

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технологічного процесу зварювання рами вагона типу EAOS**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МПЗ-41
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Барабаш Н.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Підгурський М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню технологічного процесу зварювання рами вагона типу ЕАОС. Робота містить розрахунково-пояснювальну записку та графічну частину, у якій наведено технологічні схеми, складально-зварювальні пристосування, кантувачі та обладнання для виготовлення рами.

У роботі розглянуто конструкцію відкритого вантажного вагона ЕАОС, призначеного для перевезення навалювальних, сипких і штучних вантажів. Основну увагу приділено несучій рамі, яка сприймає основні експлуатаційні навантаження, забезпечує зв'язок кузова з ходовою частиною та значною мірою визначає надійність вагона.

Проаналізовано будову рами, її основні елементи та умови роботи хребтової, шворневих, кінцевих, проміжних і бокових балок. Обґрунтовано застосування сталі 10ХСНД класу міцності 390 для виготовлення відповідальних елементів конструкції. Встановлено, що цей матеріал має достатню міцність, пластичність, атмосферостійкість і задовільну зварюваність.

У технологічній частині запропоновано вузловий принцип виготовлення рами, за якого хребтову, шворневі, кінцеві та поперечні балки складають і зварюють окремо, а потім об'єднують у загальну рамну конструкцію. Такий підхід покращує доступ до зварних швів, підвищує точність складання та зменшує залишкові деформації.

Для виконання основних зварювальних операцій прийнято комбіновану технологію: автоматичне зварювання під флюсом для протяжних стикових швів хребтової балки та механізоване MIG/MAG-зварювання у суміші захисних газів для таврових, кутових і напусткових з'єднань. Підібрано зварювальні матеріали, визначено режими зварювання та запропоновано сучасне зварювальне обладнання.

Розроблений технологічний процес охоплює вхідний контроль матеріалів, очищення і правлення прокату, розкрій заготовок, підготовку кромek, складання та зварювання вузлів рами, очищення швів, правлення і остаточний контроль якості.

Для забезпечення точності складання запропоновано застосування кондукторів, пневматичних притискачів, відкидних упорів, кантувачів і складально-зварювальних стендів.

У конструкторській частині виконано розрахунок притискних елементів пристосувань та підібрано пневмоциліндри для надійної фіксації заготовок під час складання і зварювання. Для контролю якості передбачено візуально-вимірювальний контроль усіх швів та ультразвукову дефектоскопію найбільш відповідальних з'єднань.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці визначено основні небезпечні фактори складально-зварювального виробництва і запропоновано заходи електробезпеки, вентиляції, пожежного захисту та використання засобів індивідуального захисту. Також виконано розрахунок природного освітлення виробничої ділянки.

Ключові слова: РАМА ВАГОНА ЕАОС, ХРЕБТОВА БАЛКА, АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ, MIG/MAG-ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ, КОНДУКТОР, КАНТУВАЧ.

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 виробу	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення вагона типу EAOS	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
2.1 Обґрунтування способу зварювання	25
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	39
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу	43
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	54
3.1 Вибір зварювальних пристосувань.....	54
3.2 Розрахунок і проєктування елементів пристосувань.....	58
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1 Вимоги безпеки до виробничого процесу	62
4.2 Розрахунок природного освітлення цеху виготовлення рами вагона	64
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69
ДОДАТКИ.....	71

ВСТУП

Зварювання є одним із найпоширеніших технологічних процесів у сучасному машинобудуванні та будівництві металоконструкцій. Його широке застосування пояснюється можливістю зменшення витрат металу, скорочення тривалості виробничого циклу та зниження загальної трудомісткості виготовлення виробів. Технологія виробництва зварних конструкцій, як правило, базується на використанні типових технологічних схем, які попередньо адаптують до конкретного виду конструкції, її габаритів, матеріалу, умов експлуатації та наявного виробничого обладнання. У процесі підготовки виробництва такі технологічні послідовності уточнюються, доповнюються або змінюються з урахуванням конструктивних особливостей виробу, вимог до якості зварних з'єднань і організаційно-технічних умов підприємства.

Одним із ключових напрямів удосконалення зварювального виробництва є впровадження механізації та автоматизації. Використання механізованих і автоматизованих засобів дає змогу істотно підвищити продуктивність праці, забезпечити стабільність параметрів зварювального процесу, покращити якість зварних з'єднань, а також зменшити вплив людського фактора. Крім того, автоматизація сприяє поліпшенню умов праці зварників, зниженню фізичного навантаження та підвищенню безпеки виконання складально-зварювальних операцій.

Під час виготовлення зварних конструкцій значну частку трудомісткості становлять не лише безпосередньо зварювальні роботи, а й складальні та допоміжні операції. Саме ці етапи часто залишаються найбільш складними для механізації, оскільки потребують точного базування деталей, їх фіксації, вивіряння взаємного положення та забезпечення необхідних зазорів перед зварюванням. За орієнтовними оцінками, на виконання складальних і допоміжних робіт може припадати близько третини загальної трудомісткості складально-зварювального процесу. Тому підвищення ефективності виробництва значною мірою залежить від

застосування спеціалізованих складально-зварювальних стендів, кондукторів, позиціонерів, установок і пристроїв зі швидкодіючими затискними механізмами.

У сучасному зварювальному виробництві особливої актуальності набувають питання підвищення продуктивності, зниження собівартості виготовлення конструкцій та забезпечення стабільної якості продукції. Раціональне використання технологічного оснащення, механізованих пристроїв і автоматизованих систем дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу, підвищити точність складання, зменшити обсяг виправних операцій після зварювання та забезпечити більш ефективне використання трудових ресурсів. У результаті підприємство отримує можливість виготовляти конкурентоспроможну продукцію, яка відповідає сучасним технічним, економічним і експлуатаційним вимогам. [1]

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Вагон типу EAOS (рис. 1.1) належить до відкритих чотиривісних вантажних вагонів бортового типу, які призначені для перевезення масових навалювальних, сипких і штучних вантажів, що не потребують захисту від атмосферних опадів. До таких вантажів можуть належати вугілля, щебінь, пісок, руда, металопродукція, лісоматеріали та інші вантажі, які допускають транспортування у відкритому кузові. Конструктивно вагон має відкритий зверху кузов із високими бортами, металевою підлогою, бічними дверима для розвантаження та ходовою частиною на двох двовісних візках. Для вагонів цього типу характерні великий корисний об'єм кузова, значна вантажопідйомність і пристосованість до інтенсивної експлуатації у складі вантажних поїздів.



Рис. 1.1 – Загальний вигляд вагона EAOS [2]

Основними складовими вагона EAOS є кузов, рама, ходова частина, ударно-тягові пристрої, гальмівне обладнання та допоміжні елементи. Кузов утворюється системою бокових і торцевих стінок, верхніми об'язувальними елементами,

стійками, підлогою та дверними вузлами. Бічні стінки, як правило, мають підсилювальні вертикальні стійки, які забезпечують жорсткість бортів і сприймають навантаження від вантажу під час руху, маневрових ударів та розвантажувальних операцій. У конструкції EAOS можуть передбачатися двостулкові двері на кожному боці вагона, що полегшує бокове вивантаження матеріалів.

Таблиця 1.1 Технічні дані вагона EAOS [2]

Вантажопідйомність, не більше, т	58,0
Об'єм кузова, м ³	71,5
Маса тари, не більше, т	20,8
Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	200,5 (20,0)
База вагона, мм	9000
Довжина вагона по осям автозчеплень, мм	14 400
Габарит кузова	UIC 505
Внутрішні розміри кузова, мм:	
- довжина	12 792
- ширина	2 792
- висота	1 999
Розмір дверного отвору, мм	1800X1800
Конструкційна швидкість, км/год	120
Термін служби, років	22

Найвідповідальнішим несучим елементом вагона є рама (рис. 1.2), оскільки саме вона сприймає основні вертикальні, поздовжні, поперечні та динамічні навантаження, що виникають під час завантаження, руху, гальмування, зчеплення вагонів і маневрових ударів. Рама також є базовою частиною, до якої кріпляться кузов, автозчепне обладнання, гальмівна система, елементи підлоги та вузли опирання на візки. Через п'ятникові вузли навантаження від кузова і вантажу передається на ходові візки, тому рама повинна мати достатню міцність, жорсткість, технологічність виготовлення та доступність для огляду й ремонту.

Рама вагона типу EAOS має зварну металеву конструкцію балкового типу. Вона складається з системи поздовжніх і поперечних елементів, які разом формують жорсткий просторовий каркас. Основними елементами рами є хребтова балка, бокові поздовжні балки, кінцеві балки, шворневі балки, проміжні поперечні

балки, елементи кріплення підлоги, підсилювальні накладки, косинки, ребра жорсткості та кронштейни для встановлення обладнання.

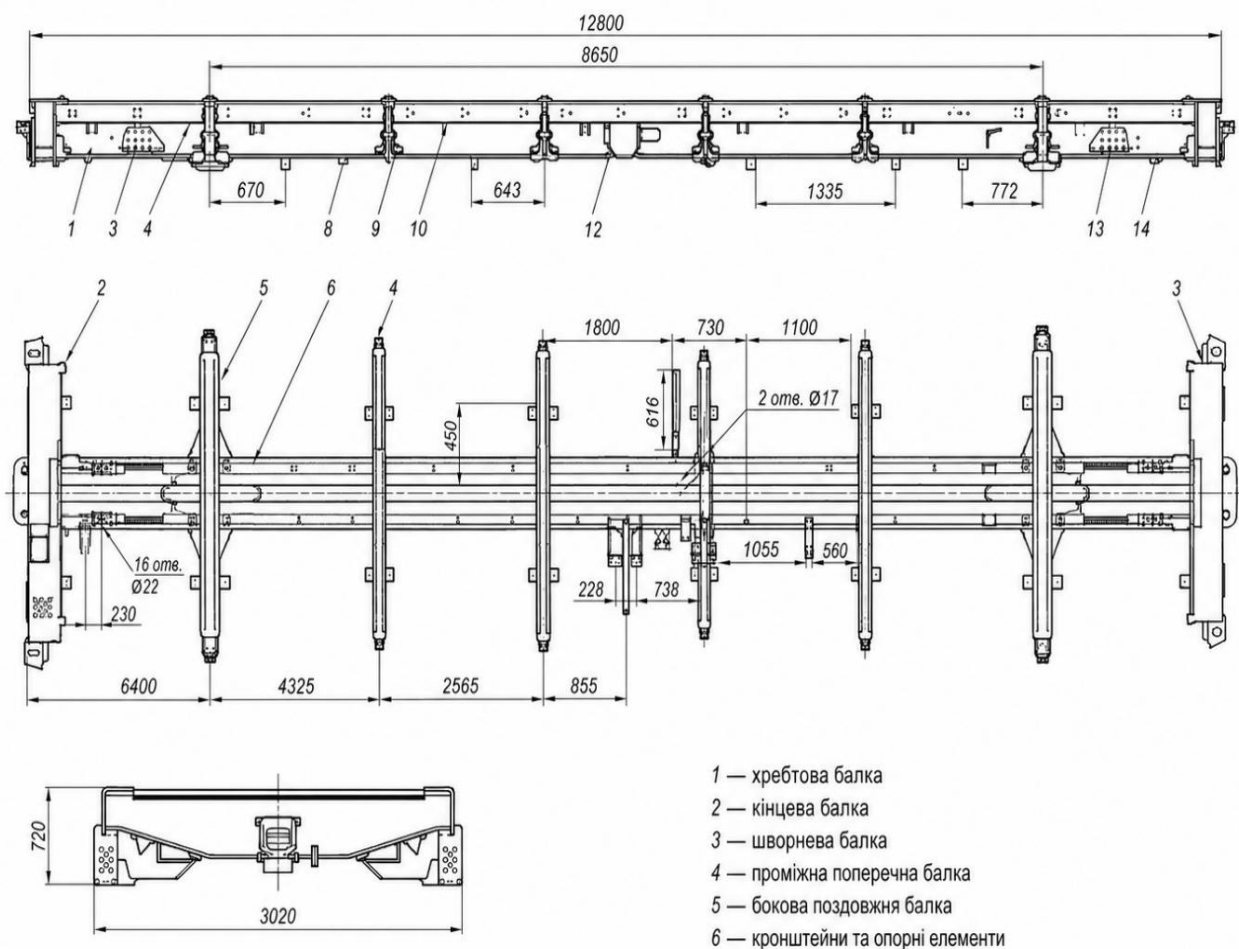


Рис. 1.2 – Несуча рама вагона та її основні конструктивні елементи

Центральним силовим елементом рами є хребтова балка. Вона розташована вздовж поздовжньої осі вагона і виконує функцію основного елемента, який сприймає поздовжні розтягувальні та стискальні зусилля. Такі навантаження виникають під час рушання поїзда, гальмування, зіткнення вагонів при маневруванні, а також у процесі передачі тягових і ударних зусиль через автозчеплення.

У конструктивному відношенні хребтова балка зазвичай має коробчастий або складений зварний переріз, що забезпечує достатню міцність і жорсткість при відносно раціональній витраті металу. До неї приєднуються поперечні балки рами, елементи ударно-тягового обладнання, а також підсилювальні деталі у зонах

найбільшої концентрації напружень. Особливо відповідальними є ділянки біля автозчепного пристрою та шворневих балок, оскільки саме там виникають значні локальні навантаження.

Вздовж обох боків рами розміщуються бокові поздовжні балки, які формують зовнішній контур несучої системи. Вони сприймають навантаження від бокових стінок кузова, підлоги, вертикальних стійок і частково від вантажу. Бокові балки працюють спільно з хребтовою балкою та поперечними елементами, забезпечуючи загальну жорсткість рами на вертикальний згин і кручення.

До бокових балок кріпляться нижні обв'язки бокових стінок, стійки кузова, дверні елементи та окремі вузли кріплення допоміжного обладнання. Вони також виконують важливу роль у рівномірному розподілі навантажень уздовж довжини вагона. Під час експлуатації бокові балки зазнають змінних навантажень, тому якість їх зварних з'єднань і точність геометрії мають суттєве значення для довговічності всієї конструкції.

У торцевих частинах рами встановлюються кінцеві балки, які з'єднують між собою поздовжні елементи та утворюють замкнений контур рами. Вони беруть участь у сприйнятті поздовжніх ударних і тягових зусиль, що передаються від автозчепного пристрою. Крім того, кінцеві балки забезпечують жорсткість торцевої частини вагона та є опорою для окремих елементів кузова.

Конструктивно кінцеві балки працюють у складних умовах, оскільки в зоні торців вагона виникають значні динамічні навантаження під час маневрових зіткнень, зчеплення і розчеплення вагонів. Тому ці елементи часто мають посилення у вигляді накладок, ребер жорсткості та фасонних деталей.

Одними з найбільш відповідальних елементів рами є шворневі балки. Вони розміщуються у місцях опирання кузова на ходові візки та призначені для передачі вертикального навантаження від вагона на візки через п'ятникові вузли. Саме через шворневі балки основна маса кузова разом із вантажем передається на ходову частину.

