

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій  
(повна назва кафедри)

Тернопіль  
2026

## РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання розроблення технологічного процесу виготовлення бокової стінки критого вагона моделі 11-7094. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення якості виготовлення великогабаритних зварних вузлів рухомого складу, зменшення трудомісткості складально-зварювальних операцій та забезпечення стабільної геометрії конструкції під час виробництва.

У роботі проаналізовано призначення та конструкцію критого вагона 11-7094, наведено опис бокової стінки як каркасно-листового зварного вузла, що складається з верхнього і нижнього поясів, крайніх та проміжних стояків, елементів дверного прорізу, підсилювачів, накладок і профільованої обшивки. Встановлено, що для виготовлення стінки доцільно застосовувати сталь 09Г2С, яка має достатню міцність, пластичність, добру технологічність при гнутті та задовільну зварюваність для конструкцій залізничного транспорту. У роботі зазначено, що стінка є відповідальним вузлом, який працює у складі кузова вагона та бере участь у забезпеченні його просторової жорсткості

У технологічній частині обґрунтовано вибір автоматичного та механізованого МАГ-зварювання як раціонального способу з'єднання елементів стінки. Запропоновано використання роботизованого зварювального комплексу для виконання основних повторюваних швів і напівавтоматичного МАГ-поста для прихоплення, складання та допоміжних операцій. Розроблено послідовність виготовлення стінки, яка передбачає вхідний контроль металопрокату, правлення листів, розкрій заготовок, виготовлення гнутих профілів, профілювання обшивки, очищення поверхні, складання у пристосуванні, прихоплення, роботизоване зварювання, контроль якості та підготовку поверхні до нанесення захисного покриття.

У конструкторській частині розглянуто складально-зварювальне оснащення для виготовлення бокової стінки та виконано розрахунок притискних елементів кондуктора. Запропоновано застосування пневматичних притискачів для фіксації

поясів, стояків і профільованої обшивки, що дозволяє забезпечити стабільне положення деталей під час прихоплення та роботизованого MAG-зварювання. Окрему увагу приділено контролю якості зварних з'єднань, для якого прийнято візуально-вимірний, ультразвуковий і магнітопорошковий методи контролю.

У розділі з охорони праці проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати на ділянці виготовлення стінки вагона під час різання, гнуття, очищення, складання, зварювання та контролю. Запропоновано заходи щодо зменшення впливу зварювального аерозолі, пилу, шуму, вібрації, теплового та світлового випромінювання, а також заходи електробезпеки та пожежної профілактики.

Ключові слова: КРИТИЙ ВАГОН, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, РОБОТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС, КОНДУКТОР, ПРИТИСКАЧ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ.

## ЗМІСТ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                         | 7  |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....                                                          | 9  |
| 1.1 Опис конструкції виробу .....                                                   | 9  |
| 1.2 Характеристика матеріалу виробу .....                                           | 14 |
| 1.3 Технічні умови на виготовлення конструкції .....                                | 18 |
| 1.4 Аналіз базового технологічного процесу .....                                    | 22 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....                                                        | 28 |
| 2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання стінки .....                          | 28 |
| 2.3 Вибір методу контролю якості виробу .....                                       | 40 |
| 2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення стінки ...             | 43 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....                                                     | 51 |
| 3.1 Опис роботи установки для складання та зварювання бокової стінки ...            | 51 |
| 3.2 Розрахунок притискних елементів кондуктора .....                                | 53 |
| 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....                              | 58 |
| 4.1 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів на ділянці виготовлення<br>стінки ..... | 58 |
| 4.2 Розрахунок захисного заземлювального пристрою ділянці .....                     | 61 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                       | 63 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                              | 66 |
| ДОДАТКИ.....                                                                        | 68 |

## ВСТУП

Одним із важливих напрямів розвитку сучасного машинобудування є удосконалення зварювальних технологій, оскільки саме вони значною мірою визначають якість, надійність і довговічність металевих конструкцій. У вагонобудуванні зварювання займає особливе місце, адже більшість елементів кузова, рами, стінок, даху та інших несучих або огорожувальних вузлів виготовляються із застосуванням нероз'ємних з'єднань. Від правильного вибору способу зварювання, режимів виконання швів, послідовності складання та контролю якості залежить працездатність вагона в умовах тривалої експлуатації, дії динамічних навантажень, вібрацій і впливу зовнішнього середовища.

Зварювання є одним із найбільш раціональних технологічних процесів отримання міцних і герметичних з'єднань металевих деталей. Його широке застосування у промисловості пояснюється можливістю виготовлення конструкцій складної форми, зменшенням маси виробів, скороченням витрат металу та підвищенням продуктивності виробництва. У процесі виготовлення стінки критого вагона 11-7094 зварювальні операції мають важливе значення, оскільки забезпечують з'єднання листових елементів обшивки, стояків, підсилювальних профілів та інших деталей у єдину просторову конструкцію.

Сучасне зварювальне виробництво характеризується активним впровадженням механізованих, автоматизованих і роботизованих процесів. Такі рішення дозволяють стабілізувати якість зварних швів, зменшити вплив людського чинника, підвищити точність складання та скоротити тривалість виробничого циклу. Для виготовлення великогабаритних вузлів рухомого складу особливо важливим є застосування спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань, кондукторів, притискних пристроїв і кантуючого обладнання, які забезпечують правильне взаємне розташування деталей та мінімізують зварювальні деформації.

Головним завданням зварювального виробництва у вагонобудуванні є створення міцних, технологічних і економічно доцільних конструкцій, здатних надійно працювати в заданих експлуатаційних умовах. При виготовленні стінки критого вагона важливо забезпечити не лише необхідну міцність зварних з'єднань,

а й точність геометричних розмірів, жорсткість каркаса, якість поверхні, стійкість до корозійного впливу та відповідність конструкції вимогам нормативної документації.

Процес зварювання є досить складним, оскільки супроводжується місцевим нагріванням металу, утворенням зварювальної ванни, кристалізацією шва, виникненням залишкових напружень і деформацій. Саме тому при розробленні технологічного процесу необхідно враховувати властивості основного металу, товщину деталей, просторове положення швів, тип з'єднань, вимоги до зовнішнього вигляду та допустимі відхилення. Для конструкцій вагона доцільно застосовувати такі методи зварювання, які забезпечують високу продуктивність, стабільне формування шва та можливість механізації операцій [1].

Розвиток сучасних способів механізованого зварювання, використання напівавтоматичних джерел живлення, зварювальних тракторів, роботизованих комплексів і спеціального оснащення створює передумови для підвищення ефективності виготовлення елементів рухомого складу. Особливо це актуально для виробництва стінки критого вагона 11-7094, яка є великогабаритним вузлом і потребує точного складання, рівномірного проварювання з'єднань та раціональної послідовності виконання операцій.

На сучасному етапі зварювальні технології є невід'ємною складовою машинобудівного виробництва. Разом із процесами термічного різання, правлення, гнуття, наплавлення та контролю якості вони формують основу технологічного циклу виготовлення металоконструкцій. Удосконалення цих процесів дає змогу зменшити трудомісткість робіт, скоротити витрати матеріалів та енергії, підвищити якість зварних вузлів і забезпечити стабільність виготовлення продукції. Саме тому розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення стінки критого вагона 11-7094 є актуальним завданням, спрямованим на підвищення ефективності виробництва, надійності конструкції та її відповідності сучасним вимогам вагонобудування.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції виробу

Критий вагон моделі 11-7094 (рис. 1.1) належить до вантажного рухомого складу закритого типу і призначений для перевезення вантажів, які необхідно захищати від атмосферних опадів, пилу, вологи, сонячного випромінювання та інших зовнішніх чинників. У таких вагонах транспортують тарно-штучні, пакетовані, штабельовані вантажі, промислову продукцію, будівельні матеріали, окремі види сировини, обладнання та інші матеріали, для яких перевезення у відкритому рухомому складі може призвести до пошкодження або погіршення якості.[2]

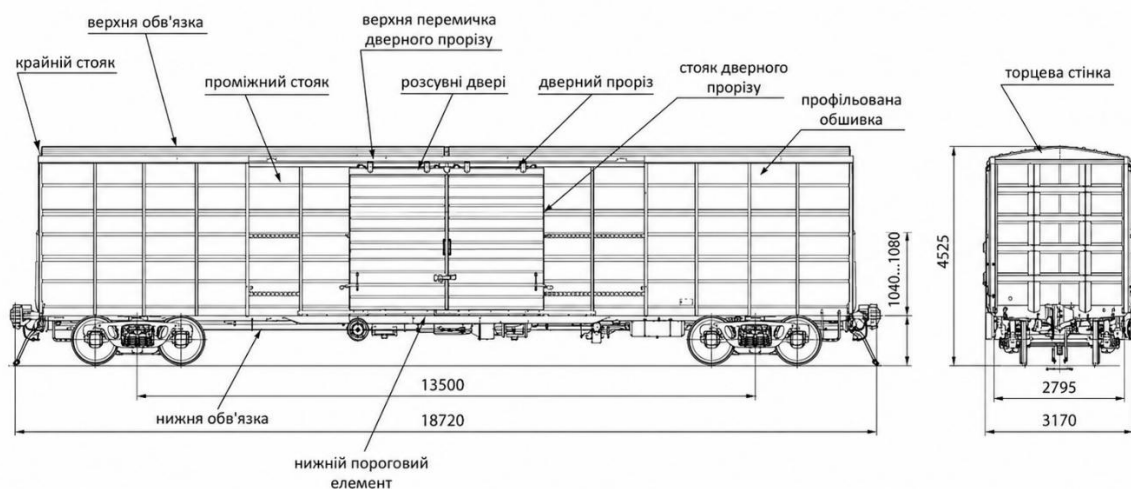


Рис. 1.1 Вагон моделі 11-7094 [2]

Кузов критого вагона виконаний у вигляді суцільнометалевої зварної конструкції. До його основних складових частин належать рама, дві бокові стінки, дві торцеві стінки, дах, підлога, дверне обладнання та внутрішні захисні елементи. Окрім кузовної частини, вагон обладнується ходовою частиною, автозчепними пристроями, автоматичним пневматичним гальмом і стоянковим гальмом. Рама є основним несучим елементом вагона, на який передаються навантаження від кузова, вантажу, ходових візків, гальмівного обладнання та автозчепного пристрою [3-4].

Кузов формує закрите вантажне приміщення, яке повинно забезпечувати збереження вантажу протягом усього періоду транспортування. Його конструкція має достатню міцність, просторову жорсткість і стійкість до дії експлуатаційних навантажень. Під час руху вагон зазнає вібрацій, ударних навантажень, перекосів, дії поздовжніх і поперечних зусиль, а також місцевого тиску від вантажу. Тому елементи кузова повинні бути надійно з'єднані між собою та зберігати геометричну форму в умовах тривалої експлуатації.

Одним із найбільш відповідальних елементів кузова є бокова стінка. Вона формує бокову поверхню вантажного приміщення, захищає вантаж від впливу зовнішнього середовища та бере участь у забезпеченні просторової жорсткості вагона. Під час експлуатації бокова стінка сприймає вібраційні й динамічні навантаження, місцевий тиск від вантажу, зусилля від дверного обладнання, а також навантаження, що виникають у місцях її з'єднання з рамою, дахом і торцевими стінами.

Бокова стінка критого вагона 11-7094 є великогабаритним зварним вузлом каркасно-листового типу. Її основою є металевий каркас, до якого приварюється зовнішня профільована обшивка. Каркас забезпечує жорсткість, міцність і правильну геометричну форму стінки, а обшивка утворює суцільну зовнішню поверхню кузова і захищає вантажний простір від атмосферних впливів. Така конструктивна схема дає змогу отримати достатньо міцну стінку при відносно невеликій масі.



Габаритна довжина бокової стінки критого вагона 11-7094 становить орієнтовно 17492 мм, а висота по боковій стінці — близько 3106 мм. У середній частині стінки передбачений дверний проріз розміром приблизно 3900×2862 мм, який призначений для виконання вантажно-розвантажувальних операцій. Наявність великого дверного отвору полегшує експлуатацію вагона, однак водночас послаблює середню частину каркаса. Тому зона дверного прорізу підсилюється додатковими стояками, перемичками, накладками та іншими профільними деталями.

Основу каркаса бокової стінки становлять переважно гнуті швелероподібні профілі, виготовлені з листового сталевого прокату. Їх застосування є раціональним для кузовних конструкцій вагонів, оскільки такі профілі поєднують достатню жорсткість, відносно невелику масу та зручність зварювання з листовою обшивкою. Порівняно з гарячекатаними швелерами гнуті профілі мають кращу технологічність для виготовлення тонкостінних каркасних конструкцій і дають змогу раціональніше використовувати метал.

Каркас бокової стінки складається з верхньої та нижньої обв'язок, крайніх стояків, проміжних стояків, стояків дверного прорізу, верхньої перемички дверного отвору, нижнього порогового елемента, горизонтальних підсилювачів, ребер жорсткості, накладок і косинок. Більшість цих деталей виготовляється з гнутих швелероподібних профілів різного перерізу. Для окремих допоміжних і підсилювальних елементів можуть застосовуватися гнуті Г-подібні профілі, смуги та листові деталі [5-6].

Верхня обв'язка є поздовжнім елементом каркаса, який проходить по всій довжині бокової стінки. Для її виготовлення застосовують гнутий швелероподібний профіль 160×80×6 мм довжиною близько 17492 мм. Верхня обв'язка формує верхній пояс каркаса, з'єднує вертикальні стояки між собою та забезпечує зв'язок бокової стінки з елементами даху. Крім того, вона підтримує прямолінійність верхньої частини стінки під час складання, зварювання та експлуатації.

Нижня обв'язка є опорним елементом бокової стінки. Вона розташовується в нижній частині конструкції та забезпечує її з'єднання з рамою вагона. Для нижньої обв'язки використовують посилений гнучий швелероподібний профіль  $180 \times 80 \times 6$  мм або  $180 \times 100 \times 6$  мм довжиною близько 17492 мм. Через цей елемент навантаження від стояків, обшивки, дверного вузла та місцевих підсилювачів передаються на несучу систему кузова. Від точності виготовлення нижньої обв'язки залежить правильність встановлення всієї стінки на раму вагона.

