зварювання і наплавлення, порівняно з металургійним процесом виробництва сплавів, є більш складним, оскільки має низку особливостей: коротка тривалість процесу, значна швидкість охолодження, висока температура (до 2300°C) нагрівання металу тощо. Все це призводить до того, що хімічні реакції в зоні зварювання і наплавлення відбуваються миттєво, не встигають повністю завершитися до кристалізації, в результаті чого створюються неправильні структури. Все це призводить до того, що хімічні реакції в зоні наплавлення відбуваються миттєво, не встигають повністю завершитися до кристалізації, в результаті чого створюються неправильні структури. Висока температура провокує перехід газів, що містяться в повітрі (кисень, азот, водень), в атомарний стан. Гази активно поглинаються металом, взаємодіють з ним і легуючими елементами, різко знижуючи механічні характеристики металу шва. Гази потрапляють у зварювальну ванну з повітря, флюсів, електродних покриттів, захисних газів, вологи, адсорбованої на поверхні виробу із залишками мастила, іржі тощо, а також з кисню розплавленого металу. При контакті кисню з розплавленим металом кисень розчиняється і утворюються оксиди, частина яких залишається в сплаві після його кристалізації.

Азот, розчиняючись в металі з багатьма елементами, утворює нітриди. Тому при зварюванні сталей, при недостатньому захисті наплавленого металу, спільна дія кисню і азоту викликає різке підвищення крихкості шару, нанесеного на поверхню деталі. Азот сильно зменшує відносне подовження, сприяє збільшенню пористості, підвищує схильність металу до старіння.

Водень, як і кисень, поглинається рідким металом під час зварювання. Але при охолодженні останнього (особливо в момент кристалізації) розчинність водню різко знижується. Виділення водню не припиняється не тільки після закінчення кристалізації, але навіть при кімнатній температурі.

Дифундуючи в об'ємі затверділого металу, водень накопичується в мікропорожнинах і створює настільки значні питомі тиски, що наплавлений шар руйнується.

На розчинність газів істотно впливають лінійна енергія (залежно від способу і режимів зварювання), розміри деталі, структура і склад металу відновлюваного виробу, попередній і наступний підігрів тощо.

2.1. Дослідження зварюваності металів і сплавів

При ремонті рухомого складу зварюванню і наплавленню піддаються деталі, виготовлені переважно з конструкційних низьковуглецевих, середньо- і низьколегованих прокатних і литих сталей. Вміст вуглецю та легуючих елементів у складі сталі суттєво впливає на зварюваність і поділяє її на чотири групи: добра, задовільна, обмежена та погана зварюваність. Тому при розробці технологічного процесу в першу чергу необхідно оцінити зварюваність металу відновлюваного виробу і призначити (при необхідності) певні операції, що знижують або усувають негативний вплив тих чи інших компонентів на якість відновлюваного шару.

Зварюваність - це сукупність технологічних властивостей металів і сплавів, що дозволяють утворювати в процесі зварювання або наплавлення з'єднання і шари, які не поступаються властивостям матеріалу відновлюваного виробу. Найбільше на зварюваність впливають хімічний склад сплаву, фазовий склад і його зміни в процесі нагрівання та охолодження, фізико-хімічні та механічні властивості, реакційна активність елементів та інші.

У зв'язку з тим, що параметри, які характеризують основний і присадний (електродний) матеріали, дуже численні, зварюваність є комплексною характеристикою, що включає чутливість металу до окислення і пороутворення, відповідність властивостей зварного з'єднання заданим експлуатаційним, реакцію на термічні цикли, стійкість до утворення холодних і гарячих тріщин тощо.

Найбільш значущим з цих параметрів при зварюванні і наплавленні вуглецевих і низьколегованих сталей є стійкість до утворення тріщин. Гарячі тріщини найчастіше виникають при ослабленні деформаційної здатності металу через появу в структурі легкоплавкої крихкої евтектики, дефектів кристалічної будови, внутрішніх і зовнішніх напружень. Імовірність виникнення гарячих тріщин під час зварювання або наплавлення можна визначити за допомогою коефіцієнта Вілкінсона (H.C.S.):

$$H. C. S. = \frac{C(S+P+\frac{Si}{25}+\frac{Ni}{100})}{3Mn+Cr+Mo+V} 10^3 \quad (2.1)$$

Умовою появи гарячих тріщин є $H.S.S. > 2$. Наприклад, при звичайному зварюванні низьколегованої сталі тріщини починають з'являтися при $H.S.S. = 4$.

Холодні тріщини найчастіше виникають через загартовуваність сталі при швидкому охолодженні і насиченні металу шва і зони термічного впливу воднем. Зазвичай вони зароджуються через деякий час після зварювання і наплавлення і розвиваються протягом декількох годин або навіть доби.

Для оцінки схильності металу до утворення холодних тріщин найчастіше використовують вуглецевий еквівалент, який може бути використаний як показник, що характеризує зварюваність, з попередньою оцінкою останньої. Для цього існує ряд рівнянь. Найбільш поширеним і прийнятим для сталей, що використовуються в рухомому складі, є наступне:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (2.2)$$

У таблиці 2.1 наведено класифікацію сталей за зварюваністю відповідно до значення C_e та заходи щодо запобігання або зменшення ймовірності утворення тріщин.

Таблиця 2.1 Класифікація сталей за зварюваністю

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент C_e , %	Технологічні заходи			
			Підігрів		Термообробка	
			Перед зварюванням	Під час зварювання	Перед зварюванням	Після зварювання
1	Хороша	$<0,2$	----	----	----	Бажано
2	Задовільна		Необхідно	----	Бажано	Необхідно
3	Обмежена	$0,35-0,45$	Необхідно	Бажано	Необхідно	Необхідно
4	Погана	$>0,45$	Необхідно	Необхідно	Необхідно	Необхідно

Якщо оцінка зварюваності за C_e вказує на схильність сталі до холодного розтріскування, необхідно передбачити попередній підігрів заготовки. Температуру попереднього підігріву, $^{\circ}\text{C}$, можна визначити за формулою

$$t = 350\sqrt{C_{\text{об}} - 0,25}, \quad (2.3)$$

где $C_{\text{заг}}$ – загальний вуглецевий еквівалент,

$$C_{\text{заг}} = C_e + 0,005^{\sigma} C_e, \quad (2.4)$$

де σ – товщина металу деталі, що зварюється, мм.

Температура нагріву, що супроводжує зварювання або наплавлення, залежить від матеріалу виробу і коливається в середньому від 250 до 400°C . Але при цьому в нашому випадку додаткового підігріву не буде, тому і розраховувати його не будемо.

Зниження вмісту водню в наплавленому металі досягається кращим захистом зварювальної ванни від зовнішнього середовища, ретельною підготовкою поверхні перед наплавленням, підпалом присадного матеріалу тощо.

При аналізі зварюваності не слід випускати з уваги той факт, що термічно зміцнені сталі під дією значних температур знеміцнюються. Таким чином, перед розробкою технології зварювання або наплавлення слід визначити зварюваність основного металу, присадного металу і металу шва,

ймовірність утворення тріщин, знеміцнення сплаву і призначити необхідні заходи для зменшення або усунення небажаних явищ.

2.2. Дослідження зварювальних і наплавних робіт

При зварювальних і наплавочних роботах підготовчі операції полягають в наступному: очищення місць зварювання або наплавлення металевими щітками; видалення бруду, іржі, залишків масла. Якщо на деталі є отвори, шпонкові пази, їх слід закрити заглушками або тимчасовими шпонками з низьковуглецевої сталі. Шпонкові пази повинні бути розміщені на азбестових прокладках товщиною 2-3 мм. Пробки і тимчасові шпонки повинні виступати над поверхнею деталі на 1-2 мм. Мідні та графітові пробки не допускаються. Допускається забивання отворів азбестом.

Кінці тріщин виявляють нагріванням газовим пальником, зенкують і просвердлюють.

Підготовка кромки під зварювання повинна виконуватися механічною обробкою (на токарному або стругальному верстаті, фрезеруванням, пневматичним або ручним зубилом, поперечним зубилом і т.д.). При підготовці кромки деталей з низьковуглецевої сталі допускається застосування газового різання з подальшим механічним очищенням поверхні різку для отримання чистого металу. При обробці газовим різанням кромки деталей зі сталей, що містять більше 0,3% вуглецю, поверхня різку повинна бути механічно очищена від задирів на глибину не менше 3 мм.

При виборі форми різання кромки (рисунк 5) слід враховувати, що найбільш економічна форма - І-подібна без скосу. Порівняно з V-подібною, більш економічними є К- та Х-подібні двосторонні. Однак вони можуть бути реалізовані, якщо є доступ до обох сторін деталі.

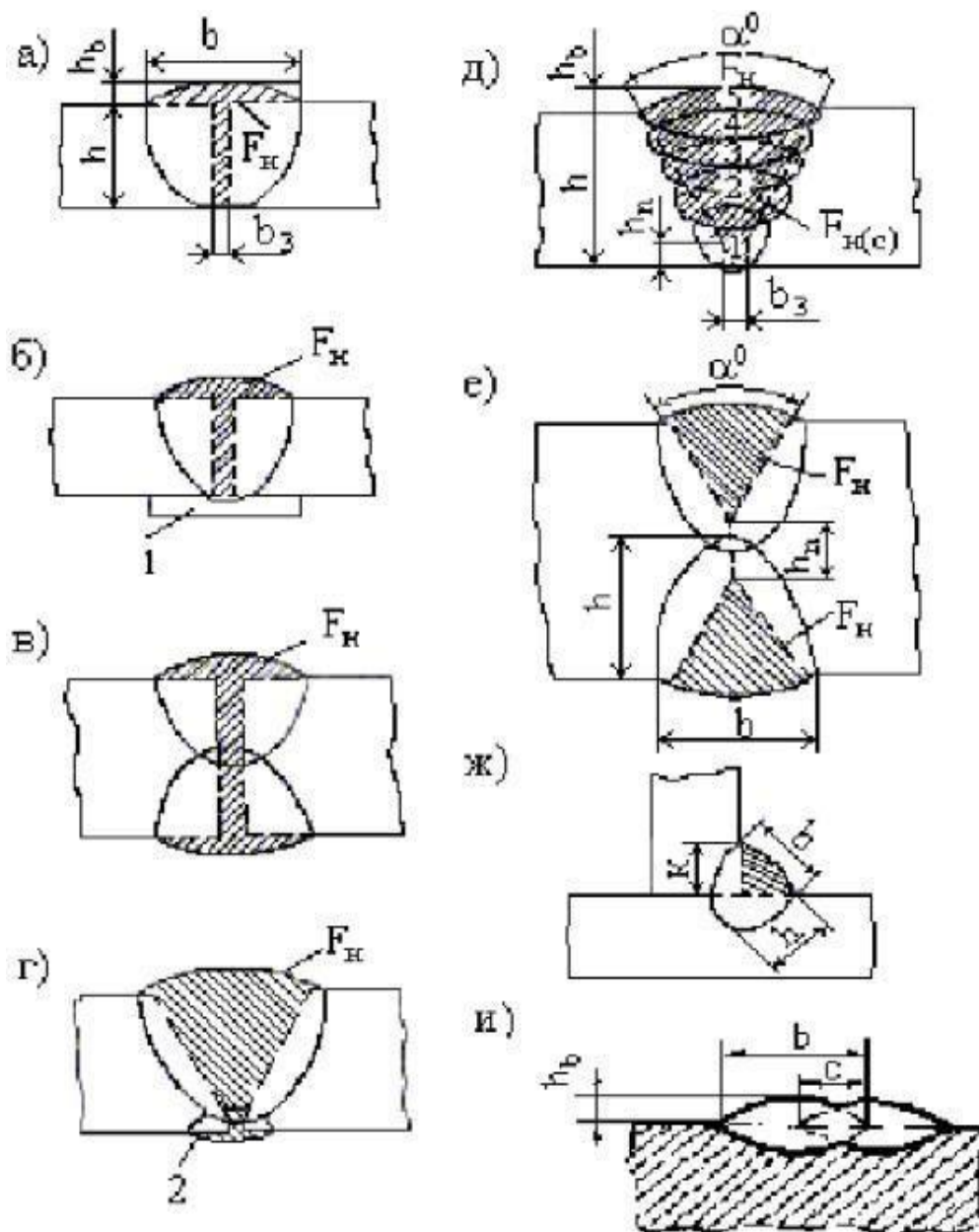


Рисунок 5 Розміри та форма скосів кромки і зварного шва

де:

- а) І-подібний (без скосу кромки), односторонній стиковий зварний шов;
- б) те саме з металевою (рештою) підкладкою 1;
- в) І-подібний (без скосу країв), двосторонній стиковий зварний шов;
- г) V-подібний, стиковий зварний шов з підварюванням (2) кореня шва;
- е) V-подібний багатопрхідний стиковий шов (цифри вказують на кількість проходів - шарів);
- ф) X-подібний двосторонній стиковий шов;
- д) кутовий шов (без скосу кромки вертикального елемента);

ж) розташування валиків при наплавленні (наплавлений метал заштрихований, пунктирною лінією показано початковий зріз кромки елементів, що з'єднуються).