Шворнева балка сприймає не лише вертикальні сили, а й частину поперечних і крутильних навантажень, які виникають під час руху вагона кривими ділянками

колії, проходження нерівностей та дії бокових сил. У цій зоні розміщуються п'ятник, ковзуни, опорні пластини та підсилювальні елементи. Через високу навантаженість шворневі балки повинні мати підвищену жорсткість, а їх зварні з'єднання повинні виконуватися з особливою увагою до якості.

Між шворневими та кінцевими балками, а також у середній частині рами встановлюються проміжні поперечні балки. Їх основне призначення полягає у підтриманні підлоги, розподілі навантаження від вантажу між поздовжніми елементами та підвищенні просторової жорсткості рами.

Проміжні балки зменшують прогин настилу підлоги, забезпечують рівномірніше передавання сил на бокові та хребтову балки, а також перешкоджають місцевим деформаціям кузова. Вони працюють як елементи поперечного зв'язку, що стабілізують форму рами та підвищують її стійкість під час дії несиметричних навантажень.

Підлога вагона ЕАОС зазвичай виконується металевою, оскільки вона безпосередньо контактує з вантажем і повинна витримувати значні механічні впливи. Під час завантаження вагон може зазнавати ударів від падіння кускових матеріалів, тиску сипких вантажів, дії грейферів або навантажувальних механізмів. Тому настил підлоги повинен мати достатню товщину, зносостійкість і надійне кріплення до елементів рами.

Металевий настил з'єднується з поперечними та поздовжніми балками, утворюючи разом із ними єдину силову систему. У процесі роботи підлога не лише сприймає місцеві навантаження, але й частково бере участь у загальній жорсткості кузова.

До складу рами також входять косинки, ребра жорсткості, накладки, фасонки, кронштейни та опорні пластини. Вони застосовуються в місцях, де необхідно підвищити міцність вузлів, зменшити концентрацію напружень або забезпечити надійне кріплення обладнання.

Найчастіше такі елементи встановлюються у зонах з'єднання хребтової балки з кінцевими та шворневими балками, біля автозчепного обладнання, у місцях опирання кузова на візки, а також на ділянках кріплення гальмівної системи. Їх

наявність дозволяє підвищити довговічність конструкції та зменшити ризик появи тріщин у зварних швах і прилеглому металі.

Під час роботи вагона ЕАОС рама зазнає складного напружено-деформованого стану. На неї діють статичні навантаження від власної маси кузова та вантажу, вертикальні динамічні навантаження під час руху по нерівностях колії, поздовжні сили від автозчеплення, а також поперечні й крутильні навантаження під час проходження кривих ділянок колії. Особливо навантаженими є консольні частини рами, зони шворневих балок, вузли кріплення автозчепного обладнання та місця переходу жорсткості між окремими балками. Тому при проєктуванні та виготовленні рами важливо забезпечити якісне виконання зварних з'єднань, правильну геометрію складання та відсутність дефектів, які можуть призвести до появи тріщин у процесі експлуатації.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення несучої рами вагона доцільно застосовувати низьколеговану конструкційну сталь 10ХСНД. Цей матеріал належить до сталей, які використовують для відповідальних зварних металоконструкцій, що працюють в умовах значних статичних і динамічних навантажень. Основними перевагами сталі 10ХСНД є підвищена міцність, задовільна пластичність, достатня ударна в'язкість і добра стійкість до атмосферної корозії. Саме тому її широко застосовують у вагоно-, мосто- та машинобудуванні для виготовлення елементів, до яких висуваються вимоги щодо надійності, довговічності та зменшення маси конструкції.

Сталь 10ХСНД придатна для експлуатації у широкому температурному діапазоні — від -70 до $+450$ °С, що є важливою перевагою для рухомого складу залізничного транспорту. Рама вагона під час роботи зазнає дії змінних навантажень, ударів, вібрацій, температурних коливань і впливу зовнішнього середовища. Тому вибір сталі з підвищеною міцністю та корозійною стійкістю є технічно обґрунтованим.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 10ХСНД, % [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
до 0,12	0,8– 1,1	0,5– 0,8	0,5– 0,8	до 0,035	до 0,03	0,6– 0,9	до 0,12	до 0,008	0,4– 0,6	до 0,08

Наведений хімічний склад свідчить, що сталь 10ХСНД належить до низьковуглецевих легованих сталей. Невисокий вміст вуглецю позитивно впливає на її зварюваність, а наявність кремнію, марганцю, хрому, нікелю та міді забезпечує необхідний рівень міцності, корозійної стійкості й опору крихкому руйнуванню. Мідь і хром підвищують атмосферостійкість сталі, що особливо важливо для рам вагонів, які тривалий час працюють у відкритому середовищі.

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 10ХСНД при температурі 20 °С [3]

Сортамент	Розмір, мм	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	KCU, кДж/м²
Лист,	5–9	540	400	19	—
Прокат	—	510–685	390	19	290
Сорт, клас міцності 390	до 50	530	390	18	—

За наведеними механічними характеристиками видно, що сталь 10ХСНД має достатній запас міцності для виготовлення несучих елементів рами вагона. Межа текучості близько 390–400 МПа дозволяє сприймати значні експлуатаційні навантаження без появи залишкових деформацій, а відносно видовження 18–19 % свідчить про достатню пластичність матеріалу. Наявність ударної в'язкості на належному рівні є важливою умовою для роботи конструкції в умовах низьких температур та динамічного навантаження.

Сталь 10ХСНД характеризується доброю технологічністю під час зварювання. Зварювання цієї марки сталі може виконуватися як без попереднього підігріву, так і з підігрівом до 100–120 °С залежно від товщини металу, жорсткості конструкції, умов виконання робіт і вимог до відповідальності зварного з'єднання. У певних випадках після зварювання може застосовуватися термічна обробка для зниження залишкових напружень і стабілізації структури металу шва та зони термічного впливу [4]

Добра зварюваність сталі пояснюється насамперед низьким вмістом вуглецю, який не перевищує 0,12 %. За малого вмісту вуглецю зменшується ймовірність утворення загартованих крихких структур у зоні термічного впливу, а також знижується ризик появи холодних тріщин. Якщо вміст вуглецю у сталі є підвищеним, під час зварювання можуть виникати небажані структурні перетворення, локальне підвищення твердості, утворення мікродефектів і зниження пластичності зварного з'єднання. У сталі 10ХСНД ці ризики значною мірою обмежені завдяки раціональному легуванню та низькому вмісту вуглецю.

Важливою перевагою сталі 10ХСНД є також її стійкість до відпускнуї крихкості. Це означає, що після термічної обробки або відпуску матеріал не втрачає в'язкості в такій мірі, як деякі інші конструкційні сталі. Крім того, ця сталь має достатню стійкість до перегріву та утворення тріщин, що є важливим під час виготовлення великогабаритних зварних конструкцій, зокрема рам вантажних вагонів.

Для зменшення залишкових напружень, усунення небажаних загартованих структур і покращення властивостей зварного з'єднання може застосовуватися післязварювальна термічна обробка. У такому випадку виріб нагрівають орієнтовно до температури 650 °С і витримують протягом часу, який залежить від товщини металу. У практиці часто приймають орієнтовну тривалість витримки близько 1 години на кожні 25 мм товщини. Після витримки конструкцію охолоджують на повітрі або за іншим режимом, визначеним технологічними вимогами. Така обробка сприяє вирівнюванню структури металу, зменшенню внутрішніх напружень і підвищенню надійності зварної конструкції.

Оцінювання зварюваності сталі виконують за розрахунковим значенням еквівалентного вмісту вуглецю. Для сталі 10ХСНД його можна визначити за формулою [4]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + V + Mo}{10}$$

$$C_e = 0,12 + \frac{0,5}{20} + \frac{0,5}{15} + \frac{1,02}{10} = 0,28\%$$

Отримане значення еквівалентного вмісту вуглецю становить 0,28 %, що відповідає другій групі зварюваності. Це означає, що сталь має задовільну зварюваність. Для таких сталей у більшості випадків рекомендується застосовувати попередній підігрів, особливо при зварюванні деталей значної товщини, жорстко закріплених елементів або відповідальних вузлів рами вагона.

Сталь 10ХСНД є придатним матеріалом для виготовлення рами вагона, оскільки поєднує достатню міцність, корозійну стійкість, пластичність і задовільну зварюваність. Її використання дозволяє забезпечити необхідну несучу здатність рами, зменшити масу конструкції та підвищити довговічність вагона під час експлуатації в складних кліматичних і навантажувальних умовах.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

1.3.1 Вимоги до матеріалів

Матеріали, які використовуються під час виготовлення рами вагона, повинні відповідати вимогам робочих креслень, чинних стандартів, технічних умов підприємства-виробника та нормативної документації, що регламентує якість металопродукції. Уся сировина, напівфабрикати, комплектувальні вироби, складальні одиниці та деталі мають супроводжуватися документами про якість, сертифікатами відповідності або паспортами виробника, у яких зазначаються марка сталі, хімічний склад, механічні властивості, номер плавки, сортамент і результати контролю.

Матеріали, що застосовуються для виготовлення елементів рами вагона, повинні забезпечувати необхідну міцність, жорсткість, технологічність зварювання, геометричну сумісність деталей та надійну роботу конструкції в умовах експлуатаційних навантажень. Особливу увагу необхідно приділяти матеріалам несучих елементів, оскільки саме вони сприймають основні вертикальні, поздовжні, поперечні та динамічні навантаження під час руху вагона, гальмування, маневрових операцій і завантаження.

Облік, зберігання та транспортування металопрокату на підприємстві повинні здійснюватися таким чином, щоб виключити його механічне

пошкодження, забруднення, корозійне ураження або втрату маркування. Маркування матеріалів має бути доступним для перевірки та відповідати даним, наведеним у супровідній документації. Це дає змогу забезпечити простежуваність матеріалу від моменту його надходження на підприємство до використання у конкретному вузлі або деталі рами [5-8].

Несучі елементи рами вагона виготовляють зі сталей підвищеної міцності з гарантованою зварюваністю згідно з вимогами. Для основних силових деталей рами застосовують такі матеріали:

- хребтові балки, нижні обв'язки та стояки бокових стін виготовляють зі сталі 10ХСНД;
- шворневі та проміжні балки рами виконують зі сталі 10ХСНД.

Для виготовлення другорядних і менш навантажених деталей допускається застосування вуглецевих та конструкційних сталей відповідно до ДСТУ 2651. При цьому вміст вуглецю в таких сталях не повинен перевищувати 0,22 %. Якщо ці деталі підлягають зварюванню, необхідно використовувати сталі з гарантованою зварюваністю, що забезпечує одержання якісного зварного з'єднання без утворення тріщин, пористості та крихких структур у зоні термічного впливу.

Допустимі відхилення від установлених вимог до хімічного складу сталі не повинні перевищувати таких значень за масовою часткою:

- для вуглецю — мінус 0,02 %;
- для марганцю — плюс 0,10 %.

Вміст шкідливих домішок у сталі повинен бути обмеженим, оскільки їх наявність негативно впливає на пластичність, ударну в'язкість і зварюваність металу.

Вхідний контроль матеріалів необхідно проводити відповідно до вимог, а також умов договорів із постачальниками. Під час вхідного контролю перевіряють відповідність маркування, наявність супровідних документів, геометричні розміри прокату, стан поверхні, якість кромки, а також відсутність видимих дефектів.

Вимоги до поверхні, кромки і торців металопродукції повинні відповідати таким нормативним документам ДСТУ.

На обрізних кромках товстолистого гарячекатаного прокату не допускається наявність розшарувань, тріщин, грубих задирок, надривів та інших дефектів, які можуть знизити міцність зварного з'єднання або спричинити появу концентрації напружень під час експлуатації рами.

1.3.2 Вимоги до складання та зварювання рами

Перед складанням і зварюванням усі деталі, з яких виготовляються елементи рами вагона, повинні бути ретельно підготовлені. Поверхні в зоні зварювання необхідно очистити від окалини, іржі, фарби, мастильних матеріалів, бруду, вологи та інших забруднень, які можуть погіршити якість зварного шва. Наявність сторонніх включень на поверхні металу може призвести до утворення пор, непроварів, шлакових включень і зниження міцності з'єднання.

Очищення місць зварювання слід виконувати механізованим способом або методом дробоструминної обробки. Якість очищення повинна забезпечувати отримання чистої металевої поверхні з характерним металевим блиском. Безпосередньо перед зварюванням підготовлені кромки доцільно продути стисненим повітрям для видалення пилу, абразивних частинок і залишків забруднень.

Видалення дефектних зварних швів, розкриття тріщин, підготовку скосів і формування кромки деталей із вуглецевих та низьколегованих сталей дозволяється виконувати механічними або термічними способами. До таких способів належать фрезерування, стругання, рубання, дугове або кисневе різання. Після термічного різання кромки обов'язково очищають від шлаку, окалини, напливів металу та інших залишків, які можуть перешкоджати якісному формуванню шва.

Для зменшення концентрації напружень у таврових і кутових з'єднаннях необхідно забезпечувати плавний перехід від металу шва до основного металу. З цією метою зварні шви доцільно виконувати з раціональною формою зовнішньої поверхні та повним проваром кореня шва. У місцях підвищеної відповідальності не допускаються різкі переходи, підрізи, кратери та інші дефекти, які можуть стати осередками зародження втомних тріщин.

Кутові шви у з'єднаннях елементів рами повинні мати форму, передбачену кресленнями та технологічною документацією. У напусткових з'єднаннях допускається незначний підгин краю накладки до поверхні основного металу під кутом до 15° на довжині приблизно 10–15 мм, якщо це не погіршує працездатність вузла і відповідає вимогам технологічного процесу.

Ділянки, що підлягають зварюванню, необхідно зачищати до металевого блиску на ширину не менше 20 мм з обох боків від з'єднуваних кромek. Така підготовка забезпечує стабільне горіння дуги, якісне формування зварювальної ванни та знижує ймовірність появи дефектів у металі шва.

Металопрокат, який має деформації у вигляді прогинів, вм'ятин, хвилястості, викривлень або місцевих нерівностей, перед подальшою обробкою і складанням повинен бути виправлений. Правлення прокату необхідно виконувати на спеціальному обладнанні або пристроях із плавним прикладанням навантаження, щоб не допустити появи додаткових напружень, тріщин чи локального пошкодження металу. Окремі незначні нерівності на листах товщиною до 3 мм допускається усувати ручним способом.

Кромки несучих елементів, які не підлягають зварюванню, не повинні мати гострих виступів, задирок, нерівностей, надрізів і необроблених ділянок. За необхідності такі кромки потрібно притуплювати або зачищати, оскільки гострі переходи можуть створювати концентрацію напружень і знижувати довговічність конструкції.

Складання елементів рами під зварювання необхідно виконувати у спеціалізованих складально-зварювальних кондукторах, пристроях, кантувачах або маніпуляторах. Використання такого оснащення забезпечує точне взаємне розташування деталей, дотримання проектних розмірів, зменшення деформацій під час зварювання та підвищення повторюваності виробничого процесу.

Під час складання деталей слід виконувати прихватки, які забезпечують надійну фіксацію елементів до початку основного зварювання. Розмір прихваток не повинен перевищувати однієї третини перерізу основного шва, а їх максимальна площа має бути не більшою ніж 25–30 мм². Прихватки рекомендовано виконувати

зварюванням у захисних газах, що забезпечує кращу якість металу шва та знижує ризик утворення дефектів [1, 9-12].

