Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Інститут механічної інженерії та транспорту
(назва інституту)

Залізничний транспорт
(повна назва кафедри)

# Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
Бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему: **Удосконалення організації роботи при застосуванні алюмотермічного зварювання**

за освітньою програмою Залізничні споруди та колійне господарство

зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: КГ-31спз

Роман ТКАЧИК
(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: Ірина БОНДАРЕНКО
(підпис) (посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завідувач кафедри ЗТ
к.т.н., доц. Олена БАЛЬ

Львів – 2025 рік

Ткачик Роман Іванович, Бондаренко Ірина Олександрівна (керівник). **Удосконалення організації роботи при застосуванні алюмотермічного зварювання.** Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

## Розширена анотація


При побудові безстикової залізничної колії однією із робіт є зварювання кінців рейок. Зварювання рейок виконується різним способами. Сучасною технологією зварювання рейок є алюмотермічне зварювання [1–5]. Зварювання даного виду проводиться за допомогою хімічної реакції між сумішю алюмінію з оксидом заліза [4]. Даний спосіб зварювання рейок є технічно простим та не вимагає значних енергетичних витрат та працевитрат. При проведені алюмотермічного зварювання рейок у польових умовах не потрібно виконувати довгострокове закриття перегону, у порівнянні із застосування електроконтактного зварювання.

Відомо, що зварний стик, отриманий алюмотермічним зварюванням має механічні властивості, що є близькими до основного матеріалу рейки [5]. При цьому виду зварювання рейок забезпечується довговічне високоякісне з’єднання рейок. Крім цього мінімізуються нерівності у конструкції колії, що забезпечує зниження динамічних ударних навантажень при русі рухомого складу залізниці, у результаті чого підвищується термін служби рейок.

Враховуючи переваги алюмотермічного зварювання над іншими видами зварювання у кваліфікаційній роботі проводиться дослідження, щодо удосконалення організації роботи при застосуванні алюмотермічного зварювання в умовах Львівської залізниці.

**Об’єкт дослідження** – залізнична колія із рейками типу Р65.

**Предмет дослідження** – організація робіт при алюмотермічному зварюванню рейок.

**Мета дослідження** – провести дослідження, щодо удосконалення організації роботи при застосуванні алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії.

Для досягнення зазначеної мети у кваліфікаційній роботі виконано такі завдання досліджень:

-проведено аналіз технології алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії;

-розроблено технологічний процес організації алюмотермічного зварювання в умовах Львівської залізниці;

-запропоновано методи удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок;

-розроблено заходи із охорони праці при проведенні алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії в експлуатаційних умовах залізниці.

Виконано аналіз технології алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії. Встановлено, що алюмотермічне зварювання має ряд переваг у порівнянні із існуючими традиційними технологіями зварювання.

У першому розділі кваліфікаційної роботи розроблено технологічний процес організації робіт при алюмотермічному зварюванні кінців рейок на ділянці колії В-Г Львівської залізниці. Встановлено, що алюмотермічне зварювання рейок виконується за такою послідовністю організації робіт: підготовчі роботи, установлення форм, попередній підігрів рейок, заливка термітного складу, охолодження, обрубування та шліфування зварного шва рейок.

У другому розділі запропоновано способи удосконалення робіт при алюмотермічному зварюванні рейок, методом застосування потокової організації робіт, що призводить до зменшення працевитрат та часу на зварювання стиків рейок.

У третьому розділі наведено вимоги безпеки [6] та заходи із охорони праці, відповідно до [7–9], при виконанні робіт із алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії. Встановлено, що при алюмотермічному зварюванні рейок

виникають небезпечні та шкідливі виробничі фактори впливу на працівників при виконанні зварювання. Розроблено схему огородження місця виконання робіт відповідно до Інструкції із забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України [6].

**Ключові слова:** рейкова колія, рейки типу Р65, алюмотермічне зварювання, організація робіт.

Tkachyk R. I., Bondarenko I. O. (head). **Improving work organization when using aluminothermic welding**. Degree project. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025.

## Extended abstract

One of the operations in the construction of a continuous welded railway track is the welding of rail ends. Rail welding can be performed using various methods. A modern rail welding technique is aluminothermic (thermite) welding [1–5]. This type of welding is carried out through a chemical reaction between a mixture of aluminum and iron oxide [4]. This method is technically simple and does not require significant energy or labor costs. Unlike flash-butt welding, aluminothermic welding does not require long-term closure of the railway section when performed in field conditions.

It is known that the welded joint obtained through aluminothermic welding possesses mechanical properties similar to those of the base rail material [5]. This welding method ensures a durable and high-quality rail connection. In addition, irregularities in the track structure are minimized, which reduces dynamic impact loads during train movement and thereby increases the service life of the rails.

Considering the advantages of aluminothermic welding over other welding methods, this qualification project explores ways to improve the organization of work when using aluminothermic welding under the conditions of the Lviv Railway.

**Object of research**: Railway track with R65-type rails.

**Subject of research**: Organization of work during aluminothermic rail welding.

**Purpose of the research**: To investigate and improve the organization of aluminothermic welding processes on railway tracks.

To achieve this goal, the qualification project includes the following tasks:

-Analysis of the aluminothermic rail welding technology;

-Development of a technological process for organizing aluminothermic welding on the Lviv Railway;

-Proposals for improving work organization during aluminothermic rail welding;

-Development of occupational safety measures for aluminothermic rail welding under operational railway conditions.

An in-depth analysis of the aluminothermic rail welding technology was conducted. It was established that aluminothermic welding has several advantages over traditional welding technologies.

In the first chapter, a technological process was developed for organizing the work during aluminothermic welding of rail ends along the V-H section of the Lviv Railway. The process follows this sequence: preparatory work, formwork installation, preheating of rail ends, pouring the thermite composition, cooling, chipping and grinding of the weld seam.

The second chapter proposes ways to improve the aluminothermic welding process by implementing a flow-based work organization, which helps reduce labor intensity and time required for welding rail joints.

The third chapter outlines the safety requirements [6] and occupational health and safety measures, in accordance with [7–9], during aluminothermic welding of railway rails. It was determined that aluminothermic welding exposes workers to hazardous and harmful production factors. A safety zone diagram for the work area was developed according to the Instructions on Ensuring Train Traffic Safety during Track Work on the Railways of Ukraine [6].