При зварюванні ненаскрізних тріщин найчастіше використовується V-подібний зріз; при зварюванні наскрізних тріщин найчастіше використовується Х-подібний зріз.

Площа поперечного перерізу шва визначається геометричним розрахунком. При цьому висота підсилення шва h_v , при зварюванні суцільним швом, встановлюється в межах 0,1-0,3 товщини металу деталі δ , а при зварюванні тріщини - 0,2-0,3 від глибини тріщини.

Розмір валиків при ручному дуговому зварюванні розраховують за формулою $b = (2 \div 4)d_e$, $h_v = (0,8 \div 1,2)d_e$, де d_e - діаметр електрода.

При інших способах зварювання і наплавлення площа поперечного перерізу рулону може бути прийнята рівною $0,3 \div 0,7 \text{ см}^2$.

При багатопрхідному зварюванні тріщин переріз першого шару не повинен перевищувати $0,3 \div 0,35 \text{ см}^2$ і може бути визначений за формулою

$$F_1 = (6 \div 8) d_e. \quad (2.5)$$

У разі багатшарового наплавлення нанесення наступних шарів слід проводити після повного охолодження попередніх і зачищення останніх до металевго блиску.

2.3. Дослідження вибору типу джерела живлення

Зварювальна дуга - це потужний дуговий розряд в іонізованому середовищі газів і парів металу. Характеристиками дуги є її струм I_d і напруга U_d . Статична вольтамперна характеристика дуги (рис. 6) показує залежність $U_d = f(I_d)$ при $I_d = \text{const}$. Вона має три характерні ділянки: спадаючу I, жорстку II і зростаючу III.

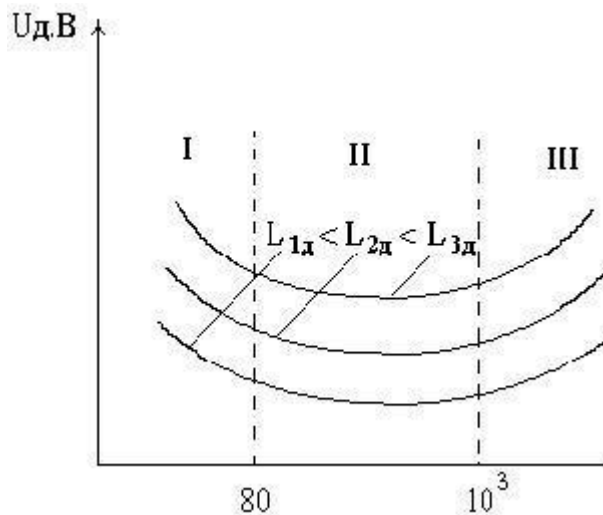


Рисунок 6 Статичні вольт-амперні характеристики дуги

Крутопадаюча характеристика дуги (ділянка I) має місце при густині струму не більше $10-12 \text{ А/мм}^2$. Зі збільшенням $I_{д}$ збільшується переріз стовпа дуги і електропровідність, причому збільшення останньої йде з деяким випередженням зростання струму дуги. Тому на ділянці I напруга дуги зменшується зі збільшенням струму. При подальшому збільшенні $I_{д}$ (ділянка II) площа поперечного перерізу і густина струму зростають пропорційно йому. У зв'язку з цим напруга дуги залишається практично незмінною. Такий стан характерний для дуг зі щільністю струму $12-80 \text{ А/мм}^2$, тобто практично у всьому діапазоні режимів зварювання штучними електродами, електродами, що не плавляться, і дугою під флюсом.

При зварюванні плавким електродом у захисних газах на форсованих режимах під флюсом (при густині струму більше 80 А/мм^2) при збільшенні $I_{д}$ вичерпуються резерви зростання перерізу стовпа дуги, тому він стискається і викликає збільшення напруги $U_{д}$. На таких режимах статична характеристика дуги (ділянка III) стає зростаючою.

У процесі зварювання дуга і джерело її живлення утворюють взаємопов'язану систему. Стабільність горіння дуги і стабільність режиму зварювання залежать як від умов існування дугового розряду, так і від властивостей і параметрів джерел живлення, і, в першу чергу, від зовнішньої характеристики джерела. Зовнішня характеристика джерела живлення

зварювальної дуги - це залежність між напругою на його затискачах $U_{дж}$ і струмом $I_{зв}$, що протікає в зварювальному колі під навантаженням, тобто $U_{дж} = f(I_{зв})$.

Розрізняють такі зовнішні характеристики джерел живлення: спадаючі, напівспадаючі, жорсткі, зростаючі (рис.7).

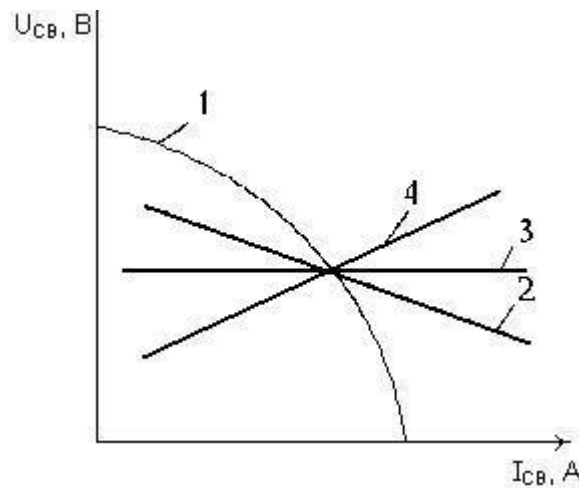


Рисунок 7 Зовнішні характеристики джерел живлення:

1 - спадає; 2 - напівспадає; 3 - жорстка; 4 - зростає

Встановлений режим роботи системи визначається точкою перетину (рис. 8) зовнішньої характеристики джерела 1 і вольт-амперної характеристики 2 дуги, тобто для нормального протікання зварювального процесу необхідно, щоб напруги на дузі і затискачах джерела живлення зрівнялися ($U_d = U_{дж}$). Однак стабільне її горіння буде при струмі, що відповідає точці В. Струм, що відповідає точці А(I_A) - це струм запалювання дуги. Після появи останньої він автоматично збільшиться до робочого значення I_v .

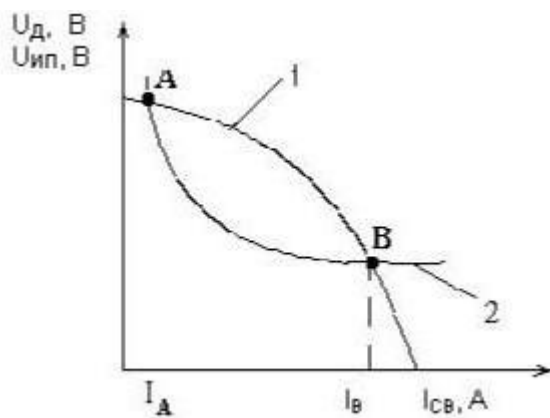


Рисунок 8 Зовнішня характеристика джерела живлення та вольт-амперна характеристика дуги: I_A - струм запалювання дуги; I_B - струм стійкого горіння дуги

Вибір джерела живлення зварювальної дуги за типом зовнішньої характеристики здійснюється залежно від способу зварювання.

Якщо форма характеристики дуги падаюча, то зовнішня характеристика джерела живлення (рис. 9) повинна бути більш крутопадаючою.

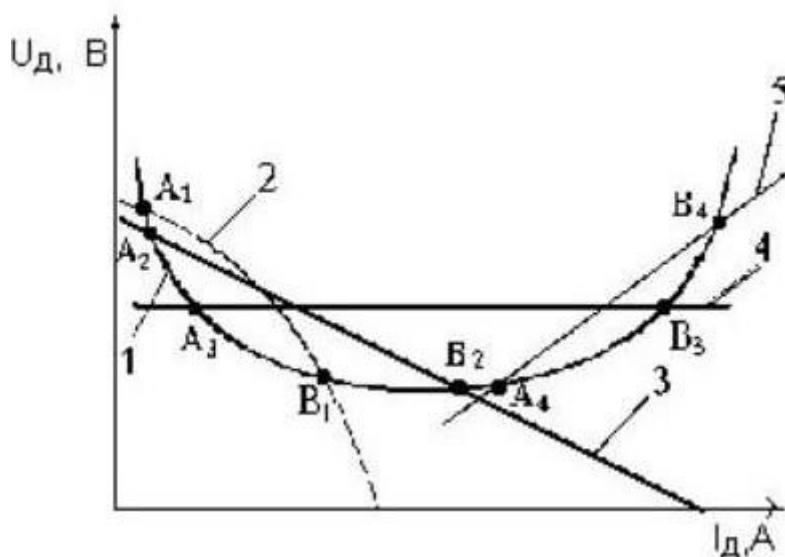


Рисунок 9 Характеристики системи "дуга - джерело живлення": 1 - вольтамперна характеристика дуги; 2,3,4,5 - зовнішні характеристики джерел живлення

При жорсткій характеристиці дуги характеристика джерела повинна бути напівспадною або жорсткою, але в меншій мірі, ніж характеристика

дуги. А при зростаючій, вольт-амперній характеристиці дуги, приймається джерело живлення з жорсткою або слабо зростаючою характеристикою.

При ручному зварюванні, як правило, спостерігаються значні коливання довжини дуги, а отже, і напруги дуги, але режим зварювання повинен бути стабільним. Тому в цьому випадку, чим крутіша характеристика джерела живлення, тим стабільніша дуга, тобто тим менше змінюється струм при зміні довжини дуги.

При автоматичному зварюванні плавким електродом відбувається саморегулювання, при якому довжина дуги після її зміни відновлюється автоматично за рахунок зміни струму і, відповідно, швидкості плавлення дроту. Явище саморегулювання найсильніше проявляється при збільшенні щільності струму в електроді і зменшенні крутизни зовнішньої характеристики джерела живлення.

Отже, джерела живлення зварювальної дуги з крутопадаючою зовнішньою характеристикою використовуються, як правило, для ручного зварювання, зварювання неплавким електродом у середовищі захисних газів і зварювання під флюсом при відносно низьких густинах струму.

Джерела живлення з іншими типами зовнішніх характеристик рекомендуються для зварювання під флюсом і наплавлення на форсованих режимах зі значною густиною струму, зварювання тонким дротом, електрошлакового зварювання тощо.

Таким чином, для конкретного способу зварювальних і наплавочних робіт слід вибирати джерело живлення з такою зовнішньою характеристикою, при якій система "дуга - джерело живлення" в робочому режимі буде стабільною.

Крім перерахованих вище, джерела живлення повинні відповідати наступним основним вимогам:

- можливість функціонування при періодичних коротких замиканнях зварювального кола, що виникають як під час зварювання, так і при запалюванні дуги;

- значення струму короткого замикання повинно в 1,5-2 рази перевищувати значення робочого струму
- напруга холостого ходу джерела повинна допускати легке запалювання дуги, забезпечувати стабільне горіння дуги і бути безпечною для зварювальника при дотриманні правил техніки безпеки;
- зварювальний струм можна регулювати в широкому діапазоні.

2.4. Дослідження автоматичного зварювання під флюсом

При зварюванні під флюсом (рис. 10) дуга горить між зварювальним дротом 1 і зварюваною деталлю 5 під шаром гранульованого флюсу 4. Ролики 2 спеціального механізму опускають електродний дріт в зону дуги 6.

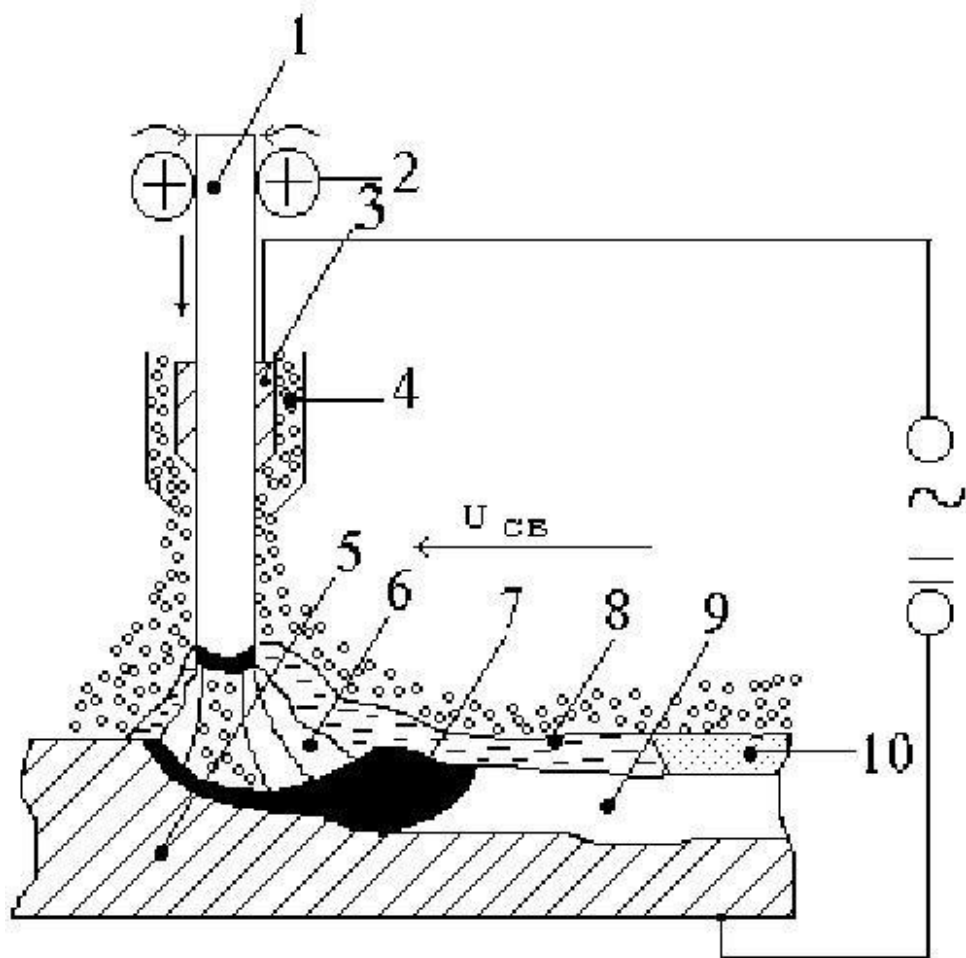


Рисунок 10 Схема автоматичного зварювання під флюсом

Зварювальний струм (змінний або постійний прямої чи зворотної полярності) підводиться до дроту рухомим контактом 3, а до заготовки - постійним контактом. Зварювальна дуга горить у газовому пузирі, який утворюється в результаті плавлення флюсу і металу.