Після складання вузли та елементи рами необхідно перевірити на відповідність кресленням і технологічній документації. Контролю підлягають основні розміри, прямолінійність, взаємне положення деталей, величина зазорів, якість підготовки кромок, правильність розміщення прихваток і відсутність видимих дефектів. Лише після позитивних результатів перевірки допускається виконання основних зварювальних операцій.

У процесі виготовлення рами необхідно постійно здійснювати контроль якості підготовлених до зварювання деталей і складальних одиниць. Це дає змогу своєчасно виявляти відхилення від технології, запобігати накопиченню похибок і зменшувати обсяг виправних робіт після завершення зварювання.

На закінченнях зварних швів не допускається наявність кратерів. Завершення шва повинно бути виконане з повним заповненням кратера, оскільки незаповнений кратер є небезпечною зоною концентрації напружень і може стати початком тріщиноутворення. Виведення зварного шва на основний метал за межі передбаченої зони зварювання не допускається.

У конструкціях рам вагонів зварні шви повинні бути суцільними та без переривів, якщо інше не передбачено кресленнями або технологічною документацією. Наявність переривчастих швів у відповідальних силових вузлах може спричинити нерівномірний розподіл навантажень і зниження втомної міцності конструкції.

Контролю підлягають основний метал, зварювальні матеріали, якість складання, підготовка кромок, відповідність прихваток вимогам технології, а також якість виконаних зварних швів. Контроль повинен здійснюватися на всіх етапах виготовлення рами, починаючи від надходження матеріалів і завершуючи перевіркою готового виробу. Такий підхід забезпечує стабільну якість рами, її відповідність технічним умовам і надійну роботу вагона в експлуатації.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення вагона типу EAOS

Виготовлення рами вагона типу EAOS є відповідальним технологічним процесом, оскільки рама виконує функцію основної несучої системи вагона. Вона сприймає вертикальні навантаження від маси вантажу і кузова, поздовжні зусилля під час зчеплення, гальмування та маневрових ударів, а також поперечні й крутильні навантаження, що виникають під час руху вагона по нерівностях колії. Тому технологія її виготовлення повинна забезпечувати точність геометрії, високу якість зварних з'єднань, стабільність форми та довговічність конструкції.

Базовий технологічний процес виготовлення рами EAOS охоплює вхідний контроль матеріалів, підготовку металопрокату, розкрій заготовок, обробку кромek, складання вузлів, зварювання, правлення, контроль якості та остаточне приймання готової рами. На етапі вхідного контролю перевіряють сертифікати якості, марку сталі, хімічний склад, механічні властивості, товщину листів, розміри профілів і стан поверхні. Особливу увагу приділяють відсутності тріщин, розшарувань, корозії, вм'ятин та інших дефектів, які можуть знизити міцність конструкції.

Перед виготовленням деталей металопрокат очищають від окалини, іржі, мастильних матеріалів і технологічних забруднень. За наявності хвилястості, прогинів або місцевих деформацій листи та профілі правлять на спеціальному обладнанні. Якісне очищення і правлення мають важливе значення, оскільки деформовані або забруднені заготовки ускладнюють складання, збільшують зазори й можуть спричинити появу дефектів у зварних швах.

Після підготовки металу виконують розмічання та розкрій заготовок відповідно до робочих креслень. Деталі хребтової балки, бокових поздовжніх балок, шворневих, кінцевих і проміжних поперечних балок можуть виготовлятися механічним, плазмовим або газокисневим різанням залежно від товщини металу й форми деталі. Після термічного різання кромки очищають від шлаку, напливів і окалини, а за потреби виконують механічну обробку, притуплення гострих граней і підготовку скосів під зварювання.

Найвідповідальнішим етапом є виготовлення балкових елементів рами, зокрема хребтової балки. Вона є центральним силовим елементом, тому до її прямолінійності, жорсткості та якості зварних з'єднань висуваються підвищені вимоги. Шворневі балки також потребують високої точності виготовлення, оскільки через них навантаження передається на ходові візки. Бокові поздовжні балки формують зовнішній контур рами та забезпечують зв'язок із кузовом вагона.

Складання рами виконують у спеціалізованих кондукторах або складально-зварювальних стендах. Таке оснащення дає змогу точно встановити хребтову, бокові, кінцеві, шворневі та проміжні балки, витримати діагоналі, прямолінійність поздовжніх елементів і перпендикулярність поперечних балок. Перед основним зварюванням деталі фіксують прихватками, які повинні надійно утримувати елементи, але не створювати надмірної жорсткості, що може спричинити деформації під час зварювання.

Зварювання рами виконують відповідно до технологічної документації з дотриманням установлених режимів: сили струму, напруги дуги, швидкості зварювання, типу дроту або електродного матеріалу та послідовності накладання швів. Для виготовлення рами доцільно застосовувати механізоване зварювання в захисних газах, автоматичне зварювання під флюсом або їх поєднання залежно від типу з'єднання, доступності шва та серійності виробництва.

Для зменшення залишкових деформацій шви необхідно накладати у раціональній послідовності: симетрично відносно осі рами та з чергуванням зварювання на різних ділянках конструкції. Особливої уваги потребують вузли з'єднання хребтової балки зі шворневими й кінцевими балками, оскільки вони працюють в умовах найбільших експлуатаційних навантажень.

Після завершення зварювання шви очищають від шлаку, бризок металу, напливів і залишків технологічних забруднень. У разі появи викривлень або відхилень від заданої геометрії виконують правлення на спеціальних стендах або пресовому обладнанні. Правлення повинно проводитися контрольовано, без утворення тріщин, місцевих пошкоджень або погіршення якості зварних з'єднань.

Контроль якості є обов'язковим етапом виготовлення рами. Перевіряють геометричні параметри, прямолінійність поздовжніх балок, діагоналі, положення шворневих вузлів, стан поверхні та якість зварних швів. Для цього застосовують візуально-вимірювальний контроль, а для відповідальних з'єднань — ультразвуковий, магнітопорошковий або інші методи неруйнівного контролю.

Аналіз базового процесу показує, що найбільш трудомісткими є підготовка деталей, складання рами в кондукторі, зварювання силових вузлів і контроль геометрії після зварювання. Основними недоліками базової технології є значна частка ручної праці, залежність якості від кваліфікації виконавців, складність забезпечення стабільної геометрії великогабаритної конструкції та потреба в додатковому правленні.

Для підвищення ефективності виготовлення рами EAOS доцільно ширше застосовувати спеціалізовані складально-зварювальні стенди, швидкодіючі затискні пристрої, позиціонери, кантувачі, механізоване зварювання в захисних газах і автоматичне зварювання під флюсом. Це дозволяє скоротити тривалість виробничого циклу, зменшити вплив людського фактора, підвищити точність складання та забезпечити стабільну якість зварних з'єднань.

Удосконалення технології виготовлення рами вагона EAOS слід спрямувати на покращення базування деталей, скорочення допоміжного часу, зменшення зварювальних деформацій і впровадження поопераційного контролю. Реалізація цих заходів дасть змогу знизити трудомісткість виробництва, зменшити кількість дефектів і забезпечити надійну роботу рами в експлуатації..

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Під час розроблення технології виготовлення рами вагона ЕАОС спосіб зварювання необхідно вибирати з урахуванням призначення конструкції, марки основного металу, товщини зварюваних елементів, довжини швів, їх просторового положення та вимог до експлуатаційної надійності. Рама вагона є відповідальним несучим вузлом, який у процесі роботи сприймає вертикальні, поздовжні, поперечні та динамічні навантаження. Тому зварні з'єднання повинні мати достатню міцність, пластичність, опір утворенню тріщин і стабільну якість по всій довжині шва.

Для виготовлення такої конструкції найбільш доцільно використовувати механізовані та автоматизовані способи зварювання. Ручне дугове зварювання у цьому випадку є менш ефективним, оскільки воно має нижчу продуктивність, більшу залежність від кваліфікації зварника та складніше забезпечує однакову якість протяжних швів. З огляду на це для виготовлення рами вагона ЕАОС раціонально застосувати механізоване зварювання в суміші захисних газів $\text{Ar} + \text{CO}_2$ та автоматичне зварювання під флюсом.

Механізоване зварювання в середовищі захисних газів є ефективним способом з'єднання низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Воно забезпечує стабільне горіння дуги, можливість візуального контролю за формуванням шва, регулювання режимів у широкому діапазоні та виконання швів у різних просторових положеннях. Крім того, цей спосіб добре піддається механізації, автоматизації та роботизації, що є важливим для серійного виготовлення великогабаритних металоконструкцій [12].

Як захисне середовище доцільно використовувати газову суміш $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$. Аргон стабілізує горіння дуги, покращує перенесення електродного металу та зменшує розбризкування. Вуглекислий газ забезпечує активнішу дію дуги, покращує проплавлення основного металу та сприяє якісному формуванню зварного шва. Така суміш є технологічно ефективною для зварювання

конструкційних сталей, оскільки поєднує переваги інертного й активного газового захисту.

Для механізованого зварювання елементів рами доцільно застосувати оміднений суцільний зварювальний дріт ER70S-6. Цей дріт призначений для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей у середовищі CO₂ або газових сумішей Ar+CO₂. Завдяки підвищеному вмісту марганцю та кремнію він забезпечує ефективне розкиснення зварювальної ванни, зменшує ризик утворення пор і сприяє отриманню щільного металу шва [12].

Таблиця 2.1 – Орієнтовний хімічний склад зварювального дроту ER70S-6 [14]

C, %	Mn, %	Si, %	S, не більше, %	P, не більше, %	Cu, %
0,06–0,15	1,40–1,85	0,80–1,15	0,035	0,025	до 0,50

Застосування дроту ER70S-6 дозволяє отримати зварні з'єднання з достатнім рівнем міцності та пластичності. Метал шва, сформований цим дротом, характеризується стабільними механічними властивостями, доброю стійкістю до утворення дефектів і придатністю до роботи в умовах змінних навантажень. Це особливо важливо для рами вагона, оскільки її зварні з'єднання працюють у складному напружено-деформованому стані.

Для протяжних прямолінійних швів рами, які можна виконувати в нижньому положенні, доцільно застосовувати автоматичне зварювання під флюсом. Цей спосіб забезпечує високу продуктивність, значну глибину проплавлення, стабільну геометрію шва та якісний захист зварювальної ванни від атмосферного повітря. Автоматичне зварювання під флюсом особливо ефективно при зварюванні балкових елементів, довгих стикових і кутових швів, а також деталей значної товщини.

Для автоматичного зварювання застосовуємо флюс ОК Flux 10.71 у поєднанні зі зварювальним дротом EM12K. Така комбінація використовується для зварювання конструкційних низьковуглецевих і низьколегованих сталей, забезпечує стабільне горіння дуги, якісне формування шва та добрі механічні властивості зварного металу.

Дріт EM12K є низьколегованим зварювальним дротом для автоматичного зварювання під флюсом. Він має підвищений вміст марганцю, що сприяє формуванню міцного і пластичного металу шва. У поєднанні з флюсом ОК Flux 10.71 він забезпечує надійний захист зварювальної ванни, добру відокремлюваність шлакової кірки та рівномірне формування валика шва.

Таблиця 2.2 – Орієнтовний хімічний склад зварювального дроту EM12K [14]

C, %	Mn, %	Si, %	S, не більше, %	P, не більше, %
0,05–0,15	0,80–1,25	0,10–0,35	0,030	0,030

Флюс ОК Flux 10.71 належить до флюсів, які забезпечують стабільний перебіг процесу автоматичного зварювання, добрий захист розплавленого металу та якісне формування шва. Його використання дозволяє зменшити вплив атмосферного кисню й азоту на зварювальну ванну, знизити ймовірність утворення пор і забезпечити рівномірну структуру металу шва.

Таблиця 2.3 – Загальна характеристика флюсу ОК Flux 10.71 [15]

Показник	Характеристика
Тип флюсу	агломерований флюс для автоматичного зварювання
Призначення	зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей
Рекомендований дріт	EM12K або аналогічні дроти для SAW
Основні переваги	стабільна дуга, якісне формування шва, добра відокремлюваність шлаку
Сфера застосування	протяжні шви балкових, рамних і корпусних конструкцій

Таблиця 2.4 – Типовий хімічний склад флюсу ОК Flux 10.71, % [15]

Компонент флюсу	$Al_2O_3 + MnO$	CaF_2	$CaO + MgO$	$SiO_2 + TiO_2$
Вміст, %	35	15	25	20

Перед використанням флюс необхідно зберігати в сухому приміщенні та за потреби просушувати відповідно до технологічних вимог. Потрапляння вологи у флюс є небажаним, оскільки воно може спричинити підвищення вмісту водню в металі шва, появу пористості та зниження тріщиностійкості зварного з'єднання.

Виготовлення рами вагона EAOS застосовуємо комбіновану технологію зварювання: механізоване зварювання в суміші 80 % Ar + 20 % CO₂ із використанням дроту ER70S-6 – для швів складної конфігурації, коротких і середніх за довжиною з'єднань, а також ділянок, де потрібна технологічна гнучкість та автоматичне зварювання під флюсом із застосуванням дроту EM12K та флюсу OK Flux 10.71 – для довгих прямолінійних швів балкових елементів рами.

Вузли та окремі елементи рами вагона EAOS з'єднуються між собою за допомогою стикових, напусткових і таврових зварних з'єднань. Вибір режимів зварювання здійснюється з урахуванням товщини металу, типу з'єднання, положення шва у просторі, діаметра електродного дроту, необхідної глибини проплавлення та продуктивності процесу.

Під час виготовлення рами вагона EAOS застосовуються різні типи зварних з'єднань, що визначаються конструктивним призначенням окремих елементів, їх товщиною, умовами навантаження та доступністю до місця зварювання. Основними для даної конструкції є стикове з'єднання типу C17, напусткове з'єднання H1 та таврове з'єднання T1.

Стикове з'єднання C17 доцільно застосовувати для зварювання елементів хребтової балки та інших поздовжніх силових деталей. Напусткове з'єднання H1 використовується для кріплення накладок, опорних елементів, кронштейнів і допоміжних деталей рами. Таврове з'єднання T1 характерне для з'єднання поперечних і поздовжніх балок, стійок, ребер жорсткості та інших елементів, які працюють у складі просторової несучої системи.

Вибір режимів зварювання здійснюється з урахуванням товщини металу, катета шва, діаметра електродного дроту, сили зварювального струму, напруги дуги, швидкості зварювання та способу захисту зварювальної ванни [16]. Для стикового з'єднання C17 приймається автоматичне зварювання під флюсом, а для

з'єднань H1 і T1 — механізоване зварювання в суміші захисних газів 80 % Ar + 20 % CO₂.

Розрахунок режиму зварювання стикового з'єднання C17.

Стикове з'єднання типу C17 (рис. 2.1) застосовується для зварювання елементів хребтової балки. Для розрахунку приймаємо такі конструктивні параметри $s = s_1 = 12$ мм; $b = 2 \pm 1$ мм; $c = 2^{+1}$ мм; $\alpha = 20^\circ$.