**Keywords:** railway track, R65 rails, aluminothermic welding, work organization.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ..... 12

ВСТУП ..... 13

РОЗДІЛ 1. ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ПРИ АЛЮМОТЕРМІЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ..... 14

1.1. Загальні відомості про метод алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії ..... 14

1.2. Вимоги до проведення алюмотермічного зварювання рейок ..... 14

1.3. Технологічний процес при виконанні алюмотермічного зварювання рейок на ділянці колії Львівської залізниці ..... 16

1.3.1. Конструкція колії для проведення алюмотермічного зварювання рейок ..... 16

1.3.2. Виробничий склад бригади, комплекс обладнання та витратних матеріалів для проведення алюмотермічного зварювання рейок ..... 17

1.3.3. Технологія та організація виконання робіт при алюмотермічному зварюванні рейок ..... 19

Висновок до розділу 1 ..... 26

РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ПРИ АЛЮМОТЕРМІЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ..... 27

2.1. Аналіз недоліків в організації алюмотермічного зварювання рейок ..... 27

2.2. Пропозиції із удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок ..... 29

Висновки до розділу 2 ..... 31

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ТА ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ АЛЮМОТЕРМІЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ..... 33
3.1. Шкідливі та небезпечні фактори при проведені алюмотермічного зварювання рейок ..... 33
3.2. Організаційні заходи із охорони праці при виконанні алюмотермічного зварювання рейок ..... 35
3.3. Засоби індивідуального захисту працівників при алюмотермічному зварюванні рейок ..... 36
3.4. Вимоги безпеки при виконанні робіт із алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії ..... 37
Висновок до розділу 3 ..... 39

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ..... 40

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ..... 41

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

| | |
|---|---|
| АТЗ | – алюмотермічне зварювання. |
| РЗП | – рейкозварювальний поїзд. |
| ПЧ | – дистанція колії. |
| Алюмотермічне зварювання рейок | – це технологічний процес з’єднання кінців рейок за допомогою реакції між порошковим алюмінієм і оксидами металів. |

# ВСТУП

Безстикова рейкова колія має ряд переваг перед звичайною стиковою колією. Вона дозволяє значно підвищити плавність та швидкість руху поїздів, підвищити комфорт при перевезені пасажирів та вантажів, а також зменшити знос елементів верхньої будови колії. Вона характеризується відсутністю стиків. Це забезпечується методом зварювання. Одним із сучасних методів зварювання є термічне зварювання, та алюмотермічне зварювання (АТЗ) [1–5].

Технологія алюмотермічного зварювання кінців рейок на залізничних коліях ґрунтується на хімічній реакції між порошком алюмінію та оксидом заліза. У результаті їх взаємодії утворюється висока температура, що призводить до плавлення кінців рейок та присадкового металу. Це забезпечує з’єднання двох кінців рейок.

Основними перевагами АТЗ є висока мобільність. Можливість виконання зварювальних робіт безпосередньо на місці без застосування важкого обладнання, а також відносно низька вартість виконання зварювальних робіт у порівнянні з іншими видами зварювання. Даний метод зварювання є ефективним при виконанні ремонтних робіт із проведенням з'єднанні кінців нових рейок під час будівництва залізничної колії.

Метою роботи є проведення досліджень, щодо удосконалення організації робіт при застосуванні алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії.

**Об’єкт дослідження** – залізнична колія із рейками типу Р65.

**Предмет дослідження** – організація робіт при алюмотермічному зварюванню рейок.

# РОЗДІЛ 1
# ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ПРИ АЛЮМОТЕРМІЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

## 1.1. Загальні відомості про метод алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії

Метод алюмотермічного зварювання рейок базується на технології при якій між порошком алюмінію та оксидом заліза відбувається хімічна реакція, в результаті якої утворюється висока температура, яка призводить до плавлення кінців рейок та присадкового металу [1–4]. У результаті чого забезпечується з’єднання рейок. Передовою технологією алюмотермічного зварювання рейок є технологія SoW-5 [5].

Для виконання цієї технології спеціальний порошок поміщають у металеву конструкцію (форму), яка повторює форму рейки. При цьому конструкція встановлена над стиком двох кінців рейок, які будуть зварюватися. Основне призначення спеціального порошку, це надійне та міцне з’єднання основного матеріалу рейок при його плавлені. Порошок, який використовується в алюмотермічному зварюванні рейок складається із 23 % алюмінієвої крихти та 77 % оксиду заліза. Структура порошку дрібнодисперстна із розміром гранул – 0,5 мм [4].

Технологія алюмотермічного зварювання ґрунтується на здатності металу відновлюватися в оксидах алюмінію. Але це відбувається тільки при високих температурних режимах (близько 2500 ºС), тому в технології використовується запал, який підпалює суміш. У результаті чого оксид заліза перетворюється на чистий метал.

## 1.2. Вимоги до проведення алюмотермічного зварювання рейок

Зварювання рейкових стиків методом алюмотермічного зварювання

проводиться бригадою зварників. При цьому рейки повинні бути одного типу незалежно від наявності термообробки. Можна зварювати рейки, які є термозміцненими між собою, або нетермозміцнені між собою, також можна виконувати зварювання рейок коли одна рейка термозміцнена, а друга нетермозміцнена. Рейки перед зварюванням повинні пройти дефектоскопний контроль. Виконувати зварювати нових рейок із старопридатними не дозволяється [5].

Різання рейок при підготовці їх до алюмотермічного зварювання необхідно проводити абразивним ручним інструментом шляхом використання обрізних кругів. Як виняток дозволяється проводити різання газо-полум'яним обладнанням у випадку аварійних ситуацій. Застосування такого типу різання має бути погоджене з керівником підрозділу.

Торці готових рейок після обрізання мають бути перпендикулярними до поздовжньої осі рейки. Відхилення не повинна перевищувати 2 мм, при вимірюваннях у будь-якому напрямку рейки.

Кінці двох рейок не можна зварювати, якщо вони мають дефекти в отворах, або отвори виконані за допомогою газового різання. Також слід враховувати, щоб найближчий болтовий отвір знаходився на відстані не меншій за 38 мм від кінців будь-якої із рейок.

На кінцях рейок не повинно бути задирок на металі, поперечних та поздовжніх рисок, сколів металу та гострих країв.

Перед зварюванням потрібно перевірити кінці рейок на прямолінійність (рис. 1.1).

При значних деформаціях кінців рейок вони повинні бути вирізаними. Вимірювання прямолінійності рейок у стику по висоті виконується прямою лінійкою *1*, яка має довжину один метр. Також для вимірювань використовується клин *2*.