Крайні стояки встановлюються по торцях бокової стінки. Вони формують крайні ділянки каркаса та забезпечують стикування бокової стіни з торцевими стінами кузова. Для цих елементів застосовують гнучий швелероподібний профіль  $140 \times 70 \times 5$  мм довжиною близько 3106 мм. Крайні стояки працюють у зоні з'єднання кількох частин кузова, тому до них висуваються підвищені вимоги щодо жорсткості, точності встановлення і якості зварних швів.

Проміжні стояки розміщуються по довжині стінки між крайніми стояками та дверним прорізом. Вони поділяють площину стінки на окремі ділянки, зменшують вільну площу листової обшивки та запобігають її прогину. Для проміжних стояків застосовують гнучі швелероподібні профілі  $120 \times 60 \times 5$  мм або  $120 \times 60 \times 4$  мм довжиною до 3106 мм. Такого перерізу достатньо для забезпечення необхідної жорсткості при збереженні помірної маси конструкції.

Стояки дверного прорізу є посиленими вертикальними елементами, які обмежують дверний отвір з обох боків. Їх довжина становить 2862 мм, що відповідає висоті дверного прорізу. Для цих деталей використовують гнучий швелероподібний профіль  $160 \times 80 \times 6$  мм. Стояки дверного прорізу сприймають навантаження від дверей, напрямних, запірних пристроїв і зусилля, які виникають під час відкривання та закривання дверей. Оскільки дверний проріз перериває суцільність стінки, ці елементи повинні мати підвищену жорсткість.

Верхня перемичка дверного прорізу з'єднує дверні стояки у верхній частині. Вона виготовляється з гнутого швелероподібного профілю  $160 \times 80 \times 6$  мм довжиною близько 3900 мм. Перемичка забезпечує жорсткість верхньої частини дверного отвору, запобігає його деформації та підтримує правильне положення елементів

дверного обладнання. Через неї частина зусиль від верхньої частини стінки передається на дверні стояки.

Нижній пороговий елемент розташовується в нижній частині дверного прорізу. Його довжина становить 3900 мм. Для цього елемента застосовується посилений гнутий швелероподібний профіль  $180 \times 80 \times 6$  мм, оскільки нижня зона прорізу може зазнавати місцевих навантажень під час завантаження, розвантаження та переміщення вантажу. Пороговий елемент формує нижню межу дверного отвору та підсилює зону встановлення дверного обладнання.

Горизонтальні підсилювачі встановлюються між вертикальними стояками або в окремих ділянках, де необхідно підвищити жорсткість стінки у площині. Для їх виготовлення застосовують швелероподібні профілі  $100 \times 50 \times 4$  мм. Довжина цих елементів визначається відстанню між сусідніми стояками. Горизонтальні підсилювачі зменшують прогин листової обшивки, підвищують її стійкість до хвилястості та сприяють рівномірнішому розподілу навантажень.

Ребра жорсткості виготовляються зі смуги або гнутих листових елементів товщиною 4–6 мм. Вони встановлюються в місцях, де можливе виникнення місцевих деформацій або підвищених напружень. Накладки та косинки виконуються з листового прокату товщиною 6–8 мм і застосовуються для підсилення стиків стояків з обв'язками, дверної зони, місць кріплення напрямних і вузлів, що працюють під дією зосереджених навантажень.

Зовнішня обшивка бокової стінки виготовляється з профільованого або гофрованого листового сталевого прокату товщиною 2–3 мм. Профілювання листів підвищує їхню жорсткість, зменшує ймовірність появи хвилястості та дозволяє не збільшувати товщину металу. Обшивка приварюється до елементів каркаса і разом з ними утворює єдину зварну конструкцію. Вона виконує захисну функцію, а також бере участь у роботі стінки як просторового елемента кузова.

З внутрішнього боку бокова стінка може мати захисне облицювання з вологостійкої фанери товщиною 8–10 мм. Таке облицювання захищає металеву обшивку від пошкодження вантажем, зменшує ризик появи вм'ятин і подряпин, а також створює більш рівну внутрішню поверхню вантажного приміщення.

Основні профілі та деталі, які застосовуються для виготовлення стінки критого вагона 11-7094, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Профілі та деталі стінки критого вагона 11-7094

| Найменування елемента             | Кількість, шт.  | Прийнятий профіль або матеріал           | Орієнтовний розмір елемента        |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| Верхня обв'язка                   | 1               | Гнутий швелероподібний профіль           | 160×80×6 мм; L ≈ 17492 мм          |
| Нижня обв'язка                    | 1               | Посилений гнутий швелероподібний профіль | 180×100×6 мм; L ≈ 17492 мм         |
| Крайні стояки                     | 2               | Гнутий швелероподібний профіль           | 140×70×5 мм; L ≈ 3106 мм           |
| Проміжні стояки                   | 6–10            | Гнутий швелероподібний профіль           | 120×60×5 мм ; L до 3106 мм         |
| Стояки дверного прорізу           | 2               | Посилений гнутий швелероподібний профіль | 160×80×6 мм; L ≈ 2862 мм           |
| Верхня перемичка дверного прорізу | 1               | Гнутий швелероподібний профіль           | 160×80×6 мм; L ≈ 3900 мм           |
| Нижній пороговий елемент          | 1               | Посилений гнутий швелероподібний профіль | 180×80×6 мм; L ≈ 3900 мм           |
| Горизонтальні підсилювачі         | 2–4             | Гнутий швелероподібний                   | 100×50×4 мм                        |
| Ребра жорсткості                  | За потребою     | Гнутий листовий елемент                  | Товщина 4–6 мм                     |
| Накладки та косинки               | За потребою     | Листовий прокат                          | Товщина 6–8 мм                     |
| Зовнішня обшивка                  | Декілька листів | Профільований або гофрований лист        | Товщина 2–3 мм; розміри за розкром |

## 1.2 Характеристика матеріалу виробу

Стінки критого вагона 11-7094 виготовляють із низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С. Застосування цієї сталі зумовлене тим, що стінка є

відповідальним великогабаритним зварним вузлом каркасно-листового типу. У процесі експлуатації вона сприймає вібраційні та динамічні навантаження, місцевий тиск від вантажу, зусилля від дверного обладнання, а також навантаження, які виникають у місцях з'єднання з рамою, дахом і торцевими стінами кузова.

Сталь 09Г2С належить до низьколегованих маловуглецевих конструкційних сталей. Вона добре підходить для виготовлення зварних металоконструкцій, які працюють під дією змінних навантажень. Для стінки критого вагона ця сталь є раціональним матеріалом, оскільки має достатню міцність, пластичність, стійкість до крихкого руйнування, а також добре піддається різанню, правленню, гнуттю, профілюванню та зварюванню [7-8].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С, %

| Марка сталі | C       | Si        | Mn        | Ni      | S        | P        | Cr      | N        | Cu      | As       |
|-------------|---------|-----------|-----------|---------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 09Г2С       | до 0,12 | 0,50–0,80 | 1,30–1,70 | до 0,30 | до 0,040 | до 0,035 | до 0,30 | до 0,008 | до 0,30 | до 0,080 |

Механічні властивості сталі 09Г2С забезпечують необхідну міцність і жорсткість бокової стінки вагона. Особливо важливим є використання цього матеріалу для гнутих швелероподібних профілів каркаса, зокрема верхньої та нижньої обв'язок, крайніх і проміжних стояків, а також елементів дверного прорізу. У зоні дверей конструкція має великий отвір, тому саме ця частина потребує підвищеної жорсткості та стабільності форми [7].

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 09Г2С

| Марка сталі | Вид прокату                | Товщина прокату, мм | Границя текучості $\sigma_t$ , МПа, не менше | Тимчасовий опір $\sigma_b$ , МПа | Відносне видовження $\delta_5$ , %, не менше |
|-------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| 09Г2С       | Листовий і фасонний прокат | 4–32                | 345–365                                      | 470–510                          | 19–21                                        |

Із сталі 09Г2С виготовляють профілі каркаса перерізом 120×60×4 мм, 120×60×5 мм, 140×70×5 мм, 160×80×6 мм та 180×80×6 мм. Такі елементи

забезпечують жорсткість стінки, сприймають експлуатаційні навантаження та передають їх на суміжні вузли кузова. Зовнішню профільовану обшивку також виготовляють зі сталі 09Г2С, оскільки вона працює разом із каркасом і бере участь у забезпеченні загальної жорсткості бокової стінки.

Важливою технологічною характеристикою сталі є її зварюваність. Під зварюваністю розуміють здатність металу за прийнятої технології утворювати зварне з'єднання, яке відповідає вимогам міцності, пластичності та довговічності. Для бокової стінки критого вагона цей показник має особливе значення, оскільки її конструкція містить значну кількість зварних швів між гнутими профілями, листовою обшивкою та підсилювальними деталями.

До основних чинників, які впливають на зварюваність сталі, належать хімічний склад, вміст вуглецю, товщина металу, швидкість охолодження зварного з'єднання, режим зварювання та жорсткість закріплення деталей у складально-зварювальному пристосуванні. Попередньо зварюваність сталі можна оцінити за величиною вуглецевого еквівалента.

Визначення вуглецевого еквівалента за методикою Міжнародного інституту зварювання [9]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$
$$C_{\text{екв}} = 0,09 + \frac{1,50}{6} + \frac{0,15 + 0 + 0}{5} + \frac{0,15 + 0,15}{15} = 0,39$$

Отже,  $C_{\text{екв}} = 0,39\%$ .

Оскільки отримане значення є меншим за 0,40 %, сталь 09Г2С за цією методикою можна віднести до сталей із доброю зварюваністю. Для елементів бокової стінки товщиною до 6 мм попереднє підігрівання за нормальних умов зварювання не є обов'язковим.

За методикою Д. Сеферіана загальний еквівалент вуглецю визначається як сума хімічного та розмірного еквівалентів [9]:

$$C_{\text{екв}} = [C]_x + [C]_p$$

де  $[C]_x$ — хімічний еквівалент вуглецю, який враховує склад сталі;

$[C]_p$ — розмірний еквівалент вуглецю, який враховує товщину зварюваного металу.

Хімічний еквівалент визначається за залежністю:

$$360[C]_x = 360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo$$

$$360[C]_x = 360 \cdot 0,09 + 40(1,50 + 0,15) + 20 \cdot 0,15 + 28 \cdot 0 = 101,4$$

$$[C]_x = \frac{101,4}{360} = 0,282$$

Розмірний еквівалент визначається за формулою:

$$[C]_p = 0,005 \cdot S \cdot [C]_x$$

де  $S = 6\text{ мм}$  — товщина зварюваного металу.

$$[C]_p = 0,005 \cdot 6 \cdot 0,282 = 0,0085$$

Тоді загальний еквівалент вуглецю становить:

$$C_{\text{екв}} = 0,282 + 0,0085 = 0,2905$$

Отже,  $C_{\text{екв}} = 0,29$ .

За методикою Д. Сеферіана сталь 09Г2С також має добру зварюваність. Отримане значення є невисоким, тому при зварюванні профільних і листових елементів бокової стінки товщиною 2–6 мм попереднє підігрівання зазвичай не потрібне. У відповідальних зонах, зокрема біля дверного прорізу, а також при виконанні робіт за низької температури може застосовуватися місцевий підігрів до 60–80 °С.

Теоретичну оцінку зварюваності низьколегованих сталей можна також виконати за формулою [9]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10}$$

$$C_{\text{екв}} = 0,09 + \frac{1,50}{20} + \frac{0,65}{30} + \frac{0,15}{60} + \frac{0,15}{20} + \frac{0}{15} + \frac{0}{10} = 0,1967$$

Отже,  $C_{\text{екв}} = 0,20$ .

За цим розрахунком сталь 09Г2С також належить до добре зварюваних сталей. Невелике значення еквівалентного вуглецю свідчить про низьку схильність

металу до утворення холодних тріщин за умови правильного вибору режимів зварювання.

Під час зварювання сталі 09Г2С необхідно контролювати тепловкладення. Надмірний нагрів може призвести до збільшення зони термічного впливу, жолоблення тонколистової обшивки та появи залишкових деформацій. Недостатнє тепловкладення, навпаки, може спричинити непровар або нестабільне формування шва. Тому під час виготовлення бокової стінки критого вагона доцільно застосовувати механізоване дугове зварювання плавким дротом у середовищі захисних газів, яке забезпечує стабільну якість швів і достатню продуктивність процесу.

Водночас у відповідальних ділянках і за знижених температур доцільно застосовувати місцевий підігрів до 60–80 °С, що підвищує стабільність формування шва та надійність зварного з'єднання..

### **1.3 Технічні умови на виготовлення конструкції**

Виготовлення стінки критого вагона 11-7094 повинно виконуватися відповідно до робочих креслень, технологічної документації та вимог чинних нормативних документів, що регламентують виготовлення зварних конструкцій залізничного рухомого складу. У процесі виробництва необхідно забезпечити точність габаритних розмірів, правильне взаємне розташування елементів каркаса, стабільність геометрії дверного прорізу, якість зварних з'єднань і відповідність готового вузла умовам подальшої експлуатації у складі кузова вагона.

Стінка критого вагона є відповідальним каркасно-листовим вузлом, який під час експлуатації сприймає вібраційні, динамічні та місцеві навантаження. Тому її конструкція повинна відповідати загальним вимогам до вантажних вагонів згідно з ДСТУ 7598:2014. Вимоги цього стандарту необхідно враховувати при забезпеченні міцності, жорсткості, стійкості та надійності елементів кузова. Стінка повинна зберігати проєктну форму під час руху вагона, маневрових робіт, завантаження та розвантаження.



Матеріал, з якого виготовляють стінку, повинен відповідати вимогам ДСТУ 8541:2015 щодо хімічного складу, механічних властивостей, якості поверхні та придатності до зварювання. Металеві елементи стінки виготовляють зі сталі 09Г2С. Прокат, що надходить у виробництво, повинен мати документ про якість із зазначенням марки сталі, номера плавки, товщини, хімічного складу, механічних характеристик і підтвердження відповідності встановленим вимогам.

Перед запуском матеріалу у виробництво проводять вхідний контроль. Під час контролю перевіряють відповідність сталі вимогам стандарту, стан поверхні, товщину прокату, відсутність тріщин, розшарувань, глибоких рисок, корозійних пошкоджень, вм'ятин, забоїн та інших дефектів. Не допускається застосування металу з пошкодженнями, які можуть знизити міцність стінки, погіршити якість зварювання або спричинити дефекти під час гнуття профілів.