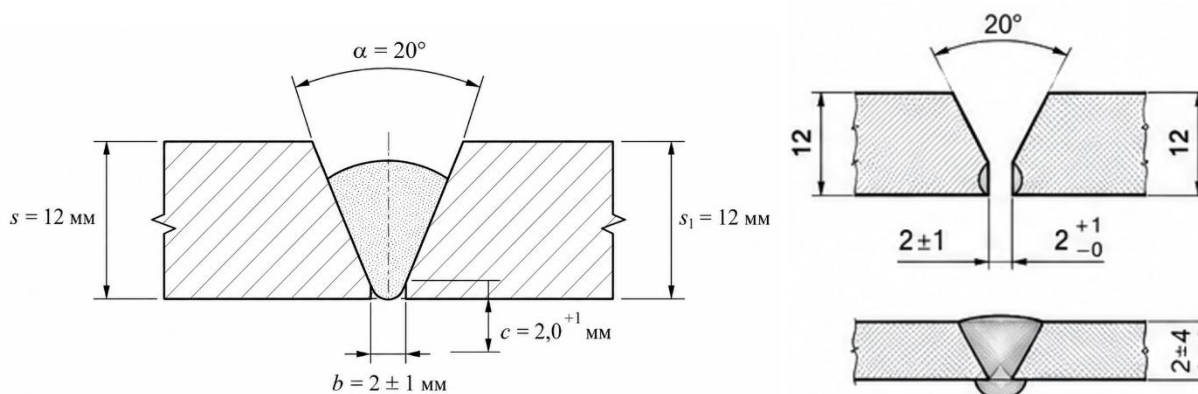


Рис. 2.1 - Стикове з'єднання типу C17

Глибину проплавлення визначаємо за формулою:

$$h_p = s - 0,5b$$

$$h_p = 12 - 0,5 \cdot 2 = 11 \text{ мм.}$$

Діаметр електродного дроту:

$$d_e = \sqrt[4]{h_p} + 0,05h_p$$

$$d_e = \sqrt[4]{11} + 0,05 \cdot 11 = 1,82 + 0,55 = 2,37 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартного сортаменту для автоматичного зварювання під флюсом приймаємо: $d_e = 3,0$ мм.

Силу зварювального струму визначаємо за залежністю:

$$I_{зв} = 140 \cdot d_e^{1,5}$$

$$I_{зв} = 140 \cdot 3^{1,5} = 140 \cdot 5,196 = 727 \text{ А.}$$

З урахуванням товщини металу 12 мм і необхідності забезпечення повного проплавлення приймаємо: $I_{зв} = 650$ А.

Напруга дуги:

$$U_d = 0,05 \cdot I_{3B}$$

$$U_d = 0,05 \cdot 650 = 32,5 \text{ В.}$$

Приймаємо: $U_d = 34 \text{ В.}$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = 1,9 \frac{I_{3B}}{d_e^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{I_{3B}^2}{d_e^3}$$

$$V_{п.д.} = 1,9 \frac{650}{3^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{650^2}{3^3} = 176 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{3B} = \frac{300}{0,7h_p}$$

$$V_{3B} = \frac{300}{0,7 \cdot 11} = 39 \text{ м/год.}$$

Для стабільного формування шва при автоматичному зварюванні під флюсом приймаємо робочу швидкість: $V_{3B} = 28 \text{ м/год.}$

Коефіцієнт форми провару:

$$\psi_{пр} = 0,92(19 - 0,01I_{3B}) \frac{d_e U_d}{I_{3B}}$$

$$\psi_{пр} = 0,92(19 - 0,01 \cdot 650) \frac{3 \cdot 34}{650} = 1,8.$$

Ширина зварного шва:

$$e = 1,6h_p$$

$$e = 1,6 \cdot 11 = 17,6 \text{ мм.}$$

Площа наплавленого металу:

$$F_{HM} = \frac{V_{п.д.} \pi d_e^2 \cdot 0,9}{4V_{3B}}$$

$$F_{HM} = \frac{176 \cdot 3,14 \cdot 3^2 \cdot 0,9}{4 \cdot 28} = 44,8 \text{ мм}^2.$$

Опуклість шва:

$$g = \frac{F_{HM}}{0,7e}$$

$$g = \frac{44,8}{0,7 \cdot 17,6} = 3,6 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт форми валика:

$$\psi_B = \frac{e}{g}$$

$$\psi_B = \frac{17,6}{3,6} = 4,9.$$

Розрахунок режиму зварювання напусткового з'єднання Н1.

Напусткове з'єднання Н1 (рис. 2.2) застосовується для приварювання накладок, опорних пластин, кронштейнів та інших допоміжних елементів рами. Для розрахунку приймаємо $s = 6 \text{ мм}$; $s_1 = 8 \text{ мм}$; $b = 0 \text{ мм}$; $k = 5 \text{ мм}$.

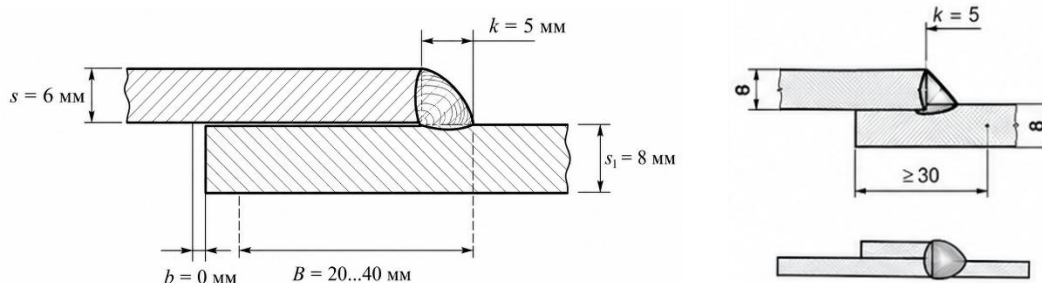


Рис. 2.2 - Напусткове з'єднання Н1

Площу поперечного перерізу кутового шва визначаємо за формулою:

$$F_H = \frac{k^2}{2}$$

$$F_H = \frac{5^2}{2} = 12,5 \text{ мм}^2.$$

Для шва з катетом 5 мм приймаємо електродний дріт: $d_e = 1,2 \text{ мм}$.

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{зв} = \frac{\pi d_e^2}{4} j$$

де $j = 185 \text{ А/мм}^2$ — густина струму для механізованого зварювання у суміші $\text{Ar} + \text{CO}_2$.

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 185 = 209 \text{ А.}$$

Приймаємо: $I_{зв} = 210 \text{ А}$.

Коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_H = A + B \frac{I_{3B}}{d_e}$$

де $A = 7,0$, $B = 0,04$.

$$\alpha_H = 7 + 0,04 \frac{210}{1,2} = 14,0 \text{ г/(А год)}.$$

Швидкість зварювання приймаємо з урахуванням катета шва та площі наплавленого металу:

$$V_{3B} = 22 \text{ м/год.}$$

Напруга дуги:

$$U_d = 20 + \frac{I_{3B} \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}}$$

$$U_d = 20 + \frac{210 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} = 29,6 \text{ В.}$$

Для стабільного процесу приймаємо: $U_d = 25 \text{ В.}$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4\alpha_H I_{3B}}{\pi d_e^2 \gamma}$$

де $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{п.д.} = 176 \text{ м/год.}$$

Розрахунок режиму зварювання таврового з'єднання Т1.

Таврове з'єднання Т1 (рис. 2.3) застосовується при приварюванні поперечних балок, стійок, ребер жорсткості та інших силових елементів рами. Для розрахунку приймаємо $s = s_1 = 10 \text{ мм}$; $b = 0 \text{ мм}$; $k = 8 \text{ мм}$.

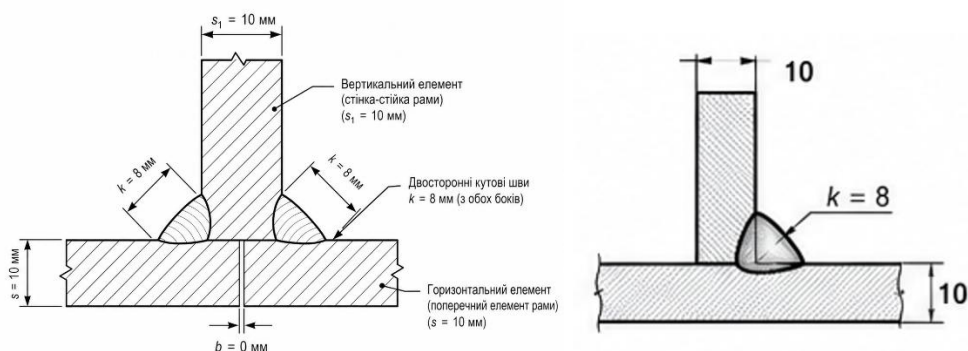


Рис. 2.3 Таврове з'єднання Т1

Площа поперечного перерізу кутового шва:

$$F_H = \frac{k^2}{2}$$

$$F_H = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Для кутового шва з катетом 8 мм приймаємо електродний дріт:

$$d_e = 1,6 \text{ мм.}$$

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = \frac{\pi d_e^2}{4} j$$

де $j = 160 \text{ А/мм}^2$.

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot 160 = 322 \text{ А.}$$

Приймаємо:

$$I_{зв} = 320 \text{ А.}$$

Коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_H = 7 + 0,04 \frac{320}{1,6}$$

$$\alpha_H = 15,0 \text{ г/(А год).}$$

Швидкість зварювання для шва з катетом 8 мм приймаємо:

$$V_{зв} = 18 \text{ м/год.}$$

Напруга дуги:

$$U_d = 20 + \frac{320 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}}$$

$$U_d = 32,7 \text{ В.}$$

Для забезпечення стабільного формування кутового шва приймаємо:

$$U_d = 30 \text{ В.}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4\alpha_H I_{зв}}{\pi d_e^2 \gamma}$$

$$V_{п.д.} = 382 \text{ м/год.}$$

Масу наплавленого металу визначаємо за формулою:

$$G_H = F_{3B} \cdot l \cdot \rho$$

де F_{3B} — площа поперечного перерізу шва, см^2 ;

l — довжина шва, см ;

$\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ — густина сталі.

Для стикового з'єднання С17:

$$F_{C17} = 44,8 \text{ мм}^2 = 0,448 \text{ см}^2$$

$$G_{H(C17)} = 1350 \cdot 0,448 \cdot 7,8 = 4717 \text{ г} = 4,72 \text{ кг.}$$

Для напусткового з'єднання Н1:

$$F_{H1} = 12,5 \text{ мм}^2 = 0,125 \text{ см}^2$$

$$G_{H(H1)} = 300 \cdot 0,125 \cdot 7,8 = 292,5 \text{ г} = 0,293 \text{ кг.}$$

Для таврового з'єднання Т1:

$$F_{T1} = 32 \text{ мм}^2 = 0,32 \text{ см}^2$$

$$G_{H(T1)} = 500 \cdot 0,32 \cdot 7,8 = 1248 \text{ г} = 1,248 \text{ кг.}$$

горіння дуги визначаємо за формулою:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{3B} \alpha_H}$$

$$\text{Для з'єднання С17: } t_{0(C17)} = \frac{4717}{650 \cdot 15,65} = 0,46 \text{ год.}$$

$$\text{Для з'єднання Н1: } t_{0(H1)} = \frac{292,5}{210 \cdot 14,0} = 0,10 \text{ год.}$$

$$\text{Для з'єднання Т1: } t_{0(T1)} = \frac{1248}{320 \cdot 15,0} = 0,26 \text{ год.}$$

Повний час зварювання визначаємо з урахуванням коефіцієнта використання зварювального поста:

$$T = \frac{t_0}{K_{\Pi}}$$

де $K_{\Pi} = 0,6$.

$$\text{Для з'єднання С17: } T_{C17} = \frac{0,46}{0,6} = 0,77 \text{ год.}$$

$$\text{Для з'єднання Н1: } T_{H1} = \frac{0,10}{0,6} = 0,17 \text{ год.}$$

$$\text{Для з'єднання Т1: } T_{T1} = \frac{0,26}{0,6} = 0,43 \text{ год.}$$

Витрати електроенергії визначаємо за формулою:

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

де U_d — напруга дуги, В;

$I_{зв}$ — сила зварювального струму, А;

$\eta = 0,6$ — ККД джерела живлення;

$W_0 = 3,0$ кВт — потужність холостого ходу.

Для з'єднання С17: $A_{C17} = \frac{34 \cdot 650}{0,6 \cdot 1000} \cdot 0,46 + 3,0(0,77 - 0,46) = 17,9$ кВт год.

Для з'єднання Н1: $A_{H1} = \frac{25 \cdot 210}{0,6 \cdot 1000} \cdot 0,10 + 3,0(0,17 - 0,10) = 1,09$ кВт год.

Для з'єднання Т1: $A_{T1} = \frac{30 \cdot 320}{0,6 \cdot 1000} \cdot 0,26 + 3,0(0,43 - 0,26) = 4,67$ кВт год.

Для механізованого зварювання у суміші 80 % Ar + 20 % CO₂ витрати газу приймаються залежно від сили струму:

- для з'єднання Н1 при струмі 210 А — 14–16 л/хв;
- для з'єднання Т1 при струмі 320 А — 16–18 л/хв.

Таблиця 2.4 – Режимы зварювання елементів рами вагона

Тип з'єднання	Спосіб зварювання	Товщина / катет	Дріт	Флюс / газ	Діаметр дроту, мм	Ізв, А	Уд, В	Взв, м/год
С17	автоматичне під флюсом	$s = s_1 = 12$ мм	ЕМ12К	OK Flux 10.71	3,0	650	34	28
Н1	механізоване в Ar+CO ₂	$s = 6$ мм; $s_1 = 8$ мм; $k = 5$ мм	ER70S-6	80 % Ar + 20 % CO ₂	1,2	210	25	22
Т1	механізоване в Ar+CO ₂	$s=10$ мм; $k = 8$ мм	ER70S-6	80 % Ar + 20 % CO ₂	1,6	320	30	18

2.2 Вибір зварювального устаткування

Для виготовлення рами вагона ЕАОС зварювальне устаткування підбирають з урахуванням типів з'єднань, товщини металу, довжини швів, прийнятих режимів зварювання та вимог до стабільності якості. У технологічному процесі передбачено застосування автоматичного зварювання під флюсом для стикового з'єднання С17 та механізованого зварювання в суміші захисних газів 80 % Ar + 20 % CO₂ для

напусткового Н1 і таврового Т1 з'єднань. Такий підхід дає змогу раціонально поєднати високу продуктивність при виконанні протяжних швів із технологічною гнучкістю під час зварювання вузлів складнішої конфігурації.

Для автоматичного зварювання стикового з'єднання С17 доцільно застосувати зварювальний комплекс на базі ESAB CaB 300M (рис.2.4) із головкою для зварювання під флюсом та джерелом живлення типу ESAB Aristo 1000 або аналогічним джерелом для SAW. Колонно-консольна система забезпечує жорстке позиціонування зварювальної головки, плавне переміщення вздовж шва та стабільне дотримання заданої швидкості зварювання. Для великогабаритних балкових елементів рами така схема є зручною, оскільки дозволяє виконувати довгі стикові шви у нижньому положенні з мінімальними відхиленнями траєкторії. Система ESAB CaB 300M має модульну конструкцію, може встановлюватися на плиті, бетонній основі або рейковому візку, а переміщення консолі забезпечується рейково-зубчастим приводом із плавним ходом.