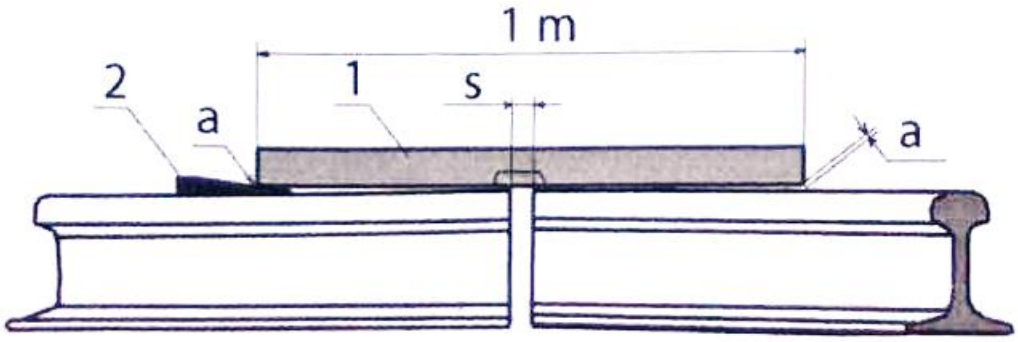


Рисунок 1.1 – Схема до проведення вимірювань прямолінійності рейок у стику залізничної колії: *a* – вимірювальна шкала; *S* – зварювальний зазор між рейками: *1* – лінійка довжиною 1 м; *2* – вимірювальний клин

Підготовлений зазор між рейками повинен бути вирівняний. Не можна допускати відхилень від прямолінійності по граням профілю рейки. Ширина зазору між рейками повинна складати 28–30 мм.

Клини не можна видаляти до тих пір, поки зварювальний стик рейок після зварювання не бути холодним.

Конструктивною особливістю стиків, які зварені при алюмотермічному зварюванням є наявність на поверхні зварного шва грату з термічного металу, крім головки рейки.

## 1.3. Технологічний процес при виконанні алюмотермічного зварювання рейок на ділянці колії Львівської залізниці

### 1.3.1. Конструкція колії для проведення алюмотермічного зварювання рейок

Згідно завдання на бакалаврську роботу необхідно провести зварювання рейок на ділянці В-Г залізничної колії Львівської залізниці. Залізнична колія має рейки типу Р65 із приведеним зносом 4 мм. Рейки термозміцнені. Шпали залізобетонні. Баласт щебеневий. Скріплення типу КБ.

### 1.3.2. Виробничий склад бригади, комплекс обладнання та витратних матеріалів для проведення алюмотермічного зварювання рейок

Алюмотермічне зварювання рейок на ділянці В-Г залізничної колії складається із виконання кількох послідовних етапів. До цих етапів відноситься підготовчі роботи, установлення форм, попередній підігрів, заливка термітного складу, охолодження, обрубування та шліфування зварного шва рейок.

Виробничий склад бригади при алюмотермічному зварюванні складається із 3 зварників (працівників РЗП) та допоміжного персоналу із 3 монтерів колії (працівників ПЧ), які виконують підготовчі роботи перед зварюванням.

Для проведення алюмотермічного зварювання на ділянці колії В-Г використовуємо передову технологію SoW-5 [5]. Вона передбачає використання комплексу спеціального обладнання. Перелік обладнання наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Комплект обладнання для проведення алюмотермічного зварювання рейок за технологією SoW-5

| № з/п | Найменування обладнання | Одиниці виміру | Кількість, шт |
|---|---|---|---|
| 1. | Пальник для попереднього нагріву типу 55.502 і процесу зварювання Thermit SkV, SkV-Elite, SoW-5, THR | шт. | 1 |
| 2. | Затискний пристрій Е для одноразового тигля | шт. | 1 |
| 3. | Підйомник-тримач для одноразового тигля | шт. | 1 |
| 4. | Пальник попереднього нагріву типу з системою Smartweld Jet | шт. | 1 |
| 5. | Калібрувальний шаблон SoW-5 | шт. | 1 |
| 6. | Захисна пластина для рейки (коротка) | шт. | 1 |
| 7. | Захисна пластина для рейки (довга) | шт. | 1 |
| 8. | Клин для вимірювання зазору | шт. | 1 |
| 9. | Вимірювач кромки (довжина 1 м) | шт. | 1 |
| 10. | Корончастий вимірювальний клин | шт. | 1 |
| 11. | Щуп для вимірювання зазорів 0,05–1,0 мм | шт. | 1 |
| 12. | Сталевий клин довгий | шт. | 8 |
| 13. | Сталевий клин короткий | шт. | 4 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 14. | Дерев’яний клин | шт. | 8 |
| 15. | Ручка пальника | шт. | 1 |
| 16. | Накопичувач піску | шт. | 1 |
| 17. | Шлаковий піддон | шт. | 1 |
| 18. | Рейковий термометр, діаметр.40 мм (вимірювальний) | шт. | 1 |
| 19. | Шпатель (малий) | шт. | 1 |
| 20. | Молоток 1,5 мм | шт. | 1 |
| 21. | Дротяна щітка (маленька) | шт. | 1 |
| 22. | Лом (довжина 750 мм) | шт. | 1 |
| 23. | Рашпіль напівкруглий | шт. | 1 |
| 24. | Таймер цифровий | шт. | 1 |
| 25. | Одноступінчатий редукційний клапан для пропану типу HESA 70 | шт. | 1 |
| 26. | Шланги (для пропапу/кисню) зі з’єднувачами | шт. | 1 |
| 27. | Захист манометра для редукційного клапану | шт. | 1 |
| 28. | Запобіжник зворотного спалаху типу HESA 70 для паливних газів (пропан-бутан) | шт. | 1 |
| 29. | Одноступінчастий редукційний клапан для кисню типу HESA 70 | шт. | 1 |
| 30. | Захист манометра для редукційного клапану | шт. | 1 |
| 31. | Запобіжник зворотного спалаху для кисню | шт. | 1 |
| 32. | Ручка типу HESA 70 SL/56-2 для пальника попереднього розігріву та різака | шт. | 1 |
| 33. | Газова запальничка з ковпачком | шт. | 1 |
| 34. | Набір SMARTWELDSPARK з футляром (одна батарея, одна запасна батарея та зарядний пристрій, кабель живлення версії ЄС) | шт. | 1 |
| 35. | Гідравлічний гратознімач типу U-L4 з встановленим ручним гідравлічним насосом в який входить: гідравлічні шланги (довжина 600 мм), швидкороз’ємна плоска поверхня. | шт. | 1 |
| 36. | Зрізні ножі типу В (профіль UIC60, P65) | шт. | 1 |
| 37. | Шліфувальний верстат для шліфування головки рейки GP 3600P4 | шт. | 1 |

Обладнання, яке використовується для проведення зварювальних робіт має бути комплектним та знаходитися у справному стані.