Крім того, розплавлений метал захищений від зовнішнього середовища шаром розплавленого флюсу 8. У міру віддалення дуги від зони зварювання розплавлений флюс застигає і утворює шлакову кірку 10, яка згодом легко відділяється від поверхні шва.

Флюс заливається перед дугою з бункера шаром товщиною 40-80 мм і шириною 40 - 100 мм. Нерозплавлений флюс використовується повторно після зварювання. Розплавлені електродний і основний метали 7 у зварювальній ванні перемішуються і при кристалізації утворюють зварний шов 9.

Переважно використовується зварювання дротом (дротяним електродом). Однак останнім часом все більшого поширення набуває наплавлення стрічковими або комбінованими електродами.

До переваг зварювання під флюсом відносяться: висока продуктивність процесу, завдяки використанню великих струмів, глибоке проплавлення, практично повна відсутність втрат металу на чадний газ і розбризкування (не більше 3%); висока якість наплавленої поверхні в результаті хорошого захисту зварювальної ванни флюсом; мала кількість неметалевих включень в металі шва; можливість легування наплавленого металу через флюс; краще використання теплоти дуги (в порівнянні з ручним зварюванням витрата електроенергії знижується на 30-40%).

Однак цей вид зварювання має ряд недоліків: значний нагрів виробу, підвищена плинність розплавленого металу і флюсу, що дозволяє зварювати тільки в нижньому положенні і наплавляти деталі діаметром не менше 40 мм, необхідність в деяких випадках повторної термічної обробки, неможливість безпосереднього спостереження за формуванням зварного шва.

Зварювання під флюсом застосовується при виготовленні та ремонті конструкцій і деталей відповідального призначення, які повинні бути надійними в експлуатації при низьких і високих температурах.

Для розглянутого виду зварювання і наплавлення при ремонті рухомого складу найбільше застосування мають флюси марок АН-348А, АН-348В, ОСЦ-45, АНЦ-1 та інші. Такі флюси рекомендуються для зварювання низько- і середньовуглецевих сталей. Для зварювання і наплавлення низько- і середньолегованих сталей застосовують флюси АН-348А, АН-60, АН-22 та інші в поєднанні з дротами марок Св-08А, Св-08ГА і дротами, легуваними хромом, молібденом, нікелем. У таблиці 2.2 наведено призначення деяких марок флюсів і дротів.

Таблиця 2.2: Флюси та дріт для автоматичного зварювання

Марка флюсу	Призначення флюсу	Рекомендовані марки дроту
АН-348А	Зварювання та наплавлення виробів широкої номенклатури з вуглецевих і низьколегованих сталей	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2
АН-348В		
АНЦ-1		
АН-60	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей	Св-08, Св-08ГА; Св-08ХМ, Св-10НМА
АН-22	Зварювання низько- і середньолегованих сталей	Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМГА
АНК-30	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, у т.ч. холодостійких дрібнозернистих підвищеної міцності	Св-08, Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМТА

Для отримання шарів з підвищеними фізико-механічними властивостями при наплавленні під флюсом використовують наплавлювальні дроти, які поділяються на 3 групи: з вуглецевої сталі Нп-30,

Нп-40, Нп-80 та інші; з легованої сталі Нп-30Х5, Нп-30ГСА, Нп-40ХФА та інші; з високолегованої сталі, наприклад, Нп-4Х13, Нп-45Х4В3Ф, Нп-45Х2В8Т та інші.

Для підвищення продуктивності наплавлення під флюсом як наплавлювальний матеріал використовують суцільні або порошкові стрічки товщиною 0,3-1 мм і шириною 20-100 мм.

У табл. 2.3 наведено технічні характеристики деяких марок наплавлювального дроту, рекомендованих для відновлення деталей рухомого складу.

Таблиця 2.3. Технічні характеристики наплавлювального дроту

Група сталі дроту	Марка дроту	Твердість наплавленого металу	Приблизна номенклатура відновлюваних деталей
Вуглецева	Нп-30	НВ 160-220	Осі, вали
	Нп-45	НВ 170-230	Те саме
	Нп-50	НВ 180-240	Опорні ролики
	Нп-85	НВ 280-350	Колінчасті вали, хрестовини карданів
Легована	Нп-40Г	НВ 180-240	Осі, вали, ролики
	Нп-50Г	НВ 200-270	Опорні ролики
	Нп-65Г	НВ 230-310	Осі опорних роликів
	Нп-40Х3Г2МФ	HRC 40-44	Деталі, що зазнають ударів і працюють в умовах абразивного зношування
	Нп-40Х2Г2М	HRC 56-57	Деталі, що працюють із динамічним навантаженням, колінчасті вали, поворотні кулаки, осі

Високолегована	Нп-50ХФА	HRC 46-52	Колінчасті вали двигунів внутрішнього згоряння, шліцьові вали Шийки колінчастих валів, плунжери гідропресів. Вихлопні клапани двигунів внутрішнього згоряння
	Нп-30Х13	HRC 40-47	
	Нп-	HB 180-220	
	X20H80T		

2.5 Дослідження зварювання та наплавлення самозахисним порошковим дротом

Зварювання під флюсом ускладнюється обмеженим положенням шва в просторі (переважно знизу) і неможливістю спостерігати за його формуванням. При зварюванні в захисних газах надійність захисту зварювальної ванни може бути порушена через рух повітря і налипання бризок на сопло газу.

Зварювання самозахисним порошковим дротом виключає ці недоліки і поєднує в собі позитивні сторони автоматизованого і ручного способів зварювання.

Суть і схема зварювання аналогічні зварюванню в захисних газах (див. рис. 11).

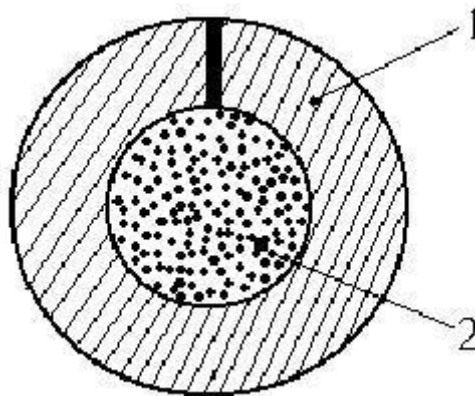


Рисунок 11 Будова порошкового дроту

Відмінність полягає у відсутності захисного газу, функції якого виконує сердечник порошкового дроту під час його горіння. Дріт (рис. 2.7) складається з оболонки 1, сформованої з холоднокатаної смуги марки 08КП або 10КП товщиною 0,2-1,0 мм і шириною 8-20 мм шляхом профілювання або волочіння. У середині оболонки знаходиться порошковий сердечник 2, що включає елементи, які виконують ті ж функції, що і флюс або покриття електрода при зварюванні. Така конструкція дроту зумовлює деякі особливості його застосування.

Порошковий сердечник на 50-70% складається з неметалевих, не електропровідних матеріалів. Завдяки цьому дуга горить, рухаючись по металевій оболонці, і розплавляє її. При цьому плавлення серцевини може відставати від плавлення оболонки, що не виключає її часткового переходу в зварювальну ванну в нерозплавленому стані, і створює передумови для утворення пор і неметалевих включень в металі шва.

В даний час випускаються дроти великих діаметрів (до 3 мм і більше), для зварювання яких потрібен струм значної сили, що ускладнює зварювання у вертикальному і стельовому положеннях.

Дроти з рутиловим покриттям органічного типу (наприклад, ПП-АН1, ПП2ДСК та інші) мають задовільні зварювально-технологічні властивості і малочутливі до зміни напруги дуги. Однак зварювання на високому струмі з підвищеною швидкістю може призвести до утворення підрізів на швах. Виліт електрода для цього дроту повинен бути в межах 15-20 мм.

Карбонатно-флюоритові порошкові дроти (ПП-АН3, АП-АН7, ППАН11, СП-2 та ін.) дуже чутливі до зміни напруги дуги і особливо до забруднення кромки. Для надійного збудження і горіння дуги, виключення пор і непроварів у зварних швах виліт електрода повинен здійснюватися в дугу.

Виліт електрода слід встановлювати в межах 25-30 мм. Зволоження сердечника під час зберігання дроту може призвести до появи раковин у шві. Щоб запобігти цьому, дріт слід прожарити при $t = 230 - 250^{\circ} \text{C}$ протягом 2-

3 годин. Однак слід мати на увазі, що після прожарювання знижується жорсткість дроту, а це вимагає ретельного регулювання механізму його подачі.

У табл. 2.4 і 2.5 наведені технічні характеристики деяких типів зварювальних і наплавочних самозахисних порошкових дротів, рекомендованих при ремонті рухомого складу. Роботи виконуються на постійному струмі зворотної полярності.

Таблиця 2.4 Технічні характеристики зварювального порошкового дроту

Марка дроту	Діаметр дроту, мм	Положення зварювання	Механічні властивості наплавленого металу			Тем-ра, до якої забезпечується необхідна ударна в'язкість, °C
			σ_B , МПа	Σ_T , МПа	σ , %	
ПП-АН3	2,8;	Нижнє	500-	≥ 440	≥ 20	-20
ПП-АН7	3,0	Нижнє,	600	≥ 440	≥ 20	-20
ПП-АН11	2,4	горизонтальне	500-	≥ 390	≥ 22	-20
	2,0	Нижнє,	600			
		горизонтальне	450-	-	-	-30
ПП-АН45	2,5	вертикальне	600	≥ 440	≥ 20	-20
	2,2-2,6	-		-	-	-20
СП-3	2,2	-	-	≥ 540	≥ 18	-10
ПІТ-7М	2,8	-	500-			
СП9		-	600			

			500- 650 600- 750			
--	--	--	----------------------------	--	--	--

Таблиця 2.5. Технічні характеристики наплавочного порошкового дроту

Марка дроту	Діаметр дроту, мм	Твердість наплавленого металу (другий та наступні шари)	Призначення
ПП-Нп-14ст	3,0	НВ 240-260	Для відновлення деталей з вуглецевих сталей, що працюють в умовах тертя металу по металу
ПП-Нп- - 90Г13Н4	2,8	НВ 160-240	Для відновлення деталей, що піддаються ударним навантаженням, відновлення розмірів, усунення дефектів лиття в марганцевих сталях
ПП-Нп- - 30Х5Г2СМ	2,6	HRC 50-56	Для відновлення деталей, що працюють в умовах тертя метал-метал, при змінних і ударних навантаженнях (сталеві колінчасті вали, хрестовини карданних валів, ролики і т.д.).
ПП-Нп- - 200Х15С1ГРТ	3,2	HRC 50-56	Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу
ПП-Нп- - 30Х4Г2М	2,0	HRC 42-48	Відновлення деталей, що працюють в умовах тертя металу по металу в окислювальному середовищі (колінчасті вали двигунів,

			карданні шарніри і диференціали)
ПП-Нп- - 50X10Б8С2Т	3,2	HRC 50-58	Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зносу з ударними навантаженнями

2.6 Дослідження режимів наплавлення

Зварювання під флюсом (наплавлення) дротом суцільного перерізу
Розрахунок зварювального струму, А, виконується за формулою

$$I_{св} = \frac{\pi d^2 a}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2 \cdot 70}{4} = 220 \text{ А} \quad (2.6)$$

При зварюванні для більш глибокого проплавлення рекомендується використовувати високі значення щільності струму в електродному дроті (а 40-50 А/мм²), а при напавленні для зменшення глибини проплавлення приймається а 30-40 А/мм². Діаметр електродного дроту бажано вибирати таким чином, щоб він забезпечував максимальну продуктивність зварювання (наплавлення) при необхідній глибині проплавлення.. Залежність напруги дуги від сили зварювального струму (флюс АН-348А) має наступний вигляд на рис 12:

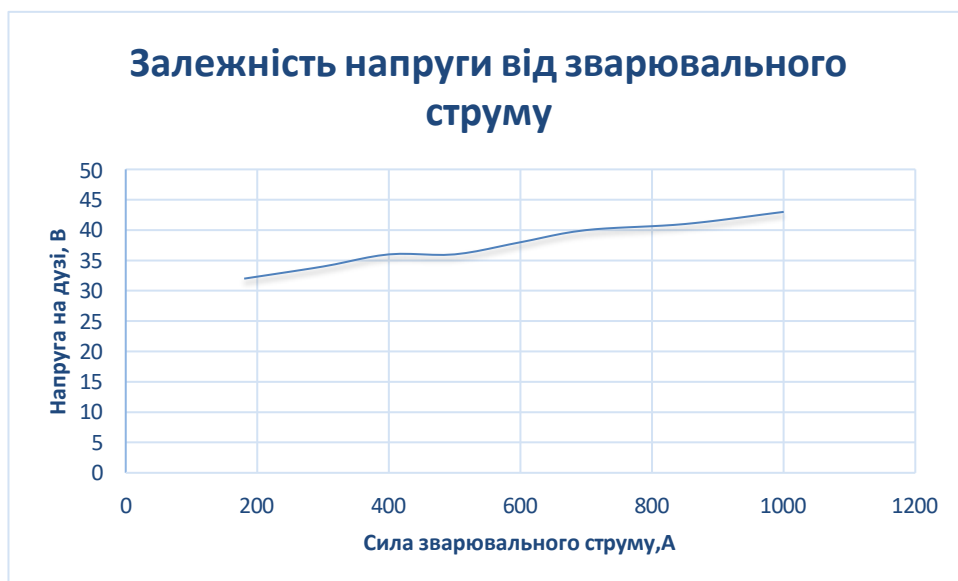


Рисунок 12. Залежність напруги від зварювального струму

Наплавлення рекомендується виконувати на постійному струмі прямої полярності. Виліт електродного дроту приймається 30-60 мм, більші значення відповідають більшому діаметру дроту і силі струму. Швидкість подачі електродного дроту, м/год, визначається за формулою:

$$V_{\text{пр}} = \frac{4\alpha_p I_{\text{св}}}{\pi d_{\text{пр}}^2 \rho} = \frac{4 \cdot 11 \cdot 220}{3,14 \cdot 4 \cdot 7,8} = 98,8 \text{ м/год} \quad (2.7)$$

де $d_{\text{пр}}$ - діаметр дроту, в умовах локомотивного депо використовується 2 мм.

Коефіцієнт розплавлення дроту суцільного перерізу під час зварювання під флюсом визначається за такими формулами.

Для змінного струму:

$$\alpha_p = 7.0 + 0,04 I_{\text{св}} / d_{\text{пр}} \quad (2.8)$$

Для постійного струму прямої полярності:

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{I_{\text{св}}}{d_{\text{пр}}}} \quad (2.9)$$

Для постійного струму зворотної полярності:

$$\alpha_p = 10-12 \text{ г/А*год}$$

Як зазначалось вище, для наплавлення колісних пар доцільно використовувати постійний струм оберненої полярності, тому приймаємо 11 г/А*год

Швидкість зварювання, м/год, визначається за формулою:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_n I_{\text{св}}}{100 F_{\text{вр}}} = \frac{10,725 \cdot 220}{100 \cdot 0,5 \cdot 7,8} = 6,05 \text{ м/год} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт наплавлення, г/А-год, розраховується за формулою

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \Psi) = 11 \cdot (1 - 0,025) = 10,725 \text{ г/А*год} \quad (2.11)$$

де Ψ - коефіцієнт втрат металу на угар і розбризкування, приймається рівним 0,02-0,03, приймаємо середнє значення 0,25. При наплавленні площа поперечного перерізу рулону, що укладається за один прохід, може бути прийнята рівною 0,3-0,6 см².

Маса наплавленого металу, г, визначається за формулою:

$$G_H = V_H \rho = 235,5 * 7,8 = 1837 \quad (2.12)$$

Обсяг наплавленого металу, см³, визначається з виразу

$$V_H = F_H h = 1177,5 * 0,2 = 235,5 \quad (2.13)$$

де F_H - площа наплавленої поверхні, см²;

h - висота наплавленого шару, см

Витрата зварювального дроту, г, визначається за формулою

$$G_{пр} = G_H (1 + \Psi) = 1837 (1 + 0,1) = 2020,6 \text{ г} \quad (2.14)$$

де Ψ - коефіцієнт втрат на чад і розбрикування.

Витрату флюсу, г/пог.м, визначають за формулою

$$G_{ф} = \frac{(U_d - 1,8) 780}{V_d} = \frac{(33 - 1,8) 780}{6,05} = 4022 \quad (2.15)$$

Час горіння дуги, h, визначається за формулою

$$t_0 = \frac{G_H}{\alpha_H I_{св}} = \frac{1837}{10,725 * 220} = 0,78 \quad (2.16)$$

Загальний час зварювання, год, визначається за формулою

$$T = t_0 / K_{п} = 0,78 / 0,65 = 1,2 \quad (2.17)$$

де $K_{п}$ - коефіцієнт використання зварювального поста, приймається рівним 0,6-0,7.

Витрата електроенергії, кВт-год, визначається з виразу

$$A = \frac{U_d I_{св}}{\eta 1000} t_0 + W_0 (T - t_0) = \frac{33 * 220}{0,65 * 1000} 0,78 + 2,5 (1,2 - 0,78) = 9,75 \quad (2.18)$$

Де η - коефіцієнт корисної дії джерела живлення (на постійному струмі $\eta = 0,6-0,7$; на змінному струмі - $\eta = 0,8-0,9$, в нашому випадку струм постійний, тому приймаємо 0,65);

W_0 - потужність, споживана на холостому ходу, кВт-год (на постійному струмі дорівнює 2,0-3,0 кВт-год; на змінному струмі - 0,2-0,4 кВт-год, приймаємо 2,5 для постійного струму).

Марки флюсів наведені в таблиці 2.2. Товщина шару флюсу залежить від сили зварювального струму на рис.13:

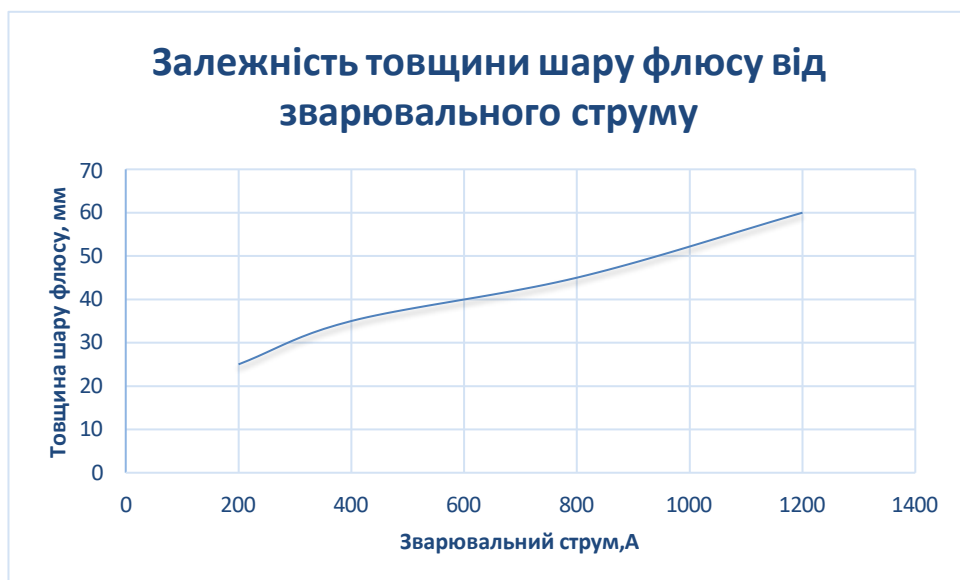


Рисунок 13 Висота шару флюсу

2.6. Зварювання (наплавлення) самозахисним порошковим дротом

Зварювальний струм, напруга дуги, швидкість подачі та виліт електродного дроту приймаються згідно з таблицями 2.6 і 2.7.

Таблиця 2.6 Режими зварювання самозахисними порошковими дротами

Товщина зварювальних листів, мм	Параметри режиму			
	I, А	U, В	U _{пр} , м/ч	Виліт дроту, мм
Порошковий дріт ПП-АН1, d _с =2,8 мм, α _н =13 г/А·ч				
3-6	200-240	24-25	100	15-20
8-12	250-300	25-27	120	15-20
14-20	300-350	26-28	170	20-25
Порошковий дріт ПП АН - 3, d _с =3 мм, α _н =13 – 17 г/А·ч				
5-10	360-380	25-28	140	15-20
10-15	420-450	26-29	170	20-25
15-25	460-490	29-32	210	25-30

Таблиця 2.7 Режими зварювання дротів марки ПП-ТН250, ПП-ТН350,
d_{др}=3 мм

I, А	U, В	U _{пр} , м/ч	Виліт дроту, мм	Коефіцієнт наплавлення α_n , г/А·ч
310-330	28-30	126	50	14,6
400-420	30-32	200	60	17,3

Маса наплавленого металу, г, визначається за формулою

$$G_H = V_H \rho = 235,5 \cdot 7,8 = 1837 \quad (2.19)$$

Витрата порошкового дроту, г, визначається за формулою

$$G_{пр} = G_H K = 1837 \cdot 1,3 = 2388 \quad (2.20)$$

Повний час зварювання, год, визначається за формулою

$$T = t_0 / K_{кп} = 0,7 / 0,65 = 1,1 \quad (2.21)$$

Витрата електроенергії, кВт-год, визначається за формулою

$$A = \frac{U_d I_{св}}{\eta \cdot 1000} t_0 + W_0 (T - t_0) \quad (2.22)$$

$$A = \frac{33 \cdot 220}{0,65 \cdot 1000} 0,7 + 2,5(1,1 - 0,7) = 8,8$$

Отже, згідно розрахунків ми отримали наступні показники, зазначені в таблиці 2.8

Таблиця 2.8 Розраховані параметри наплавлення гребнів колісних пар

Діаметр дроту, мм	2
Тип дроту	СВ-08, ПП-НП
Флюс	АН 348
Струм, А	220
Напруга живлення, В	Постійний 32-34
Витрати флюсу, кг/пог.м	4,022
Швидкість подачі дроту, м/год	98,8
Витрата дроту для СВ-08/ПП-НП	2020,6/2388

Витрата електроенергії для СВ-08/ПП-НП, кВт	9,75/8,8
--	----------

Джерело живлення обираємо постійного струму з оберненою полярністю.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета та методи експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводились з метою перевірки вірогідності отриманих аналітичних залежностей, покладених в основу теорії .

Метою експериментальних досліджень було:

- вивчення фізичної суті процесу удосконалення вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії;
- перевірка достовірності основних аналітичних висновків;
- визначити працездатність, ефективність і якість роботи пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії.

Експериментальні дослідження включали лабораторно-стендові дослідження і лабораторні випробування.

Метою проведення лабораторно-стендових досліджень було:

- отримання основних характеристик ;
- вивчення фізичної суті розробки пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії;
- визначення впливу параметрів обладнання на пальник колісних пар локомотива з урахуванням параметрів наплавочної лінії і;
- порівняння основних теоретичних положень з отриманими експериментальними даними.

Враховуючі всі складнощі і недоліки ремонту колісних пар з їх демонтажем і основну проблематику- знос гребня колісної пари, в локомотивному депо ГЗК було впроваджено в експлуатацію лінію з наплавлення колісних пар без їх викочування .

Дану лінію було впроваджено наприкінці 80-х років з вводом в експлуатацію тягових агрегатів серії ОПЕ, оскільки зважаючи на умови експлуатації (більш круті підйоми, більші тягові зусилля, велика кількість абразиву), їх колісні пари піддаються більшому зносу.

Дана лінія є саморобною і, по своїй суті, є зварювальним автоматом. Колісну пару піднімають над рейкою, надають їй обертальний рух зовнішнім валом, а оператор налагоджує положення пальника і регулює відносно попередніх проходів. Лінія має статус автоматичною за рахунок автоматичного обертання колеса і одночасно синхронізовано подачу зварювального дроту. Однак, зважаючи на свій вік, всі регулювання і обслуговування в процесі роботи і підготовчі операції виконуються вручну оператором.

Використання цієї лінії дозволило виконати ремонт гребнів колісних пар в кількості дві колісні пари за дванадцятигодинну робочу зміну при наявності двох операторів. Схема наявної установки наведена на рисунку 14, де 1-наплавлювана колісна пара, 2-привід колісної пари, 3-подача флюсу, 4-пальник, 5-механізм подачі проволочки, 7- візок пальника. Схема встановлення пальника на рамі локомотива зображено на рисунку 15. Пальник повинен бути розташований відносно зварювальної ванни під кутом 15-20 градусів. Це забезпечується відповідними регулюваннями на пальнику. Регулювання виконується постійно під час процесу наплавлення оператором, оскільки профіль гребеня не має однаковий кут по всій висоті. Таким самим чином- вручну, виконується перехід від попереднього проходу до наступного. Конструкція має значні люфти внаслідок недосконалості конструкції і зносу деталей.

кваліфікаційному рівню операторів. А навчання нового при відсутності з різноманітних причин штатного, стає великою проблемою і перший час самостійної роботи призводить до значного відсотку браку в роботі. При цьому витрати на заміну колісної пари займають приблизно 46 люд/годин. Тобто, при виконанні роботи двома кваліфікованими слюсарями, дана робота буде виконана за 2 робочі зміни. Окрім цього, виникає необхідне виконання супутніх операцій- роз'єднання і наступне з'єднання тягової одиниці від супутньої і виконання маневрових робіт

Також , серед проблем цієї лінії є значні втрати часу на її обслуговування і налаштування перед експлуатацією, а часто виникаючі несправності в процесі експлуатації вимагають додаткових зупинок.

Сукупність цих проблем призведе до збільшення термінів ремонту, зменшення якості і, як наслідок, зменшення необхідних міжремонтних інтервалів, невиконання графіків планово-попереджувальних ремонтів і, як підсумок, простої локомотивів в очікуванні черги ремонту, оскільки подальша їх експлуатація призведе до критичного зносу і аварійних сходів з лінії внаслідок несправностей. А викрашування гребня, підвищений знос призведе до сходу локомотива з колії з подальшим його підйомом з долученням відповідних машин колійного господарства і персоналу. Також, схід локомотива з колії призведе до поломок інших частин екіпажної частини, таких як система подачі піску, гальмівна важільна передача, пробиття масляної ванни кожуха колісно-моторних блоків.

Але звісно, першочерговим, що слід було б зазначити- це негативний вплив на безпеку руху, адже екіпажна частина- це зона підвищеного ризику, яка може призвести не лише до матеріальних, а й людських жертв.

3.2 Перелік наявного використаного обладнання.

На даний момент вузли діючої наплавної установки мають наступний вигляд:



Рис. 16 – Загальний вигляд наплавочної установки



Рис. 17 – Процес наплавлення колісної пари

Також, слід розглянути призначення основних вузлів даної установки.



Рис.18 - пульт керування візком наплавної установки

На рисунку 16 зображено один з двох візків з розташованим на них обладнанням. Вони не є стаціонарними і переміщуються незалежно один від одного вздовж колії з розташованим на ній рухомих складом. Для цього побудовані дві додаткові рейкові колії, на яких вони встановлені і переміщуються за допомогою електричного приводу, розташованого безпосередньо на візку. Це дозволяє виконати ремонт практично будь-якої колісної пари (за порядком і) без виконання маневрових робіт. Лівий і правий візок відрізняються наявністю приводу колісної пари на одному з них. Привід здійснюється від мотор-редуктора до колісної пари карданным валом. Для цього на ньому закріплений токарний патрон, а перед виконанням робіт, в букси колісної пари знімають кришку і на вісь колеса під'єднують вал. Вал зображено на рисунку 19. Даний механізм характеризується великими люфтами в мотор-редукторі, що призводить до виникнення нерівномірного обертання, і, як наслідок, утворення напливів в процесі зварювання. Ще одним недоліком є відсутність регулювання швидкості обертання. Редуктор має одне передаточне відношення, а

електродвигун асинхронний без можливості регулювання частоти обертів. Відсутність приводу на іншому цілком обґрунтована, оскільки роботи виконуються на одній колісній парі з двох сторін одночасно (при наявності двох операторів). На візках розташоване практично все обладнання за виключенням зварювального перетворювача, який розміщений стаціонарно. Зокрема на візках розташовані бункери флюсові, механізм подачі зварювального дроту з пальником, котушка зварювального дроту, мотор-редуктор приводу колісної пари, мотор-редуктор приводу візка в рух, пульти керування і робоче місце оператора. Також, в оглядовій канаві присутні домкрат гідравлічний і маслостанція. Пульт керування ними знаходиться на візку, але вони мають посереднє значення до виконання наплавних робіт і застосовуються для регулювання положення колісної пари при налаштуванні роботи приводу колісної пари. Тому, розглядати їх улаштування в даній роботі буде не доцільним, як і розглядання процесу підйому візка локомотива над рейками для наступних наплавних робіт. Це є допоміжні супутні операції і виконуються незалежно від типу встановленого обладнання.



Рис.19 - Карданний вал приводу колісної пари

Також, на верстаті розташований механізм протяжки дроту (рис. 20) і пульт керування ним (рис. 21). Цей механізм забезпечує подачу дроту від котушки до зварювальної ванни через пальник. Він, як і попередній механізм характеризується люфтами, а для вибору швидкості подачі необхідно виконувати заміну роликів і шестерен механізму протяжки для зміни передаточного відношення. Звісно, що ніякого безступеневого регулювання немає. Разом із відсутністю плавного регулювання швидкості обертання це призводить до унеможливлення вибору відповідного співвідношення швидкості обертання і подачі дроту. Тому, в результаті, також отримуємо напливи, нерівномірність проплавлених шарів і перегрів бандажу. Відповідно до діаметра протяжного дроту встановлюють ролики з насічками. Ця особливість поєднує майже всі подібні механізми, навіть сучасні. Але, особливих незручностей не виникає, оскільки, як правило, при масовому виробництві використовують зварювальний дріт одного діаметру, відповідно до виконуваних робіт, а у разі необхідності, заміна роликів досить легка операція і займає лічені хвилини.

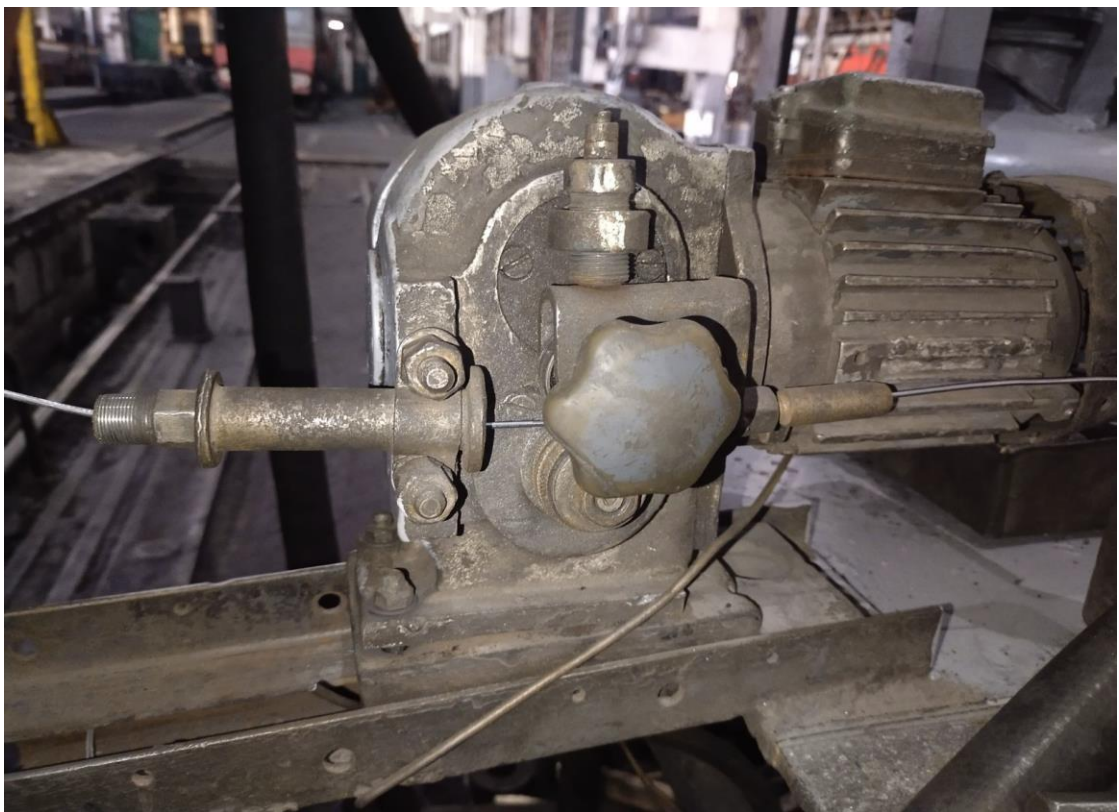


Рис. 20 - Механізм подачі дроту



Рис.21 - Пульт керування механізмом протяжки.

Наступним вузлом є пальник, зображений на рис. 22



Рисунок 22 – Пальник установки

Призначенням пальника є подача дроту і напруги до дроту безпосередньо до зварювальної ванни. Даний вузол розташовується на рамі

візка локомотива безпосередньо над колісною парою. Конструктивно виконаний із корпусу з ізоляційного матеріалу і мідної трубки зсередини, по якій дріт через бронзовий мундштук, до якого під'єднано кабель живлення зварювальним струмом подається до зварювальної ванни. Від механізму протяжки до пальника дріт подається по гнучкому ізольованому каналу (боуден). Вся конструкція розрахована на використання дроту діаметром від 2,2 до 2,4 мм. Використання інших діаметрів неможливе без часткової заміни деталей пальника і боудена на відповідні. Але, необхідності в цьому нема, оскільки для виконання наплавних робіт використовують дроти марок СВ 0,8 діаметром 2,2 мм, або порошковий ПП-НП діаметром 2,3 мм. Використання цих двох типів обумовлене різною кінцевою твердістю зварних швів. Так, у випадку подальшого обточування бандажів доцільно використовувати дріт типу СВ 0,8 з меншою твердістю, оскільки в іншому випадку буде виникати швидкий вихід з ладу різців обточних фрез. Звісно, це окрім додаткових витрат на різці потягне за собою значні витрати часу на їх заміну. Задачею оператора при наплавленні, окрім іншого, є забезпечення кута проволоки відносно гребня під кутом 15...20 град. Саме в цей момент досить часто виникають помилки молодосвідчених операторів. За кутом необхідно постійно слідкувати і коригувати, оскільки профіль гребню є складним і постійного кута не має, то, відповідно і корегування відбувається на кожному наступному проході.

Обов'язковою умовою наплавних робіт електродуговим методом є захист від впливу атмосферного повітря для забезпечення стійкої дуги, формування якісної поверхні зварювального шва з метою отримання заданих відповідних властивостей. Створення захисного середовища можливо забезпечити використанням флюсу і захисним середовищем газу (аргон, вуглецева кислота). Але ці два способи дещо відрізняються один від одного. При наплавленні товстостінних металів доцільно використовувати флюс, оскільки при його використанні створюється газовий пузир, всередині якого надлишковий тиск, який надійно захищає від зовнішнього

середовища. Також, шар флюсу виключає розбризкування капель розплавленого металу. Недоліки захисного середовища вуглецевою кислотою описані в попередньому розділі, а використання аргону було б надто дорогим. В якості флюсу використовується флюс марки АН-348А. За подачу флюсу відповідає окремий вузол. Флюс знаходиться в бункерах (рис. 23) і подається безпосередньо на зону наплавлення для забезпечення захисного середовища.



Рис. 23 – Бункери флюсового апарату

Використаний флюс зсипається в піддон, підставлений під колісну пару локомотива. І при її наповненні пересипається оператором в ємність для відпрацьованого флюсу.

Живлення здійснюється джерелом постійного струму. Їх два, на кожен верстат по одному (рис. 24, рис. 25). Вони дозволяють здійснювати поступове безступінчасте регулювання параметрів наплавлення. Але ці регулювання ніяким чином не залежатимуть від інших параметрів наплавної лінії, таких як швидкість подачі дроту і швидкість обертання колісної пари,

оскільки, як зазначалось вище, на використовуваному обладнанні вони є не регульованими. Знову ж таки тут ми повертаємось до кваліфікації оператора, на якому лежить відповідальність за правильні характеристики струму наплавлення. При цьому, на самому робочому місці всі регулювання струму не продубльовано і для їх налаштування оператору необхідно покинути робоче місце і експериментальним способом підганяти струм під відповідні умови. Таким чином унеможлиблюється корегування параметрів під час налагоджування при початку роботи без зупинки. Джерела є стаціонарними, як зазначалося вище, і подача напруги до пересувних верстатів здійснюється кабельною підвіскою. Також, слід зазначити, що внаслідок застарілої конструкції, також виникають часті проблеми з втратою струму на чисельних контактних парах. Часто проблема поривчастої втрати напруги є безпосередньо сам пальник, який не забезпечує надійний контакт внаслідок своєї недосконалої конструкції.