Рис. 2.4 Автоматизований зварювальний комплекс ESAB CaB 300M [17]

Для виконання зварювання під флюсом приймається дріт EM12K Ø3,0 мм та флюс OK Flux 10.71. Зварювальна установка повинна мати флюсобункер, систему подачі флюсу в зону дуги, пристрій збирання невикористаного флюсу та блок керування параметрами процесу. Наявність автоматичної подачі дроту та стабільного переміщення головки дає змогу отримати рівномірний шов із

достатньою глибиною проплавлення, що є важливим для хребтової балки та інших відповідальних елементів рами.

Для живлення зварювальної головки під час зварювання під флюсом доцільно застосувати джерело ESAB Aristo 1000 AC/DC SAW (табл. 2.5). Це джерело призначене для високопродуктивного автоматичного зварювання під флюсом на постійному або змінному струмі. Воно працює разом із блоком керування РЕК і сумісне з компонентами систем ESAB A2/A6, зокрема зварювальними головками, колонами, тракторами, позиціонерами та системами подачі флюсу.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика ESAB Aristo 1000 AC/DC SAW [17]

Параметр	Значення
Напруга мережі	380–575 В, ± 10 %, 3 фази, 50/60 Гц
Діапазон регулювання	14–50 В / 0–1000 А
Допустиме навантаження	1000 А / 44 В при ПВ 100 %
Напруга холостого ходу	до 125 В
ККД при максимальному струмі	88 %
Повна потужність при максимальному струмі	55,3 кВА
Активна потужність при максимальному струмі	49,5 кВт
Потужність холостого ходу	170 Вт
Температура експлуатації	від -10 до $+40$ °С
Габаритні розміри	865×610×1320 мм
Маса	330 кг
Клас захисту	IP23

Для напусткових і таврових з'єднань, які виконуються механізованим способом у середовищі захисних газів, доцільно застосувати інверторну MIG/MAG-систему Fronius TPS 600i (рис. 2.5). Це промислове джерело живлення з цифровим керуванням, призначене для зварювання сталей, нержавіючих сталей і алюмінієвих сплавів. Максимальний зварювальний струм системи становить до 600 А, що створює достатній запас потужності для прийнятих режимів зварювання H1 і T1, де сила струму становить орієнтовно 210–320 А. Для TPS 600i виробник також зазначає можливість тривалої роботи при високому навантаженні, зокрема 500 А при 100 % тривалості ввімкнення.

Система Fronius TPS 600i комплектується подаючим механізмом для суцільного зварювального дроту, зварювальним пальником відповідної

потужності, блоком рідинного або повітряного охолодження, редуктором-витратоміром і системою подачі газової суміші. Для виконання з'єднання Н1 застосовується дріт ER70S-6 Ø1,2 мм, а для з'єднання Т1 — ER70S-6 Ø1,6 мм. Таке обладнання забезпечує стабільне горіння дуги, точне налаштування напруги та швидкості подачі дроту, зменшення розбризкування і якісне формування кутових швів.



Рис. 2.5 Інверторна MIG/MAG-систему Fronius TPS 600i [18]

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика Fronius TPS 600i [18]

Параметр	Значення / характеристика
Тип обладнання	інверторна MIG/MAG-система
Спосіб зварювання	MIG/MAG, імпульсне MIG/MAG залежно від комплектації
Максимальний зварювальний струм	до 600 А
Категорія обладнання	промислова зварювальна система з зовнішнім подаючим механізмом
Захисне середовище	80 % Ar + 20 % CO ₂
Зварювальний дріт	ER70S-6 Ø1,2–1,6 мм
Керування	цифрове, сенсорний дисплей
Можливості налаштування	синергетичні програми, програмні пакети, збереження режимів
Особливості	стабілізатори довжини дуги і проплавлення, модульна структура, можливість розширення
Робоча зона з зовнішнім подаючим механізмом	до 30 м залежно від шлангового пакета
Рекомендоване застосування для рами EAOS	зварювання Н1 і Т1 з'єднань, кронштейнів, накладок, ребер жорсткості

Таблиця 2.7 – Рекомендоване зварювальне устаткування для виготовлення рами вагона EAOS

Операція	Тип з'єднання	Рекомендоване обладнання	Зварювальні матеріали	Основне призначення
Автоматичне зварювання під флюсом	C17	ESAB CaB 300M з SAW-головкою та джерелом ESAB Aristo 1000 або аналогом	EM12K Ø3,0 мм + OK Flux 10.71	Зварювання протяжних стикових швів хребтової балки
Механізоване MIG/MAG-зварювання	H1	Fronius TPS 600i з подаючим механізмом	ER70S-6 Ø1,2 мм; 80 % Ar + 20 % CO ₂	Приварювання накладок, кронштейнів, опорних елементів
Механізоване MIG/MAG-зварювання	T1	Fronius TPS 600i з подаючим механізмом	ER70S-6 Ø1,6 мм; 80 % Ar + 20 % CO ₂	Зварювання поперечних балок, ребер жорсткості, стійок

Застосування сучасного інверторного та автоматизованого обладнання дає змогу підвищити якість зварних з'єднань, зменшити кількість дефектів, стабілізувати тепловкладення та скоротити час виконання зварювальних операцій. Особливо важливим є те, що цифрове керування параметрами дозволяє швидко налаштовувати режими під конкретний тип з'єднання, товщину металу та діаметр дроту.

Таке устаткування відповідає прийнятим режимам зварювання, забезпечує необхідний запас потужності, стабільність дугового процесу та можливість отримання якісних зварних швів на основних елементах рами вагона.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань є обов'язковою складовою технологічного процесу виготовлення рами вагона EAOS, оскільки саме зварні шви значною мірою визначають міцність, довговічність і безпечність експлуатації всієї конструкції. Рама вагона працює в умовах дії вертикальних, поздовжніх, поперечних, ударних і циклічних навантажень, тому дефекти у металі шва або зоні термічного впливу можуть спричинити зниження несучої здатності, розвиток втомних тріщин і передчасне руйнування окремих вузлів.

Основним завданням контролю є виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів зварного з'єднання. До найбільш характерних дефектів належать тріщини, непровари, несплавлення, пори, шлакові включення, подрізи, напливи, кратери, відхилення катета шва та порушення геометрії зварного валика. Метод контролю повинен забезпечувати не лише виявлення дефекту, а й можливість оцінити його розташування, характер і потенційний вплив на працездатність конструкції [19-21].

Для рамних конструкцій вагонів можуть застосовуватися такі методи неруйнівного контролю:

- візуально-вимірювальний контроль;
- ультразвукова дефектоскопія;
- магнітопорошковий контроль;
- радіаційна дефектоскопія.

Першим і обов'язковим етапом перевірки є візуально-вимірювальний контроль. Його виконують для всіх зварних швів рами. За допомогою цього методу оцінюють зовнішній вигляд шва, рівномірність формування валика, наявність подрізів, напливів, прожогів, кратерів, поверхневих тріщин, а також відповідність геометричних параметрів вимогам креслень і технологічної документації. Візуально-вимірювальний контроль доцільно проводити не лише після завершення зварювання, а й під час складання вузлів, оскільки він дає змогу своєчасно виявити неправильну підготовку кромок, надмірні зазори, зміщення деталей або неякісні прихватки.

Для перевірки геометрії зварних швів застосовують універсальні шаблони зварника, штангенциркулі, лінійки, кутоміри, лупи та інші вимірювальні засоби. Перевагою цього методу є простота, оперативність і можливість використання безпосередньо на виробничій ділянці. Однак візуально-вимірювальний контроль дозволяє виявляти переважно поверхневі дефекти, тому для відповідальних з'єднань рами його необхідно доповнювати методами внутрішнього контролю.

Для виявлення внутрішніх несучільностей найбільш доцільно застосовувати ультразвукову дефектоскопію. Цей метод ґрунтується на поширенні в металі високочастотних пружних коливань. Ультразвукова хвиля вводиться в зварне

з'єднання, проходить через метал і при зустрічі з дефектом частково відбивається. За параметрами відбитого сигналу можна встановити наявність несучільності, її глибину залягання та орієнтовне положення в металі.

Для контролю зварних з'єднань рами вагона доцільно застосовувати ехо-імпульсний ультразвуковий метод або більш сучасний варіант — ультразвуковий контроль фазованими решітками PAUT. На відміну від класичного ручного ультразвукового контролю, фазовані решітки дають змогу формувати електронно керований пучок ультразвукових хвиль, змінювати кут введення променя без механічної перестановки перетворювача та отримувати наочне зображення зони контролю. Це особливо важливо для складних рамних вузлів, де зварні шви мають різну орієнтацію, а доступ до окремих ділянок може бути обмеженим.

Як сучасний прилад для контролю якості зварних з'єднань рами доцільно прийняти OmniScan X3 виробництва Evident Scientific. Це портативний ультразвуковий дефектоскоп фазованих решіток, який підтримує сучасні методи контролю, зокрема PAUT, TOFD і TFM. Прилад має розширені можливості візуалізації дефектів, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання стану зварного з'єднання та зручність інтерпретації результатів контролю. Виробник позиціонує OmniScan X3 як комплексний інструмент для контролю фазованими решітками з підтримкою Total Focusing Method та розширеною візуалізацією дефектів.

Застосування OmniScan X3 є доцільним для контролю стикових швів хребтової балки, з'єднань шворневих і кінцевих балок, таврових і кутових з'єднань поперечних елементів, а також зон, у яких можливе виникнення непроварів, несплавлень або втомних тріщин. Для відповідальних вузлів рами перевагою цього приладу є можливість отримання більш інформативного зображення дефекту порівняно з класичним A-scan-контролем. У модифікації OmniScan X3 64 реалізовано підтримку 64-елементних фазованих решіток і розширені можливості TFM-контролю, що підвищує роздільну здатність і продуктивність перевірки.

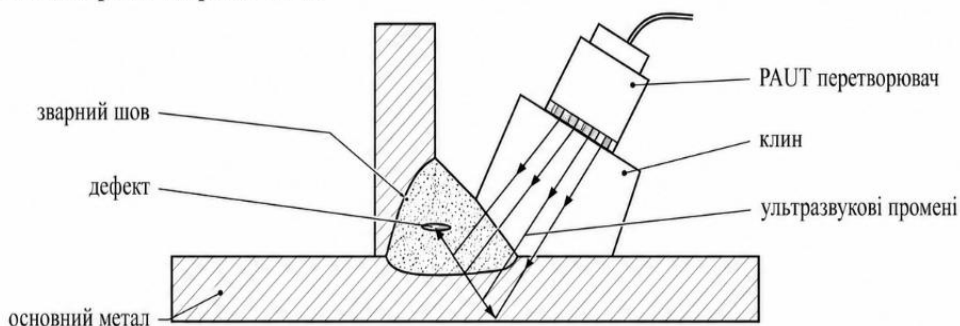
Магнітопорошковий контроль доцільно використовувати як додатковий метод для перевірки поверхневих і підповерхневих дефектів у феромагнітних

сталях. Він є ефективним для виявлення дрібних тріщин, розривів металу та дефектів у місцях концентрації напружень. У конструкції рами вагона таким методом можна додатково перевіряти зони шворневих балок, кінцевих балок, кронштейнів, ребер жорсткості і місця переходу жорсткості.

Радіаційна дефектоскопія може застосовуватися для уточнення внутрішнього стану окремих відповідальних або сумнівних ділянок. Вона дозволяє виявляти пори, шлакові включення та об'ємні дефекти, однак для великогабаритної рами вагона її використання є менш зручним через складність організації робіт, вимоги до радіаційної безпеки, необхідність спеціального захисту персоналу та більшу трудомісткість контролю.

З урахуванням конструктивних особливостей рами вагона ЕАОС найбільш раціональною є комбінована система контролю. Усі зварні шви повинні проходити візуально-вимірну перевірку, а найбільш відповідальні з'єднання — додатковий ультразвуковий контроль фазованими решітками за допомогою OmniScan X3 (рис. 2.6 -2.7). За необхідності для зон концентрації напружень може застосовуватися магнітопорошковий контроль.

а — схема контролю таврового шва



б — схема контролю напусткового шва

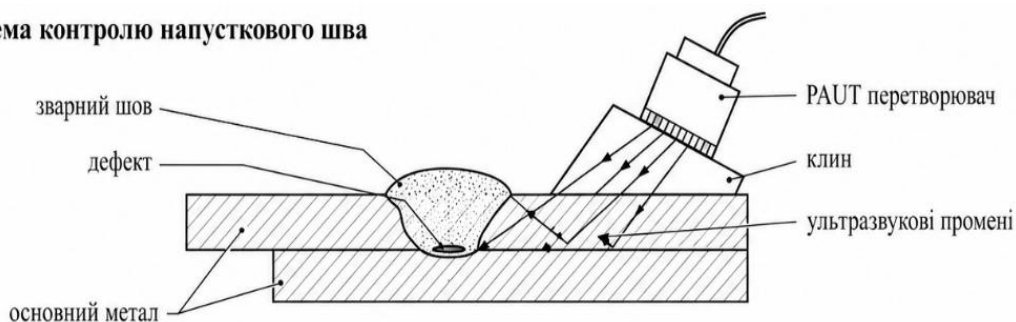


Рис. 2.6 Схема контролю якості швів рами вагона ЕАОС



Рис. 2.7 – Портативний дефектоскоп OmniScan X3 [22].

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення рами вагона ЕАОС передбачає послідовне виконання заготівельних, складальних, зварювальних, правлячих і контрольних операцій. Основна мета розроблення технології полягає в тому, щоб забезпечити точне взаємне розташування елементів рами, мінімізувати зварювальні деформації, отримати якісні зварні з'єднання та забезпечити відповідність готового виробу вимогам креслень і технічних умов.

Повне складання всієї рами перед виконанням зварювання є недоцільним, оскільки така схема ускладнює доступ до окремих швів і сприяє накопиченню значних залишкових деформацій. Тому виготовлення рами доцільно організувати за вузловим принципом: спочатку окремо виготовляють хребтову, шворневі, кінцеві та проміжні поперечні балки, а після цього виконують загальне складання і зварювання рами в спеціальному складально-зварювальному стенді. Така послідовність відповідає логіці базового процесу, де хребтова, шворневі та поперечні балки складаються і зварюються на окремих робочих місцях паралельно з підготовкою до загального складання рами.

Спочатку здійснюють вхідний контроль металопрокату та зварювальних матеріалів. Перевіряють наявність сертифікатів якості, марку сталі, товщину листів, розміри профілів, стан поверхні, відсутність тріщин, розшарувань, вм'ятин,

корозійних пошкоджень та інших дефектів. До зварювальних матеріалів також висувають вимоги щодо відповідності прийнятій технології: для механізованого зварювання застосовується дріт ER70S-6, а для автоматичного зварювання під флюсом — дріт EM12K у поєднанні з флюсом OK Flux 10.71.