Гнуті швелероподібні профілі, з яких виготовляють верхню і нижню обв'язки, крайні та проміжні стояки, стояки дверного прорізу, перемички та підсилювачі, повинні мати правильну форму поперечного перерізу, рівномірну товщину стінок і полиць, а також допустиму прямолінійність по довжині. У місцях згину не допускаються тріщини, надриви, складки металу, різке потоншення або інші дефекти, які можуть знизити несучу здатність профілю. Профільована обшивка повинна мати рівномірний крок гофрів, однакову висоту профілювання та рівну поверхню без значної хвилястості.

Розкрій листового і профільного прокату необхідно виконувати відповідно до технологічних карт з урахуванням припусків на складання, оброблення кромки і можливі зварювальні деформації. Після різання кромки деталей мають бути очищені від задирок, окалини, напливів металу та гострих нерівностей. Поверхні у зоні майбутнього зварювання повинні бути очищені від іржі, вологи, мастила, фарби, пилу та інших забруднень, які можуть погіршити якість зварного шва.

Конструкція стінки повинна бути виконана так, щоб уникати різких переходів перерізу, гострих кутів, необґрунтованих вирізів та інших конструктивних особливостей, які можуть викликати концентрацію напружень. Особливу увагу необхідно приділяти зоні дверного прорізу, стикам стояків з

обв'язками, місцям кріплення напрямних дверей і ділянкам встановлення підсилювальних елементів. У цих зонах повинні застосовуватися накладки, косинки або ребра жорсткості, які забезпечують рівномірне передавання навантажень між деталями.

Складання стінки слід виконувати у спеціальному складально-зварювальному пристосуванні або кондукторі. Оснащення повинно забезпечувати точне встановлення верхньої та нижньої обв'язок, крайніх і проміжних стояків, стояків дверного прорізу, перемичок, горизонтальних підсилювачів і листів обшивки. Деталі необхідно фіксувати без перекосів, зміщень і примусового підгину, оскільки це може призвести до залишкових напружень і порушення геометрії готового вузла.

У процесі складання контролюють габаритні розміри стінки, прямолінійність обв'язок, перпендикулярність стояків, правильність розташування проміжних профілів, ширину і висоту дверного прорізу, а також різницю діагоналей. Дверний проріз повинен відповідати кресленню, оскільки його перекіс може ускладнити переміщення дверей, порушити щільність їх закривання та спричинити підвищене зношування напрямних елементів.

Зварні з'єднання стінки повинні виконуватися відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 5817:2022, технологічної документації та робочих креслень. У конструкції застосовують стикові, кутові та напусткові з'єднання. Їх тип визначається взаємним розташуванням деталей, товщиною металу, характером навантаження та доступністю шва для виконання і контролю. Геометричні параметри з'єднаних елементів повинні забезпечувати складання без додаткового припасування, стабільність зазорів і отримання кінцевих розмірів, передбачених кресленням.

Режими зварювання повинні забезпечувати необхідну якість швів, достатнє проплавлення з'єднаних елементів і мінімальні залишкові деформації. При зварюванні тонколистової профільованої обшивки необхідно обмежувати тепловкладення, оскільки надмірний нагрів може спричинити жолоблення, хвилястість і порушення форми листів. Для зменшення деформацій слід

застосовувати прихоплення, симетричне накладання швів, чергування ділянок зварювання та проміжний контроль геометричних параметрів.

Зварні шви повинні мати рівномірну ширину, плавний перехід до основного металу, суцільне формування по всій довжині та відповідати вимогам креслень і технічних умов. Не допускаються тріщини, прожоги, незаварені кратери, грубі подрізи, непровари, пори, шлакові включення та інші дефекти, які знижують міцність або довговічність конструкції. Початкові та кінцеві ділянки швів повинні бути якісно заварені.

Дефектні ділянки зварних з'єднань підлягають видаленню та повторному зварюванню згідно з технологічною документацією. Виправлення одного й того самого місця повинно бути обмеженим, оскільки багаторазове нагрівання може погіршити структуру металу, збільшити залишкові напруження та спричинити додаткові деформації. Дефекти, розміри яких не перевищують допустимі норми, можуть залишатися без виправлення лише у випадках, передбачених нормативною та технічною документацією.

Контроль якості виготовлення стінки здійснюють на всіх основних етапах виробництва. До початку зварювання перевіряють відповідність матеріалу, якість підготовки кромek, правильність складання, величину зазорів, розташування прихоплень і стан складально-зварювального оснащення. У процесі зварювання контролюють дотримання технологічних режимів, послідовність виконання швів, стабільність процесу та відсутність надмірних деформацій.

Після завершення зварювальних робіт виконують візуально-вимірювальний контроль відповідно до ДСТУ EN ISO 17637:2017. Під час контролю перевіряють зовнішній вигляд зварних швів, їх геометричні параметри, наявність поверхневих дефектів, прямолінійність обв'язок, положення стояків, стан профільованої обшивки, геометрію дверного прорізу та відповідність загальних розмірів стінки робочому кресленню. За потреби для відповідальних або сумнівних ділянок можуть застосовуватися додаткові методи неруйнівного контролю відповідно до вимог технічної документації.

Після приймання зварних з'єднань стінку очищають від бризок металу, окалини, шлаку, пилу, мастила та інших забруднень. Поверхні, які підлягають нанесенню захисного покриття, повинні бути сухими, чистими та підготовленими до фарбування. Нанесення лакофарбового покриття дозволяється виконувати тільки після приймання виробу відділом технічного контролю.

Антикорозійний захист стінки повинен відповідати вимогам ДСТУ ISO 12944. Лакофарбове покриття має забезпечувати захист металу від корозії в умовах атмосферного впливу та експлуатації вантажного вагона. Перед фарбуванням поверхню необхідно підготувати так, щоб забезпечити надійну адгезію ґрунту і фарби. На поверхні не допускаються залишки шлаку, бризки металу, пил, мастило, волога та інші забруднення.

Готова стінка критого вагона 11-7094 повинна відповідати робочому кресленню за габаритними розмірами, формою, розташуванням профільних елементів, якістю зварних швів і станом поверхні. Не допускаються перекося, залишкові деформації, порушення геометрії дверного прорізу, тріщини у зварних з'єднаннях, відшарування обшивки, пошкодження профілів або дефекти покриття, які можуть ускладнити монтаж стінки в кузов або знизити її експлуатаційну надійність.

#### **1.4 Аналіз базового технологічного процесу**

Стінка критого вагона 11-7094 є великогабаритною каркасно-листовою зварною конструкцією, яка складається з гнутих швелероподібних профілів, профільованої листової обшивки, елементів дверного прорізу, підсилювачів, накладок і ребер жорсткості. Виготовлення такого вузла потребує високої точності складання, стабільної геометрії каркаса та якісного виконання зварних з'єднань, оскільки стінка працює у складі кузова вагона і бере участь у забезпеченні його просторової жорсткості.

Існуючі технології виготовлення стінок вантажних вагонів переважно базуються на поетапному виготовленні окремих елементів із подальшим складанням їх у загальний вузол. Спочатку здійснюють підготовку листового та

профільного прокату, після чого виконують розкрій заготовок, формування профілів, виготовлення обшивки, складання каркаса, прихоплення деталей, основне зварювання, контроль якості, очищення та підготовку поверхні до нанесення захисного покриття. Така послідовність є типовою для виробництва кузовних елементів залізничного рухомого складу.

На першому етапі проводять вхідний контроль металу. Перевіряють відповідність сталі вимогам нормативної документації, наявність сертифікатів, марку сталі, товщину прокату, стан поверхні та відсутність дефектів. Для виготовлення стінки критого вагона застосовується сталь 09Г2С, тому особливу увагу приділяють її зварюваності, пластичності та придатності до гнуття. Прокат із тріщинами, розшаруваннями, значною корозією, глибокими рисками або іншими пошкодженнями у виробництво не допускається.

Після вхідного контролю виконують підготовку листового прокату. Листи очищають від забруднень, іржі, окалини та за потреби правлять для усунення хвилястості або залишкових деформацій. Якість правлення має велике значення, оскільки від рівності листа залежить точність подальшого профілювання обшивки та якість її прилягання до каркаса. Недостатньо вирівняний лист може спричинити перекоси, нерівномірні зазори та підвищені зварювальні деформації.

Розкрій заготовок у сучасному виробництві може виконуватися механічним, плазмовим або лазерним способом. Традиційно для різання листового металу використовували гільйотинні ножиці, однак такий метод має обмеження за точністю та складністю контуру. Більш сучасним є застосування верстатів термічного різання з числовим програмним керуванням. Плазмове різання забезпечує достатню продуктивність при виготовленні великогабаритних деталей, а лазерне різання дає вищу точність, чистішу кромку та меншу зону термічного впливу. Для стінки вагона, де важлива точність заготовок і якість складання, застосування CNC-різання є більш раціональним порівняно з ручною розміткою та різанням.

Основні елементи каркаса стінки виготовляють із гнутих швелероподібних профілів. У традиційній технології профілі можуть отримувати шляхом гнуття на

листоазгинальних пресах або профілезгинальних машинах. Такий підхід дає змогу виготовляти верхню і нижню обв'язки, крайні та проміжні стояки, стояки дверного прорізу і перемички з листового прокату потрібної товщини. Перевагою гнутих профілів є менша маса порівняно з гарячекатаним прокатом, достатня жорсткість і краща технологічність при складанні каркасно-листових конструкцій.

Профільовану обшивку стінки виготовляють із листового прокату шляхом холодного формування. Наявність гофрів або профільованих ділянок підвищує жорсткість листа без збільшення його товщини. У традиційному виробництві профілювання може виконуватися на пресовому обладнанні або роликів профілювальних лініях. При цьому важливо забезпечити однакову висоту гофрів, рівномірний крок профілювання та відсутність тріщин у місцях згину. Нерівномірне профілювання негативно впливає на зовнішній вигляд стінки, її жорсткість і якість прилягання до каркаса.

Складання каркаса стінки є одним із найбільш відповідальних етапів. У менш досконалих технологіях складання може виконуватися на розмічальній плиті або універсальному стенді з використанням ручного встановлення деталей. Такий спосіб є трудомістким, залежить від кваліфікації працівників і не завжди забезпечує високу повторюваність розмірів. Крім того, при ручному складанні зростає ймовірність перекосу дверного прорізу, зміщення стояків і порушення паралельності обв'язок.

Більш ефективним є складання стінки у спеціальному кондукторі або складально-зварювальному пристосуванні. У такому оснащенні фіксуються верхня та нижня обв'язки, крайні й проміжні стояки, стояки дверного прорізу, верхня перемичка, нижній пороговий елемент і підсилювачі. Кондуктор забезпечує правильне взаємне розташування деталей, зменшує час розмічання, підвищує точність складання і дає змогу знизити вплив зварювальних деформацій. Для стінки критого вагона 11-7094 застосування такого пристосування є доцільним, оскільки вузол має значну довжину та складну зону дверного прорізу.

Після складання елементи каркаса з'єднують прихопленнями. Прихоплення повинні забезпечувати фіксацію деталей до виконання основного зварювання, але

не створювати надмірних місцевих напружень. Їх розташовують у місцях, які не заважають подальшому формуванню основних швів. Неправильне виконання прихоплень може призвести до зміщення деталей, появи зазорів або утворення дефектів у зварному з'єднанні.

Зварювання стінок вагонів у традиційних технологіях може виконуватися ручним дуговим або механізованим способом. Ручне дугове зварювання має універсальність, але є менш продуктивним і значною мірою залежить від кваліфікації зварника. Для великогабаритної серійної конструкції, якою є бокова стінка вагона, більш раціональним є механізоване зварювання плавким дротом у середовищі захисних газів. Воно забезпечує вищу продуктивність, стабільніше формування шва, менше розбризкування металу та кращу повторюваність якості з'єднань.

Під час зварювання стінки особливо важливо враховувати наявність тонколистової профільованої обшивки. Надмірне тепловкладення може спричинити жолоблення листів, хвилястість, місцеві прогини та втрату геометрії. Тому у наявних технологіях застосовують короткі або переривчасті шви, чергування ділянок зварювання, симетричне накладання швів, фіксацію деталей у пристосуванні та проміжний контроль розмірів. Проте при недостатньому рівні механізації ці заходи не завжди забезпечують стабільну якість, особливо при серійному виготовленні.

Після зварювання виконують контроль якості. Найчастіше застосовують візуально-вимірний контроль, за допомогою якого перевіряють зовнішній вигляд швів, розміри, наявність подрізів, пор, тріщин, напливів, кратерів та інших поверхневих дефектів. Також контролюють габаритні розміри стінки, прямолінійність обв'язок, положення стояків, геометрію дверного прорізу та стан обшивки. Для відповідальних або сумнівних ділянок можуть застосовуватися додаткові методи неруйнівного контролю.

Завершальними операціями є очищення стінки від бризок металу, окалини, шлаку, пилу та забруднень, виправлення допустимих деформацій, повторний контроль і підготовка поверхні до нанесення захисного покриття. Антикорозійний

захист має важливе значення, оскільки стінка вагона експлуатується в умовах атмосферного впливу, перепадів температури, вологи та механічного контакту з вантажем.

Аналіз існуючих технологій показує, що основними недоліками традиційного виготовлення стінок вагонів є значна трудомісткість ручних операцій, залежність якості від кваліфікації виконавців, складність забезпечення стабільної геометрії великогабаритного вузла, імовірність зварювальних деформацій тонколистової обшивки та потреба у значному обсязі контрольних і виправних операцій. Найбільш проблемними зонами є дверний проріз, стики стояків з обв'язками, місця приварювання обшивки та ділянки з підсилювачами.

Для підвищення ефективності виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 доцільно передбачити низку технологічних удосконалень. Насамперед необхідно застосовувати точний розкрій заготовок на обладнанні з числовим програмним керуванням. Це дозволяє підвищити точність деталей, зменшити обсяг ручного припасування, скоротити витрати металу та забезпечити стабільність зазорів при складанні.

Другим напрямом удосконалення є використання спеціалізованого складально-зварювального кондуктора. Таке оснащення повинно забезпечувати базування обв'язок, стояків, елементів дверного прорізу та обшивки. Застосування кондуктора дає змогу зменшити перекоси, забезпечити правильну форму дверного прорізу, скоротити час складання та підвищити повторюваність геометричних параметрів стінки.

Третім важливим напрямом є заміна переважно ручного зварювання на механізоване зварювання в середовищі захисних газів. Це дозволяє підвищити продуктивність, зменшити кількість дефектів, стабілізувати геометрію шва і покращити умови праці. Для окремих однотипних швів у серійному виробництві можливе застосування автоматизованих або роботизованих зварювальних комплексів, особливо на ділянках приварювання стояків і підсилювачів.

Четвертим напрямом удосконалення є оптимізація послідовності зварювання. Шви необхідно виконувати з урахуванням симетрії конструкції,



чергування сторін і обмеження тепловкладення. Це дасть змогу зменшити залишкові деформації, зберегти площинність обшивки та стабільність дверного прорізу. Для тонколистової обшивки доцільно використовувати короткі шви або зварювання окремими ділянками з проміжним охолодженням.

Також доцільно вдосконалити систему контролю якості. Контроль необхідно проводити не лише після завершення зварювання, а й на проміжних етапах: після розкрою, після гнуття профілів, після складання каркаса, після прихоплення і після основного зварювання. Такий підхід дозволяє виявляти відхилення на ранніх стадіях і запобігати накопиченню помилок у готовому виробі.

Окрему увагу слід приділити підготовці поверхні та антикорозійному захисту. Використання механізованого очищення, дробоструминної обробки або якісного абразивного очищення перед фарбуванням забезпечує кращу адгезію лакофарбового покриття і підвищує довговічність стінки. Це особливо важливо для зовнішніх поверхонь вагона, які постійно контактують з атмосферним середовищем.

## **2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання стінки**

Вибір способу зварювання для стінки критого вагона 11-7094 необхідно виконувати з урахуванням конструкції виробу, властивостей основного металу, товщини деталей, кількості та довжини зварних швів, а також умов серійного виготовлення. Стінка є великогабаритним каркасно-листовим вузлом, у якому гнуті швелероподібні профілі поєднуються з тонколистовою профільованою обшивкою. Після складання ці елементи повинні утворювати жорстку просторову систему, здатну сприймати вібраційні, динамічні та місцеві навантаження, які виникають під час експлуатації вагона.

Обґрунтування технології зварювання доцільно виконувати на основі конструктивно-технологічного аналізу виробу. При цьому враховують призначення стінки, умови її роботи, зварюваність сталі 09Г2С, характер з'єднань, доступність швів, можливість застосування складально-зварювального оснащення та вимоги до якості готової конструкції. Саме такий підхід дозволяє вибрати спосіб зварювання, який забезпечує необхідну міцність швів, стабільність геометрії та раціональні виробничі витрати.

Стінка критого вагона має складну конструктивну схему. Її каркас складається з верхньої та нижньої обв'язок, крайніх і проміжних стояків, стояків дверного прорізу, перемичок, горизонтальних підсилювачів, накладок і ребер жорсткості. Основні профільні елементи мають товщину переважно 4–6 мм, тоді як профільована обшивка виготовляється з листового прокату товщиною близько 2–3 мм. Тому обраний спосіб зварювання повинен забезпечувати надійне проплавлення профілів і водночас не викликати надмірного нагрівання тонколистової обшивки.

Для виготовлення такої конструкції можуть розглядатися ручне дугове зварювання, автоматичне під шаром флюсу, контактне, механізоване та автоматичне MAG-зварювання. Кожен із цих способів має певну сферу застосування, однак для бокової стінки критого вагона вони не є рівноцінними за технологічною доцільністю.

Ручне дугове є достатньо універсальним і може застосовуватися при виконанні ремонтних, прихоплювальних або допоміжних операцій. Його перевагою є простота обладнання та можливість роботи у різних просторових положеннях. Проте для основного виготовлення стінки цей спосіб є малоефективним. Велика кількість однотипних з'єднань, значна протяжність швів і потреба у стабільній якості роблять ручне зварювання недостатньо продуктивним. Крім того, якість шва значною мірою залежить від кваліфікації зварника, а наявність шлакової кірки збільшує трудомісткість очищення та контролю [14].

Автоматичне під флюсом забезпечує високу продуктивність і якісне формування довгих прямолінійних швів. Однак для стінки критого вагона його використання обмежується конструктивними особливостями вузла. У стінці наявна значна кількість кутових, напусткових і коротких з'єднань, а також тонколистова профільована обшивка, яка чутлива до перегріву. Через значне тепловкладення цей спосіб може спричиняти жолоблення листів, порушення площинності обшивки та появу залишкових деформацій. Тому зварювання під флюсом доцільніше застосовувати для масивніших довгих швів, але не як основний спосіб для даної стінки [14].

Контактне зварювання має переваги при з'єднанні тонколистових деталей у масовому виробництві, однак для бокової стінки вагона воно не є раціональним основним способом. Це пояснюється великими габаритами виробу, наявністю профільних елементів, різною товщиною деталей і складністю забезпечення доступу електродів до всіх зон з'єднання. Крім того, більшість швів каркаса має кутовий або напустковий характер, що краще реалізується дуговими способами зварювання [14].

Механізоване MAG-зварювання є більш продуктивним порівняно з ручним і забезпечує кращу стабільність формування шва. Воно дозволяє працювати з низьколегованими сталями, зменшує обсяг післязварювального очищення та дає можливість регулювати тепловкладення. Водночас при ручному переміщенні пальника якість шва залежить від оператора: від рівномірності швидкості руху, кута нахилу пальника, довжини дуги та стабільності вильоту дроту. Для серійного

виготовлення стінки, де важлива повторюваність з'єднань, доцільніше застосувати автоматизоване виконання процесу.

Найбільш раціональним способом для виготовлення стінки критого вагона 11-7094 є автоматичне MAG-зварювання. Цей спосіб поєднує високу продуктивність, стабільність параметрів, якісне формування шва та можливість точного керування тепловим впливом на зварювані деталі. Для конструкції зі сталі 09Г2С такий варіант є технологічно обґрунтованим, оскільки дозволяє отримувати рівномірні та надійні з'єднання без надмірного перегріву металу.

Перевага автоматичного MAG-зварювання полягає в тому, що основні параметри процесу підтримуються стабільно протягом усього виконання шва. До таких параметрів належать сила струму, напруга дуги, швидкість подачі дроту, швидкість переміщення пальника, виліт електрода та витрата захисного газу. Завдяки цьому можна підібрати окремі режими для зварювання профільних елементів каркаса і для приварювання тонколистової обшивки. Це особливо важливо для стінки вагона, оскільки її елементи мають різну товщину та різну чутливість до нагрівання [14].

Застосування автоматичного MAG-зварювання дозволяє зменшити вплив людського чинника. При ручному або напівавтоматичному виконанні шва навіть досвідчений зварник не завжди може тривалий час підтримувати однакову швидкість переміщення пальника на довгих ділянках. У автоматичному процесі траєкторія руху, швидкість зварювання та положення пальника задаються обладнанням, тому форма шва, ширина валика і глибина проплавлення залишаються більш стабільними.

Важливою перевагою MAG-зварювання є відсутність шлакової кірки. Завдяки цьому скорочується час післязварювального очищення, спрощується візуально-вимірний контроль і зменшується ймовірність шлакових включень. Для виготовлення стінки, яка має велику кількість швів між стояками, обв'язками, підсилювачами та обшивкою, це має суттєве значення, оскільки знижує загальну трудомісткість процесу.

Для захисту зварювальної ванни при автоматичному МАГ-зварюванні доцільно застосовувати газову суміш на основі аргону з додаванням вуглекислого газу. Для зварювання сталі 09Г2С раціонально використовувати суміш типу М21, наприклад 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>. Такий склад забезпечує стабільне горіння дуги, зменшує розбризкування металу, поліпшує формування шва і дозволяє отримати більш рівномірний провар порівняно зі зварюванням у чистому CO<sub>2</sub>. Крім того, застосування аргонвмісної суміші знижує обсяг механічного очищення після зварювання та покращує зовнішній вигляд шва [15].

Як електродний матеріал для автоматичного МАГ-зварювання сталі 09Г2С доцільно застосовувати дріт Св-08Г2С. Його хімічний склад добре узгоджується з основним металом, а наявність марганцю та кремнію сприяє розкисленню зварювальної ванни, зменшує ризик пористості та забезпечує отримання щільного металу шва. Для елементів стінки можна застосовувати дріт діаметром 1,2–1,6 мм, що дозволяє підібрати режим як для тонколистової обшивки, так і для профільних елементів каркаса [15].

Під час зварювання необхідно враховувати, що тонколистова профільована обшивка найбільше схильна до деформацій. Тому шви слід виконувати у раціональній послідовності: симетрично відносно середини конструкції, з чергуванням ділянок і з обмеженням довжини безперервного проходу. У місцях приєднання обшивки до каркаса доцільно застосовувати переривчасті або короткі шви. Це дає змогу зменшити тепловий вплив, уникнути хвилястості листів і зберегти зовнішній вигляд стінки.

Для конструкції стінки характерні переважно кутові, напусткові та окремі стикові з'єднання. Кутові шви виконуються у місцях з'єднання стояків з обв'язками, перемичками та підсилювачами. Напусткові шви застосовуються при приварюванні листової обшивки, накладок і місцевих підсилювальних деталей. Стикові з'єднання можуть використовуватися при з'єднанні окремих листових або профільних заготовок. Автоматичне МАГ-зварювання дозволяє якісно виконувати всі зазначені типи з'єднань за умови правильного вибору режимів і забезпечення доступу пальника до зони шва.

Для забезпечення необхідної міцності, стабільної якості зварних швів і мінімальних залишкових деформацій виконуємо розрахунок режимів автоматичного МАГ-зварювання основних з'єднань бокової стінки критого вагона 11-7094. Розрахунок проводимо згідно з методикою, яку наведено у літературі [9].

Бокова стінка вагона складається з гнутих швелероподібних профілів каркаса, профільованої листової обшивки, стояків дверного прорізу, перемичок, підсилювачів, накладок і ребер жорсткості. Для неї характерні кутові, таврові та напусткові з'єднання. Основним способом зварювання прийнято автоматичне МАГ-зварювання плавким електродним дротом Св-08Г2С у захисній газовій суміші типу М21.

Для розрахунку приймаємо такі основні типи з'єднань:

- I. з'єднання Т1 — приварювання вертикальних стояків до верхньої та нижньої обв'язок;
- II. з'єднання Н1 — приварювання профільованої листової обшивки до елементів каркаса.

З'єднання типу Т1 застосовується при зварюванні гнутих швелероподібних профілів каркаса, зокрема у місцях приєднання стояків до верхньої та нижньої обв'язок. Це з'єднання є одним із найбільш відповідальних, оскільки забезпечує жорсткість каркаса стінки та правильне передавання навантажень між поздовжніми і вертикальними елементами.

Приймаємо:  $S = 6$  мм;  $S_1 = 6$  мм;  $b = 1,0$  мм;  $k = 5,0$  мм.

Глибину провару визначаємо за формулою:

$$h = k - 0,5b$$

$$h = 5 - 0,5 \cdot 1 = 4,5 \text{ мм}$$

Діаметр електродного дроту визначаємо за залежністю:

$$d_d = \sqrt[4]{h} \pm 0,05h = \sqrt[4]{4,5} \pm 0,05 \cdot 4,5 = 1,45 \pm 0,22$$

З урахуванням розрахункового діапазону для з'єднання Т1 приймаємо:  $d_d = 1,6$  мм

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{зв} = 140 \cdot d_{д}^{1,5} \pm 35 = 140 \cdot 1,6^{1,5} \pm 35 = 283 \pm 35 \text{ А}$$

Для автоматичного МАГ-зварювання профільних елементів приймаємо:

$$I_{зв} = 280 \text{ А}$$

Напругу дуги визначаємо за формулою:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 280 = 29 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту визначаємо за формулою:

$$V_{п.д} = 1,9 \frac{I_{зв}}{d_{д}^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{I_{зв}^2}{d_{д}^3} = 1,9 \frac{280}{1,6^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{280^2}{1,6^3} = 255,7 \text{ м/год}$$

$$\text{Приймаємо: } V_{п.д} = 256 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання для таврового з'єднання визначаємо за формулою:

$$V_{зв} = \frac{105}{0,7h} = \frac{105}{0,7 \cdot 4,5} = 33,3 \text{ м/год}$$

$$\text{Приймаємо: } V_{зв} = 33 \text{ м/год}$$

Витрату захисного газу визначаємо за формулою:

$$Q = 0,03I_{зв} + 3,5 = 0,03 \cdot 280 + 3,5 = 11,9 \text{ л/хв}$$

$$\text{Приймаємо: } Q = 12 \text{ л/хв.}$$

З'єднання типу Н1 застосовується для приварювання профільованої листової обшивки до гнутих профілів каркаса. Це з'єднання потребує обмеженого тепловкладення, оскільки обшивка має невелику товщину і може деформуватися під дією зварювального нагріву.

$$\text{Приймаємо: } S = 3 \text{ мм; } S_1 = 5 \text{ мм; } b = 1,0 \text{ мм; } k = 3,0 \text{ мм.}$$

Глибину провару визначаємо за формулою:

$$h = k - 0,5b = 3 - 0,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ мм}$$

Діаметр електродного дроту:

$$d_{д} = \sqrt[4]{h} \pm 0,05h = \sqrt[4]{2,5} \pm 0,05 \cdot 2,5 = 1,26 \pm 0,13$$

Для з'єднання тонколистової обшивки з каркасом приймаємо:  $d_{д} = 1,2 \text{ мм}$

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{зв} = 140 \cdot d_{д}^{1,5} \pm 35 = 140 \cdot 1,2^{1,5} \pm 35 = 184 \pm 35 \text{ А}$$

$$\text{Приймаємо: } I_{зв} = 190 \text{ А}$$

Напруга зварювання:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 190 = 24,5 \text{ В}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{п.д} = 1,9 \frac{I_{зв}}{d_{д}^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{I_{зв}^2}{d_{д}^3} = 1,9 \frac{190}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{190^2}{1,2^3} = 302,9 \text{ м/год}$$

Приймаємо:  $V_{п.д} = 303 \text{ м/год}$

Швидкість зварювання для напусткового з'єднання визначаємо за формулою:

$$V_{зв} = 21 - 0,175h = 21 - 0,175 \cdot 2,5 = 20,56 \text{ м/год}$$

Приймаємо:  $V_{зв} = 20,5 \text{ м/год}$

Витрата захисного газу:

$$Q = 0,03I_{зв} + 3,5 = 0,03 \cdot 190 + 3,5 = 9,2 \text{ л/хв}$$

Приймаємо:  $Q = 9\text{--}10 \text{ л/хв}$

Таблиця 2.1 – Режимы автоматичного MAG-зварювання з'єднань стінки

| Тип з'єднання | Товщина деталей,<br>мм | $k$ , мм | $d_{д}$ , мм | $I_{зв}$ , А | $U_{зв}$ , В | $V_{п.д}$ , м/год | $V_{зв}$ , м/год | $Q$ , л/хв |
|---------------|------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|------------|
| T1            | 6 + 6                  | 5        | 1,6          | 280          | 29,0         | 256               | 33,0             | 12         |
| H1            | 3 + 5                  | 3        | 1,2          | 190          | 24,5         | 303               | 20,5             | 9–10       |

## 2.2 Вибір та обґрунтування зварювального устаткування для зварювання стінки

Після вибору автоматичного MAG-зварювання та визначення режимів необхідно підібрати зварювальне устаткування, яке забезпечить стабільне виконання швів бокової стінки критого вагона 11-7094. Обладнання повинно відповідати прийнятим параметрам зварювання, забезпечувати рівномірну подачу електродного дроту, стійке горіння дуги, надійний газовий захист і можливість роботи з великогабаритною каркасно-листовою конструкцією.

Вибране устаткування повинно мати достатній запас за струмом, плавне регулювання параметрів і можливість роботи в режимі MAG-зварювання сталі 09Г2С у газовій суміші М21.



Для виконання основних протяжних і повторюваних швів приймається роботизований зварювальний комплекс фірми CLOOS. Його застосування є доцільним, оскільки бокова стінка має значну довжину, значну кількість однотипних кутових і напусткових з'єднань, а також тонколистову профільовану обшивку, чутливу до перегріву. Роботизоване зварювання забезпечує сталість швидкості переміщення пальника, повторюваність траєкторії, однакову форму шва та зменшення впливу людського чинника на якість з'єднань.

Для основного зварювання приймається зварювальний робот CLOOS QIROX QRC-350-E (рис. 2.1). Цей робот використовується для автоматичного MAG-зварювання стояків з обв'язками, приварювання перемичок, підсилювачів, елементів дверного прорізу та окремих ділянок профільованої обшивки. Оскільки довжина бокової стінки становить близько 17492 мм, робот доцільно застосовувати з лінійною віссю переміщення вздовж виробу. Для QIROX QRC-350-E у відкритих технічних даних вказано вантажопідйомність 15 кг і виліт руки 2261 мм, що достатньо для встановлення зварювального пальника та виконання швів на окремих ділянках стінки [17].

Для живлення дуги у складі роботизованого комплексу приймається джерело CLOOS QINEO NexT 602 (рис. 2.2). Це інверторне джерело призначене для MIG/MAG-зварювання та має діапазон зварювального струму 25 А / 15 В – 600 А / 44 В. При тривалості навантаження 60 % джерело забезпечує 600 А / 44 В, а при 100 % — 500 А / 39 В. Такі характеристики значно перевищують розрахований діапазон струмів для стінки, тому джерело працюватиме із необхідним запасом потужності.

Для подачі електродного дроту застосовується подаючий механізм системи CLOOS QIROX/QINEO, сумісний із роботизованим комплексом. Він повинен забезпечувати рівномірну подачу дроту діаметром 1,2–1,6 мм, який прийнятий для зварювання елементів стінки. Для обладнання QINEO у технічних матеріалах наведено роботу з дротом у діапазоні 0,8–2,0 мм, що відповідає прийнятим у роботі діаметрам електродного дроту.



Рис. 2.1 Робот CLOOS QIROX QRC-350 для автоматичного MAG-зварювання [17]



Рис. 2.2 Джерело CLOOS QINEO Next для MIG/MAG-зварювання [18].

Для виконання швів у роботизованому режимі приймається водоохолоджуваний зварювальний пальник CLOOS MIG/MAG robotic torch (рис. 2.3). Водоохолоджуване виконання є доцільним, оскільки під час автоматичного зварювання пальник працює тривалий час і повинен стабільно витримувати теплове навантаження. Для роботизованих зварювальних систем CLOOS у

технічних матеріалах зазначено застосування водоохолоджуваних пальників для роботи при підвищених навантаженнях.



Рис. 2.3 Пальник CLOOS MIG/MAG robotic torch [17]

Крім роботизованого комплексу, для виготовлення стінки необхідний напівавтоматичний MAG-пост. Він використовується для прихоплення деталей під час складання, попередньої фіксації обв'язок і стояків, приварювання коротких накладок, косинок, ребер жорсткості, а також для виконання локальних швів у місцях зі складним доступом для робота. Для цих операцій приймається напівавтоматичний пост CLOOS QINEO StarT 502 (рис. 2.4).



Рис.2.4 Напівавтоматичний зварювальний пост CLOOS QINEO StarT 502 [19]

Джерело CLOOS QINEO StarT 502 призначене для ручного та механізованого MIG/MAG-зварювання. Для цієї моделі наведено діапазон зварювального струму 20 А / 15 В – 500 А / 39 В, максимальну швидкість подачі дроту 30 м/хв, роботу з дротом діаметром 0,8–2,0 мм, ступінь захисту IP 23, клас ізоляції F, а також масу силового блока 56 кг. Це відповідає прийнятим для стінки режимам, оскільки максимальний розрахований струм становить 280 А, а діаметр дроту — 1,2–1,6 мм.

Робот виконує основні повторювані шви, де потрібні стабільна траєкторія та однакова якість по довжині конструкції. Напівавтомат застосовується на етапах складання й допоміжного зварювання, де потрібна швидка зміна положення пальника, робота на коротких ділянках або приварювання дрібних деталей.

Основне прийняте зварювальне устаткування наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Прийняте зварювальне устаткування

| Найменування устаткування                 | Прийняте обладнання                       | Призначення                                           |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Зварювальний робот                        | CLOOS QIROX QRC-350-E                     | Автоматичне MAG-зварювання основних повторюваних швів |
| Лінійна вісь робота                       | QIROX linear track                        | Переміщення робота вздовж стінки                      |
| Джерело живлення роботизованого комплексу | CLOOS QINEO NexT 602                      | Забезпечення стабільного режиму MAG-зварювання        |
| Подаючий механізм дроту                   | CLOOS QIROX/QINEO wire feed system        | Рівномірна подача електродного дроту                  |
| Роботизований MAG-пальник                 | CLOOS MIG/MAG robotic torch, water-cooled | Виконання тривалих швів у середовищі M21              |
| Напівавтоматичний MAG-пост                | CLOOS QINEO StarT 502                     | Прихоплення, складання, короткі та допоміжні шви      |
| Газова апаратура                          | Редуктор, витратомір, рукави подачі газу  | Подача захисної газової суміші до зони зварювання     |

Таблиця 2.3 – Технічні дані зварювального робота CLOOS QIROX QRC-350-E

| Параметр                 | Значення                                                                            |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип обладнання           | Зварювальний промисловий робот                                                      |
| Серія                    | QIROX                                                                               |
| Модель                   | QRC-350-E                                                                           |
| Кількість осей           | 7                                                                                   |
| Вантажопідйомність, кг   | 15                                                                                  |
| Виліт руки, мм           | 2261                                                                                |
| Тип робочого органу      | Зварювальний пальник MIG/MAG                                                        |
| Основний процес          | MIG/MAG-зварювання                                                                  |
| Характер роботи          | Автоматичне переміщення пальника за заданою траєкторією                             |
| Додаткова вісь           | Лінійна вісь для переміщення вздовж виробу                                          |
| Доцільність застосування | Забезпечує стабільність траєкторії, повторюваність шва і зменшення впливу оператора |

Таблиця 2.4 – Технічні дані джерела живлення CLOOS QINEO NexT 602

| Параметр                        | Значення                                          |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|
| Тип джерела                     | Інверторне джерело MIG/MAG-зварювання             |
| Модель                          | QINEO NexT 602                                    |
| Вид зварювання                  | MIG/MAG                                           |
| Діапазон зварювального струму   | 25 А / 15 В – 600 А / 44 В                        |
| Зварювальний струм при ПН 60 %  | 600 А / 44 В                                      |
| Зварювальний струм при ПН 100 % | 500 А / 39 В                                      |
| Напруга холостого ходу          | 80 В                                              |
| Мережа живлення                 | 380–480 В, 3 фази                                 |
| Тип подачі дроту                | Зовнішній подаючий механізм                       |
| Діаметр дроту                   | 0,8–2,4 мм                                        |
| Призначення у процесі           | Живлення дуги роботизованого MAG-комплексу        |
| Відповідність режимам стінки    | Має запас відносно розрахованого струму 190–280 А |

Таблиця 2.5 – Технічні дані подаючого механізму CLOOS QIROX/QINEO

| Параметр                                 | Значення                                   |
|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Тип обладнання                           | Механізм подачі електродного дроту         |
| Система                                  | CLOOS QIROX/QINEO                          |
| Робочий процес                           | MIG/MAG                                    |
| Діаметр дроту, що підтримується системою | 0,8–2,0 мм                                 |
| Максимальна швидкість подачі дроту       | до 30 м/хв                                 |
| Призначення                              | Подача дроту до зони зварювання            |
| Основна технологічна вимога              | Рівномірна подача без ривків і прослизання |

Таблиця 2.6 – Технічні дані MAG-поста CLOOS QINEO StarT 502

| Параметр                           | Значення                                          |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Тип обладнання                     | Напівавтоматичний пост MIG/MAG-зварювання         |
| Модель                             | QINEO StarT 502                                   |
| Вид зварювання                     | MIG/MAG                                           |
| Діапазон зварювального струму      | 20 А / 15 В – 500 А / 39 В                        |
| Орієнтовний струм при ПН 60 %      | до 500 А                                          |
| Діаметр електродного дроту         | 0,8–2,0 мм                                        |
| Прийнятий діаметр дроту для стінки | 1,2–1,6 мм                                        |
| Максимальна швидкість подачі дроту | до 30 м/хв                                        |
| Ступінь захисту                    | IP 23                                             |
| Клас ізоляції                      | F                                                 |
| Маса силового блока                | 56 кг                                             |
| Тип керування                      | Ручне / механізоване MAG-зварювання               |
| Призначення                        | Прихоплення, складання, короткі та допоміжні шви  |
| Відповідність режимам стінки       | Має запас відносно розрахованого струму 190–280 А |

Для зварювання бокової стінки критого вагона 11-7094 приймається комплект зварювального устаткування фірми CLOOS. Прийняте устаткування

відповідає розрахованим режимам, забезпечує стабільне формування швів, дозволяє виконувати як автоматизовані, так і механізовані операції та підвищує якість виготовлення стінки вагона.

### **2.3 Вибір методу контролю якості виробу**

Контроль якості зварних з'єднань бокової стінки критого вагона 11-7094 є обов'язковим етапом технологічного процесу, оскільки від стану швів залежить міцність, жорсткість і довговічність кузовної конструкції. Стінка вагона є великогабаритним каркасно-листовим вузлом, у якому зварюванням з'єднуються гнуті швелероподібні профілі, профільована обшивка, вертикальні стояки, верхня та нижня обв'язки, елементи дверного прорізу, накладки, косинки та ребра жорсткості.

Під час виготовлення стінки застосовується автоматичне та механізоване МАГ-зварювання сталі 09Г2С. Для таких з'єднань характерними дефектами можуть бути підрізи, кратери, пори, непровари, напливи, прожоги, тріщини, а також місцеві деформації тонколистової обшивки. Тому система контролю повинна забезпечувати перевірку не тільки зовнішнього вигляду швів, а й геометричної точності всієї стінки після зварювання.

Основним методом контролю зварних з'єднань приймається візуально-вимірювальний контроль відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 17637. Оцінювання допустимості дефектів виконується з урахуванням ДСТУ EN ISO 5817. Цей метод обрано як основний, оскільки більшість швів бокової стінки є відкритими та доступними для огляду, а основні поверхневі дефекти МАГ-зварювання добре виявляються без застосування складного обладнання.

Візуально-вимірювальний контроль виконується після очищення швів від бризок металу, окалини, пилу та інших забруднень. Під час перевірки оцінюють рівномірність формування шва, ширину валика, висоту підсилення, катет кутового шва, плавність переходу до основного металу, а також наявність підрізів, кратерів, пор, прожогів, напливів і незаварених ділянок. Особливу увагу приділяють швам

з'єднання стояків з обв'язками, елементам дверного прорізу та ділянкам приварювання профільованої обшивки [20].

Для виконання візуально-вимірювального контролю приймається такий інструмент: універсальний шаблон зварника УШС-3, штангенциркуль, металева лінійка, рулетка, кутник і набір щупів. Шаблон УШС-3 використовується для перевірки катета кутового шва, висоти підсилення, ширини шва, величини підрізу та зазорів. Штангенциркуль і лінійка застосовуються для уточнення розмірів окремих елементів, а рулетка та кутник — для контролю загальної геометрії стінки.

Для відповідальних з'єднань каркаса додатково приймається ультразвуковий контроль. Він застосовується для перевірки швів у зонах з'єднання вертикальних стояків з верхньою та нижньою обв'язками, у зоні дверного прорізу та в місцях приварювання підсилювачів. Ультразвуковий контроль дозволяє виявити внутрішні дефекти, які не визначаються зовнішнім оглядом: непровари, несплавлення, внутрішні пори, тріщини та порожнини [20].

Для ультразвукового контролю приймається дефектоскоп NOVOTEST УД-1 (рис. 2.5) з комплектом прямих і кутових перетворювачів. Прилад використовується для контролю відповідальних зварних швів після завершення основного зварювання та первинного візуального огляду. Контроль виконується вибірково на найбільш навантажених і технологічно відповідальних ділянках стінки.

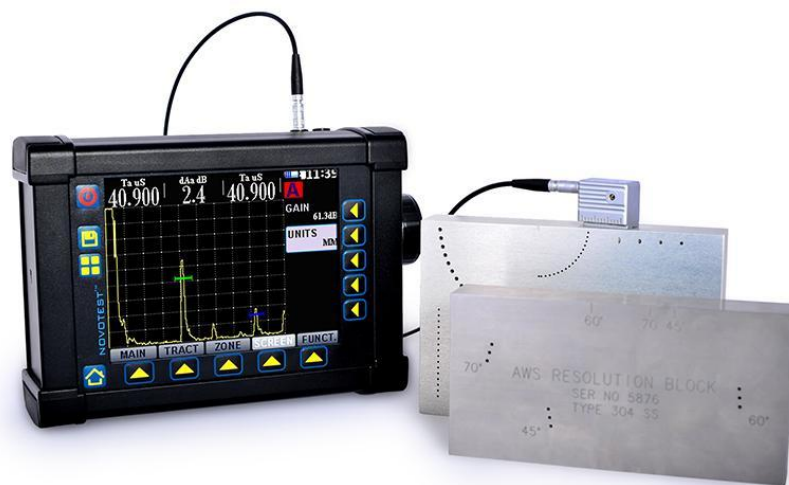


Рис. 2.5 Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД-1 для контролю зварних з'єднань [21]

Для виявлення поверхневих і підповерхневих тріщин у зонах концентрації напружень приймається магнітопорошковий контроль відповідно до ДСТУ EN ISO 17638. Цей метод застосовується для перевірки з'єднань у зоні дверного прорізу, стиків стояків з обв'язками, місць приварювання косинок, накладок і ребер жорсткості. Оскільки стінка виготовляється зі сталі 09Г2С, яка є феромагнітним матеріалом, магнітопорошковий контроль є придатним для виявлення тріщин і несучільностей, що виходять на поверхню або розташовані близько до неї [20].

Для магнітопорошкового контролю приймається електромагнітне ярмо Magnaflux Y-2 AC Electromagnetic Yoke у комплекті з флуоресцентною магнітною суспензією Magnaflux 14HF. Ярмо Y-2 створює змінне магнітне поле для виявлення поверхневих індикацій під час магнітопорошкового контролю, має ергономічне виконання та призначене для польового контролю металевих виробів [22].

Суспензія Magnaflux 14HF є готовою до використання флуоресцентною магнітною рідиною для мокрого методу контролю та застосовується для виявлення поверхневих і незначно підповерхневих дефектів у феромагнітних матеріалах.

Радіографічний контроль для даної стінки не приймається як основний метод. Це пояснюється значними габаритами виробу, великою кількістю кутових і напусткових швів, а також меншою технологічною доцільністю радіографії для такої каркасно-листової конструкції. Для бокової стінки більш раціонально застосовувати поєднання візуально-вимірального, ультразвукового та магнітопорошкового контролю.

Окремо виконується контроль геометрії готової стінки. Після зварювання перевіряють загальну довжину й висоту вузла, прямолінійність верхньої та нижньої обв'язок, положення вертикальних стояків, площинність профільованої обшивки, геометрію дверного прорізу та різницю діагоналей. Для цього приймаються рулетка, контрольна лінійка, кутник, рівень і лазерний далекомір. Особлива увага приділяється дверному прорізу, оскільки його перекіс може ускладнити подальший монтаж і роботу дверей.



Таблиця 2.7 – Методи та обладнання для контролю якості стінки

| <i>Етап контролю</i>                | <i>Прийнятий метод</i>     | <i>Прийняте обладнання та інструмент</i>                        | <i>Об'єкт перевірки</i>                          |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Вхідний контроль матеріалу          | Візуальний і вимірювальний | Рулетка, штангенциркуль, мікрометр                              | Марка сталі, товщина прокату, стан поверхні      |
| Контроль підготовки деталей         | Візуально-вимірювальний    | Лінійка, кутник, щупи, штангенциркуль                           | Якість різання, стан кромки, зазори              |
| Контроль після складання            | Вимірювальний              | Рулетка, кутник, контрольна лінійка                             | Положення обв'язок, стояків і дверного прорізу   |
| Контроль після прихоплення          | Візуально-вимірювальний    | УШС-3, щупи, кутник                                             | Якість прихоплення, відсутність зміщення деталей |
| Контроль після зварювання           | Візуально-вимірювальний    | УШС-3, штангенциркуль, лінійка, калібри швів                    | Катет шва, подрізи, пори, кратери, напливи       |
| Контроль відповідальних швів        | Ультразвуковий             | NOVOTEST УД-1 з комплектом перетворювачів                       | Непровари, несплавлення, внутрішні дефекти       |
| Контроль зон концентрації напружень | Магнітопорошковий          | Magnaflux Y-2 AC Electromagnetic Yoke, Magnaflux 14HF           | Поверхневі та підповерхневі тріщини              |
| Контроль готової стінки             | Геометричний               | Рулетка, контрольна лінійка, кутник, рівень, лазерний далекомір | Габарити, площинність, діагоналі, дверний проріз |

## 2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення стінки

Запропонований технологічний процес виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 охоплює послідовність підготовчих, заготівельних, формоутворювальних, складальних, зварювальних, контрольних і опоряджувальних операцій. Оскільки стінка є великогабаритною каркасно-листовою конструкцією, основну увагу в процесі її виготовлення приділяють точності підготовки заготовок, правильному базуванню елементів, стабільності дверного прорізу, якості зварних з'єднань і зменшенню залишкових деформацій.

До складу стінки входять верхній і нижній пояси каркаса, крайні стояки, проміжні стійки, елементи дверного прорізу, профільовані листи обшивки, підсилювачі, накладки, косинки та ребра жорсткості. Основні елементи каркаса виготовляють із гнутих швелероподібних профілів, а листова обшивка формується з тонколистового прокату шляхом профілювання.

010 Вхідний контроль металопродукції

Виробничий процес починається з вхідного контролю листового прокату та заготовок зі сталі 09Г2С. Перевіряють сертифікати якості, марку сталі, товщину металу, стан поверхні, відсутність тріщин, розшарувань, глибоких рисок, корозійних пошкоджень і механічних дефектів. Контроль здійснюють із використанням рулетки, штангенциркуля, мікрометра та візуального огляду поверхні.

#### 020 Правлення листового прокату

Для усунення хвилястості, початкової кривизни та залишкових напружень листовий прокат правлять на листопрямильній машині ARKU FlatMaster (рис. 2.5). Під час правлення лист проходить між системою роликів, унаслідок чого забезпечується вирівнювання заготовок і підвищується їх придатність до подальшого розкрою, профілювання та зварювання.



Рис. 2.5 – Листопрямильна машина ARKU FlatMaster для правлення листового прокату [23]

#### 030 Розкрій листових заготовок

Розкрій листів для обшивки, накладок, косинок, ребер жорсткості та підсилювачів виконується на лазерному комплексі TRUMPF TruLaser 5030 fiber (рис.2.6). Застосування лазерного різання дозволяє отримати точний контур деталей, чисту кромку та зменшити обсяг ручного доопрацювання перед складанням.

Після різання кромки деталей очищають від задирок, оплавлень і забруднень. Це необхідно для забезпечення стабільного зазору в з'єднаннях і якісного формування зварного шва.



Рис. 2.6 Лазерний комплекс TRUMPF TruLaser 5030 fiber [24]

#### 040 Виготовлення гнутих швелероподібних профілів

Верхній і нижній пояси каркаса, крайні стояки, проміжні стійки, елементи дверного прорізу та окремі підсилювачі виготовляють на листозгинальному пресі з ЧПК Bystronic Xpert Pro (рис. 2.7). На цьому обладнанні з листових заготовок формують гнуті швелероподібні профілі необхідного перерізу.

Після гнуття контролюють висоту профілю, ширину полиць, прямолінійність по довжині та стан зон згину. Тріщини, надриви, складки металу або значне місцеве потоншення у місцях згину не допускаються.



Рис. 2.7 Листозгинальний прес Bystronic Xpert Pro [25]

## 050 Профілювання листів обшивки

Листи обшивки профілюють на роlikовій профілювальній лінії Dallan Roll Forming Line (рис. 2.8). Профілювання підвищує жорсткість тонколистового металу без збільшення його товщини, що є важливим для зниження маси стінки та забезпечення її стійкості.



Рис. 2.8 Профілювальна лінія Dallan Roll Forming Line [26]

Після операції перевіряють довжину і ширину листів, висоту гофрів, крок профілювання, площинність і відсутність місцевих деформацій.

## 060 Механічне очищення поверхні

Перед складанням заготовки очищають від іржі, окалини, пилу, мастила та інших забруднень на дробоструминній установці прохідного типу Voortman VSB (рис. 2.9). Дробоструминна обробка забезпечує підготовку металевої поверхні до зварювання та подальшого нанесення захисного покриття.



Рис. 2.9 Дробоструминна установка Voortman VSB [27]

Очищення є важливим для MAG-зварювання, оскільки забруднення в зоні шва можуть спричинити пористість, нестабільне горіння дуги та погіршення якості металу шва.

#### 070 Складання основного контуру каркаса стінки

Складання стінки починають із встановлення крайніх стояків, а також верхнього і нижнього поясів каркаса у складальному пристосуванні. Ці елементи утворюють базовий контур стінки, від якого залежить правильність подальшого встановлення обшивки та проміжних стійок.

Верхній і нижній пояси встановлюють за базовими упорами, крайні стояки розміщують у проектному положенні та фіксують притискачами. На цьому етапі контролюють довжину стінки, паралельність поясів, перпендикулярність крайніх стояків і різницю діагоналей.

#### 080 Встановлення листів обшивки та їх прихоплення

Після формування зовнішнього контуру каркаса встановлюють листи профільованої обшивки. Листи укладають відповідно до робочого креслення, суміщають із верхнім і нижнім поясами та крайніми стояками, після чого притискають до каркаса.

Прихоплення листів виконують механізованим MAG-зварюванням на напівавтоматичному посту CLOOS QINEO StarT 502. Прихоплення розташовують рівномірно, починаючи від середньої частини листа з поступовим переходом до країв. Така послідовність дозволяє зменшити ризик перекосу листів і забезпечити щільне прилягання обшивки до каркаса.

#### 090 Встановлення проміжних стійок

Після фіксації листів обшивки встановлюють проміжні стійки. Їх розміщують між верхнім і нижнім поясами відповідно до заданого кроку. Проміжні стійки повинні щільно прилягати до обшивки та поясів каркаса, оскільки вони підвищують жорсткість стінки і запобігають надмірному прогину листів.

Після встановлення проміжних стійок виконують їх прихоплення напівавтоматичним MAG-зварюванням на посту CLOOS QINEO StarT 502. Перед

основним зварюванням повторно контролюють положення стійок, прямолінійність каркаса, геометрію дверного прорізу та загальні габарити стінки.

#### 100 Роботизоване MAG-зварювання основних з'єднань

Основні повторювані шви виконуються роботизованим комплексом CLOOS QIROX QRC-350-E з джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 602. Роботизоване зварювання застосовується для з'єднання крайніх і проміжних стійок з верхнім та нижнім поясами, приварювання обшивки до каркаса, а також для виконання швів у зоні дверного прорізу та підсилювальних елементів.

Оскільки бокова стінка має значну довжину, робот працює з переміщенням уздовж виробу по лінійній осі QIROX linear track. Це дозволяє виконувати шви на окремих ділянках без перестановки стінки.

Для тонколистової профільованої обшивки застосовують короткі або переривчасті шви, що дозволяє обмежити тепловкладення і запобігти жолобленню листів. Шви каркаса виконують у раціональній послідовності з чергуванням ділянок.

#### 110 Допоміжне механізоване MAG-зварювання

Короткі, локальні та важкодоступні шви виконують механізованим MAG-зварюванням на напівавтоматичному посту CLOOS QINEO StarT 502. До таких робіт належать приварювання невеликих накладок, косинок, ребер жорсткості, а також локальне доварювання ділянок, до яких роботу складно забезпечити стабільний доступ.

Після завершення допоміжного зварювання шви очищають від бризок металу і проводять первинний візуальний огляд.

#### 120 Контроль якості

Після завершення зварювання стінку передають на контроль. Основний контроль виконується візуально-вимірювальним методом із застосуванням шаблону зварника УШС-3, штангенциркуля, лінійки, рулетки та кутника. Перевіряють катети кутових швів, ширину й висоту підсилення, наявність підрізів, кратерів, пор, напливів, прожогів і незаварених ділянок.

Для відповідальних швів каркаса застосовують ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД-1, а для зон можливого утворення поверхневих тріщин — електромагнітне ярмо Magnaflux Y-2 AC із магнітною суспензією Magnaflux 14HF. Додатково контролюють габарити стінки, прямолінійність поясів, положення стояків, площинність обшивки, дверний проріз і різницю діагоналей.

### 130 Підготовка поверхні та нанесення захисного покриття

Після приймання зварних з'єднань поверхню стінки очищають від бризок металу, пилу, окалини, мастила та інших забруднень. Для локального зачищення застосовують кутову шліфувальну машину Bosch GWS 24-230 або аналогічний інструмент.

Після очищення стінку передають на фарбувальний пост, де наносять ґрунтове та лакофарбове покриття. Для нанесення покриття приймається фарбувальна система безповітряного розпилення Graco King. Після висихання покриття готову стінку маркують і передають на подальше складання кузова критого вагона.

Таблиця 2.8 – Запропонований маршрут виготовлення бокової стінки

| № операції | Назва операції                               | Прийняте обладнання                                    |
|------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 010        | Вхідний контроль металопрокату               | Рулетка, штангенциркуль, мікрометр                     |
| 020        | Правлення листового прокату                  | ARKU FlatMaster                                        |
| 030        | Розкрій листових заготовок                   | TRUMPF TruLaser 5030 fiber                             |
| 040        | Виготовлення гнутих швелероподібних профілів | Bystronic Xpert Pro                                    |
| 050        | Профілювання листів обшивки                  | Dallan Roll Forming Line                               |
| 060        | Механічне очищення поверхні                  | Voortman VSB                                           |
| 070        | Складання основного контуру каркаса          | Складальне пристосування з упорами та притискачами     |
| 080        | Встановлення та прихоплення обшивки          | CLOOS QINEO StarT 502                                  |
| 090        | Встановлення проміжних стійок                | Складальне пристосування, CLOOS QINEO StarT 502        |
| 100        | Роботизоване MAG-зварювання                  | CLOOS QIROX QRC-350-E + CLOOS QINEO NexT 602           |
| 110        | Допоміжне механізоване MAG-зварювання        | CLOOS QINEO StarT 502                                  |
| 120        | Контроль якості                              | УШС-3, NOVOTEST УД-1, Magnaflux Y-2 AC, Magnaflux 14HF |
| 130        | Підготовка поверхні та фарбування            | Bosch GWS 24-230, Graco King                           |

Такий маршрут дозволяє забезпечити точну підготовку деталей, правильну послідовність складання, стабільну якість зварних швів і зменшення деформацій тонколистової профільованої обшивки.