Рис. 24 - Загальний вигляд джерела живлення типу КІУ-1201



Рис. 25 - Характеристики джерела живлення (вказані на бірці)

Огляд конструкції наявного обладнання був би не повним без вивчення результатів роботи цього обладнання



Рис.26 Зразки неякісно виконаної роботи



Рис.27 Зразок якісного шву

На фото 26 наведено зразки виконаних робіт наявним обладнанням, де видно пористу структуру і мікротріщини, які в подальшому призвели б до викрашування гребня в процесі експлуатації і швидке зношування. А напливи створюють хороші умови для підрізу гребня і подальшого сходу локомотива. Тому, в даному випадку було прийняте рішення про заміну колісної пари, що спричинило тривалий простій локомотива і суттєві витрати на заміну колісної пари і, безпосередньо, саму колісну пару. В іншому випадку шов лежить досить рівно, але по деяким причинам виникли мікротріщини по колу катання гребня. Ці мікротріщини, в даному випадку, не призвели до наскрізної тріщини бандажу, але призвели до значних внутрішніх напружень, що в подальшому може призвести до викрашування гребня, або ж, при наступних наплавних роботах може призвести вже до наскрізної тріщини. Наслідки цього вже розглядались. При цьому, на фото 27 наведено зразок якісного шву. Розглянувши ці зразки, можна припустити, що нестабільна якість і залежність від майстерності і навичок оператора на дуже високому рівні. Саме тому необхідно приділити особливу увагу для подальшого покращення параметрів наплавної лінії. Звісно, що дане

обладнання працює і на теперішній час, але, враховуючи постійно зростаючі потреби в скороченні витрат, робота такого нестабільного обладнання, результатом роботи якого є невиконання планових показників планово-попереджувальних ремонтів, досить високий відсоток браку і як результат тривалі простої рухомого складу з високим рівнем витрат- виводить дану проблему на досить високий рівень пріоритетності. Тому подальші розділи роботи буде присвячено удосконаленню вузла пальника колісних пар локомотива з урахуванням параметрів роботи наплавної лінії.

3.3. Результати досліджень із аналізом отриманих результатів

Отже, для удосконалення вузла пальника колісних пар із урахування параметрів наплавної лінії, з метою покращення параметрів її роботи відповідно до отриманих результатів розрахунків запропоновано удосконалити вузол пальника наступним чином.

Запропоновані зміни будуть виконані із готових виробів, серійно вироблених і які знаходяться в вільному продажі і, в кінцевому результаті, будуть становити єдиний комплект пальника з супутнім обладнанням, безпосередньо пов'язаних з цим вузлом.

У якості безпосередньо пальника буде використано модель Abicor binzel AUT501D із соплом 140.0665, який пристосований для важких умов експлуатації. Дифузор буде використаний високотемпературний, без обдуву стисненим повітрям за номером 030.0037. Ізолятор для сопла, відповідно, за номером 146.0013. Форсунка використана у вигляді з'ємної конічної насадки для складних умов експлуатації №145.0086. Пальник доступний в трьох різновидах нахилу ший. Кут нахилу ший пальника в нашому випадку становить 22 градуси. Таких кут обрано з урахування компоновки. Дане обладнання розраховане на струм зварювання до 450А без використання рідинного охолодження (яке в наших умовах ускладнило б обладнання). Згідно нашим розрахункам, струм наплавлення становить 220А. Отже, ми будемо мати запас більш ніж в два рази перевищений від номінального

струму пальника, що враховуючи жорсткі умови експлуатації, безперечно, позитивно вплине на його ресурс. На рисунку 28 наведене зображення цієї моделі.

З метою зменшення перевитрат флюсу через його надлишкове пересипання і забезпечення його подачі безпосередньо до сопла пальника запропоновано використати насадку для флюсу Inversaw FoxWeld. Насадка встановлюється на сопло пальника і флюс подається до зварювальної ванни зовнішнім обладнанням підготовленим (осушеним) стисненим повітрям. Відповідно, дане стиснуте повітря буде частково виконувати роль охолодження, що також позитивно вплине на ресурс сопла. Насадка Inversaw FoxWeld зображена на рисунку 29 . Флюс до насадки подається стисненим повітрям по гнучкому армованому гумовому рукаву.



Рис.28.Пальник Abicor binzel AUT501D



Рис.29.Насадка подачі флюсу Inversaw FoxWeld

Пальник із закріпленою на ньому флюсовою насадкою буде, в свою чергу, закріплений на супорті горизонтальної подачі через поворотний

кронштейн, за допомогою якого буде встановлений первинний кут пальника відносно гребня колісної пари. Вертикальне переміщення буде здійснюватися супортом вертикального переміщення.

В якості суппорту горизонтального переміщення використано консольний привід з зубчатим ременем приводу з передачею типу «гвинт-гайка» з циркулюючими кульками з направляючою виробництва Festo DGEA-25ZR. Дана конструкція дозволяє безступенево виконувати лінійні переміщення ваги до 10 кг при горизонтальному переміщенні від 0 до 900 мм, що цілком відповідає компоновці наплавної лінії, де необхідне переміщення становитиме 700 мм. Таким чином, забезпечено запас максимального ходу 25% або 200 мм. Привід електричний ремінний. Тип двигуна кроковий. Параметри наведені в таблиці 3.1. Зображено на рисунку 30.



Рис.30 Супорт горизонтального переміщення пальника Festo DGEA-25ZR

Таблиця 3.1 Основні характеристики

Виробник	Festo
Найменування	Консольний привід
Серія товару	DGEA
Внутрішній стандарт	IDO28456
Технічні характеристики	
Ефективний діаметр приводної шестерні	25,78 мм

Робочий хід	Від 1 до 900 мм
Тип конструкції	Електромеханічний консольний привід із зубчастим ременем
Резерв ходу	81 мм
Подовження зубчастого ременя	0,053 %
Крок зубчастого ременя	3 мм
Напрямна	Передача типу "гвинт - гайка" з циркулюючими кульками з направляючою
Тип мотора	Кроковий мотор Сервомотор
Моменти інерції перерізу 2-го ступеня I_y	$432 \times 10^3 \text{ мм}^4$
Максимальна швидкість	3 м/с
Моменти інерції перерізу 2-го ступеня I_z	$438 \times 10^3 \text{ мм}^4$
Максимальне зусилля F_x на консолі	6.000 Н
Максимальне зусилля F_y	3.080 Н
Максимальне зусилля F_z	3.080 Н
Максимальне зусилля F_y на консолі	2.240 Н
Коефіцієнт подачі	81 мм/про
Точність повторення	$\pm 0,05 \text{ мм}$
Максимальне зусилля F_z на консолі	2.240 Н
Максимальний момент M_x на консолі	50 Нм
Максимальний момент M_y на консолі	230 Нм
Максимальний момент M_z на консолі	273 Нм
Максимальний приводний момент	5,2 Нм
Максимальне зусилля подачі F_x	400 Н
Двигун на холостому ходу	0,4 Нм
Масовий момент інерції J_H на метр ходу	$8 \text{ кг} \cdot \text{см}^2/\text{м}$

Масовий момент інерції JL на кг навантаження	1,66 кгсм ² /кг
Масовий момент інерції, JO	4,45 кг·см ²
Масовий момент інерції JO з другим приводом	6,4 кг·см ²
Максимальний момент Mx	28 Нм
Максимальний момент My	230 Нм
Робоче навантаження при ході 0 мм із другим двигуном	3.300 г
Максимальний момент Mz	160 Нм
Базове навантаження при ході 0 мм із другим двигуном	8.500 г
Орієнтовне значення корисного навантаження, горизонтального	10 кг
Орієнтовне значення корисного навантаження, вертикального	18 кг

При цьому супорт горизонтального переміщення закріплено на супорті вертикального переміщення. Таким чином ми забезпечимо необхідний проміжок переміщень як в вертикальній осі, так і в горизонтальній. Тобто, охоплюємо координати Y і Z. Слід згадати, що візок має можливість переміщення вздовж локомотива, а пальник також буде мати кут нахилу. Конструкція супорту вертикального переміщення також містить кроковий електропривод, але не ремінний, а кульково-гвинтовою передачею. Тип вертикального супорту- Festo EGSK-33-300-6P. Він забезпечує переміщення безступеневе в проміжку від 0 до 300мм. Характеристики вказані в таблиці 3.2 а зовнішній вигляд на рисунку 31.

Таблиця 3.2 Характеристики

Виробник	Festo
Найменування	Електричний супорт
Серія товару	EGSK
Внутрішній стандарт	IDO28456
Технічні характеристики	
Реверсивний люфт	≤ 20 мкм
Робочий хід	300 мм
Тип конструкції	Електро механічний лінійний привід з кулько-гвинтовою передачею
Діаметр шпинделя	10 мм
Крок шпинделя	6 мм/про
Напрямна	Передача типу "гвинт - гайка" з циркулюючими кульками з направляючою
Моменти інерції перерізу 2-го ступеня I_y	$62 \times 10^3 \text{ мм}^4$
Максимальна швидкість	0,47 м/с
Моменти інерції перерізу 2-го ступеня I_z	$380 \times 10^3 \text{ мм}^4$
Тип шпинделя	Шарико-гвинтова передача
Тарування	Датчик посилення
Максимальне зусилля F_y	2.469 Н
Максимальне зусилля F_z	2.469 Н
Максимальне прискорення	20 м/с ²
Коефіцієнт подачі	6 мм/про
Точність повторення	$\pm 0,01$ мм
Фіксоване значення динамічного базового навантаження підшипника	1.790 Н

Значення динамічного базового навантаження лінійної напрямної	9.207 Н
Значення динамічного базового навантаження гвинтового приводу	2.840 Н
Значення статистичного базового навантаження лінійного напрямного	20.200 Н
Максимальний приводний момент	0,14 Нм
Максимальне зусилля подачі Fx	150 Н
Двигун на холостому ході	0,07 Нм
Масовий момент інерції JH на метр ходу	0,0771 кг·см ² /м
Фіксоване значення статистичного базового навантаження підшипника	2.590 Н
Масовий момент інерції, JO	0,0115 кг·см ²
Довідкове значення, характеристики руху	3.000 км
Максимальний момент Mx	50,1 Нм
Максимальний момент My	16,4 Нм
Значення статистичного базового навантаження гвинтового приводу	4.900 Н
Максимальний момент Mz	16,4 Нм

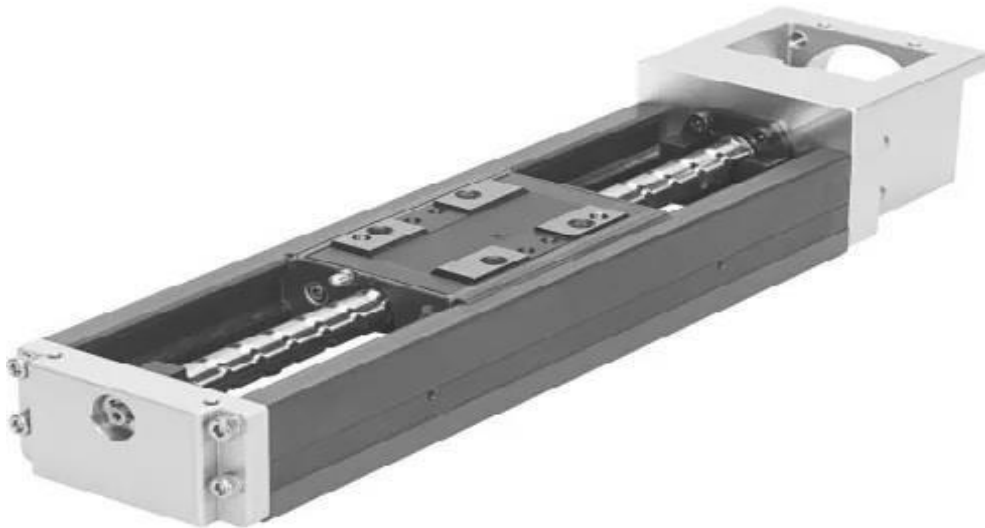


Рис 31.Супорт вертикального позиціонування Festo EGSK-33-300-6P

Комбінація цих комплектуючих забезпечить максимально точне позиціонування пальника при умові завдання відповідної програми керування. Керування шаговими моторами може бути здійснене за допомогою інтерфейсної плати з LPT портом в програмі Mach3, зображеної на рисунку32.

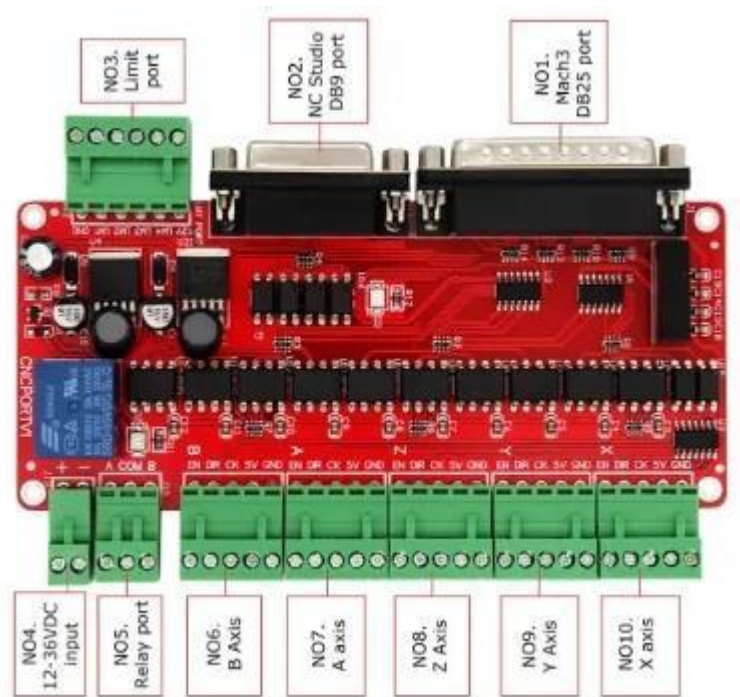


Рис32 Інтерфейсна плата LPT керування шаговими двигунами.

Згідно рисунку 18 опишемо входи і виходи платі:

Вихід 1 (NO1)- LPT-порт під'єднання до ПК з встановленою Mach3;

Вихід 2(NO2)- LPT-порт під'єднання до ПК з встановленою NC Studio;

Вихід 3(NO3)- вхід кінцевих вимикачів;

Вихід 4(NO4)- вхід живлення плати;

Вихід 5(NO5)- релейний вихід, буде застосовано для живлення реле вмикання блоку зварювання;

Виходи 6-10(NO6- NO10)- виходи драйверів шагових двигунів.

Слід зазначити, що при налаштуванні Роботи шагових двигунів осей необхідно буде налаштувати мікрокрок шагового двигуна, залежно від параметрів драйвера шагового двигуна. Один оберт при одному із п'яти налаштувань розподілу буде виконуватись за показаним на графіках залежностям, рисунок 33, де зображено крок без дроблення і рисунку 34, де крок задроблено на $1/2$, $1/4$, $1/8$ і $1/32$ оберту. Чим вище показник мікрокроку, тим вище ступінь точності позиціонування. Але, при цьому, виникає ризик загублення кроків, тобто, ставить більш високі вимоги до якості і стані обладнання.



Рис.33.Повний крок

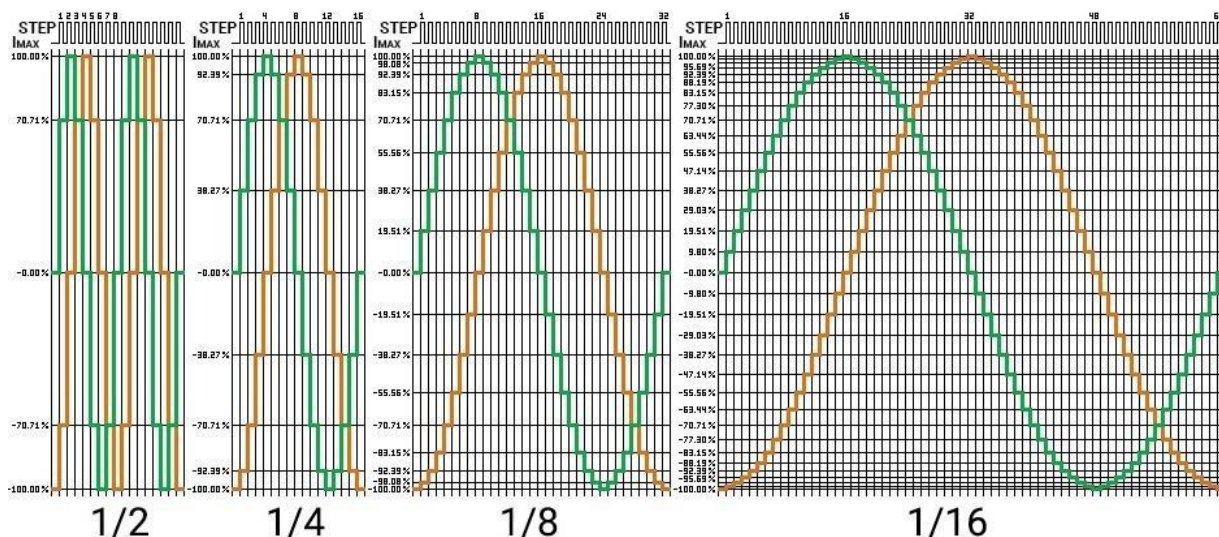


Рис.34 Дріблення оберт у шагового двигуна на кроки

Також, в програмі Mach3 необхідно обрати ступінь прискорення координатних осей. Залежність повинна виглядати наступним чином, рисунок 35. Оскільки при перевищенні цих параметрів, існує ризик пропуску кроків внаслідок інерційності приводу, а при низьких його показниках швидкість роботи знижується.

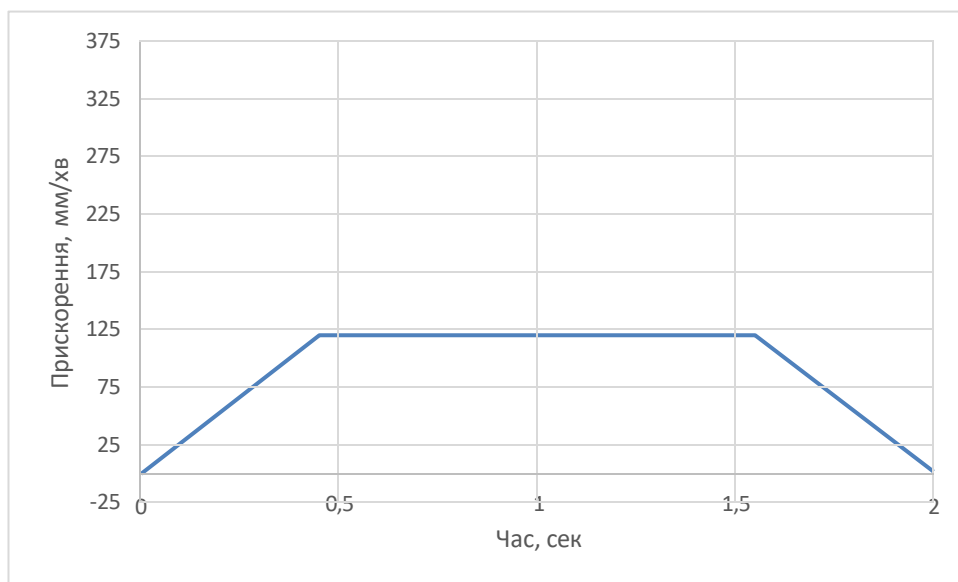


Рис.35. Графік залежності прискорення приводу.

Безпосередньо процесом наплавлення буде керувати блок керування зварюванням, задачею якого є синхронізація роботи подаючого механізму

зварювального дроту, механізму обертання колісної пари та керування джерелом живлення (напругою і струмом). Залежність цих параметрів ми визначали в попередніх розділах. На відміну від діючої схеми, при використанні запропонованої схеми ми зможемо регулювати кожен параметр окремо, або ж користуватись програмами, заздалегідь прописаними в блоці управління відповідно до умов роботи, стану колісної пари, температури навколишнього середовища, тощо. Контролер управління шаговими двигунами позиціонування пальника і блок керування зварюванням комутуватимуть наступним чином. При вмиканні команди старт в програмі Mach3, з релейного порту №5 надходить сигнал на реле кнопки «Старт» блока керування зварюванням. Відповідно до заданої програми, контролер шагових двигунів виконує позиціонування пальника відносно початково заданих координат. Відповідно, після завершення програми, вимикається реле кнопки «Стоп» і зупиняється живлення подачі дроту, обертання колісної пари і вимикається джерело живлення. В процесі виконання наплавлення, перехід до наступного проходу (зміна положення пальника) буде здійснюватися відповідно до сигналу індуктивного давача, під'єданого до входу 3 контролера шагових двигунів. Перепозиціонування відбуватиметься кожен оберт відповідно до сигналу індуктивного давача, який спрацює на мітку, закріплену на валу привода колісної пари. На рисунку 36 зображено індуктивний давач.



Рис.36.Индуктивный датчик

Нижче, на рисунку 37 зображено схему блока керування зварюванням.

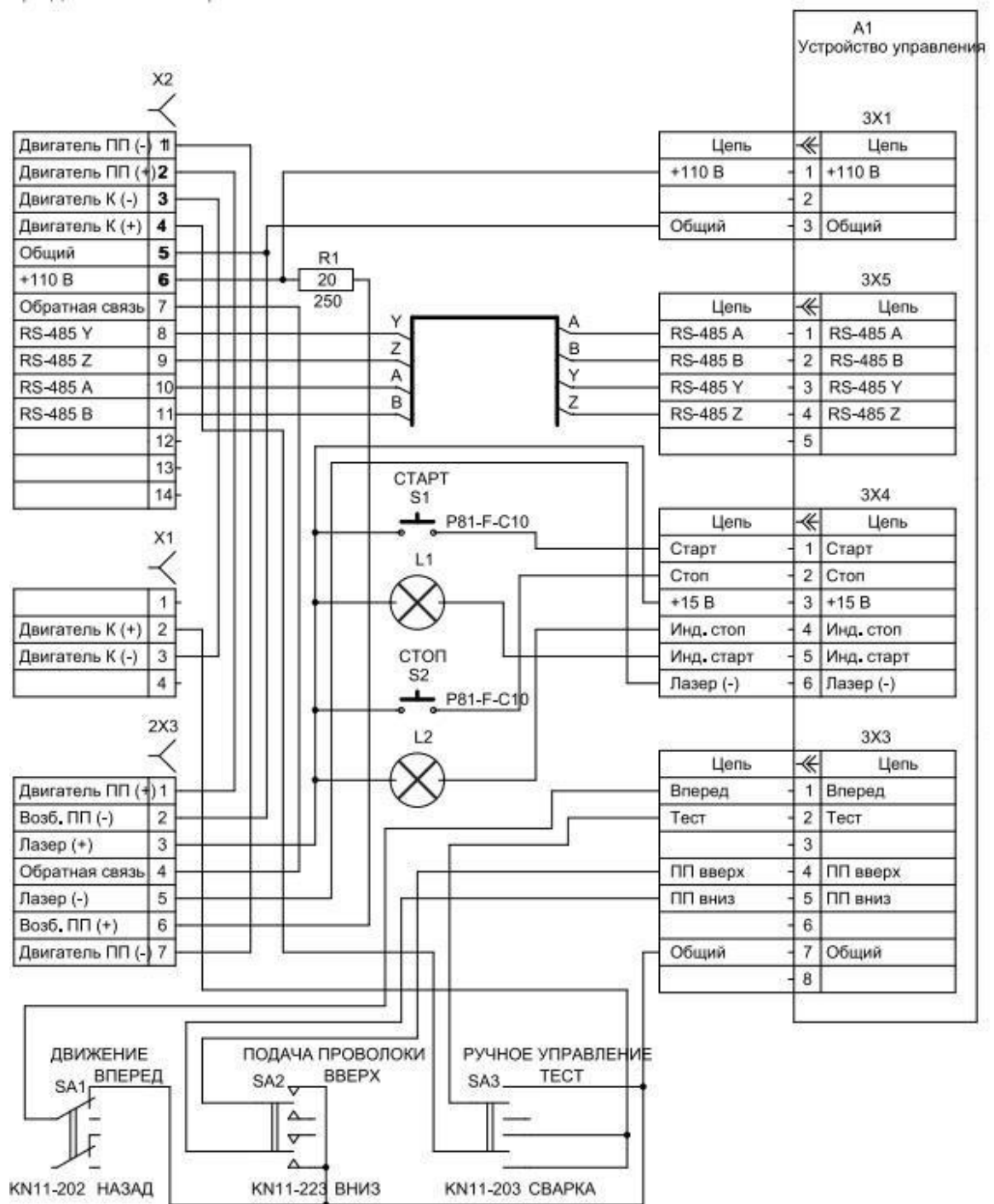


Рис.37.Схема блоку керування зварюванням

Згідно цієї схеми, до роз'ємів X1, X2 ,2X3 під'єднуються приводи колісної пари і подачі дроту зварювального, а також шлейф керування джерелом живлення. Лазер служить лише для візуального контролю початкового позиціонування пальника .В подальшому процесі наплавлення

він участі не приймає. До виводів 3X1, 3X3, 3X4 і 3X5 під'єднується пульт керування блоком зварювання, куди винесені кнопки ручного управління, вибір режиму і тестовий режим. Контролер керування позиціонуванням пальника і блок керування живленням пов'язані між собою лише релейно для синхронізації запуску і зупинки. Отже, з цього можна зробити висновок, що контролер шагових двигунів призначений для позиціонування пальника, а процесом зварювання управляє блок зварювання. Але при цьому їхня робота є синхронною. В цій роботі не розглядається удосконалення вузла подачі дроту і обертання колеса, але для повноцінної роботи комплексу їх також необхідно удосконалювати.

Схематично компоновка вузла пальника буде виглядати наступним чином, зображенням на рисунку 38, де:

1-колісна пара, що наплавляється; 2-флюсове сопло; 3-пальник; 4-супорт горизонтального позиціонування; 5-супорт вертикального позиціонування; 6-подача дроту; 7-дріт на котушці; 8-флюсовий бункер; 9-приводний редуктор колісної пари; 10-приводний вал колісної пари; 11-рама думпкара тягового агрегату;

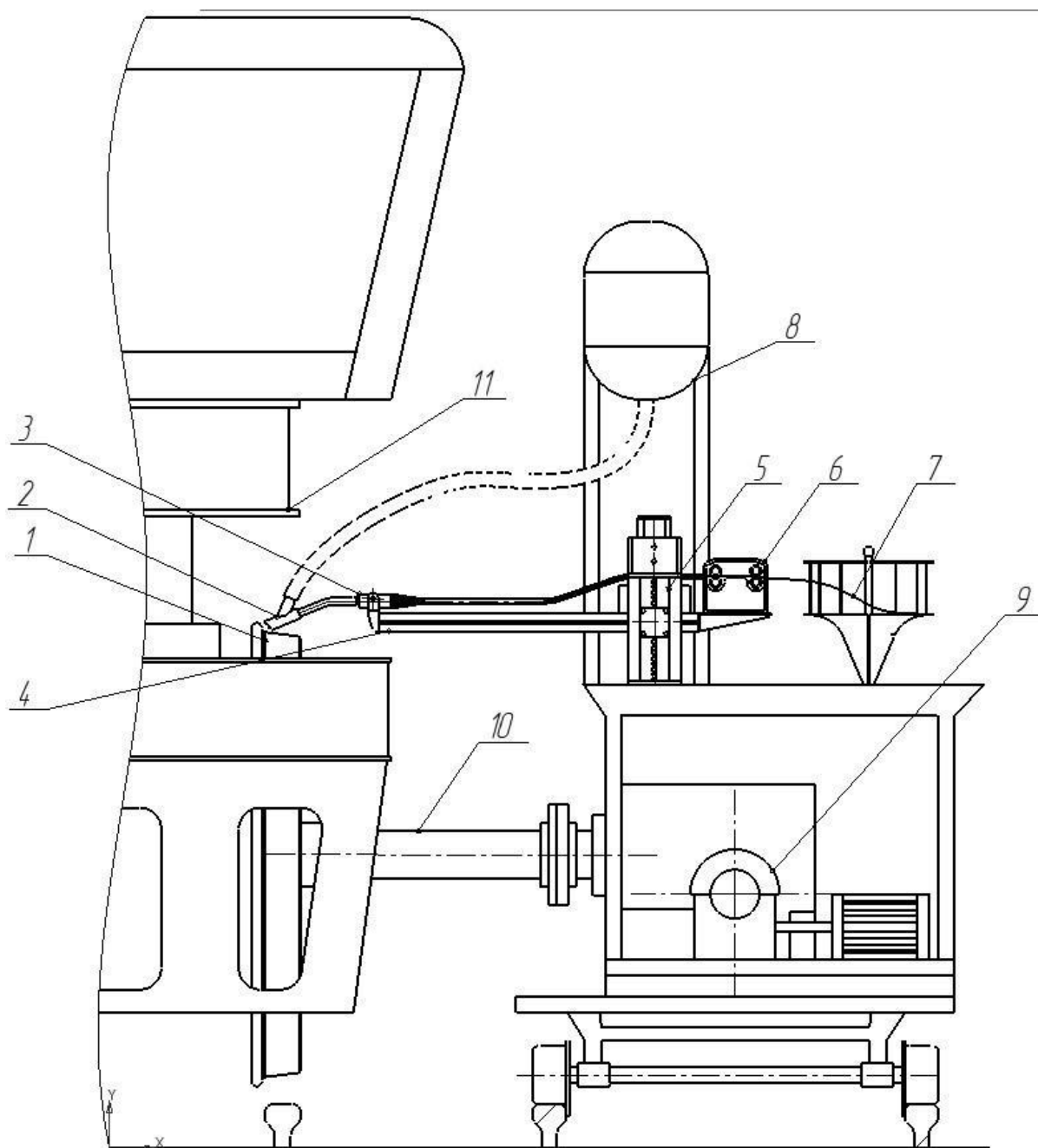


Рис.38 Компоновочна схема розташування вузла пальника

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ УДОСКОНАЛЕНЬ

4.1. Розрахунок витрат на переоснащення вузла пальника із зварювальним модулем

Для розрахунку економічної доцільності нам першочергово необхідно знати вартість запропонованого обладнання. Наведено в таблиці 4.1. Однак, в даній роботі не враховані витрати на заміну приводу колісної пари і подачі дроту. При повноцінному удосконаленню наплавної лінії, їх також необхідно буде замінювати, оскільки вони окрім морального старіння зношені і технічно.

Таблиця 4.1.1. Назва обладнання

Назва обладнання	Вартість, грн	Необхідна кількість, штук
Пальник Abicor binzel AUT501D	8647	1
Насадка подачі флюсу Inversaw FoxWeld	2120	1
Супорт горизонтального переміщення пальника Festo DGEA-25ZR	40900	1
Супорт вертикального позиціонування Festo EGSK-33-300-6P	90779,3	1
Плата інтерфейсна CNC PORT V1	1135	1
Драйвер крокового двигуна	1500	2
Блок керування зварюванням АДФ-1002	12000	1
Індуктивний датчик	125	1
Витрати на монтаж*	39676,575	
Всього, грн	198382,875	

*Витрати на монтаж, за попередніми оцінками становитимуть приблизно 25% від вартості обладнання.

4.2. Розрахунок витрат, пов'язаних із ремонтом колісних пар

Згідно статистики минулого року, в процесі наплавлення з ладу вийшло 3 колісні пари тягового агрегату типу ОПЄ. Це потягнуло за собою витрати на їх заміну і ремонт колісної пари. В таблиці 4.2 вказані витрати на введення в експлуатацію тягового агрегату після лопання бандажу. Не враховані витрати на простій, а також не прораховано зменшення витрат на послідуєчі ремонти внаслідок скорочення термінів наплавлення. Розрахунок наведено лише на ремонтні роботи!

Таблиця 4.2.1. Витрати на ремонт колісної пари

Стаття витрат	Од.виміру	Кількість, шт	Ціна, грн без ПДФ	Сумма, грн без ПДФ
Ремонт колісної пари силами сторонньої організації	грн	1	220000	220000
Електроенергія силова	кВт\год	632	4,51	2850,32
Заробітна плата робітників*	Люд/год	34,7	220	7638
Адміністративні витрати**	грн	15	7638	1145,7
Транспортні витрати***	грн	84	20	1680
Рентабельність	%	15	8387,7	1317,7
Всього	грн			234631,72

Примітка*- на період 2023 року вартість послуги з ремонту і обслуговування рухомого складу в кількості одиниці виміру 1 люд/год для замовника від підрядної організації становила 223 грн. незалежно від робочої професії. Тобто, витрати на машиніста крану, роботу локомотивної

бригади і слюсарів з ремонту рухомого складу підраховані однією статтею витрат. До неї входять витрати на маневрові роботи, кранові і роботи з демонтажу/монтажу колісної пари. **Адміністративні витрати становлять 15 % від заробітної плати робітників. Вартість перевезень в межах України згідно тарифної сітки становить 20 грн /км. Витрати рахуються в обидві сторони. Загальна відстань становить 84 км.

4.3 Розрахунок економічної доцільності переоснащення вузла пальника

Отже, згідно таблиць ми отримали наступні показники:

Витрати на удосконалення вузла пальника (і, як безпосередньо виконавчого зварювального модуля, блоку керування зварюванням) при попередніх розрахунках становлять 198382,875грн

Витрати на ремонт колісної пари і супутні витрати становлять на сьогоднішній день 234631,72. Як писалось вище, за минулий рік лопнуло три колісні пари. Отже, загалом витрати за минулий рік на ліквідацію пошкоджень від застарілої наплавної лінії замовник витратив 703895,16грн.

Отже, розрахувавши економічний ефект від удосконалення отримаємо

$E = 703895,16 - 198382,875 = 505512,285$ грн в перерізі річної програми ремонтів.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було виконано аналіз предметної області в першому розділі, де було ознайомлено з існуючими рішеннями проблеми. Як було зазначено вище, більшість із представлених зразків призначені для наплавлення окремо колісної пари. А один із наявних зразків виконано на базі обладнання, мало пристосованого для промислового використання в масштабах порівнянних з масштабами його використання в умовах розглянутого підприємства. Ми зробили для себе висновки, що вони не зовсім підходять для умов поставлених замовником по тим чи іншим причинам.

В другому розділі було розглянуто принципи процесу наплавлення, вплив різних факторів на кінцевий результат, а також виконано розрахунки необхідних нам параметрів для підбору комплекту запропонованого нижче обладнання з урахування параметрів наплавної установки. Також розраховано час наплавлення, який становитиме за попередніми підрахунками 1,2 години. Також визначили витрату матеріалу і електроенергії.

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням наявного обладнання, визначенню його основних проблем. Як стало відомо, основними проблемами є висока залежність від кваліфікації працівник, оскільки усі параметри не синхронізовані між собою і регулюється лише струм наплавлення. А інші параметри залишаються не змінними і відсутня можливість коригування подачі дроту, швидкості подачі заготовки (обертання колісної пари) по відношенню до струму джерела живлення залишаються незмінними незалежно від зовнішніх умов і ступеню зношеності гребня колісної пари. А неправильне позиціонування пальника і помилковий вибір струму джерела живлення призводять до браку в роботі, і, як показало досліджування проблематики- до виходу з ладу колісної пари. Вирішенням проблеми автором запропоновано підбор

комплексу обладнання відповідно до розрахунків, виконаних в попередньому розділі роботи. Як результат маємо отримати значний ступінь автоматизації і мінімалізацію впливу людської похибки. А можливість підбору параметрів в залежності від зовнішніх факторів і ступеню зносу колісної пари в поєднанні з синхронізацією параметрів роботи автоматичної лінії призведе до покращення якості і швидкості наплавлення. Також, скоротяться простой на підтримку в робочому стані наявного обладнання.

Четвертий розділ дає поняття можливий економічний ефект від удосконалення. Розрахунок вівся на прикладі заміни трьох колісних пар протягом 2023 року, які вийшли з ладу внаслідок лопання бандажу. Вихід їх з ладу стався по причині застарілого обладнання з переліком вищезгаданих проблем і недоліків. За результатами розрахунку визначено витрати на удосконалення вузла пальника в поєднанні з удосконаленою системою автоматичного наплавного процесу на загальну суму 198382,875грн. При цьому витрати на запуск рухомого складу в роботу після виходу з ладу колісної пари становлять 234631,72 на одну колісну пару. В перерізі 2023 року витрати на ремонт трьох колісних пар загалом становили 703895,16грн. Отже, економічний ефект на прикладі 2023 року становив 505512,285грн за попередніми розрахунками з урахуванням цін на товари та послуги станом на 2023 рік. Проте, на думку автора роботи удосконалювати необхідно і інше обладнання, застосоване на наплавній лінії, наприклад, механізм подачі дроту, механізм обертання колісної пари, джерело живлення, а також систему подачі флюсу з введення системи підготовки стиснутого повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О. А. Гайворонський Умови забезпечення якості відновлених наплавленням залізничних коліс. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)
2. Пат. 107301 Україна, МПК 2014.01, В 23 Р 6/00. Спосіб відновлення виробів з високовуглецевих сталей / Гайворонський О. А., Позняков В. Д., Клапатюк А. В. (Україна) ; заявник та патентовласник Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України. – № а 2013 14813 ; заявл. 17.12.2013 ; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23. – 5 с.
3. Контактно-втомна пошкоджуваність поверхні кочення залізничних коліс типу КП-2 та КП-Т / О. П. Остап, І. М. Андрейко, В. В. Кулик, В. І. Прокопець // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро-петровськ, 2011. – Вип. 39. – С. 118–122.
4. Cassidy, Ph. Wrought materials way prolong wheel lifewheel sat technology / Ph. Cassidy // Intern. Railway J. – 2001. – № 12. – Р. 40–41.
5. Estimation of the strength and crack resistance of the metal of railway wheels after long-term operation / L. I. Markashova, V. D. Poznyakov, A. A. Gaivoronskii [et al.] // Materials Science. – 2012. – Vol. 47. – Iss. 6. – Р. 799–806. doi: [10.1007/s11003-012-9458-1](https://doi.org/10.1007/s11003-012-9458-1).
6. Олег Гаєвський, Володимир Гаєвський Координація зварювальних робіт :навч.посібник.Центр учбової літератури, 2021
7. Ямрольський Л.С. та ін. Елементи робото технічних пристроїв і модулі ГВС: Підручник / Л.С. Ям польський, М.М. Поліщук, М.М. Ткач; За заг. ред. Л.С. Ямпольского. – К.: Вища шк., 1992. – 431 с.: іл.
8. Сторож Б.Д., Карпик Р.Т. Розрахунок верстатних пристроїв на точність. Навч. посібник. Івано-Франківськ : Факел,1999-187с.
9. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. [Текст] / О.Г. Левченко–К.: Основа, 2010–240 с.

10. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст] / А.С. Карпенко / -К.: Арістей, 2005. – 268с.

11. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання.- Чинний від 01.07.1996. – К.: Держстандарт України, 1995.-36 с