Після приймання металопрокат подають на очищення. Профільний і листовий метал очищають від окалини, іржі, пилу та технологічних забруднень у дробоструминній установці прохідного типу SK-9 ÇETİNGİL (рис. 2.8). Дробоструминна обробка забезпечує рівномірне очищення поверхні до металевого блиску, що позитивно впливає на якість подальшого різання, складання та зварювання. Наявність окалини або корозійних забруднень у зоні зварювання може спричинити пористість, шлакові включення та нестабільне формування шва, тому ця операція є обов'язковою.



Рис. 2.8 Дробоструминна установка SK-9 ÇETİN [23]

Після очищення виконують правлення прокату. Листовий метал і профілі перевіряють на прямолінійність, площинність, наявність прогинів, хвилястості або місцевих деформацій. За потреби листовий прокат правлять на листопрямильній машині, а профільні заготовки — на правильному пресі або роликовому правильному пристрої. Правлення необхідне для забезпечення точного базування деталей у кондукторах і зменшення зазорів під час складання.

Наступною операцією є розкрій заготовок. Z-подібні профілі, що використовуються для виготовлення хребтової балки, розрізають на необхідну довжину на стрічково-відрізному верстаті SPECIAL 700 DI-A МАСС (рис. 2.9). При призначенні довжини заготовок враховують можливі усадкові деформації після зварювання. Листові елементи шворневих, кінцевих і проміжних балок, накладки, ребра жорсткості, кронштейни та опорні пластини вирізають на лазерному комплексі з ЧПК Gweike LF3015CN (рис. 2.10). Лазерне різання забезпечує високу точність контуру, рівну крайку та мінімальний обсяг подальшої механічної обробки.



Рис. 2.9 Відрізний верстат SPECIAL 700 DI-A МАСС [24]



Рис. 2.10 Лазерний комплекс ЧПК Gweike LF3015CN [25]

Після розкрою заготовки передають на підготовку кромки. Кромки очищають від задирок, окалини, напливів і залишків металу після різання. У місцях, які підлягають зварюванню, поверхню зачищають до металевого блиску на ширину не менше 20 мм з обох боків майбутнього шва. За потреби виконують фрезерування,

шліфування або притуплення гострих кромek. Якісна підготовка кромek забезпечує стабільне формування зварювальної ванни та зменшує ймовірність виникнення непроварів і підрізів.

Виготовлення хребтової балки виконують на окремому спеціалізованому робочому місці. Підготовлені Z-подібні профілі встановлюють у складальний кондуктор (рис. 2.11) у положенні, яке забезпечує правильне базування по опорних площинах. Спочатку встановлюють перший профіль і фіксують його пневматичними або гідравлічними притискачами. Потім установлюють другий профіль, витримують необхідний зазор у стику та перевіряють взаємне положення деталей. Після цього виконують прихватки, які запобігають зміщенню профілів під час основного зварювання.



Рис. 2.11 Складання Z-тів [26]

Стикове з'єднання Z-подібних профілів хребтової балки зварюють автоматичним способом під флюсом. Для цієї операції доцільно застосувати зварювальний комплекс ESAB CaB 300M із джерелом живлення ESAB Aristo 1000 AC/DC SAW. Зварювання виконують дротом EM12K Ø3,0 мм під флюсом OK Flux 10.71. Для запобігання пропалам і забезпечення якісного формування кореня шва може застосовуватися флюсова подушка або попереднє виконання кореневого проходу механізованим способом.

Після зварювання основного стику до хребтової балки встановлюють внутрішні ребра жорсткості, діафрагми, надп'ятникові елементи, упори, накладки та кронштейни (рис. 2.12). Їх базують за шаблонами або упорами кондуктора, фіксують прихватками і приварюють механізованим способом у суміші 80 % Ar + 20 % CO₂. Для цієї операції застосовують інверторну MIG/MAG-систему Fronius TPS 600i з дротом ER70S-6 Ø1,2–1,6 мм. Зварювання виконують у зручному просторовому положенні, а за потреби хребтову балку кантують за допомогою кантувача або кран-балки.



Рис. 2.12 Встановлення ребр жорсткості [26]

Після виконання стикового зварювання Z-подібних профілів та внутрішніх ребр жорсткості заготовку хребтової балки переміщують на наступну складальну позицію. На цьому етапі зварені профілі встановлюють в інший кондуктор і повертають на 180°, щоб забезпечити зручне базування та доступ до місця встановлення двотаврового елемента.

Далі по зворотній осі раніше виконаного стикового шва розміщують двотавр. Його положення ретельно виміряють відносно поздовжньої осі балки, після чого елемент фіксують спеціальними притискними пристроями. Для запобігання зміщенню двотавра у вертикальній площині застосовують бокові упори та пневматичні притискачі, які забезпечують надійне закріплення деталі під час прихватування і подальшого зварювання.

Після перевірки правильності встановлення виконують прихватки, що фіксують двотавр у заданому положенні. Складений вузол знімають із кондуктора та переміщують у кільцевий кантувач. У кантувачі балку встановлюють у найбільш зручне положення для зварювання, що дає змогу якісно сформувати шви та зменшити ймовірність виникнення дефектів.

Остаточне з'єднання двотавра із Z-подібними профілями виконують автоматичним зварюванням під флюсом. При цьому послідовно накладають два протяжні кутові шви, які забезпечують жорстке та міцне з'єднання двотаврового елемента із зетами. Така технологічна схема дозволяє отримати хребтову балку з необхідною геометричною точністю, достатньою жорсткістю та надійністю зварних з'єднань.

Після завершення зварювання хребтову балку подають на свердління отворів під кріпильні елементи. Свердління виконують на радіально-свердлильному або координатно-свердлильному верстаті з використанням шаблонів. Отвори повинні відповідати кресленням за діаметром, координатами розташування та якістю обробки.

Паралельно з виготовленням хребтової балки виконують виготовлення шворневих, кінцевих і проміжних поперечних балок. Заготовки цих вузлів після лазерного різання очищають, правлять, готують кромки та складають у спеціальних кондукторах. Під час складання контролюють положення стінок, полиць, ребер жорсткості, опорних листів і кронштейнів. Особливо точного виготовлення потребують шворневі балки, оскільки через них навантаження від кузова і вантажу передається на ходові візки. Після прихватування вузли зварюють механізованим способом на установці Fronius TPS 600i у середовищі $\text{Ar}+\text{CO}_2$.

Після виготовлення окремих балок виконують загальне складання рами. Складання проводять у спеціальному складально-зварювальному стенді в положенні «низом догори». Таке положення є технологічно зручним, оскільки дає змогу базувати елементи за площиною підлоги та забезпечити точне розташування основних несучих вузлів. У стенд послідовно встановлюють хребтову балку,

шворневі балки, кінцеві балки, проміжні поперечні балки, бокові поздовжні балки, накладки, кронштейни та ребра жорсткості.

Під час складання всі елементи фіксують базувальними упорами, притискачами та шаблонами. Особливу увагу приділяють положенню шворневих вузлів, оскільки від точності їх розташування залежить правильність взаємодії рами з ходовими візками. Після встановлення всіх основних елементів перевіряють довжину, ширину, діагоналі рами, прямолінійність поздовжніх балок, перпендикулярність поперечних елементів і відповідність конструкції кресленню.

Після перевірки геометрії виконують прихватування елементів рами. Прихватки накладають механізованим способом у середовищі захисних газів. Їх розміщують у такій послідовності, щоб забезпечити надійну фіксацію деталей і водночас не створити надмірної жорсткості, яка може спричинити значні деформації під час основного зварювання. Після прихватування повторно перевіряють розміри та положення основних елементів.

Основне зварювання рами виконують у послідовності, яка забезпечує мінімальні залишкові деформації. Насамперед зварюють найбільш відповідальні вузли з'єднання хребтової балки зі шворневими та кінцевими балками. Потім виконують зварювання проміжних поперечних балок, бокових поздовжніх балок, ребер жорсткості, накладок і кронштейнів. Шви накладають симетрично відносно поздовжньої осі рами, чергуючи зварювання з лівого та правого боку. Така послідовність дозволяє рівномірніше розподілити тепловкладення і зменшити викривлення конструкції.

Протяжні стикові шви виконують автоматичним зварюванням під флюсом на комплексі ESAB CaB 300M, а таврові, кутові та напусткові з'єднання — механізованим способом на Fronius TPS 600i. Для таврових з'єднань із катетом 8 мм застосовують дріт ER70S-6 Ø1,6 мм, а для напусткових з'єднань із катетом 5 мм — дріт ER70S-6 Ø1,2 мм. Під час зварювання контролюють силу струму, напругу дуги, швидкість подачі дроту, витрату газової суміші та зовнішній вигляд шва.

Після завершення зварювання виконують очищення швів. Видаляють шлак, залишки флюсу, бризки металу, напливи та забруднення. Для цього

використовують металеві щітки, пневматичні шліфувальні машинки, сколювачі шлаку та абразивний інструмент. Зачищення виконують обережно, щоб не пошкодити основний метал і не зменшити розмір шва нижче допустимого.

Після очищення раму перевіряють на наявність зварювальних деформацій. У разі виявлення відхилень виконують правлення на спеціальному стенді із застосуванням гідравлічних домкратів, притискачів або пресового обладнання. Правлення повинно здійснюватися плавно, без ударних навантажень і локального пошкодження металу. Після правлення повторно перевіряють довжину, ширину, діагоналі, площинність та положення шворневих вузлів.

На завершальному етапі виконують контроль якості зварних з'єднань. Усі шви проходять візуально-вимірювальний контроль із використанням шаблонів зварника, штангенциркуля, лінійок і кутомірів. Перевіряють форму валика, катет шва, відсутність підрізів, тріщин, кратерів, напливів і порушень геометрії. Найбільш відповідальні шви хребтової балки, шворневих вузлів, кінцевих балок і зон концентрації напружень додатково перевіряють ультразвуковим методом. Для цього доцільно застосовувати дефектоскоп фазованих решіток OmniScan X3, який дозволяє виявляти внутрішні дефекти, зокрема непровари, несплавлення, тріщини, пори та шлакові включення.

Таблиця 2.10 – Техпроцес виготовлення рами вагона EAOS

№ операції	Найменування операції	Обладнання, пристрої та матеріали	Зміст виконання операції
1	Вхідний контроль матеріалів	Вимірювальний інструмент, сертифікати якості, шаблони контролю	Перевіряють марку сталі, товщину листів, розміри профілів, стан поверхні, відсутність тріщин, розшарувань, корозії та інших дефектів. Контролюють відповідність зварювальних матеріалів прийнятій технології: дріт ER70S-6, дріт EM12K та флюс OK Flux 10.71.
2	Очищення металопрокату	Дробоструминна установка прохідного типу SK-9 ÇETİNGİL	Листовий і профільний прокат очищають від окалини, іржі, пилу, мастильних речовин та інших забруднень. Очищення забезпечує якісну підготовку поверхні до різання, складання та зварювання.
3	Правлення листового та профільного прокату	Листопрямильна машина, правильний прес, роликовий	Перевіряють прямолінійність і площинність металу. У разі виявлення прогинів, хвилястості або місцевих деформацій

		правильний пристрій	виконують правління для забезпечення точного базування деталей у кондукторах.
4	Розкрій Z-подібних профілів	Стрічково-відрізний верстат SPECIAL 700 DI-A MACC	Z-подібні профілі, призначені для виготовлення хребтової балки, розрізають на заготовки необхідної довжини з урахуванням припусків і можливих усадкових деформацій після зварювання.
5	Розкрій листових деталей	Лазерний комплекс з ЧПК Gweike LF3015CN	Вирізають листові елементи шворневих, кінцевих і проміжних балок, накладки, ребра жорсткості, кронштейни та опорні пластини. Забезпечують точність контуру та мінімальний обсяг подальшої обробки.
6	Підготовка кромки під зварювання	Шліфувальні машини, фрезерне обладнання, металеві щітки	Кромки очищають від задилок, окалини, напливів і залишків металу після різання. Зони зварювання зачищають до металевих блиску на ширину не менше 20 мм з обох боків майбутнього шва.
7	Складання Z-подібних профілів хребтової балки	Спеціальний складальний кондуктор, пневматичні або гідравлічні притискачі	Перший Z-профіль установлюють у кондуктор і фіксують притисками. Потім установлюють другий профіль, витримують необхідний зазор у стику, перевіряють взаємне положення деталей і виконують прихватки.
8	Зварювання стику Z-профілів	ESAB CaB 300M, ESAB Aristo 1000 AC/DC SAW, дріт EM12K Ø3,0 мм, флюс OK Flux 10.71	Стикове з'єднання Z-подібних профілів зварюють автоматичним способом під флюсом. За потреби використовують флюсову подушку або попередній кореневий прохід для запобігання пропалам.
9	Встановлення внутрішніх ребер жорсткості	Кондуктор, шаблони, притискачі	До зварених Z-профілів установлюють внутрішні ребра жорсткості, діафрагми, накладки та інші підсилювальні елементи. Їх базують за упорами або шаблонами та фіксують прихватками.
10	Приварювання ребер жорсткості та діафрагм	Fronius TPS 600i, дріт ER70S-6 Ø1,2–1,6 мм, газова суміш 80 % Ar + 20 % CO ₂	Ребра жорсткості, діафрагми та допоміжні елементи приварюють механізованим MIG/MAG-зварюванням. За потреби хребтову балку кантують для забезпечення зручного положення шва.
11	Переміщення хребтової балки на наступну складальну позицію	Кран-балка, транспортний візок, складальний кондуктор	Після зварювання стику та встановлення ребер жорсткості заготовку хребтової балки переміщують на інший кондуктор і повертають на 180° для подальшого складання з двотавровим елементом.
12	Установлення двотавра на хребтову балку	Спеціальний кондуктор, бокові упори, пневматичні притискачі	Двотавр розміщують по осі раніше виконаного стикового шва. Його положення вивіряють відносно поздовжньої осі балки та фіксують притисками, щоб запобігти зміщенню у вертикальній площині.