## **3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА**

### **3.1 Опис роботи установки для складання та зварювання бокової стінки**

Для виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 приймається спеціалізована установка для складання та зварювання великогабаритних каркасно-листових конструкцій. Її застосування дає змогу зосередити основні складальні та зварювальні операції на одному робочому місці, забезпечити точне базування елементів стінки, зменшити кількість ручного припасування та підвищити стабільність геометричних параметрів готового вузла.

Бокова стінка критого вагона має значну довжину та складається з верхнього і нижнього поясів каркаса, крайніх стояків, проміжних стійок, листів профільованої обшивки, елементів дверного прорізу, накладок, косинок і ребер жорсткості. Через такі конструктивні особливості складання стінки без спеціального оснащення є недоцільним, оскільки навіть незначне зміщення поясів або стояків може призвести до перекосу всієї конструкції, порушення форми дверного прорізу та ускладнення подальшого складання кузова вагона.

Установка складається зі складального стенда з базовими упорами, притискачами та фіксаторами, а також із зони роботизованого MAG-зварювання, у якій зварювальний робот переміщується вздовж стінки по лінійній осі. Для прихоплення та виконання коротких допоміжних швів передбачається напівавтоматичний MAG-пост. Така схема дозволяє поєднати точність роботизованого зварювання з технологічною гнучкістю механізованого зварювання під час складання.

Робота установки виконується у певній послідовності. Спочатку на стенд встановлюють крайні стояки, а також верхній і нижній пояси каркаса стінки. Ці елементи формують основний контур бокової стінки, тому їх положення задається базовими упорами та контролюється за габаритними розмірами і діагоналями. Після вирівнювання деталі фіксують притискачами, що запобігає їх зміщенню під час подальших операцій.

Після формування базового контуру встановлюють листи профільованої обшивки. Листи розміщують відповідно до креслення, суміщають із верхнім і

нижнім поясами та крайніми стояками, після чого притискають до каркаса. Для попередньої фіксації обшивки виконують прихоплення механізованим MAG-зварюванням. Прихоплення розташовують рівномірно, щоб забезпечити щільне прилягання листів до каркаса і не допустити утворення хвилястості або перекосу обшивки.

Наступним етапом є встановлення проміжних стійок. Їх монтують між верхнім і нижнім поясами з дотриманням заданого кроку. Проміжні стійки повинні щільно прилягати до профільованої обшивки та поясів каркаса, оскільки вони забезпечують додаткову жорсткість стінки і рівномірно розподіляють навантаження між листовою частиною та каркасом. Після встановлення стійки прихоплюють, а геометрію стінки повторно перевіряють за довжиною, висотою, прямолінійністю поясів і діагоналями.

Основне зварювання виконується роботизованим MAG-комплексом. Робот послідовно переміщується вздовж стінки по рейковій лінійній осі та виконує зварювання повторюваних з'єднань: стояків із верхнім і нижнім поясами, проміжних стійок з обшивкою, а також окремих швів у зоні підсилювальних елементів. Завдяки програмному керуванню забезпечується однакова траєкторія руху пальника, постійна швидкість зварювання, стабільний виліт дроту та рівномірне формування шва.

Під час приварювання профільованої обшивки застосовують короткі або переривчасті шви. Такий підхід дає змогу зменшити тепловкладення у тонколистовий метал, обмежити жолоблення листів і зберегти площинність стінки. Зварювання виконують у раціональній послідовності з чергуванням ділянок, що сприяє рівномірному розподілу тепла по конструкції та зменшенню залишкових деформацій.

Короткі шви, важкодоступні місця, приварювання окремих накладок, косинок і ребер жорсткості виконують напівавтоматичним MAG-зварюванням. Таке рішення є технологічно виправданим, оскільки не всі ділянки стінки доцільно зварювати роботом. Напівавтоматичний пост використовується також для

прихоплень під час складання та для можливого виправлення окремих ділянок після контролю.

Після завершення зварювання стінку залишають у пристосуванні до первинного охолодження, після чого виконують контроль якості. Перевіряють зовнішній вигляд швів, катети кутових з'єднань, відсутність підрізів, пор, кратерів, прожогів і напливів. Окремо контролюють геометрію готового вузла: загальну довжину і висоту стінки, прямолінійність верхнього та нижнього поясів, положення крайніх і проміжних стояків, площинність обшивки та різницю діагоналей.

Запропонована установка забезпечує послідовне та точне складання бокової стінки критого вагона 11-7094: спочатку встановлюють крайні стояки і верхній та нижній пояси каркаса, після цього монтують і прихоплюють листи обшивки, далі встановлюють проміжні стійки, після чого виконують основне роботизоване MAG-зварювання. Така організація процесу дозволяє підвищити точність складання, зменшити вплив людського чинника, обмежити зварювальні деформації та забезпечити стабільну якість готової стінки.

### **3.2 Розрахунок притискних елементів кондуктора**

Під час складання бокової стінки критого вагона 11-7094 необхідно забезпечити нерухоме положення верхнього та нижнього поясів каркаса, крайніх стояків, проміжних стійок і профільованих листів обшивки. У процесі прихоплення та подальшого MAG-зварювання деталі можуть зміщуватися під дією власної маси, зусиль від притискачів, місцевого нагрівання та зварювальних деформацій. Тому в конструкції складального кондуктора передбачаються пневматичні притискні елементи, які забезпечують надійне базування деталей і збереження геометрії стінки.

Для даної конструкції приймаються два типи притискних пристроїв:

- важільні пневматичні притискачі — для фіксації верхнього та нижнього поясів, крайніх і проміжних стійок;

- силові пневматичні притискачі прямої дії — для притискання профільованої обшивки до каркаса перед прихопленням і зварюванням.

Розрахунок виконується для визначення необхідного зусилля притиску, діаметра пневмоциліндрів і перевірки достатності прийнятих виконавчих елементів [28].

*Розрахунок важільного притискача для фіксації елементів каркаса*

Важільні притискачі застосовуються для утримання профільних елементів каркаса у заданому положенні. Вони повинні забезпечувати притискання деталей до базових упорів кондуктора та запобігати їх зміщенню під час прихоплення і роботизованого зварювання.

Зусилля притиску з урахуванням коефіцієнта запасу визначається за формулою:

$$Q = Q_{\text{тр}} \cdot K$$

де  $Q_{\text{тр}}$  — зусилля, необхідне для запобігання зміщенню деталі, Н;

$K$  — коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу визначаємо як добуток окремих коефіцієнтів:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2$$

Приймаємо:  $K_0 = 1,5$ ;  $K_1 = 1,0$ ;  $K_2 = 1,0$

Тоді:

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,5$$

Для одного притискного вузла приймаємо масу ділянки каркаса, що фіксується  $m = 250$  кг

Коефіцієнт тертя між деталлю та опорною поверхнею приймаємо  $f = 0,2$

Тоді необхідне зусилля, яке запобігає зміщенню деталі, становить:

$$Q_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f = 250 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 490,5 \text{ Н}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q = 490,5 \cdot 1,5 = 735,75 \text{ Н}$$

Приймаємо  $Q = 736$  Н.

Для важільного притискного механізму необхідно визначити зусилля на штоку пневмоциліндра:

$$P = \frac{Q}{\frac{1}{b} \left( a - \frac{a+b}{b} \cdot f_{\text{ш}} \cdot r \right)}$$

Приймаємо:  $a = b = 15$  см;  $f_{\text{ш}} = 0,1$ ;  $r = 1$  см.

Тоді:

$$P = \frac{736}{\frac{1}{15} \left( 15 - \frac{15+15}{15} \cdot 0,1 \cdot 1 \right)} = \frac{736}{\frac{1}{15} (15 - 0,2)} P = 746 \text{ Н}$$

Отже, розрахункове зусилля на штоку пневмоциліндра важільного притискача повинно бути не менше  $P = 746$  Н.

Діаметр поршня пневмоциліндра визначаємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi \cdot p \cdot \eta}}$$

де  $p = 0,63$  МПа— робочий тиск у пневмосистемі;

$\eta = 0,85$ — коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 746}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,85}} = 42,1 \text{ мм}$$

За конструктивними міркуваннями приймаємо стандартний діаметр поршня  $D = 50$  мм.

Перевіримо фактичне зусилля пневмоциліндра діаметром 50 мм:

$$P_{\text{ф}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p \cdot \eta = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} \cdot 0,63 \cdot 0,85 = 1050 \text{ Н}$$

Оскільки  $P_{\text{ф}} = 1050 \text{ Н} > P = 746 \text{ Н}$  прийнятий пневмоциліндр забезпечує необхідне зусилля притиску. Для важільних притискачів каркаса приймаємо пневмоциліндр 2111-50×200

*Розрахунок силового притискача для фіксації листів обшивки*

Для притискання профільованих листів обшивки до елементів каркаса необхідне більше зусилля, ніж для фіксації окремих профільних деталей. Це пояснюється значною площею листів, можливою залишковою хвилястістю після

профілювання та необхідністю забезпечення щільного прилягання обшивки до стояків і поясів каркаса перед прихопленням.

Для одного силового притискного вузла приймаємо умовну масу ділянки обшивки та каркаса  $m = 300$  кг.

Коефіцієнт запасу  $K = 1,5$ .

Необхідне зусилля притискання визначаємо за формулою:

$$Q = m \cdot g \cdot K = 300 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 4414,5 \text{ Н}$$

Приймаємо  $Q = 4415$  Н.

Діаметр поршня пневмоциліндра для силового притискача визначаємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}}$$

де  $p = 0,63$  МПа;  $\eta = 0,95$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4415}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,95}} = 96,9 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр поршня  $D = 100$  мм.

Фактичне зусилля пневмоциліндра діаметром 100 мм становить:

$$Q_{\phi} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p \cdot \eta = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} \cdot 0,63 \cdot 0,95 = 4698 \text{ Н}$$

Оскільки  $Q_{\phi} = 4698 \text{ Н} > Q = 4415 \text{ Н}$  прийнятий пневмоциліндр забезпечує необхідне зусилля притискання профільованої обшивки. Для силових притискних елементів приймаємо пневмоциліндр 2311-100×300.

Кількість притискачів визначається габаритами бокової стінки, довжиною верхнього та нижнього поясів, кількістю стояків і необхідністю рівномірного притискання профільованої обшивки. Притискні елементи розміщуються вздовж поясів, у місцях встановлення стояків, у зоні дверного прорізу та на ділянках прилягання обшивки до каркаса.

Приймаємо таку схему розміщення притискачів (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Типи притискачів для фіксування елементів стінки

| Тип притискного елемента | Зона встановлення           | Кількість, шт. | Прийнятий пневмоциліндр |
|--------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| Важільний притискач      | Верхній пояс каркаса        | 12             | 2111-50×200             |
| Важільний притискач      | Нижній пояс каркаса         | 12             | 2111-50×200             |
| Важільний притискач      | Крайні та проміжні стійки   | 8              | 2111-50×200             |
| Силовий притискач        | Листи профільованої обшивки | 10             | 2311-100×300            |
| Силовий притискач        | Зона дверного прорізу       | 4              | 2311-100×300            |

Загальна кількість притискних елементів становить  $n = 12 + 12 + 8 + 10 + 4 = 46$  шт. Прийнята кількість притискних елементів забезпечує рівномірну фіксацію деталей у кондукторі, запобігає зміщенню елементів під час прихоплення та роботизованого МАG-зварювання, а також сприяє збереженню геометрії бокової стінки після завершення зварювальних операцій.

## **4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Оцінка шкідливих і небезпечних факторів на ділянці виготовлення стінки**

Дільниця виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 належить до виробничих зон із підвищеною кількістю технологічного обладнання та різномірних операцій. У межах цієї ділянки виконуються правлення листового прокату, лазерний розкрій, гнуття швелероподібних профілів, профілювання листової обшивки, дробоструминне очищення, складання, прихоплення, роботизоване та механізоване МАГ-зварювання, контроль якості й підготовка поверхні до нанесення захисного покриття. Кожна з цих операцій супроводжується певними небезпечними або шкідливими виробничими факторами, які необхідно враховувати під час організації робочих місць.

На ділянці найбільш характерними шкідливими факторами є зварювальні аерозолі, гази, пил від механічного очищення, шум, вібрації, теплове та світлове випромінювання, електрична напруга, рухомі частини обладнання, гострі кромки заготовок і можливість травмування під час переміщення великогабаритних деталей. Особливу увагу потрібно приділяти операціям МАГ-зварювання, оскільки під час горіння дуги утворюється інтенсивне ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, а також виділяються аерозолі металу та газоподібні продукти зварювального процесу.

При зварюванні сталі 09Г2С у середовищі захисної газової суміші можливе надходження у повітря робочої зони оксидів заліза, марганцю, оксидів азоту, оксиду вуглецю та дрібнодисперсного пилу. Тривалий вплив таких речовин без належної вентиляції може спричинити подразнення органів дихання, погіршення самопочуття та розвиток професійних захворювань. Для зменшення концентрації шкідливих речовин на робочих місцях передбачається загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція, а в зонах зварювання — місцеві витяжні пристрої або аспіраційні системи, розташовані поблизу зони утворення аерозолу.

Під час роботи лазерного комплексу для розкрою листових заготовок небезпеку становлять лазерне випромінювання, відбиті промені, продукти термічного різання, гарячі частинки металу та рухомі вузли верстата. Тому зона



лазерного різання повинна бути обладнана захисними кожухами, блокуванням доступу під час роботи, системою видалення диму та фільтрації повітря. Оператор має працювати відповідно до інструкції з безпечної експлуатації обладнання та не відкривати захисні елементи під час виконання різання.

Під час гнуття профілів на листозгинальному пресі небезпечними є рухомі частини траверси, зона між пуансоном і матрицею, а також можливе защемлення рук під час встановлення заготовок. Для зменшення ризику травмування прес повинен мати захисні огороження, світлові бар'єри або інші засоби блокування, а робітники повинні виконувати встановлення заготовок тільки після повної зупинки робочого органу. Забороняється знаходження рук у небезпечній зоні під час робочого ходу преса.

Операції дробоструминного очищення супроводжуються утворенням пилу, шуму та високошвидкісним рухом абразивних частинок. Для зниження шкідливого впливу установка повинна бути герметизованою, обладнаною системою аспірації та пиловловлювання. Обслуговуючий персонал має використовувати засоби захисту органів дихання, очей, слуху та спеціальний одяг, що запобігає потраплянню абразиву на шкіру.

На операціях складання та зварювання бокової стінки додаткову небезпеку створюють великогабаритні деталі, притискачі, вантажопідіймальні механізми, роботизований зварювальний комплекс і напівавтоматичний MAG-пост. Переміщення стінки, листів обшивки та профілів необхідно виконувати лише справними вантажозахоплювальними пристроями. Робоча зона зварювального робота повинна бути огорожена, а доступ до неї під час автоматичного циклу має блокуватися. Перед запуском робота оператор повинен переконатися у відсутності людей у небезпечній зоні.

Світлове випромінювання зварювальної дуги може викликати ураження очей і відкритих ділянок шкіри. Для захисту персоналу зварювальні пости обладнують захисними екранами або світлонепроникними шторками. Працівники повинні використовувати зварювальні маски зі світлофільтрами відповідного ступеня затемнення, захисні окуляри, рукавиці, вогнестійкий спецодяг і спеціальне взуття.

Для допоміжних робітників, які перебувають поблизу зони зварювання, також передбачаються захисні окуляри або щитки.

Шум на дільниці виникає під час роботи дробоструминної установки, вентиляційних систем, листозгинального преса, обладнання для різання, пневматичних притискачів та ручного механізованого інструменту. Для зниження рівня шуму застосовують звукоізолювальні кожухи, раціональне розміщення обладнання, своєчасне технічне обслуговування приводів і підшипникових вузлів. Працівники, які перебувають у зонах із підвищеним рівнем шуму, повинні користуватися протишумовими навушниками або вкладками.

Вібрація виникає під час роботи шліфувальних машин, пневматичного інструменту та частини допоміжного обладнання. Для її зменшення застосовують віброгасні прокладки, справний інструмент із балансованими робочими органами, рукавиці з віброзахисними вставками та регламентовані перерви під час тривалої роботи з ручним механізованим інструментом.

Електробезпека на дільниці має особливе значення, оскільки використовується зварювальне, лазерне, згинальне, вентиляційне та допоміжне електрообладнання. Усі металеві корпуси машин, шафи керування, зварювальні джерела, роботизований комплекс, напівавтоматичні пости та інше обладнання, яке може опинитися під напругою в аварійному режимі, повинні бути приєднані до захисного заземлення. Електрообладнання має проходити періодичний огляд, перевірку ізоляції та контроль справності захисних пристроїв.

Пожежна небезпека на дільниці пов'язана з наявністю зварювальної дуги, бризок розплавленого металу, нагрітих деталей, лакофарбових матеріалів і горючих відходів. Робочі місця повинні бути очищені від зайвих горючих матеріалів, а поблизу зварювальних постів необхідно розмістити первинні засоби пожежогасіння. Фарбувальні матеріали та розчинники зберігають у спеціально відведених місцях, у закритій тарі, з дотриманням вимог пожежної безпеки [29].

Таким чином, безпечна організація дільниці виготовлення стінки критого вагона 11-7094 передбачає застосування вентиляції, огорожень рухомих зон, блокування доступу до роботизованого комплексу, захисного заземлення, засобів

індивідуального захисту, шумозахисту, віброзахисту, пожежної профілактики та регулярного контролю технічного стану обладнання.

#### 4.2 Розрахунок захисного заземлювального пристрою дільниці

Захисне заземлення призначене для зниження небезпеки ураження працівників електричним струмом у разі пошкодження ізоляції та появи напруги на металевих неструмоведучих частинах обладнання. На дільниці виготовлення стінки критого вагона 11-7094 заземленню підлягають корпуси зварювальних джерел, роботизованого комплексу, лазерного обладнання, листозгинального преса, дробоструминної установки, вентиляційних агрегатів, шаф керування та іншого електрообладнання.

Метою розрахунку є визначення кількості вертикальних заземлювачів і перевірка загального опору заземлювального пристрою. Розрахунок виконується для виробничої дільниці з електроустановками, що живляться від мережі напругою 380 В [29-30]. Як вертикальні заземлювачі приймаються сталеві електроди довжиною  $l = 3$  м і діаметром  $d_e = 0,045$  м, з'єднані між собою сталеві смуги шириною  $b = 0,04$  м. Заглиблення верхнього кінця електрода і з'єднувальної смуги приймається  $H = 0,7$  м.

Вихідні дані для розрахунку:  $\rho = 150$  Ом м;  $l = 3$  м;  $d_e = 0,045$  м;  $a = 6$  м;  $H = 0,7$  м;  $\eta_z = 0,74$ ;  $\eta_c = 0,75$ ;  $R_H = 4$  Ом.

Розрахунковий питомий опір ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \psi$$

де  $\psi = 1,32$ — кліматичний коефіцієнт.

$$\rho_p = 150 \cdot 1,32 = 198 \text{ Ом м}$$

Відстань від поверхні ґрунту до середини вертикального електрода:

$$t = H + 0,5l = 0,7 + 0,5 \cdot 3 = 2,2 \text{ м}$$

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача визначаємо за формулою:

$$R_1 = \frac{\rho_p}{2\pi l} \left[ \ln \frac{2l}{d_e} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l}{4t - l} \right] = \frac{198}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[ \ln \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right] \approx 55,1 \text{ Ом}$$

Необхідну кількість вертикальних заземлювачів орієнтовно визначаємо за формулою:

$$n = \frac{R_1}{R_n \cdot \eta_3} = \frac{55,1}{4 \cdot 0,74} = 18,6$$

Приймаємо  $n = 20$  шт.

Довжина з'єднувальної смуги при розміщенні електродів по контуру:

$$L_c = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 20 = 126 \text{ м}$$

Опір вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$R_b = \frac{R_1}{n \cdot \eta_3} = \frac{55,1}{20 \cdot 0,74} = 3,72 \text{ Ом}$$

Опір розтікання струму з'єднувальної смуги визначаємо за формулою:

$$R_c = \frac{\rho_p}{2\pi L_c} \ln \frac{2L_c^2}{bH} = \frac{198}{2 \cdot 3,14 \cdot 126} \ln \frac{2 \cdot 126^2}{0,04 \cdot 0,7} \approx 3,46 \text{ Ом}$$

З урахуванням коефіцієнта використання смуги:

$$R_{c.п} = \frac{R_c}{\eta_c} = \frac{3,46}{0,75} = 4,61 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземлювального пристрою визначаємо як паралельне з'єднання опору вертикальних заземлювачів і з'єднувальної смуги:

$$R_{з.п} = \frac{R_b \cdot R_{c.п}}{R_b + R_{c.п}} = \frac{3,72 \cdot 4,61}{3,72 + 4,61} = 2,06 \text{ Ом}$$

Отримане значення порівнюємо з допустимим:

$$R_{з.п} = 2,06 \text{ Ом} < R_n = 4 \text{ Ом}$$

Для захисного заземлення ділянки виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 приймаємо 20 вертикальних сталевих заземлювачів довжиною 3 м, розміщених по контуру з кроком 6 м і з'єднаних сталевією смугою шириною 0,04 м. Розрахунковий опір заземлювального пристрою становить 2,06 Ом, що не перевищує допустимого значення 4 Ом. Це підтверджує придатність прийнятої схеми заземлення для безпечної експлуатації електрообладнання ділянки.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено технологічний процес виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094. У процесі виконання роботи проаналізовано конструкцію вагона та встановлено, що бокова стінка є великогабаритним каркасно-листовим вузлом, який виконує захисну та несучу функції у складі кузова. Вона формує бокову поверхню вантажного приміщення, захищає вантаж від зовнішніх чинників і бере участь у забезпеченні просторової жорсткості вагона.

Проаналізовано існуючі технології виготовлення стінок вагонів і встановлено, що традиційні процеси мають значну трудомісткість, залежать від кваліфікації виконавців і не завжди забезпечують стабільну геометрію великогабаритного вузла. Для підвищення ефективності запропоновано застосування точного розкрою заготовок, гнуття профілів на обладнанні з ЧПК, спеціалізованого складального пристосування, механізованого прихоплення та роботизованого MAG-зварювання основних швів.

Для зварювання елементів стінки обрано автоматичне та механізоване MAG-зварювання. Такий спосіб є найбільш доцільним для конструкції, у якій поєднуються профільні елементи каркаса та тонколистова обшивка. MAG-зварювання забезпечує стабільне формування шва, високу продуктивність, можливість механізації й роботизації, а також зменшення обсягу ручних операцій. Для тонколистової обшивки передбачено виконання коротких або переривчастих швів, що дозволяє обмежити тепловкладення та зменшити жолоблення листів.

Запропоновано технологічний маршрут виготовлення бокової стінки, який включає вхідний контроль металопрокату, правлення листів, лазерний розкрій, виготовлення гнутих швелероподібних профілів, профілювання листів обшивки, механічне очищення поверхні, складання основного контуру каркаса, встановлення та прихоплення обшивки, монтаж проміжних стійок, роботизоване MAG-зварювання, допоміжне механізоване зварювання, контроль якості та підготовку поверхні до фарбування.

Обґрунтовано вибір зварювального устаткування для реалізації запропонованого процесу. Для основних повторюваних швів прийнято роботизований MAG-комплекс CLOOS QIROX із джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 602, а для прихоплення, складання і коротких допоміжних швів — напівавтоматичний пост CLOOS QINEO StarT 502. Такий комплект устаткування дозволяє раціонально розподілити зварювальні операції між роботизованим і механізованим обладнанням.

Розроблено конструкцію установки для складання та зварювання бокової стінки. Запропонована послідовність складання передбачає спочатку встановлення крайніх стояків і верхнього та нижнього поясів каркаса, після чого монтуються та прихоплюються листи обшивки, далі встановлюються проміжні стійки і виконується основне роботизоване MAG-зварювання. Така організація процесу забезпечує формування точного базового контуру стінки, правильне положення обшивки та зменшення залишкових деформацій.

У конструкторській частині виконано розрахунок притискних елементів кондуктора. Для фіксації верхнього й нижнього поясів, крайніх і проміжних стійок прийнято важільні пневматичні притискачі з пневмоциліндрами 2111-50×200. Для притискання профільованої обшивки та фіксації зони дверного прорізу прийнято силові пневматичні притискачі з пневмоциліндрами 2311-100×300.

Для контролю якості зварних з'єднань прийнято комбіновану систему контролю. Основним методом визначено візуально-вимірювальний контроль із застосуванням шаблону зварника та вимірювального інструменту. Для відповідальних швів каркаса передбачено ультразвуковий контроль дефектоскопом NOVOTEST УД-1, а для зон можливого утворення поверхневих тріщин — магнітопорошковий контроль електромагнітним ярмом Magnaflux Y-2 AC із магнітною суспензією Magnaflux 14HF.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають на ділянці виготовлення стінки. Запропоновано заходи захисту працівників, зокрема застосування вентиляції, огорожень, засобів

індивідуального захисту, захисного заземлення, блокувань роботизованої зони та засобів пожежної безпеки.

Розроблений технологічний процес виготовлення бокової стінки критого вагона 11-7094 забезпечує точну підготовку заготовок, раціональну послідовність складання, стабільне виконання зварних швів, зменшення впливу людського чинника та підвищення якості готової конструкції. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при організації виробництва великогабаритних каркасно-листових вузлів залізничного рухомого складу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. <https://kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/kriti-vagoni/item/1967-kryti-vahony-mod-11-7094-y-11-7094-01>
3. Технологія вагонобудування та ремонту вагонів: навчальний посібник / за ред. В. І. Мямліна. Дніпро: ДНУЗТ, 2016.
4. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.
5. ДСТУ 8541:2015. Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ 2253-93. Профілі сталеві гнуті спеціальні для вагонобудування. Сортамент. Київ: Держстандарт України, 1993.
7. [https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-09g2s/?srsId=AfmBOooW5R\\_v4BXgzOW8GIBknxsyg6BOh8gAZT-botUK1n5BF8eLZfld](https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-09g2s/?srsId=AfmBOooW5R_v4BXgzOW8GIBknxsyg6BOh8gAZT-botUK1n5BF8eLZfld)
8. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізвуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
10. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні з'єднання зі сталі, нікелю, титану та їх сплавів, виконані плавленням. Рівні якості залежно від дефектів.
11. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
12. ДСТУ EN ISO 9606-1:2016. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
13. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та кваліфікація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування технології зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
14. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
15. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання металевим електродом у захисному газі нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ :



- Мінекономрозвитку України, 2014. Стандарт визначає класифікацію дротів і наплавленого металу для газозахисного дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей.
16. <https://paton.ua/svarochnaya-provoloka/omednennaya-provoloka/zvaryvalniy-dr-t-er70-s6-sv-08g2s-0-8-mm-5-kg/>
  17. <https://robodk.com/robot/CLOOS/QIROX-QRC-350-E>
  18. [https://cloos.hu/wp-content/uploads/2024/02/QINEO\\_NexT\\_Manual-EN.pdf](https://cloos.hu/wp-content/uploads/2024/02/QINEO_NexT_Manual-EN.pdf)
  19. <https://cloos-group.com/en/products/manual-welding/welding-power-sources/qineo-start/>
  20. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
  21. <https://nktd.com.ua/defektoskop-ultrazvukovoj-novotest-ud-1/>
  22. <https://norsemensafety.co.uk/product/magnaflux-y-2-yoke-220-230v-110-115v/?srsltid=AfmBOopfjCITLUjYQ-6nOLEo9VkgECImMIz0Oqy48gOVwaVU1k8K01Zz>
  23. <https://www.arku.com/en/levelers/laser-cut-and-punched-parts/flatmaster>
  24. <https://www.a-sfera.com.ua/products/tehnologicheskie-lazery-trumpf/sistema-lazernoy-rezki-trulaser-5030-fiber5040-fiber>
  25. [https://vectortool.ua/products/obladnannya/listozgini/elektromexanichni-listozgini?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=23638324742&gclid=Cj0KCQjwrZTRBhDSARIsAHidYfecc1lsGxv1e5uZiQ\\_MCcT1RjiFuvRjpRzxnWvtwAxWD6Qod5J25OsaAn26EALw\\_wcB](https://vectortool.ua/products/obladnannya/listozgini/elektromexanichni-listozgini?gad_source=1&gad_campaignid=23638324742&gclid=Cj0KCQjwrZTRBhDSARIsAHidYfecc1lsGxv1e5uZiQ_MCcT1RjiFuvRjpRzxnWvtwAxWD6Qod5J25OsaAn26EALw_wcB)
  26. <https://www.directindustry.com/soc/dallan-33281.html>
  27. <https://www.exapro.com/voortman-vs-b-1500-p250507351/>
  28. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
  29. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. — К.: Основа, 2010. — 240 с.
  30. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. — Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.

## **ДОДАТКИ**