Крім комплекту обладнання, яке наведено у табл. 1.1, також при алюмотермічному зварюванні використовуються витратні матеріали, які наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2. – Витратні матеріали, які використовуються для алюмотермічного зварювання рейок за технологією SoW-5

| № з/п | Найменування матеріалів |
|---|---|
| 1. | Ливарні форми для профілю Р-65 SoW-5 |
| 2. | Зварювальна порція Thermit 65/Z120 SoW-5-E заповнена в одноразовий тигель I |
| 3. | Обмазувальна паста для форм |
| 4. | Електроди SMARTWELDSPARK |

### 1.3.3. Технологія та організація виконання робіт при алюмотермічному зварюванні рейок

Перед початком зварювання виконуємо підготовчі роботи. Ці роботи проводять 3 монтери колії. Монтери колії проводять зняття скріплення на двох шпалах, що розміщені під стиком, який буде зварюватися. Також послаблюють клемні болти скріплень на трьох шпалах із кожного кінця рейок. Із шпального ящику, що знаходиться в зоні стику видаляють щебеневий баласт.

Далі проводиться очищення рейок від бруду та їх візуальний огляд. Очищення рейок виконуємо за допомогою пальника попереднього нагрівання з системою Smartweld Jet. Для цього запускаємо програму попереднього нагрівання без встановлення ливарних форм.

Після підготовчих робіт на наступному етапі проводимо встановлення затискного пристрою *E* для одноразового тигля (рис. 1.2).

Рисунок 1.2 – Встановлення затискного пристрою *E* для одноразового тигля

Універсальний затискний пристрій закріплюємо на головці рейки без перекосів та на відстані зазначеній регулювальним калібром.

Після цього проводимо нагрівання кінців рейок із застосуванням пальника попереднього нагрівання Smartweld Jet (із використанням пропан-бутану). Сідло пальника попереднього нагрівання прикріплюємо до труби-стійки пальника і фіксуємо за допомогою кріпильного гвинта. Висоту пальника (відстань від головки пальника до робочої поверхні) виставляємо калібрувальним шаблоном типу SoW-5 (рис. 1.3). При використанні пальника Smartweld Jet висоту пальника забезпечуємо рівною 40 мм.

Рисунок 1.3 – Регулювання висоти пальника від робочої поверхні до головки пальника

Пальник попереднього нагрівання типу Smartweld Jet встановлюємо по центру зварювального зазору та вертикально до осі рейки.

Запалювання полум'я проводимо газовою запальничкою із ковпачком. При цьому виконуємо регулювання струміння полум'я пальника таким чином, щоб його довжина складала від 15 мм до 20 мм. Далі проводимо регулювання подачі газу за допомогою вентиля на ручці. Регулювання проводимо до того часу, поки полум'я пальника не почне потріскувати.

Робочий тиск підтримуємо протягом усього періоду попереднього підігрівання. Тиск кисню на ручці пальника підтримуємо на рівні 280–300 кПа за допомогою набору вбудованих контрольних манометрів для газів. Не допускаємо, щоб полум'я пальника працювало при надлишковому кисню.

Під час здійснення попереднього нагрівання перевіряємо герметичність форми. Далі відповідно до профілю рейки типу Р65 вибираємо відповідну

програму попереднього підігрівання системи Smartweld Jet (для Р65 програма №29). Вигляд налаштованого обладнання для попереднього нагрівання рейок наведено на рис. 1.4.

Перед встановленням пальника попереднього нагрівання проводимо осушення шлакових піддонів протягом 1 хв.

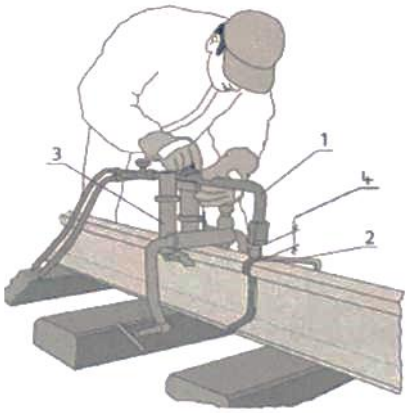


Рисунок 1.4 – Вигляд налаштованого обладнання для попереднього нагрівання: *1* – пальник для попереднього нагрівання; *2* – регулювальний калібр; *3* – універсальний затискний пристрій; *4* – висота пальника

Параметри попереднього нагрівання рейок пальником попереднього нагріву системи Smartweld Jet наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри попереднього нагрівання рейок системи Smartweld Jet

| №з/п | Тип рейки | Час попереднього нагрівання пальником попереднього нагріву системи Smartweld Jet, хв. |
|---|---|---|
| 1. | Р65 | 5 |

Час нагрівання 5 хв., відраховуємо із моменту коли полум'я повністю пошириться у зоні рейкового стикового зазору. Після завершення часу попереднього нагрівання проводимо знімання сідла пальника разом із

пальником (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 – Зняття пальника для попереднього нагрівання рейок

Для запуску обладнання Smartweld Jet двічі натискаємо на кнопку СТАРТ, щоб розпочати процес попереднього нагрівання. Попереднє нагрівання автоматично завершиться після закінчення програми попереднього нагрівання.

При зміщені сопла пальника Smartweld Jet під час нагрівання у поздовжньому напрямку проводимо поправлення його в центр форми.

Далі проводиться етап встановлення ливарних форм, для цього використовуємо форми для рейок типу Р65. Форми встановлюємо у башмак.

Спочатку виконуємо регулювання та встановлення першої половину ливарної форми ззовні по центру до місця зазору де буде зварюватися стик. Другу половину встановлюємо із середини колії впритул до стику. При цьому встановлення обох половинок ливарної форми проводимо так, щоб вони прилягали одна до одної без розбіжностей та були перпендикулярним до поздовжньої осі рейки. Також не допускаємо зазору під підошвою рейки.

При встановлені форм зберігаємо геометрію профілю рейки. Ливарні форми виставляємо так, щоб не було їх перекошування. У нашому випадку рейки були зношені (4 мм приведений знос), у результаті при встановлені форм виникає зазор між формою та поверхнею головки рейки. Для забезпечення герметичності, у щілину між формою та зазором наносимо обмазуючу пасту (рис. 1.6). При цьому спостерігаємо, чи не попала паста у середину простору ливарної форми, або стиковий зазор між двома формами.

Рисунок 1.6 – Вигляд встановлених двох частин форм із забезпеченням герметичності між формами

Після встановлення ливарної форми проводимо утрамбування обмазувальної пасти у зазори між нею та шпалою.

На наступному етапі проводиться висушування шлакового піддону за допомогою пальника попереднього нагрівання системою Smartweld Jet. При цьому виконуємо захист рейки та ливарної форми методом покладання захисної пластини для рейки. Після висихання шлакового піддону вставнолюємо його у шлакову форму.

Зварювання стика алюмотермічним зварюванням проводимо у наступні етапи: знімаємо пробку, позиціонуємо тигль та запалюємо порцію. Дані етапи виконуємо швидко один за одним.

На першому етапі встановлюємо штекер за допомогою щипців у гніздо у верхній частині форми. На другому етапі повертаємо одноразовий тигель із затискним пристроєм *E* над центром пробки та поміщаємо одноразовий тигель по центру на підошву форми в направляючу. І на третьому етапі підпалюємо порцію Thermit, яка знаходиться у одноразовому тиглі (рис. 1.7).

Рисунок 1.7 – Процес горіння порції Thermit

Згідно процесу зварювання відповідно до технології SoW-5 для рейок типу Р65 використовуємо встановлену виробником порцію Thermit марки – Z90, яка розміщується в одноразовому тиглі. Накриваємо тигель кришкою (рис. 1.8), щоб захистити порцію Thermit від вологи та опадів.

Рисунок 1.8 – Вигляд захисної кришки, що встановлюється над тиглем для захисту від вологи

Відстань від дна тигля до верхнього краю форми забезпечуємо величиною 3 см.

Запалювання порції Thermit проводимо через отвір у кришці тигля електричним способом за допомогою SMARTWELD SPARK. Після закінчення часу заливки рідкої термітної суміші, обережно знімаємо головку та башмаки підтримуємо ливарну форму (рис. 1.9).

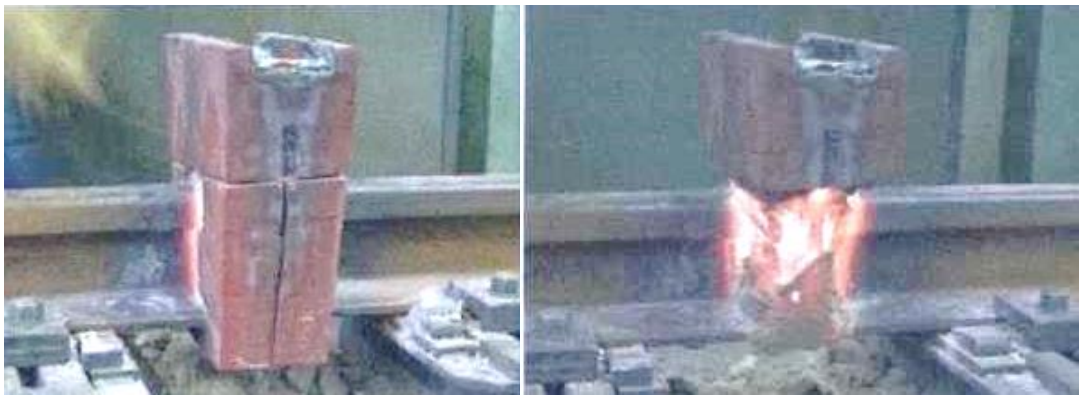

Рисунок 1.9 – Зображення ливарних форм після заливання рідкого терміту з подальшим їх зняттям

Для цього обережно нахиляємо головку форми і перевіряємо, чи зварювальний матеріал все ще залишається рідким. Якщо так та встановлюємо головку форми на місце.

За допомогою молотка та зубила вибиваємо форму та шлак, який утворився поверх зварного шва по профілю рейки.

Після застигання металу виконуємо роботи по шліфуванню зварного стика рейок. Для цього використовується шліфувальний верстат для шліфування головки рейки GP 3600P4.

Вигляд стику після шліфування наведено на рис. 1.10.

Рисунок 1.10 – Зварений стик методом алюмотермічного зварювання

Проводимо контрольне вимірювання на прямолінійність рейки відповідно до методики, яка наведена на рис. 1.1.

У випадку відсутності відхилень рейок у стику від прямолінійності, роботи по алюмотермічному зварюванню рейкового стику залізничної колії закінчуємо. Для цього прибираємо все обладнання та матеріал із ділянки В-Г залізничної колії.

## Висновок до розділу 1

Із наведеного технологічного процесу організації робіт при алюмотермічного зварюванні рейок отримано такі висновки:

1. При алюмотермічному зварювання рейок залізничної колії використовується бригада із 3 зварювальників, що безпосередньо виконує зварювальні роботи та бригада 3 монтерів колії, які проводять підготовчі роботи перед зварюванням рейкового стику.

2. Процес алюмотермічного зварювання рейок складається із послідовності виконання етапів, а саме підготовчі роботи, установлення форм, попереднє підігрівання, заливка термітного складу, охолодження, обрубування та шліфування зварного шва рейок.

# РОЗДІЛ 2
# УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ ПРИ АЛЮМОТЕРМІЧНОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

## 2.1. Аналіз недоліків в організації алюмотермічного зварювання рейок

При виконанні алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії, у більшості випадків організація робіт здійснюється однією бригадою. Дана бригада послідовно проводить зварювання стиків на ділянці фронту робіт.

Слід зазначити, що така організація робіт має недоліки, особливо при виконанні робіт на великому фронті. Недоліки організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейко наведено на рис. 2.1.

Рисунок 2.1 – Недоліки традиційної організації проведення робіт із алюмотермічного зварювання рейок

При традиційному способі організації алюмотермічного зварювання рейок виникає велика тривалість простою бригади зварювальників при виконанні операцій із зварювання кінців рейок. Це відбувається через очікування

затвердіння металу, не чітко спланованої логістики доставлення інструментів та матеріалу до місця робіт. Також може бути причина простоїв бригади зварювальників, через відсутність перехресного резервування часу чи чергування бригад на інших ділянках.

Через різну тривалість циклів при зварюванні рейок, традиційні способи зварювання мають нерівномірне навантаження на бригаду. Найбільш зайнятими є оператори зварювальної установки та працівники, які виконують шліфування рейок після зварювання. При цьому інші працівники можу простоювати, очікуючи свою фазу роботи.

Багато технологічних операцій при алюмотермічному зварюванні мають низький рівень механізації. До них належать роботи із підготовки швів, обрубування окалин, шліфування поверхні рейки. При цьому деякі операції виконуються вручну. Це призводить до значної трудомісткості робіт та довших термінів виконання зварювання одного стику рейок.

У результаті простоїв, виконання частини операцій вручну призводять до неефективного використання часу під час робочої зміни. При цьому значна частина зміни витрачається не на пряму роботу із зварювання, а на переміщення, виконання підготовчих робіт.

Також важливим етапом є контроль якості зварного шва, що дозволяє виявити дефекти у вигляді тріщин, неповного заповнення форми тощо. У більшості випадків якість шва оцінюється візуально, або після виконання всього циклу робіт. Це може призвести до ускладнення прийняття оперативних рішень, щодо коригування параметрів зварювання, та підвищує ризик залишення в колії небезпечного шва, який може бути виявлений лише при діагностиці, або при настанні аварійної ситуації.

Із проведеного аналізу випливає, що організація алюмотермічного зварювання рейок потребує сучасного підходу до оптимізації технологічного процесу, а саме, це можна досягти методом впровадження автоматизованого контролю якості зварного шва у процесі зварювання, раціональним розподілом завдань між членами бригади, що виконує зварювання, підвищенням рівня

механізації на всіх етапах виконання алюмотермічного зварювання кінців рейок та скороченням простоїв, завдяки плануванню суміжних операцій. Виконання таких складових дозволить підвищити ефективність та безпечність зварювальних робіт, що призведе до забезпечення довговічності та надійної експлуатації безстикової колії.

## 2.2. Пропозиції із удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок

При виконанні алюмотермічного зварювання рейок на великому фронті робіт пропонується впровадження додаткових заходів, які дозволять підвищити продуктивність робіт. Такі заходи наведено на рис. 2.2.

Рисунок 2.2 – Пропозиції із удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок

Одним із найефективніших заходів по удосконаленню організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок є запровадження потокової організації робіт. Для цього пропонується роботи розділити на три етапи:

–перший етап: підготовка стику до зварювання;

–другий етап: зварювання;

–третій етап: обробка та контроль якості зварного шва.

При виконанні такої організації робіт на фронті повинно працювати мінімум три бригади. При цьому запуск по зварюванні нового стику

проводиться через час, який необхідний до підготовки стику до зварювання (приблизно 10–15 хв) (рис. 2.3).

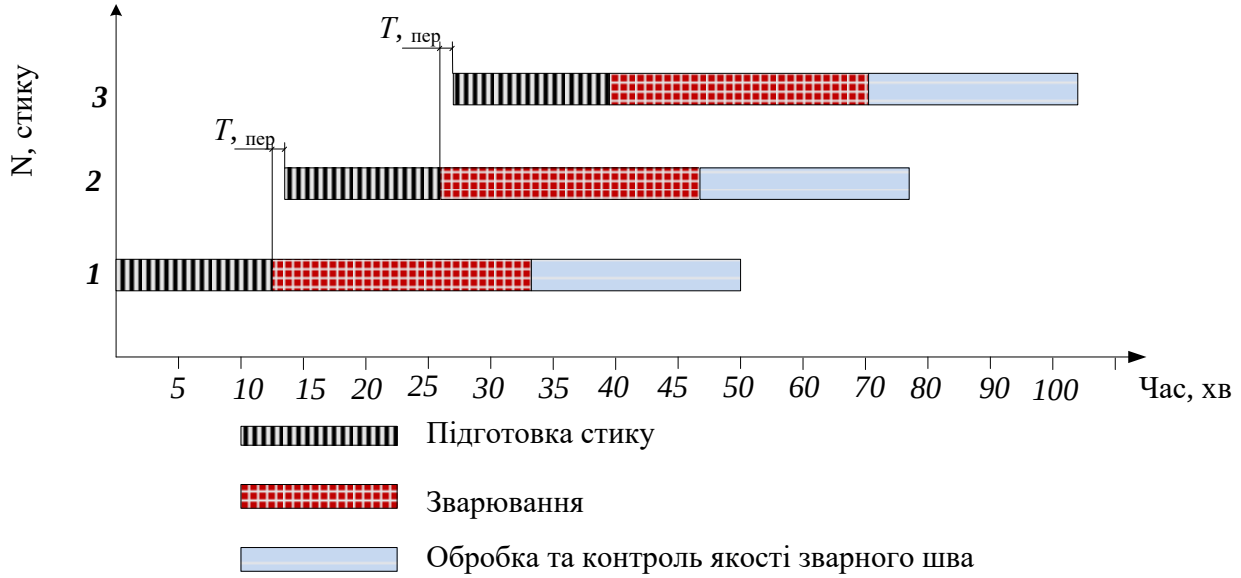


Рисунок 2.3 – Потокова організація робіт при алюмотермічному зварюванні рейок

У результаті працівники, які виконали підготовку першого стику рейок, переходять до підготовки другого стику. А на першому стику у цей час проводиться зварювання. При завершені підготовки другого стику працівники переходять на третій стик і підготовлюють його до зварки. При цьому на другому стику виконуються роботи по зварюванні рейок.

При завершені зварювальних робіт на першому стику далі виконуються роботи по обробці та контролю стику. А при цьому бригада, що виконує зварювання переходить на четвертий стик. І так цикл потоку повторюється.

У потоковому методі алюмотермічного зварювання рейок враховується час на перехід працівників від одного стику до іншого. На рис. 2.3 це позначено часом $T_{пер}$. При цьому слід зауважити, якщо перехід відбувається по довжині рейок тоді це буде одна тривалість часу переходу, а при переході на суміжний стик іншої рейкової нитки, цей час буде значно меншим.

Крім потокової організації робіт при алюмотермічній зварці також ефективним засобом організації робі є застосування мобільних зварювальних комплексів, які мають механізовані пристрої для очищення та шліфування рейок, переносні індукційні нагрівачі, а також мають пересувну зварювальну платформа на рейковому ходу.

Ефективним способом організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок є застосування цифрового контролю якості зварювання. Для цього можна застосовувати пристрої для дистанційного вимірювання температури, проводити візуальний огляд зварного шва із використанням смартфонів. Це у результаті пришвидшує технологічний процес перевірки зварного шва та формування звітів по виконаних роботах.

Значну роль в організації зварювання відіграє чітка підготовка до проведення робіт. Вона включає попереднє сортування та пакування тиглів і форм, використання дрезин для постачання матеріалів до місця зварювання та забезпечення бригадою запасними комплектами.

У результаті запропонованих заходів із удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок очікується зменшення часу на проведення зварювання до 20 хв. Крім цього використання сучасних діагностувальних комплексів зварного шва дозволить зменшити рівень дефектності рейок.

## Висновки до розділу 2

Із наведених заходів, щодо удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварюванні рейок отримано наступні висновки:

1. Удосконалити організацію робіт при алюмотермічному зварюванні рейок можна наступними чином:

- застосування потокової організації робіт;
- застосування мобільних зварювальних комплексів;
- застосування сучасних цифрових технологій діагностики зварного шва;

- забезпечення чіткої логістики у підготовчий період для проведення алюмотермічного зварювання рейок.

2. Запропоновані заходи, щодо удосконалення організації робіт при зварюванні рейок дозволяють зменшити час на проведення зварювання рейок та зменшити дефектність рейок в експлуатаційних умовах.

# РОЗДІЛ 3
# ОХОРОНА ТА ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ АЛЮМОТЕРМІЧНОГО ЗВАРЮВАННЯ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

## 3.1. Шкідливі та небезпечні фактори при проведені алюмотермічного зварювання рейок

При алюмотермічному зварюванні рейок виникають шкідливі та небезпечні фактори виробничого впливу на бригаду зварювальників. Це пов’язано із наявністю високих температур внаслідок хімічної реакції між алюмінієм та оксидами металів, а також розплавленням металу. Ці чинники мають підвищену небезпеку впливу на бригаду.

Рисунок 3.1 – Процес алюмотермічного зварювання рейок

До виконання робіт із алюмотермічного зварювання та шліфування рейок після зварки допускається персонал, який пройшов спеціальне навчання та відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 14731 [7]. Також пройшов медичний огляд, навчання та спеціальну перевірку знань кваліфікаційною комісією, призначеною керівником підприємства.

Роботи із алюмотермічного зварювання рейок мають виконуватися відповідно до чинних правил із охорони праці, а також відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 [8], НПАОП 0.00-7.15-18 та відповідно до інструкцій з техніки безпеки для зварників.

Потенційні виробничі фактори впливу на працівників при алюмотермічному зварюванні рейок наведено на рис. 3.2.

Рисунок 3.2 – Виробничі фактори впливу на працівників при алюмотермічному зварюванні рейок

При виникненні високих температур виникає ризик нанесення опіків на тіло працівника, який проводить зварювання рейок. А при розбризкуванні розплавленого металу є ризик травм рук та обличчя.

Також небезпечним виробничим фактором є виділення газів при хімічній реакції алюмінію із оксидами металу. Це може призвести до ураження дихальних шляхів працівника.

При виконанні шліфування рейкового стику виникає ризик механічного пошкодження працівника та підвищений рівень шуму, що може призвести до погіршення слуху при довготривалій дії шуму.

При використанні електроінструменту виникає ризик ураження електричним струмом працівника. Це може відбутися при несправному стані електроінструменту, або пошкодженому стані ізоляції.

Постійне перебування працівника на відкритому повітрі у польових умовах залізничної колії несе ризик перегрівання, або переохолодження працівника.

Враховуючи ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які діють на працівників, що виконують алюмотермічне зварювання рейок, слід дотримуватися вимог із охорони праці та техніки безпеки.

## 3.2. Організаційні заходи із охорони праці при виконанні алюмотермічного зварювання рейок

При виконанні алюмотермічного зварювання рейок необхідно виконувати ряд організаційних заходів із охорони праці. До виконання зварювальних робіт допускаються працівники, які мають відповідну кваліфікацію зварника та пройшли медичний огляд.

Перед початком робіт із зварювання рейок керівник робіт повинен провести інструктаж із техніки безпеки. Також слід перевірити справність обладнання, наявність та придатність засобів індивідуального захисту працівника.

Виконання робіт слід починати тільки після очищення території поблизу виконання зварювальних робіт від горючих матеріалів та легкозаймистих речовин.

Дуже важливо після завершення алюмотермічного процесу зварювання рейок перевірити, чи не має тління. Також не дозволяється залишати розігрітий тигель без нагляду зварювальників.

### 3.3. Засоби індивідуального захисту працівників при алюмотермічному зварюванні рейок

При алюмотермічному зварюванні рейок слід користуватися засобами індивідуального захисту з метою збереження здоров'я та життя. До них відносяться забезпечення працівника вогнестійким спецодягом, захисними щитками або окулярами, рукавицями з жаростійкого матеріалу, захисним взуттям із металевими вставками, касками та навушниками.

Наведені засоби захисту забезпечують захист працівників від впливу високих температур при зварюванні, захист від іскор та розплавленого металу. А також захист від шкідливих випарів, яскравого світла, механічних ушкоджень та шуму.

Вогнестійкий спецодяг повинен бути цілісним, без отворів чи дирок. Він має закривати повністю всі частини тіла, мати щільно прилягаючі манжети на рукавах і штанинах та не мати виступаючих металевих частин, які можуть нагріватись при дії високих температур під час зварювання.

Захисний зварювальний щиток та окуляри в основному призначені для захисту очей та обличчя від яскравого ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, іскор та бризок розплавленого металу та частинок шлаку при очищенні шва. Ці засоби також ефективні при механічній обробці зварного шва. При його обробці виконується шліфування, полірування. У результаті захисні окуляри захищають очі від летючих частинок металу, пилу та абразивів,

а також іскор від шліфувальної машини. Окуляри мають бути ударостійкими та герметично прилягати.

Використання рукавиць із жаростійкого матеріалу забезпечує шкіру рук від опіків, термічного впливу в процесі зварювання і обробки шва та розжареним металом та механічних пошкоджень під час роботи з інструментами.

Під час використання шумного обладнання, або виконання робіт, які викликають підвищені рівні шуму слід застосовувати протишумові навушники.

На зварювальному посту має бути аптечка першої допомоги. В якій знаходяться перев'язувальні матеріали, антисептики, засоби від опіків, ножиці, гумові рукавички. Також має бути порошковий, або вуглекислотний вогнегасник. При цьому вогнегасник повинен знаходитися у доступному місці, щоб на випадок пожежі його можна було швидко застосувати.

Отже, правильне використання засобів індивідуального захисту забезпечить збереження життя та здоров'я працівників, які виконують зварювальні роботи та сприятиме безпечному виконанню технологічного процесу при алюмотермічному зварюванні рейок залізничної колії.

## 3.4. Вимоги безпеки при виконанні робіт із алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії

При алюмотермічному зварюванні рейок, місце робіт огороджується сигналами, що вимагають зупинку поїзду. Схема огородження місця виконання робіт при зварюванні рейок на одноколійній ділянці залізничної колії при фронті робіт меншому за 200 м наведена на рис. 3.3.

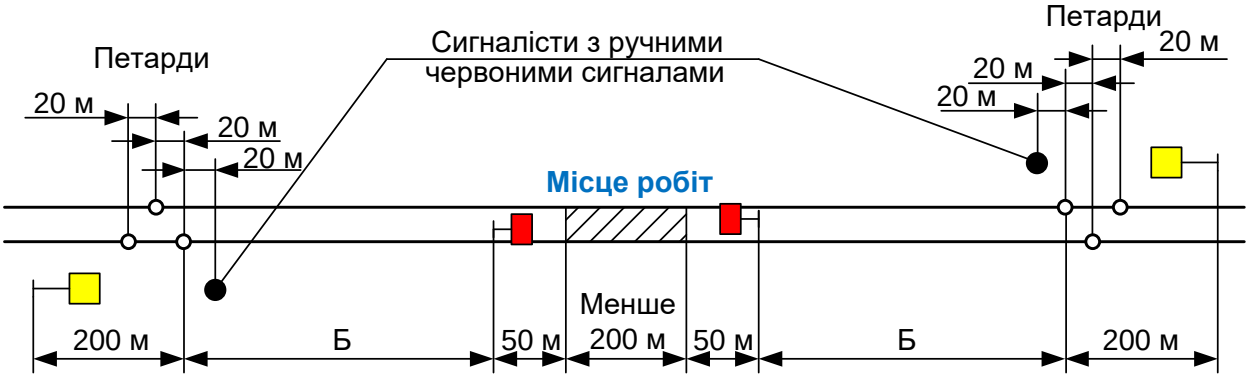


Рисунок 3.3 – Схема огородження місця виконання робіт на одноколійній ділянці залізниці при алюмотермічному зварюванню рейок

Схема огородження місця робіт розроблена відповідно Інструкції із забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України [6].

Роботи із алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії проводяться на одноколійній ділянці залізниці. Такі роботи огороджуються сигналами зупинки поїздів. Для цього на відстані 50 м від місця виконання робіт встановлюються переносі щити червоного кольору. Від цих сигналів на відстані Б ставляться по три петарди із кожної сторони від місця виконання робіт по зварюванні рейок. Також на відстані 200 м від першої петарди, яка розташована найближче до місця робіт встановлюються переносні сигнали зменшення швидкості, які мають жовтий колір.

При цьому переносні сигнали зменшення швидкості і петарди охороняються сигналістами. Сигналісти повинні знаходитися на відстані 20 м від першої петарди у бік місця робіт. Сигналісти повинні стояти із ручними червоними сигналами зупинки.

При видимості до поїзду, меншій за 500 м, потрібно встановлювати додаткового проміжного сигналіста. Він повинен подавати звуковий сигнал, який повторює сигнали основного сигналіста при наближені рухомого складу.

Для пересування до місця роботи із проведення алюмотермічного зварювання рейок та повернення з нього потрібно йти біля колії, або по обочині

земляного полотна.

Заборонено знаходитися стороннім особам на місці проведення зварювальних робіт. Також заборонено перетинати колію перед рухомим складом, а також перебігати, або проходити ближче аніж на відстані 5 м до краю вагона. Заборонено сидіти на рейках та використовувати небезпечні методи при роботі із інструментами. При цьому інструменти повинні відповідати вимогам безпеки, мати міцні дерев'яні ручки та чисті ударні частини без заусенець та виколів металу. При роботі із ударним інструментом обов’язкового одягати захисні окуляри.

Наведені вимоги охорони праці та безпеки спрямовані на забезпечення та запобігання небезпекам на робочому місці при виконанні алюмотермічного зварювання рейок.

## Висновок до розділу 3

У цьому розділі наведено заходи із охорони праці та вимоги безпеки при виконанні робіт із алюмотермічного зварювання рейок залізничної колії. Наведено можливі небезпечні та шкідливі виробничі фактори впливу на працівників при виконанні зварювання та розроблено схему огородження місця виконання робіт відповідно до Інструкції із з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України [6].

# ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У кваліфікаційні роботі проведено дослідження, щодо удосконалення організації роботи при застосуванні алюмотермічного зварювання. На основі проведених досліджень отримано такі висновки:

1. Алюмотермічна зварка рейок забезпечує надійне та довговічне з’єднання рейок в стику.

2. Технологічний процес при алюмотермічному зварювання рейок залізничної колії передбачає використання бригади із 2-3 зварювальників, що безпосередньо виконує зварювальні роботи та бригади із 2-3 монтерів колії, які проводять підготовчі робот перед зварюванням рейкового стику.

3. Процес алюмотермічного зварювання рейок складається із послідовності виконання етапів, а саме підготовчі роботи, установлення форм, попереднє підігрівання, заливка термітного складу, охолодження, обрубування та шліфування зварного шва рейок.

4. Запропоновано заходи із удосконалення організації робіт при алюмотермічному зварювання рейок, а саме:

- застосування потокової організації робіт;
- застосування мобільних зварювальних комплексів;
- застосування сучасних цифрових технологій діагностики зварного шва;
- забезпечення чіткої логістики у підготовчий період для проведення алюмотермічного зварювання рейок.

5. При алюмотермічному зварюванні рейок виникають шкідливі та небезпечні фактори виробничого впливу на бригаду зварювальників та монтерів колії. Це пов’язано із наявністю високих температур внаслідок хімічної реакції між алюмінієм та оксидами металів, а також розплавленим металу. Ці чинники мають підвищену небезпеку впливу на бригаду, що вимагає дотримання вимого із охорони праці та забезпечення працівників засобами індивідуального захисту.