13	Прихвачування двотавра	Fronius TPS 600i або інший MIG/MAG-пост	Після перевірки положення двотавра виконують прихватки, які забезпечують нерухому фіксацію елемента перед основним зварюванням.
14	Зварювання двотавра із Z-профілями	Кільцевий кантувач, ESAB CaB 300M, дріт EM12K, флюс OK Flux 10.71	Складену балку переміщують у кільцевий кантувач. Двотавр приварюють до Z-профілів автоматичним зварюванням під флюсом, послідовно виконуючи два протяжні кутові шви.
15	Свердління отворів у хребтовій балці	Радіально-свердлильний або координатно-свердлильний верстат, шаблони	Після завершення зварювання хребтову балку подають на свердління отворів під кріпильні елементи. Контролюють діаметр, координати розташування та якість обробки отворів.
16	Виготовлення шворневих, кінцевих і проміжних балок	Лазерний комплекс, кондуктори, Fronius TPS 600i	Заготовки після різання очищають, правлять, готують кромки, складають у кондукторах і зварюють механізованим способом у середовищі $Ar+CO_2$. Особливу увагу приділяють точності виготовлення шворневих балок.
17	Загальне складання рами	Складально-зварювальний стенд, базувальні упори, притискачі, шаблони	У стенд у положенні «низом догори» послідовно встановлюють хребтову балку, шворневі, кінцеві, проміжні та бокові балки, а також накладки, кронштейни й ребра жорсткості.
18	Контроль геометрії перед зварюванням	Рулетка, шаблони, рівні, лазерний вимірювальний інструмент	Перевіряють довжину, ширину, діагоналі рами, прямолінійність поздовжніх балок, перпендикулярність поперечних елементів і точність розташування шворневих вузлів.
19	Прихвачування елементів рами	Fronius TPS 600i, дріт ER70S-6, газова суміш $Ar+CO_2$	Елементи рами фіксують прихватками у послідовності, яка запобігає зміщенню деталей і не створює надмірної жорсткості перед основним зварюванням.
20	Основне зварювання рами	ESAB CaB 300M, Fronius TPS 600i, кантувачі, позиціонери	Насамперед зварюють відповідальні вузли з'єднання хребтової балки зі шворневими та кінцевими балками. Далі зварюють проміжні балки, бокові балки, ребра жорсткості, накладки та кронштейни. Шви виконують симетрично відносно осі рами.
21	Очищення зварних швів	Металеві щітки, пневматичні шліфувальні машинки, абразивний інструмент	Видаляють шлак, залишки флюсу, бризки металу, напливи та інші забруднення. Очищення виконують так, щоб не пошкодити основний метал і не зменшити розміри шва.
22	Правлення рами після зварювання	Гідравлічний стенд, домкрати, пресове обладнання	Раму перевіряють на наявність залишкових деформацій. За потреби виконують плавне правлення без ударних навантажень і локального пошкодження металу.
23	Повторний контроль геометрії	Вимірювальний інструмент,	Після правлення повторно перевіряють основні геометричні параметри: довжину,

		шаблони, лазерний контроль	ширину, діагоналі, площинність і положення шворневих вузлів.
24	Контроль якості зварних швів	Шаблони зварника, штангенциркуль, OmniScan X3	Усі шви проходять візуально-вимірний контроль. Найбільш відповідальні шви хребтової балки, шворневих вузлів, кінцевих балок і зон концентрації напружень додатково перевіряють ультразвуковим методом.
25	Остаточне приймання рами	Контрольна документація, акти перевірки	За позитивними результатами контролю оформлюють документацію та передають раму на наступний етап виготовлення вагона.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір зварювальних пристосувань

Загальна технологічна схема виготовлення рами вагона передбачає послідовне виконання двох основних груп операцій: попереднє складання та зварювання окремих вузлів, а також подальше загальне складання і зварювання рами в єдину просторову конструкцію.

Під час виготовлення рам вагонів доцільно застосовувати вузловий принцип організації виробництва. На першому етапі окремо складають і зварюють основні конструктивні елементи рами: хребтову балку, шворневі балки, поперечні та бічні балки. Такі вузли виготовляють на спеціалізованих робочих місцях, що дає змогу виконувати окремі операції паралельно та скоротити загальну тривалість виробничого циклу.

Найбільш відповідальним і трудомістким елементом рами є хребтова балка. Вона виконує функцію основного несучого елемента, сприймає значні поздовжні та вертикальні навантаження і має протяжні зварні шви. Тому для її складання застосовують спеціальний кондуктор, який забезпечує точне базування деталей, фіксацію профілів і стабільність геометрії під час зварювання.

Кондуктор для складання та зварювання хребтової балки має жорстку несучу раму з базовими поверхнями, на які встановлюють поздовжні Z-подібні профілі. На одному кінці кондуктора розташовані відкидні упори, а на протилежному — торцевий пневматичний притискач. Для витримування заданої відстані між вертикальними стінками профілів передбачені фіксуючі елементи. Прямолінійність стикового шва забезпечується бічними упорами та притискними пристроями. Додаткові пневматичні притискачі запобігають прогину балки у вертикальній площині та зміщенню елементів під час прихватування і зварювання.

Для повороту складеної хребтової балки та встановлення її у зручне положення під час зварювання застосовують спеціальні стенди-кантувачі. Залежно від конструкції виробу і характеру виконуваних швів можуть використовуватися двостійкові, одностійкові, кільцеві або ланцюгові кантувачі.

зручних просторових положеннях, зменшує трудомісткість операцій і покращує умови роботи зварника.

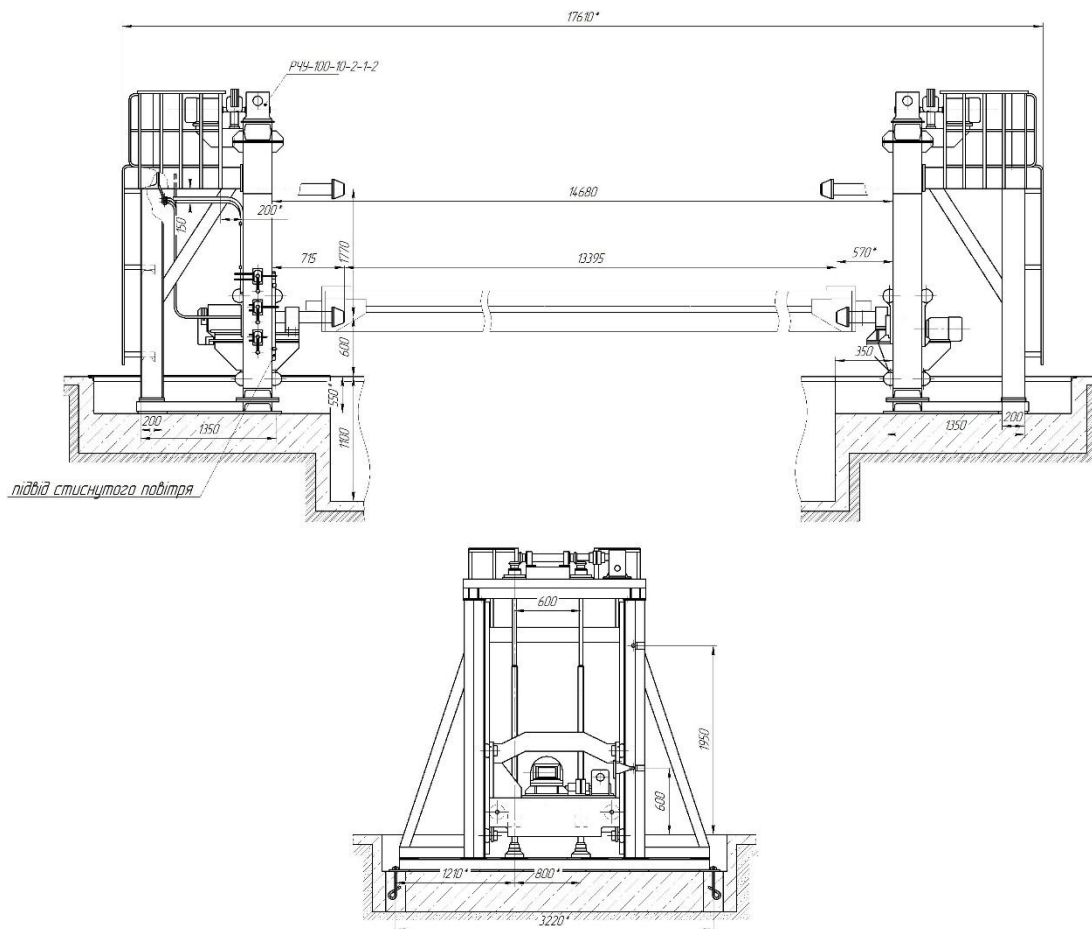


Рис. 3.3 – Двостійковий кантувач

Одностійкові кантувачі відрізняються простотою конструкції та універсальністю, однак їх доцільно використовувати переважно при ручному або механізованому зварюванні. Для автоматичного зварювання такі пристрої менш придатні, оскільки вони не завжди забезпечують достатню жорсткість фіксації балки та стабільність її положення під час переміщення зварювальної головки.

Кільцеві кантувачі застосовують для складання, фіксації та зварювання хребтових балок, особливо при виконанні протяжних стикових і кутових швів. Їх конструкція дозволяє повертати балку на 360° та надійно закріплювати її під заданим кутом. Наявність притискних пристроїв забезпечує жорстке утримання виробу під час зварювання, що сприяє зменшенню деформацій і підвищенню якості шва.

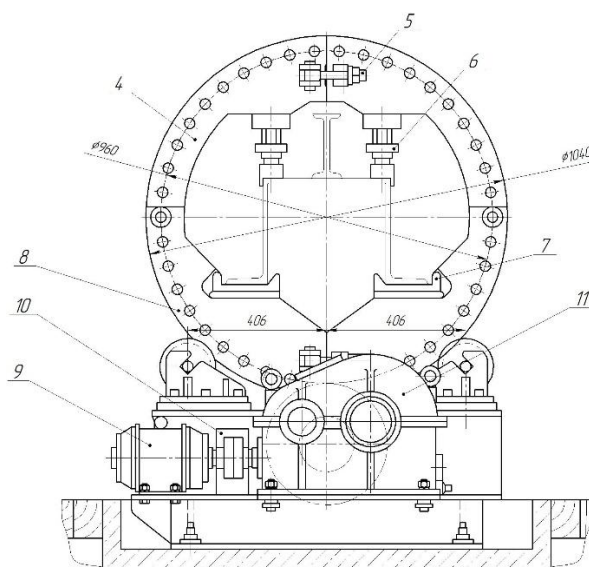


Рис. 3.4 – Кільцевий кантувач

Для складання шворневих і поперечних балок використовують окремі спеціалізовані кондуктори. Вони обладнані пневматичними та гвинтовими притискачами, базувальними елементами і відкидними упорами. Таке оснащення дає змогу швидко встановлювати заготовки у потрібне положення, витримувати задані розміри та забезпечувати повторюваність геометрії зварюваних вузлів.



а



б

Рис. 3.5 – Кондуктор для складання шворневої балки (а) та поперечної (б) [26]

Загальне складання рами виконують із попередньо виготовлених і зварених технологічних вузлів. Для цього застосовують спеціалізовані складально-зварювальні кондуктори, оснащені швидкодіючими пневматичними притискачами, базовими упорами та фіксаторами. Щоб забезпечити точне взаємне

розташування хребтової балки, шворневих і поперечних елементів, складання рами виконують у перевернутому положенні. Така схема полегшує базування за основними площинами та підвищує точність загальної геометрії конструкції.

Після з'єднання хребтової балки зі шворневими та поперечними балками виконують повне складання рами. На цьому етапі встановлюють бічні поздовжні балки, елементи обв'язки, кронштейни, підсилювальні накладки та інші деталі. Після вивірення положення всіх елементів їх фіксують прихватками, а потім виконують остаточне зварювання відповідно до прийнятої технологічної послідовності.

Завершальним етапом складально-зварювальних робіт є з'єднання всіх попередньо виготовлених вузлів у єдину раму вагона. У спеціальному кондукторі забезпечується точне розміщення основних несучих елементів, після чого виконують прихвачування, контроль геометрії та остаточне зварювання. Такий спосіб організації процесу дозволяє підвищити точність складання, зменшити залишкові деформації та забезпечити необхідну якість зварної конструкції.

3.2 Розрахунок і проєктування елементів пристосувань

Під час складання та зварювання елементів рами вагона ЕАОС необхідно забезпечити надійне базування деталей, збереження заданих зазорів і недопущення зміщення профілів у процесі прихвачування та виконання основних зварних швів. Для цього у складально-зварювальних кондукторах доцільно застосовувати пневматичні притискачі, відкидні упори, бічні фіксатори та торцеві затискні пристрої.

Основне призначення притискних елементів полягає в тому, щоб утримувати деталі у встановленому положенні протягом усього технологічного циклу: від базування заготовок до завершення зварювання. Особливо важливим є застосування таких пристроїв під час складання хребтової балки, оскільки її елементи мають значну довжину, а під час зварювання можуть виникати деформації, спричинені нерівномірним нагріванням і усадкою металу шва [27].

Для фіксації Z-подібних профілів, двотаврового елемента, поперечних і шворневих балок застосовують пневматичні притискачі важільного типу. Вони забезпечують швидке закріплення деталей, зменшують тривалість складальних операцій і підвищують точність повторного встановлення заготовок у кондукторі.

Для розрахунку приймаємо такі початкові дані: $m = 314$ кг, $g = 9,81$ м/с², $f = 0,2$, $p = 0,63$ Мпа, $\eta = 0,8$.

Необхідне технологічне зусилля притискання визначаємо з урахуванням сили, яка перешкоджає зміщенню деталі по опорній поверхні. Спочатку визначаємо розрахункову силу тертя:

$$Q_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f$$

$$Q_{\text{тр}} = 314 \cdot 9,81 \cdot 0,2 = 616 \text{ Н}$$

Для забезпечення надійності роботи притискача вводимо коефіцієнт запасу:

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

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

де K_0 — основний коефіцієнт запасу;

K_1 — коефіцієнт, що враховує стан поверхонь контакту;

K_2 — коефіцієнт, що враховує сталість зусилля затискного пристрою.

Тоді необхідне зусилля притискання становитиме:

$$Q = Q_{\text{тр}} \cdot K$$

$$Q = 616 \cdot 1,5 = 924 \text{ Н}$$

З урахуванням можливих похибок установлення деталей, коливань тиску в пневмосистемі та динамічних впливів під час прихвачування приймаємо:

$$Q = 950 \text{ Н}$$

Отже, для утримання елемента у складальному кондукторі необхідно забезпечити притискне зусилля не менше 950 Н.

Притискний механізм працює через важільну систему. Для спрощеного розрахунку приймаємо, що плечі важеля рівні: $a = b = 137$ мм

Оскільки плечі важеля однакові, зусилля на штоку пневмоциліндра приблизно дорівнює необхідному зусиллю притискання. З урахуванням тертя у шарнірах приймаємо:

$$P \approx Q = 950 \text{ Н}$$

Для шарнірного механізму коефіцієнт тертя в осях приймаємо: $f_{\text{ш}} = 0,1$

Радіус осі шарніра: $r = 10 \text{ мм}$

Оскільки тертя в шарнірах збільшує необхідне робоче зусилля незначно, для подальшого розрахунку приймаємо розрахункове зусилля на штоку: $P = 950 \text{ Н}$

Діаметр пневмоциліндра визначаємо за формулою:

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

де P — зусилля на штоку пневмоциліндра, Н;

p — тиск стисненого повітря, МПа;

η — ККД пневмоциліндра.

Підставляємо значення:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 950}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,8}}$$

$$D = \sqrt{\frac{3800}{1,582}} = \sqrt{2402} = 49 \text{ мм}$$

З урахуванням стандартного ряду діаметрів приймаємо $D = 50 \text{ мм}$.

Отже, для притискання елементів рами у складальному кондукторі доцільно застосувати пневмоциліндр 2111 – 50 × 200.

Відкидні пневматичні упори застосовують для фіксації положення заготовок, витримування необхідного зазору між кромками та запобігання поздовжньому зміщенню елементів під час складання. На відміну від звичайного притискача, упор повинен сприймати більше зусилля, оскільки на нього може передаватися навантаження від зміщення довгомірної балки або профілю.

Для розрахунку приймаємо, що упор повинен утримувати елемент із урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q = m \cdot g \cdot K$$

$$Q = 314 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 4622 \text{ Н}$$

Для подальших розрахунків округлюємо:

$$Q = 4700 \text{ Н}$$

Коефіцієнт корисної дії для більшого пневмоциліндра приймаємо: $\eta = 0,95$

Діаметр пневмоциліндра відкидного упора:

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4700}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,95}}$$

$$D = \sqrt{\frac{18800}{1,879}} = \sqrt{10005} = 100 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр: $D = 100 \text{ мм}$

Для відкидного упора доцільно застосувати пневмоциліндр 2311 – 100 × 300.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги безпеки до виробничого процесу

Безпека виробничого процесу під час виготовлення рами вагона ЕАОС є однією з основних умов організації ефективного та надійного виробництва. Виробниче обладнання, технологічне оснащення, зварювальні пости, складальні стенди та допоміжні механізми повинні забезпечувати безпечні умови праці, зручність обслуговування, надійність експлуатації та мінімальний вплив шкідливих і небезпечних виробничих чинників на працівників.

Безпечна робота машин, механізмів і технологічного устаткування забезпечується ще на стадії їх проєктування. При цьому необхідно передбачати безпечні конструктивні рішення, раціональне розташування робочих органів, наявність захисних пристроїв, застосування механізації та автоматизації, використання дистанційного керування, а також дотримання ергономічних вимог. Уся інформація щодо безпечного монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування і зберігання обладнання повинна бути відображена в технічній документації.

До основних заходів, які забезпечують безпеку виробничого процесу, належать:

- усунення або максимальне зменшення безпосереднього контакту працівника із заготовками, нагрітими деталями, зварювальними матеріалами, відходами та іншими небезпечними об'єктами;
- заміна небезпечних технологічних операцій менш шкідливими або більш механізованими процесами;
- використання дистанційного керування у випадках, коли оператор може перебувати в зоні дії небезпечних факторів;
- герметизація та локалізація джерел шкідливих виділень;
- застосування засобів колективного та індивідуального захисту;
- встановлення систем аварійного вимкнення обладнання;
- своєчасне видалення виробничих відходів, шлаку, металевої стружки, залишків флюсу та інших матеріалів;
- забезпечення пожежної та вибухової безпеки на зварювальній дільниці;

- раціональна організація режиму праці та відпочинку працівників.

Під час виготовлення рами вагона застосовуються механізоване MIG/MAG-зварювання у захисному газовому середовищі та автоматичне зварювання під флюсом. Тому основними небезпечними факторами є можливість ураження електричним струмом, дія інтенсивного світлового та теплового випромінювання дуги, опіки від бризок розплавленого металу, утворення зварювальних аерозолів, виділення газів, шум, робота рухомих частин складально-зварювального оснащення та небезпека травмування під час переміщення великогабаритних елементів [28-29].

Особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці. Ураження електричним струмом можливе у разі пошкодження ізоляції, відсутності або несправності заземлення, пробою джерела живлення, дотику до струмоведучих частин або виконання перемикань без попереднього вимкнення обладнання від електромережі. Для запобігання таким небезпекам зварювальні джерела живлення, пульти керування, шафи та інші електричні пристрої повинні мати справну ізоляцію, захисне заземлення, блокування доступу до струмоведучих елементів і пристрої аварійного відключення.

Захисне заземлення є обов'язковим для всіх металевих неструмоведучих частин обладнання, які у разі пошкодження ізоляції можуть опинитися під напругою. До таких елементів належать корпуси зварювальних джерел, складально-зварювальні стенди, кантувачі, пульти керування, металеві шафи та інше технологічне обладнання. Призначення захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику до безпечного рівня та запобіганні ураженню працівників електричним струмом.

Для запобігання випадковому контакту працівників із рухомими частинами обладнання необхідно застосовувати огорожувальні пристрої. Захисні огороження встановлюють на приводи, передачі, обертові вузли, кантувачі, механізми переміщення, притискні пристрої та інші елементи, що можуть створювати небезпеку травмування. Огороження повинні мати достатню міцність, надійне кріплення та попереджувальне фарбування. Зовнішні поверхні

небезпечних зон доцільно фарбувати у сигнальні кольори та позначати відповідними попереджувальними знаками.

Під час зварювання працівник повинен використовувати засоби індивідуального захисту: зварювальну маску або щиток зі світлофільтром, вогнестійкий спецодяг, рукавиці, захисне взуття, окуляри для допоміжних операцій, а також засоби захисту органів дихання у разі недостатньої вентиляції. Спецодяг повинен захищати від бризок металу, іскор, теплового випромінювання та випадкового контакту з нагрітими деталями.

Оскільки під час зварювання утворюються зварювальні аерозолі, гази та пил, робочі місця необхідно обладнати місцевою витяжною вентиляцією. Найбільш доцільним є застосування витяжних зонтів, поворотних витяжних рукавів або локальних відсмоктувачів, розміщених поблизу зони зварювання. Конструкція вентиляції повинна забезпечувати ефективне видалення шкідливих виділень без надмірного відсмоктування теплого повітря з приміщення.

Пожежна безпека під час виконання зварювальних робіт забезпечується очищенням робочої зони від легкозаймистих матеріалів, наявністю первинних засобів пожежогасіння, справністю електрообладнання, контролем стану кабелів, рукавів, балонів із газом і редукторів. Зварювальні роботи повинні виконуватися лише на спеціально відведених ділянках або після підготовки робочого місця відповідно до вимог пожежної безпеки.

Безпека процесу виготовлення рами вагона забезпечується комплексом організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. До них належать справне електрообладнання, захисне заземлення, огороження рухомих механізмів, застосування вентиляції, використання засобів індивідуального захисту, контроль пожежної безпеки та правильна організація робочих місць. [28-29].

4.2 Розрахунок природного освітлення цеху виготовлення рами вагона

Для забезпечення безпечного та якісного виконання складально-зварювальних робіт виробнича зона повинна мати достатній рівень природного освітлення. Особливо це важливо під час складання рами вагона, оскільки операції

базування, прихватування, контролю зазорів, перевірки геометрії та візуального огляду зварних швів потребують доброї видимості робочої зони.

Рама вагона ЕАОС є великогабаритною металоконструкцією, тому площа виробничої зони повинна враховувати не лише габарити самої рами, а й місце для складально-зварювального стенда, проходів, переміщення заготовок, роботи кран-балки, розміщення зварювального обладнання та контрольних операцій.

Для розрахунку приймаємо розміри виробничої зони цеху [29]:

$$L = 22 \text{ м}; B = 12 \text{ м}$$

де L — довжина виробничої зони;

B — ширина виробничої зони.

Площа підлоги цехової ділянки становить:

$$S_{\Pi} = L \cdot B$$

$$S_{\Pi} = 22 \cdot 12 = 264 \text{ м}^2$$

Приймаємо, що будівля розташована у IV світловому поясі, вікна орієнтовані на захід, а затінення від сусідніх будівель або споруд відсутнє.

Необхідну площу вікон визначаємо за формулою:

$$S_{\text{в}} = \frac{e_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{в}} \cdot S_{\Pi}}{\tau_{\text{з}} \cdot r_1 \cdot 100}$$

де $S_{\text{в}}$ — необхідна площа світлових прорізів, м^2 ;

$e_{\text{н}}$ — нормоване значення коефіцієнта природного освітлення, %;

$K_{\text{з}}$ — коефіцієнт запасу;

$\eta_{\text{в}}$ — світлова характеристика вікон;

S_{Π} — площа підлоги цехової ділянки, м^2 ;

$\tau_{\text{з}}$ — загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 — коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки відбитому світлу.

Нормоване значення КПО приймаємо: $e_{\text{н}} = 1,1\%$

Коефіцієнт запасу для виробничого приміщення: $K_{\text{з}} = 1,3$

Для прийнятих розмірів цехової зони визначаємо співвідношення:

$$\frac{L}{B} = \frac{22}{12} = 1,83$$

За умовами бокового одностороннього освітлення приймаємо світлову характеристику вікон: $\eta_{\text{в}} = 14$

Загальний коефіцієнт світлопропускання для подвійного застосування у рамах приймаємо: $\tau_3 = 0,56$

Коефіцієнт, що враховує підвищення природної освітленості за рахунок відбиття світла від внутрішніх поверхонь приміщення: $r_1 = 2,1$

Підставляємо значення у формулу:

$$S_{\text{в}} = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 14 \cdot 264}{0,56 \cdot 2,1 \cdot 100}$$

$$S_{\text{в}} = \frac{5285,28}{117,6} = 44,9 \text{ м}^2$$

Отже, необхідна сумарна площа вікон для природного освітлення цехової ділянки становить: $S_{\text{в}} = 44,9 \text{ м}^2$

Приймаємо стандартні вікна розміром: $1,5 \times 1,7 \text{ м}$

Площа одного вікна:

$$S_{\text{в}}^1 = 1,5 \cdot 1,7 = 2,55 \text{ м}^2$$

Кількість вікон визначаємо за формулою:

$$n = \frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{в}}^1}$$

$$n = \frac{44,9}{2,55} = 17,6$$

Приймаємо найближче більше ціле значення: $n = 18$

Для природного бокового освітлення виробничої зони цеху площею 264 м^2 необхідно передбачити 18 вікон розміром $1,5 \times 1,7 \text{ м}$.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес зварювання рами вагона типу ЕАОС. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення точності складання, стабільності якості зварних з'єднань, зменшення зварювальних деформацій і забезпечення надійної роботи рами в експлуатаційних умовах.

У процесі аналізу встановлено, що рама вагона ЕАОС є основною несучою частиною конструкції, яка сприймає вертикальні, поздовжні, поперечні, ударні та циклічні навантаження. Найбільш відповідальними її елементами є хребтова, шворневі, кінцеві, проміжні поперечні та бокові поздовжні балки. Саме від точності їх виготовлення та якості зварних швів залежить довговічність і безпечність експлуатації вагона.

Для виготовлення несучих елементів рами обґрунтовано застосування сталі 10ХСНД класу міцності 390. Вона має достатню міцність, пластичність, ударну в'язкість, корозійну стійкість і задовільну зварюваність, що дає змогу використовувати її для відповідальних зварних конструкцій залізничного транспорту.

На основі аналізу базового технологічного процесу прийнято вузлову схему виготовлення рами. Окреме складання та зварювання хребтової, шворневих, кінцевих і проміжних балок дозволяє організувати паралельне виконання робіт, покращити доступ до зварних швів, зменшити накопичення похибок і підвищити точність загального складання.

Для основних зварних з'єднань вибрано раціональні способи зварювання. Протяжні стикові шви хребтової балки доцільно виконувати автоматичним зварюванням під флюсом із використанням дроту ЕМ12К та флюсу ОК Flux 10.71. Для приварювання ребер жорсткості, накладок, кронштейнів, поперечних і бокових елементів запропоновано механізоване MIG/MAG-зварювання дротом ER70S-6 у газовій суміші 80 % Ar + 20 % CO₂.

Розроблений технологічний маршрут охоплює повний цикл виготовлення рами: вхідний контроль матеріалів, очищення та правлення прокату, розкрій

заготовок, підготовку кромek, складання Z-профілів, зварювання хребтової балки, встановлення ребер жорсткості й двотаврового елемента, виготовлення поперечних балок, загальне складання рами, основне зварювання, очищення швів, правлення та контроль готового виробу.

Для реалізації процесу підібрано сучасне обладнання й оснащення: дробоструминну установку, відрізне та лазерне обладнання, складальні кондуктори, кантувачі, автоматизований комплекс для зварювання під флюсом і систему для механізованого MIG/MAG-зварювання. Їх застосування забезпечує повторюваність операцій, зменшує частку ручної праці та покращує умови роботи зварників.

Обґрунтовано систему контролю якості зварних з'єднань. Для всіх швів передбачено візуально-вимірювальний контроль, а для відповідальних стикових, таврових і кутових з'єднань — ультразвукову дефектоскопію, що дозволяє виявляти внутрішні несучільності металу шва і зони термічного впливу.

У конструкторській частині розглянуто складально-зварювальні пристосування та виконано розрахунок притискних елементів. Для пневматичного притискача визначено необхідне зусилля близько 950 Н і прийнято пневмоциліндр діаметром 50 мм. Для відкидного упора, що фіксує довгомірні елементи, прийнято пневмоциліндр діаметром 100 мм. Такі рішення забезпечують надійне базування заготовок і запобігають їх зміщенню під час прихватування та зварювання.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні фактори виробництва та запропоновано заходи для їх зменшення.

У роботі сформовано комплексне технологічне рішення для виготовлення рами вагона EAOS. Запропонована технологія поєднує раціональну послідовність операцій, сучасні способи зварювання, спеціалізоване оснащення, контроль якості та заходи безпеки. Її впровадження дає змогу підвищити якість зварної рами, знизити трудомісткість виготовлення, зменшити кількість дефектів і забезпечити надійну експлуатацію вагона в умовах реальної роботи залізничного транспорту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. <https://www.kvsz.com/index.php/ru/produksiya/gruzovoe-vagonostroenie/poluvagony/item/197-poluvagon-tipa-eaos>
3. <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal10khsnd/>
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
5. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / за ред. В. М. Плєскача. Київ : Либідь, 2010. 424 с.
6. Металознавство та термічна обробка металів : підручник / О. А. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. Київ : Політехніка, 2001. 375 с.
7. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
8. ДСТУ EN 10025-2:2019. Вироби гарячекатані з конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
10. ДСТУ EN ISO 9606-1:2016. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
11. 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.
12. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
13. 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.
14. <https://paton.ua/svarochnaya-provoloka/omednennaya-provoloka/zvaryuvalniy-dr-t-er70-s6-sv-08g2s-0-8-mm-5-kg/>
15. <https://eweld.com.ua/ua/svarochnaya-himiya/svarochnyj-flyus-esab-ok-flux-1071-25-kg>

16. 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.
17. https://esab.com/am/eur_en/products-solutions/product/welding-automation/submerged-arc-welding/column-and-boom-systems/esab-cab-300m/
18. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/produkty/%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B5-%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/migmag/tpsi/tpsi/tps-600i>
19. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. ISO 17637 встановлює вимоги до візуального контролю зварних швів у металевих матеріалах.
20. ДСТУ EN ISO 17640:2018. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
21. 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.
22. <https://dp-ndt.uaprom.net/ua/p1072229228-ultrazvukovoj-defektoskop-olympus.html>
23. <https://svartech.com.ua/ua/g84415147-drobemetnoe-oborudovanie>
24. https://monax.com.ua/ua/poluvavtomaticheskie-lentochnopilnye-stanki/5000/?srsltid=AfmBOor91GW0NYrFCPc25DBC_oY70A2t4xV74IVOeLICNzdl_9xS-eyt
25. <https://startec.biz/lazerni-verstaty/>
26. https://www.tvagonm.com.ua/catalog/oborudovanie_dlya_proizvodstva_vagonov_mineralovozov/
27. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
28. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
29. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТКИ