

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технологічного процесу виготовлення даху
комбінованого вагона 19-795-01**

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

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Кубах В.В.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Підгурський М.І.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Дячун А.Є.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Окіпний І.Б.</u> (підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис)	(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено технологічний процес виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01. У роботі розглянуто призначення виробу, його конструктивні особливості, умови роботи у складі кузова вагона та вимоги до забезпечення геометричної точності, міцності й якості зварних з'єднань.

Дах вагона розглянуто як великогабаритний складально-зварний вузол, до складу якого входять листова обшивка, поперечні дуги, торцеві фрамуги, поздовжні підсилювальні елементи, рамки завантажувальних люків і кришки люків. На основі аналізу конструкції визначено основні вимоги до виготовлення виробу, зокрема точність розташування елементів, стабільність кривизни, якісне формування швів і зменшення залишкових деформацій після зварювання.

У технологічній частині обґрунтовано застосування механізованого та роботизованого MAG-зварювання, вибрано зварювальні матеріали, обладнання для підготовки заготовок, складально-зварювальні пристосування та методи контролю якості. Запропонований технологічний процес передбачає очищення і правлення металопрокату, лазерний розкрій, зачистку та підготовку кромek, виготовлення дуг, фрамуг, підсилювачів і рам люків, складання даху у спеціалізованому кондукторі, роботизоване прихоплення, зварювання основних з'єднань, приварювання рам завантажувальних люків, виконання дугових електрозаклепок, правлення та заключний контроль.

У конструкторській частині виконано розрахунок механізму переміщення зварювального порталу з урахуванням маси порталу, двох роботів, джерел живлення та допоміжного оснащення. Розглянуто будову і принцип роботи автоматизованої складально-зварювальної установки, яка забезпечує точне базування елементів даху та стабільність процесу зварювання.

Окремий розділ присвячено питанням безпеки життєдіяльності та охорони праці у зварювальному виробництві. У ньому наведено заходи щодо збереження

працездатності працівників, організації безпечних умов праці та надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом.

Розроблені технологічні рішення спрямовані на підвищення продуктивності виготовлення даху, зменшення частки ручної праці, забезпечення стабільної якості зварних з'єднань і підвищення експлуатаційної надійності готового виробу.

Ключові слова: ДАХ ВАГОНА, МАГ-ЗВАРЮВАННЯ, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИЙ КОНДУКТОР, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ПОРТАЛ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції виробу	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу	14
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу	17
1.4 Аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення даху вагона	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	30
2.1 Обґрунтування способу зварювання	30
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування	39
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	45
2.4 Опис технологічного процесу виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01	48
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	60
3.1 Розрахунок механізму переміщення зварювального порталу	60
3.2 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи	65
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	71
4.1 Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці у зварювальному виробництві	71
4.2 Вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці	73
4.3 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом	74
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

Розвиток сучасного вагонобудування пов'язаний із постійним підвищенням вимог до міцності, надійності, довговічності та технологічності конструкцій рухомого складу. В умовах інтенсивної експлуатації вантажних вагонів особливого значення набуває якість виготовлення кузовних вузлів, оскільки саме вони сприймають значну частину експлуатаційних навантажень, забезпечують збереження вантажу та впливають на загальну жорсткість конструкції. Одним із таких відповідальних елементів є дах комбінованого вагона 19-795-01, який виконує захисну, конструктивну та експлуатаційну функції.

Дах вагона працює в умовах дії атмосферних чинників, вібраційних навантажень, температурних перепадів, а також силових впливів, що виникають під час руху, маневрових операцій і навантажувально-розвантажувальних робіт. Тому до його конструкції висуваються підвищені вимоги щодо геометричної точності, герметичності, корозійної стійкості, міцності зварних з'єднань і стабільності форми після складання та зварювання. Будь-які відхилення, допущені під час виготовлення даного вузла, можуть призвести до ускладнення подальшого складання кузова, появи залишкових деформацій, порушення щільності з'єднань або зниження експлуатаційної надійності вагона.

Сучасні конструкції вагонів виготовляються переважно у суцільнометалевому виконанні із широким застосуванням зварних вузлів, профільних елементів та листових заготовок. Такий підхід дає змогу забезпечити необхідну несучу здатність конструкції, зменшити кількість рознімних з'єднань, підвищити жорсткість кузова та скоротити трудомісткість виготовлення. Для даху комбінованого вагона це є особливо важливим, оскільки його елементи повинні точно поєднуватися між собою, утворюючи просторову конструкцію з визначеними розмірами, формою та якістю поверхні.

Важливим напрямом підвищення ефективності виробництва є використання принципів уніфікації, стандартизації та взаємозамінності деталей. Застосування уніфікованих заготовок, типових зварних з'єднань, раціональних технологічних баз і спеціалізованого оснащення дозволяє підвищити стабільність виробничого

процесу та зменшити ймовірність виникнення дефектів. При виготовленні даху вагона 19-795-01 це забезпечує точне розташування поздовжніх і поперечних елементів, правильне формування листових деталей, якісне виконання зварних швів і відповідність готового вузла вимогам складального креслення.

Вирішальне значення для забезпечення якості даху має раціонально побудований технологічний процес. Він повинен охоплювати всі основні стадії виготовлення: вхідний контроль металопрокату, підготовку та розкрій листових заготовок, правлення, гнуття або формування елементів, складання у пристосуванні, прихоплення, зварювання, контроль геометричних параметрів, перевірку якості зварних з'єднань і підготовку вузла до подальшого встановлення на кузов вагона. Послідовність цих операцій повинна бути такою, щоб забезпечити мінімальні деформації, зручність доступу до місць зварювання та стабільне положення деталей під час складання.

Подальший розвиток вагонобудівного виробництва неможливий без впровадження механізованих і автоматизованих технологій. Доцільним є застосування обладнання з числовим програмним керуванням для розкрою листового металу, листопрямильних і згинальних машин для підготовки заготовок, складально-зварювальних кондукторів для фіксації елементів даху, а також механізованого або автоматизованого зварювального устаткування. Використання такого обладнання дозволяє знизити частку ручної праці, підвищити продуктивність, забезпечити повторюваність розмірів і покращити якість зварних з'єднань.

Особливу увагу при виготовленні даху комбінованого вагона необхідно приділяти контролю якості. Оскільки дах є великогабаритним зварним вузлом, у процесі його виготовлення можливе виникнення деформацій, непроварів, підрізів, пористості, відхилень від заданої кривизни або порушення взаємного положення елементів. Тому технологічний процес повинен передбачати не лише кінцевий контроль, а й поопераційну перевірку після основних етапів складання та зварювання. Це дає змогу своєчасно виявити відхилення і не допустити їх накопичення на наступних стадіях виготовлення.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Комбінований вагон моделі 19-795-01 (рис. 1.1) належить до чотиривісного вантажного рухомого складу спеціального призначення. Вагон призначений для перевезення глинозему насипом, алюмінієвих пакетованих чушок, Т-подібних злитків, тарно-штучних і пакетованих вантажів, які потребують захисту від атмосферних опадів. За конструктивною схемою вагон поєднує ознаки критого хоперного вагона для сипучих вантажів і кузова, пристосованого для перевезення тарних вантажів. Завантаження сипучого вантажу здійснюється через верхні люки, розміщені в даху, а розвантаження — через нижні люки у міжрейковий простір.

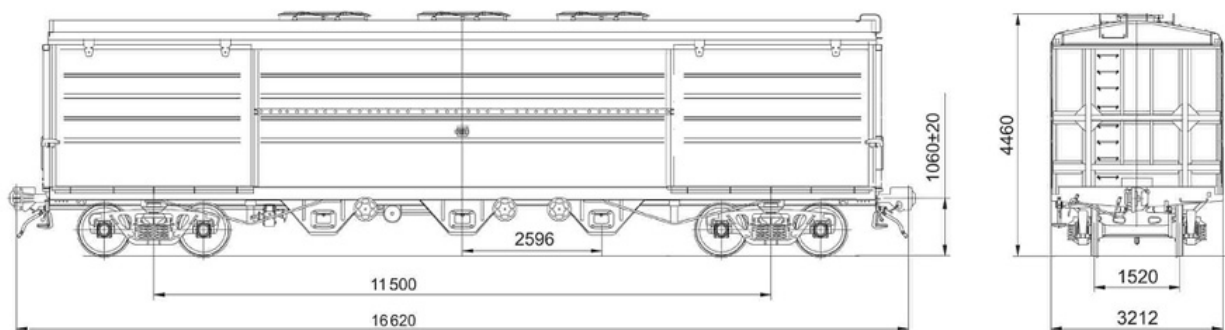


Рис. 1.1 Загальний вигляд та конструктивна схема комбінованого вагона 19-795-01

Основними складальними одиницями вагона є рама, кузов, дах, бокові та торцеві стіни, бункерна частина з розвантажувальними люками, дверний проріз для

роботи з тарними вантажами, ходові частини, автозчепне та гальмівне обладнання. Рама виконує роль основної несучої системи вагона, кузов формує вантажний простір, а дах є верхнім огорожувальним вузлом, який забезпечує закриття кузова та захист вантажу від опадів, пилу й забруднень.

За технічними характеристиками довжина вагона по осях зчеплення автозчепів становить 16620 мм, довжина по кінцевих балках рами — 15400 мм, база вагона — 11500 мм. Довжина кузова по верхній обв'язці становить 15432 мм, що визначає основну довжину верхнього контуру кузова, до якого приєднується дах. Максимальна ширина вагона по даху становить 3212 мм, а ширина по стійках — 3150 мм. Така різниця пояснюється тим, що дах має незначний боковий винос відносно площини стін і перекриває верхню частину кузова.

Дах комбінованого вагона 19-795-01 (рис. 1.2 та 1.3) являє собою великогабаритну металеву конструкцію аркового типу. Він складається з листової обшивки, поперечних дуг, торцевих фрамуг, поздовжніх бокових обв'язок, поздовжніх підсилювальних елементів, вузлів завантажувальних люків і елементів для безпечного обслуговування верхньої частини вагона. За загальною формою дах має плавну криволінійну поверхню, що забезпечує стікання атмосферних опадів до бокових частин кузова та зменшує можливість накопичення вологи на верхній обшивці.



Рис. 1.2 Загальний вид даху комбінованого вагона 19-795-01

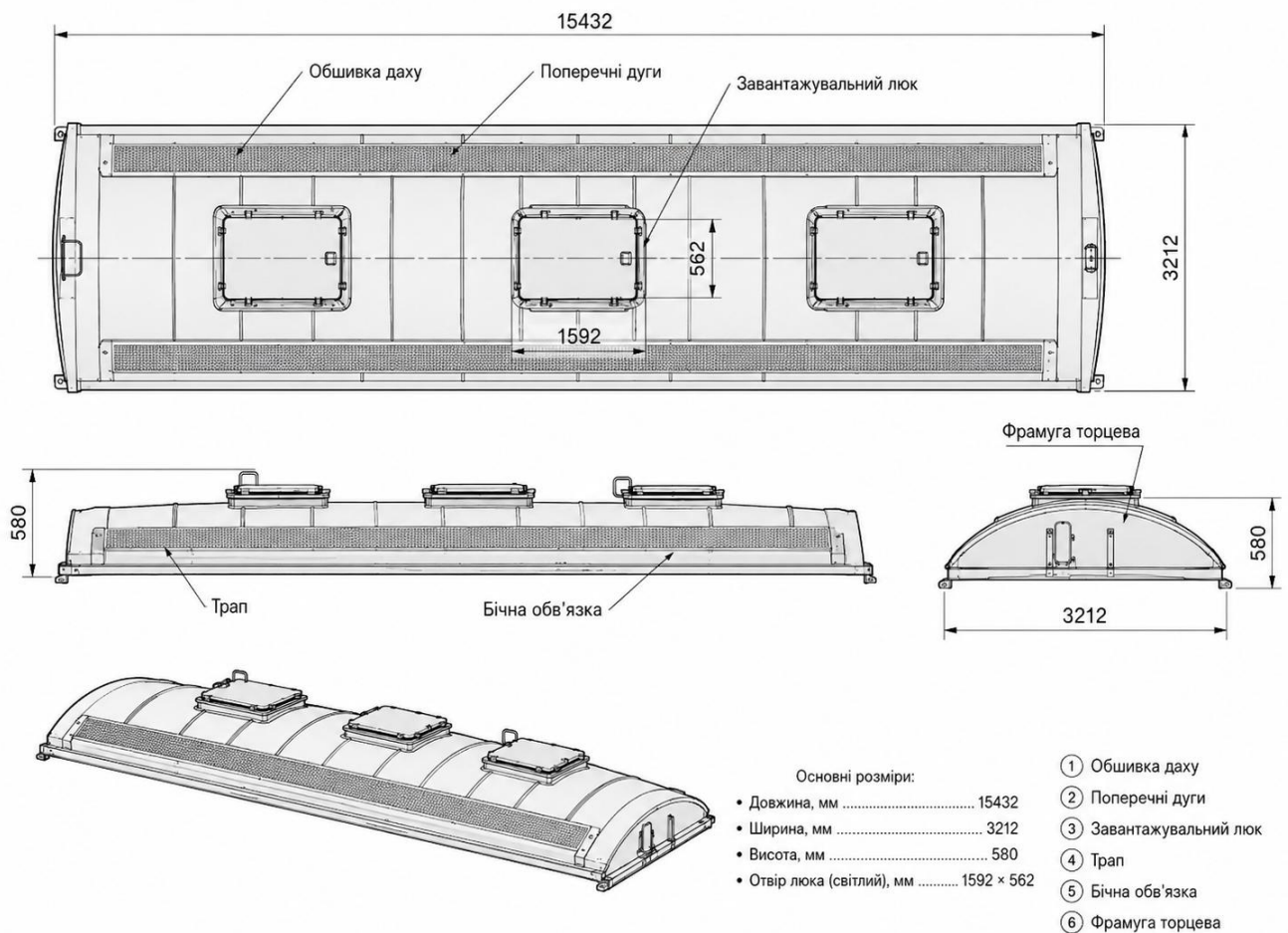


Рис. 1.3 Конструкція даху комбінованого вагона 19-795-01

Основу каркаса даху утворюють поперечні дуги, які задають його кривизну та підтримують листову обшивку по ширині вагона. Дуги розташовуються вздовж довжини даху з певним кроком і сприймають навантаження від обшивки, снігу, вітру та випадкових експлуатаційних впливів. Для розроблення технологічного процесу доцільно приймати дуги у вигляді гнутих профільних елементів швелерного або коритоподібного перерізу. Орієнтовний профіль дуги може становити 60×40×4 мм або 80×40×4 мм залежно від місця встановлення та навантаження. У крайніх ділянках, біля торцевих фрамуг і зон люків, можуть застосовуватися підсилені дуги більшого перерізу.

Торцеві фрамуги розміщуються з обох кінців даху та формують його крайові ділянки. Вони забезпечують перехід від криволінійної поверхні даху до торцевих стін кузова й беруть участь у формуванні жорсткого замкненого контуру. Конструктивно фрамуги можуть виконуватися з гнутих або фасонних профілів,

з'єднаних із крайніми дугами та боковими обв'язками. Для технологічного опису приймається, що фрамуга складається з поперечного профілю висотою близько 80–100 мм, вертикальних або похилих ребер жорсткості та крайових накладок, які забезпечують прилягання даху до торцевої частини кузова.

Поздовжні бокові обв'язки розміщуються вздовж нижніх крайок даху і служать для спирання даху на верхній пояс бокових стін. Вони забезпечують збереження форми даху по довжині, об'єднують поперечні дуги в єдину просторову систему та утворюють базові поверхні для встановлення даху на кузов вагона. З урахуванням габариту даху по ширині 3212 мм бокові обв'язки розташовуються по обох поздовжніх краях конструкції. Для них доцільно застосовувати гнуті кутові, швелерні або коритоподібні профілі перерізу 80×50×5 мм або 100×50×5 мм.

Листова обшивка є основним огорожувальним елементом даху. Вона закриває каркас зверху та формує зовнішню поверхню конструкції. З огляду на значну довжину даху обшивка виконується не з одного листа, а з кількох листових секцій, які розміщуються по довжині та ширині конструкції. У центральній частині даху передбачаються прорізи під завантажувальні люки. Для крайніх ділянок обшивки можна приймати листову сталь товщиною 2 мм, а для центральної частини, де розміщені люкові прорізи та зосереджені більші місцеві навантаження, — лист товщиною 3 мм. Таке конструктивне рішення забезпечує зменшення маси даху при збереженні достатньої жорсткості в найбільш навантажених зонах.

Для підвищення жорсткості листи обшивки можуть мати поздовжні гофри. Гофри виконують роль місцевих ребер жорсткості, зменшують прогини тонколистової обшивки та підвищують стійкість даху до деформацій. Крім того, наявність гофрованої поверхні покращує умови переміщення обслуговуючого персоналу по даху, оскільки зменшує ковзання поверхні. Крайні листи обшивки доцільно виконувати з кількома поздовжніми гофрами, а середню частину — з гофрами, розташованими між прорізами завантажувальних люків.

У даху вагона 19-795-01 передбачено три завантажувальні люки. Вони розміщуються у верхній частині даху вздовж його поздовжньої осі та призначені

для подавання сипучого вантажу в середню хоперну частину кузова. Розмір кожного завантажувального люка у світлі становить 1592×562 мм. Такі габарити забезпечують достатню площу для завантаження глинозему та інших сипучих вантажів, одночасно не послаблюючи надмірно центральну частину даху.

Кожний люковий проріз обрамлюється підсилювальними елементами, які компенсують зниження жорсткості листової обшивки в місці вирізу. Обрамлення люка може складатися з поздовжніх і поперечних гнутих профілів, розміщених по периметру прорізу. Для таких елементів доцільно приймати профілі типу кутника або швелера з орієнтовним перерізом 50×50×4 мм або 60×40×4 мм. У місцях встановлення кришок люків передбачаються посадкові поверхні, упори, шарнірні вузли та елементи фіксації.

Кришки завантажувальних люків виконуються як окремі металеві елементи, що перекривають люкові прорізи. Їх форма повинна забезпечувати щільне закривання отвору та відведення води з поверхні. З цією метою кришки можуть мати опуклу або сферичну форму. Для фіксації кришок застосовуються важільні або притискні механізми, які забезпечують їх надійне утримання в закритому положенні під час руху вагона. Конструкція люка повинна також забезпечувати можливість відкривання під час завантаження та доступу для огляду.

Для обслуговування завантажувальних люків на даху передбачається трап або ходова доріжка. Він розміщується вздовж зони люків і забезпечує безпечне переміщення персоналу під час відкривання, закривання та огляду люкових пристроїв. Конструктивно трап може виконуватися з рифленого листа, просічно-втяжного настилу або окремих планок, закріплених на опорних кронштейнах. Його розташування повинно не заважати відкриванню кришок люків і водночас забезпечувати зручний доступ до кожного завантажувального отвору.

З урахуванням довжини кузова по верхній обв'язці 15432 мм дах вагона має видовжену просторову форму. Орієнтовно його конструкцію можна поділити на три основні ділянки: центральну люкову частину, де розміщені завантажувальні отвори; бокові скатні частини, що формують криволінійну поверхню даху; торцеві частини з фрамугами, через які дах поєднується з торцевими стінами кузова. Такий

поділ є зручним для опису конструкції та подальшого розроблення технологічного процесу виготовлення.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення котла вагона-цистерни моделі 15-7076 доцільно застосовувати низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С. Цей матеріал широко використовується у вагонобудуванні, машинобудуванні та виробництві відповідальних зварних металоконструкцій, які працюють під дією статичних, динамічних і змінних навантажень. Згідно з технічними даними для вагона-цистерни 15-7076, як матеріал кузова можуть застосовуватися сталі 09Г2С, 09Г2Д, 09Г2, 09Г2СД-12.

Вибір сталі 09Г2С для котла цистерни є технічно обґрунтованим, оскільки цей матеріал поєднує достатню міцність, пластичність, опір крихкому руйнуванню та добру зварюваність. Для вагона-цистерни це має особливе значення, оскільки котел цистерни 1, торцеві днища 2, зони встановлення люк-горловини 5, зливного пристрою 8 та ділянки опирання на ложементи 3 під час експлуатації зазнають складного напруженого стану.

Позначення сталі 09Г2С характеризує її орієнтовний хімічний склад. Число 09 вказує на вміст вуглецю близько 0,09 %, літера Г означає наявність марганцю, цифра 2 — підвищений вміст марганцю до приблизно 2 %, а літера С вказує на наявність кремнію. Завдяки такому легуванню сталь має вищу міцність порівняно з вуглецевими сталями звичайної якості, зберігаючи при цьому достатню пластичність і здатність до зварювання.

У конструкції вагона-цистерни 15-7076 сталь 09Г2С може застосовуватися для виготовлення основних елементів котла: циліндричних обичайок, торцевих днищ, підсилювальних накладок, елементів горловини, патрубків, опорних зон і частини зварних вузлів, які безпосередньо працюють у складі герметичної оболонки. Для рами вагона також можуть використовуватися низьколеговані сталі аналогічного класу міцності, оскільки рама сприймає навантаження від котла,

вантажу, візків, автозчепного та гальмівного обладнання. Хімічний склад сталі 09Г2С наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С, % [3]

Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
09Г2С	0,09–0,12	1,30–1,70	0,50–0,80	до 0,035	до 0,035	до 0,30	до 0,30	до 0,30

Низький вміст вуглецю у сталі 09Г2С позитивно впливає на її зварюваність, оскільки зменшує ймовірність утворення твердих загартованих структур у зоні термічного впливу. Марганець підвищує міцність сталі, сприяє зменшенню шкідливого впливу сірки та покращує технологічні властивості металу. Кремній виконує роль розкиснювача і додатково підвищує міцність, не спричиняючи суттєвого зниження пластичності за умови дотримання нормативного вмісту.

Обмежений вміст сірки та фосфору є важливою умовою для виготовлення відповідальних зварних конструкцій. Надмірна кількість цих домішок може знижувати пластичність металу, підвищувати схильність до утворення гарячих тріщин і погіршувати якість зварних з'єднань. Тому під час виготовлення котла цистерни необхідно використовувати металопрокат із підтвердженим хімічним складом і сертифікатом якості.

Основні механічні властивості сталі 09Г2С наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості сталі 09Г2С [3]

Марка сталі	Стан матеріалу	Границя текучості σ_t , МПа	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Відносне видовження δ_5 , %	Ударна в'язкість
09Г2С	Гарячекатаний листовий прокат	не менше 345	490–640	не менше 21	нормується залежно від товщини прокату і температури випробування

Наведені властивості свідчать, що сталь 09Г2С має достатній запас міцності для виготовлення котла цистерни, який працює під дією маси наливного вантажу, внутрішнього тиску, інерційних сил, вібрацій та температурних коливань. Границя текучості не менше 345 МПа забезпечує опір залишковим деформаціям оболонки котла, а тимчасовий опір розриву в межах 490–640 МПа характеризує здатність матеріалу витримувати значні силові впливи без руйнування.

Важливою перевагою сталі 09Г2С є її пластичність. Відносне видовження не менше 21 % дає змогу матеріалу частково сприймати локальні деформації без утворення тріщин. Для вагона-цистерни це особливо важливо, оскільки під час руху рідкий вантаж створює додаткові гідродинамічні впливи на стінки котла, а в місцях розташування опорних ложементів, люк-горловини та зливного вузла можуть виникати локальні концентрації напружень [4-8].

Найбільш навантаженими ділянками котла є кільцеві та поздовжні стикові шви обичайок, місця приварювання торцевих днищ, зона встановлення люк-горловини, ділянка зливного пристрою та опорні зони, через які навантаження передається на ложементи й раму вагона. У цих місцях необхідно забезпечити якісну підготовку кромок, точне складання деталей, мінімальне зміщення стиків і стабільне тепловкладення під час зварювання.

Однією з головних причин застосування сталі 09Г2С у конструкції котла цистерни є її добра зварюваність. Під зварюваністю розуміють здатність металу утворювати якісне нероз'ємне з'єднання без значного погіршення властивостей основного металу, металу шва та зони термічного впливу. Для котла цистерни це має визначальне значення, оскільки зварні шви повинні забезпечувати не лише міцність, а й повну герметичність оболонки.

Попередню оцінку зварюваності сталі 09Г2С можна виконати за еквівалентним вмістом вуглецю. Цей показник враховує вплив вуглецю та легувальних елементів на схильність сталі до утворення холодних тріщин у зоні термічного впливу.

Еквівалент вуглецю визначають за формулою [4]:

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

$$C_{\text{екв}} = 0,09 + \frac{1,50}{6} + \frac{0,20}{5} + \frac{0,20 + 0,20}{15} = 0,407.$$

Розраховане значення еквівалента вуглецю становить приблизно 0,41, що підтверджує добру зварюваність сталі 09Г2С. Такий матеріал придатний для виготовлення відповідальних зварних вузлів котла цистерни за умови дотримання технологічних режимів зварювання, правильного вибору зварювальних матеріалів і контролю якості зварних з'єднань.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 повинно виконуватися з урахуванням вимог, які висуваються до зварних металоконструкцій вантажного рухомого складу. Дах є відповідальним елементом кузова, оскільки він формує верхню частину просторової системи вагона, забезпечує захист внутрішнього об'єму від атмосферних опадів і бере участь у сприйнятті експлуатаційних навантажень. Під час руху вагона конструкція даху зазнає впливу вібрацій, інерційних сил, температурних перепадів, снігового навантаження, вітрового тиску та місцевих напружень, які виникають у зонах з'єднання з боковими й торцевими стінами кузова. Тому при виготовленні виробу необхідно забезпечити не тільки міцність окремих елементів, а й точність їх взаємного розташування, стабільність кривизни, якість зварних швів та придатність даху до подальшого монтажу на кузов.

Технічні умови на виготовлення даху встановлюють вимоги до матеріалу, підготовки заготовок, складання, зварювання, контролю якості, усунення дефектів, зберігання матеріалів і приймання готового виробу. Роботи повинні виконуватися відповідно до робочих креслень, технологічної документації підприємства-виробника, маршрутних та операційних карт, а також з урахуванням положень ДСТУ. У виробничій документації повинні бути визначені вимоги до класу

відповідальності зварних з'єднань, допустимих відхилень геометрії, обсягу контролю та порядку усунення можливих дефектів.

Металопрокат допускається до виробництва тільки після вхідного контролю. Під час контролю перевіряють марку сталі, номер плавки, партію, товщину листів і профілів, стан поверхні, відповідність хімічного складу та механічних властивостей вимогам документації. Кожна партія металу повинна мати супровідний документ якості. Використання прокату без підтвердження марки сталі або з невідомим походженням не допускається, оскільки це може призвести до непередбачуваної поведінки металу під час зварювання та експлуатації.

Поверхня листового й профільного прокату повинна бути придатною для подальшої обробки, складання та зварювання. На заготовках не допускаються тріщини, розшарування, полони, надриви кромek, глибокі риси, значні вм'ятини, інтенсивна корозія та інші дефекти, які можуть зменшити несучу здатність конструкції або погіршити якість зварного з'єднання. Місцеві незначні дефекти поверхні допускається усувати механічним або абразивним способом за умови, що після зачищення товщина металу залишається в допустимих межах.

Конструкція даху повинна бути технологічною для виготовлення в умовах вагонобудівного виробництва. Деталі необхідно проєктувати та виготовляти так, щоб забезпечити раціональне використання металу, зменшити кількість допоміжних операцій і уникнути зайвого ускладнення складання. Застосування листових панелей, гнутих профілів, поперечних дуг, поздовжніх підсилювачів, накладок і ребер повинно забезпечувати необхідну жорсткість даху без необґрунтованого збільшення маси виробу.

Форма поперечних перерізів і розташування зварних швів повинні відповідати умовам роботи даху у складі кузова вагона. У конструкції слід уникати різких переходів перерізів, гострих кутів, необроблених крайок і ділянок, де може виникати концентрація напружень. Особливої уваги потребують зони стикування даху з боковими та торцевими елементами кузова, оскільки через ці ділянки передаються частина експлуатаційних навантажень і зварювальні деформації, що

виникають під час складання кузова. Вільні кромки деталей у відповідальних місцях повинні бути зачищені, а за потреби — притуплені.

Заготовки для виготовлення даху повинні відповідати кресленням за розмірами, формою, допусками та станом поверхні. Точність виготовлення окремих деталей має бути вищою, ніж допустима точність готової зварної конструкції, оскільки під час зварювання виникають усадкові деформації. Перед передачею на складання необхідно перевіряти довжину, ширину, товщину, прямолінійність, кривизну, радіуси гнуття, якість кромки і відповідність базових поверхонь. Деталі, що не відповідають вимогам креслення, не повинні надходити на складання без попереднього виправлення або погодженого технологічного рішення.

Різання листового та профільного металу повинно забезпечувати отримання заготовок із мінімальними відхиленнями від заданої форми. Після механічного, термічного або лазерного різання необхідно видалити грат, напливи, задирки, окалину та інші нерівності. Кромки, що підлягають зварюванню, повинні мати форму підготовки, передбачену кресленням або технологічним процесом. Якщо після різання на поверхні кромки утворилися ділянки з погіршеною якістю металу, забрудненням або нерівномірною шорсткістю, їх необхідно зачистити до стану, придатного для якісного зварювання.

Перед складанням усі елементи даху повинні бути очищені. Зона майбутнього зварного шва повинна бути сухою та очищеною не менше ніж на 10 мм з кожного боку від кромки. Наявність фарби, мастила, продуктів корозії або вологи у зоні зварювання не допускається, оскільки такі забруднення можуть спричинити пористість, непровари, включення та нестабільне формування металу шва.

Якщо листові або профільні заготовки мають хвилястість, викривлення, скручування чи місцеві деформації, що перевищують допустимі значення, вони підлягають правленню до початку складання. Правлення необхідно виконувати на листопрямильних машинах, пресах, вальцах або у спеціальних пристроях, які забезпечують рівномірне прикладання зусилля. Під час правлення не допускається

утворення тріщин, надривів, місцевого потоншення металу, глибоких вм'ятин або пошкодження поверхні. Для гнутих елементів даху додатково контролюють сталість радіуса, симетричність профілю та відсутність місцевих перегинів.

Складання даху комбінованого вагона 19-795-01 повинно виконуватися у спеціальному складально-зварювальному пристосуванні або кондукторі. Оснащення має забезпечувати точне базування основних деталей, фіксацію їхнього положення, збереження заданої кривизни та можливість контролю геометрії під час складання. Кондуктор повинен мати достатню жорсткість, щоб не допустити зміщення деталей під час прихоплення і зварювання, але водночас забезпечувати доступ до зон виконання швів, контролю та очищення.

Послідовність складання повинна бути побудована так, щоб зменшити короблення виробу. Спочатку встановлюють базові поздовжні та поперечні елементи, які задають форму даху, після чого монтують листові панелі, підсилювачі, накладки та інші деталі. Положення елементів контролюють за упорами, шаблонами, фіксаторами, рулетками, лінійками, кутниками або іншими засобами вимірювання. Не допускається складання деталей із надмірним примусовим натягом, оскільки після зняття виробу з пристосування це може спричинити залишкові деформації та порушення геометрії.

Особливо важливо забезпечити точність стикувальних зон даху, через які він з'єднується з боковими та торцевими стінами кузова. Відхилення у цих місцях можуть ускладнити подальший монтаж, призвести до появи додаткових напружень у кузові та погіршити якість остаточного складання вагона. Зазори у стиках, зміщення кромek, перекося, відхилення від симетричності та кривизни повинні відповідати вимогам креслення і технологічної документації.

Прихватки, які застосовуються під час складання, повинні виконуватися зварювальними матеріалами, сумісними з основним металом і матеріалами основного зварювання. Їх довжина, переріз і розташування мають забезпечувати надійну фіксацію деталей до завершення основного зварювання. Водночас прихватки не повинні створювати надмірного теплового впливу або місцевої концентрації напружень. Перед виконанням основних швів прихватки очищають

від бризок, окалини та забруднень. Прихватки з тріщинами, порами, підрізами, непроварами або іншими дефектами необхідно видалити й виконати повторно.

Зварювання елементів даху зі сталі 09Г2С необхідно виконувати механізованими або автоматизованими дуговими способами, які забезпечують стабільність процесу, рівномірне формування шва, достатнє проплавлення кромek і обмеження залишкових деформацій. Режими зварювання повинні встановлюватися технологічною інструкцією та підтверджуватися відповідно до ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. До виконання зварювальних робіт допускаються працівники, кваліфікація яких відповідає ДСТУ EN ISO 9606-1:2016.

Зварювальні матеріали повинні відповідати марці основного металу, забезпечувати необхідні механічні властивості металу шва та мати сертифікати якості. Для зварювання сталі 09Г2С необхідно застосовувати дріт і захисні гази, які забезпечують стабільне горіння дуги, якісне формування шва, достатню пластичність металу шва та мінімальне розбризкування. Дріт повинен відповідати ДСТУ EN ISO 14341:2014, а захисні гази — ДСТУ EN ISO 14175:2014. Використання дроту з корозією, забрудненням або механічним пошкодженням поверхні не допускається.

Розташування зварних швів у конструкції даху повинно забезпечувати зручність виконання робіт, видимість зварювальної ванни, правильне положення пальника та доступність подальшого контролю. Не допускається необґрунтоване скупчення кількох швів на малій ділянці, оскільки це підвищує залишкові напруження, збільшує ризик місцевого короблення та може знижувати втомну міцність конструкції. У місцях приварювання підсилювальних елементів слід уникати перехрещення швів, різких закінчень і коротких швів, які можуть створювати небажану концентрацію напружень.

Форма зварних швів повинна забезпечувати плавний перехід до основного металу. Кутові шви мають бути рівномірними за катетом, без різких напливів, підрізів і незаплавлених кратерів. Стикові з'єднання повинні мати проплавлення, передбачене кресленням і технологічним процесом. Закінчення швів необхідно

якісно заварювати, а кратери — заплавляти, оскільки саме в цих місцях за дії змінних навантажень можуть утворюватися початкові тріщини.

Комбіновані з'єднання, у яких частина навантаження передається зварними швами, а частина — болтовими або заклепковими елементами, допускаються лише тоді, коли це прямо передбачено конструкторською документацією. Відповідальні зварні з'єднання повинні залишатися доступними для огляду, вимірювання, неруйнівного контролю та можливого ремонту. Конструкція даху не повинна мати необроблених закритих порожнин або ділянок, у яких може накопичуватися вода, сніг, бруд чи конденсат.

Після завершення зварювання шви та прилеглі ділянки основного металу очищають від бризок, окалини, шлаку, пилу та інших технологічних забруднень. Місцеві напливи, гострі крайки, задирки й нерівності усувають механічним або абразивним способом. Зачищення слід виконувати так, щоб не допустити надмірного зменшення товщини металу або пошкодження робочих поверхонь. Поверхня після очищення повинна бути придатною для контролю та подальшого нанесення захисного покриття.

Контроль якості виготовлення даху повинен здійснюватися на всіх основних етапах виробництва. На стадії вхідного контролю перевіряють матеріали та супровідну документацію. Після виготовлення заготовок контролюють їх розміри, форму, стан кромek і якість поверхні. На етапі складання перевіряють правильність базування деталей, зазори, зміщення кромek, симетричність і відповідність кривизни. Після зварювання виконують контроль якості швів, геометрії виробу та стану поверхні.

Візуально-вимірювальний контроль зварних з'єднань необхідно виконувати відповідно до ДСТУ EN ISO 17637:2017. Оцінювання допустимості дефектів зварних швів здійснюють відповідно до ДСТУ EN ISO 5817:2022 з урахуванням призначення конкретного з'єднання та його ролі у конструкції даху. Для відповідальних швів, визначених технологічною документацією, може застосовуватися додатковий неруйнівний контроль. Обсяг контролю

встановлюється залежно від відповідальності з'єднання, умов роботи деталі та вимог підприємства-виробника.

До недопустимих дефектів зварних з'єднань належать тріщини будь-якого напрямку, непровари, прожоги, незаплавлені кратери, значні подрізи, пористість понад допустимі межі, шлакові включення, несплавлення кромek, надмірне підсилення шва, різке зміщення кромek і деформації, які порушують геометрію виробу. Виявлені дефекти повинні бути усунені відповідно до затвердженої технології ремонту з подальшим повторним контролем. Повторне заварювання дефектної ділянки допускається лише після повного видалення дефекту та підготовки місця ремонту.

Геометричний контроль готового даху повинен підтвердити відповідність виробу кресленню за габаритними розмірами, кривизною, симетричністю, положенням поперечних і поздовжніх елементів, розміщенням підсилювачів і якістю стикувальних зон. Дах не повинен мати залишкових деформацій, які ускладнюють його встановлення на кузов вагона або порушують положення суміжних деталей. Особливу увагу необхідно приділяти лініям прилягання до бокових і торцевих елементів, оскільки від цього залежить точність складання кузова в цілому.

Перед передачею даху на подальші операції поверхню виробу необхідно підготувати до нанесення захисного покриття. Метал очищають від продуктів корозії, окалини, бризок і технологічних забруднень. Антикорозійний захист для даху є обов'язковим, оскільки під час експлуатації він постійно контактує з атмосферною вологою, опадами, конденсатом і температурними перепадами. Якість підготовки поверхні повинна забезпечувати надійне зчеплення ґрунтувальних і лакофарбових матеріалів з металом.

Зберігання металопродукату повинно здійснюватися на підкладках, стелажах або у касетах, що виключають контакт із ґрунтом, зволоження та пошкодження поверхні. Листовий і профільний метал необхідно розміщувати окремо за марками, товщинами, партіями та призначенням. Зварювальні матеріали слід зберігати у сухих приміщеннях окремо за марками й партіями, не допускаючи їх забруднення,

зволоження або змішування. Матеріали, які втратили ідентифікацію або мають ознаки пошкодження, до виробництва не допускаються.

Готовий дах комбінованого вагона 19-795-01 повинен бути прийнятий службою технічного контролю. Приймання здійснюється після перевірки відповідності матеріалів, геометричних параметрів, якості зварних з'єднань, стану поверхні та готовності виробу до подальшого встановлення на кузов. Результати контролю фіксують у виробничій документації. У разі виявлення невідповідностей виріб направляють на доопрацювання, після чого проводять повторний контроль.

Дотримання технічних умов на виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 забезпечує отримання зварної конструкції з необхідною міцністю, жорсткістю, геометричною точністю та експлуатаційною надійністю. Виконання вимог є обов'язковою умовою якісного виготовлення виробу та його подальшої безпечної роботи у складі залізничного рухомого складу.

1.4 Аналіз існуючих технологічних процесів виготовлення даху вагона

Виготовлення даху вантажного вагона є важливим етапом виробництва кузова, оскільки цей вузол впливає на просторову жорсткість конструкції, точність складання верхньої частини кузова, герметичність внутрішнього простору та довговічність вагона в експлуатації. Для комбінованого вагона 19-795-01 дах працює в умовах дії вібрацій, температурних коливань, атмосферної вологи, снігового навантаження, вітрового тиску та місцевих напружень, які виникають у зонах з'єднання з боковими й торцевими стінами. Тому технологічний процес його виготовлення повинен забезпечувати високу точність форми, якісне складання листових і профільних елементів, стабільну якість зварних швів і мінімальні залишкові деформації.

У вагонобудуванні виготовлення дахів може здійснюватися за різними технологічними схемами, які залежать від конструкції вагона, серійності виробництва, виду застосовуваного металопрокату, рівня механізації та наявного

технологічного оснащення. Найбільш поширеним є процес, за якого дах формується з окремих листових панелей, поперечних дуг, поздовжніх елементів, підсилювальних деталей і стикувальних зон, призначених для з'єднання з кузовом. Така схема є достатньо універсальною, однак якість готового виробу значною мірою залежить від точності виготовлення заготовок, правильності складання у пристосуванні та послідовності виконання зварювальних робіт.

Традиційний технологічний процес виготовлення даху вагона передбачає вхідний контроль металопрокату, розкрій листових заготовок, різання профільних елементів, правлення металу, гнуття або формування криволінійних деталей, складання вузла у кондукторі, виконання прихваток, зварювання основних з'єднань, очищення швів, контроль якості та підготовку поверхні до нанесення захисного покриття. За такої схеми значна частина операцій може виконуватися на універсальному обладнанні. Її перевагою є відносна простота організації виробництва, можливість виготовлення деталей різної конфігурації та невисока вартість оснащення. Водночас при недостатньому рівні механізації виникає підвищена залежність якості від кваліфікації виконавців, збільшується трудомісткість складання та зростає ймовірність появи відхилень геометрії.

Одним із недоліків традиційної технології є значна кількість ручних складальних операцій. Під час встановлення листових панелей, дуг і підсилювачів працівники часто виконують ручне суміщення кромek, підтискання деталей, контроль зазорів і прихоплення елементів. Якщо складально-зварювальне пристосування має недостатню жорсткість або не забезпечує точного базування, після зняття виробу з кондуктора можуть виникати відхилення кривизни, перекося стикувальних площин і місцеві деформації. Для даху вагона це є суттєвим недоліком, оскільки навіть незначні похибки у зонах прилягання до бокових або торцевих стін можуть ускладнити подальше складання кузова.

У технологічних процесах із низьким рівнем автоматизації зварювання часто виконують ручним або напівавтоматичним способом без достатньої стабілізації тепловкладення. Такий підхід може бути прийнятним для одиничного чи ремонтного виробництва, однак у серійному виготовленні він не завжди забезпечує

однакову якість швів по всій довжині виробу. Нерівномірне тепловкладення спричиняє різну величину усадки металу, появу залишкових напружень і короблення листових панелей. Особливо це характерно для тонколистових елементів даху, які мають велику площу і порівняно невелику жорсткість.

Іншим варіантом є застосування механізованого технологічного процесу, в якому розкрій заготовок виконується на обладнанні з числовим програмним керуванням, правлення — на листопрямильних машинах, а складання — у спеціалізованому кондукторі з фіксаторами та притискними елементами. У такому випадку підвищується точність підготовки деталей, зменшується кількість ручного підганяння, покращується повторюваність геометрії та скорочується тривалість складальних операцій. Для виготовлення даху комбінованого вагона така схема є більш доцільною, оскільки вона дає змогу стабільно витримувати кривизну, положення підсилювачів і стикувальні розміри.

Застосування лазерного, плазмового або механізованого термічного різання дає змогу отримувати заготовки з достатньою точністю та зменшити обсяг подальшої механічної обробки. Особливо важливим це є для листових панелей, накладок і підсилювальних деталей, які повинні точно встановлюватися у складальному пристосуванні. Разом з тим після термічного різання необхідно контролювати стан кромки, видаляти грат, окалину, напливи та ділянки з погіршеною якістю поверхні. Недостатня підготовка кромки може спричинити пори, непровари, включення і нестабільне формування шва.

Для профільних і криволінійних елементів даху важливим етапом є гнуття або формування деталей із дотриманням заданих радіусів. У традиційних процесах такі операції можуть виконуватися на універсальних пресах або гнуттєвому обладнанні з подальшим ручним контролем. Недоліком цього підходу є можливість появи відхилень радіуса, скручування профілю та неоднакової кривизни по довжині деталі. У більш досконалих технологічних процесах застосовують спеціальні шаблони, контрольні пристрої або програмоване гнуттєве обладнання, що забезпечує кращу повторюваність форми.

Складання даху в спеціалізованому кондукторі є однією з ключових умов отримання якісної конструкції. Існуючі технологічні процеси, у яких складання виконується на звичайних столах або спрощених упорах, не забезпечують достатньої стабільності геометрії, особливо при великогабаритних листових конструкціях. Більш раціональним є використання кондуктора, який має базові упори, притискні елементи, фіксатори для поперечних і поздовжніх деталей, а також опорні поверхні, що задають форму даху. Таке оснащення знижує трудомісткість складання, зменшує кількість прихваток і забезпечує правильне положення елементів до завершення зварювання.

Зварювання даху вагона повинно виконуватися з урахуванням особливостей листових конструкцій. Для сталі 09Г2С доцільним є застосування механізованого або автоматизованого дугового зварювання у середовищі захисних газів. Цей спосіб забезпечує достатню продуктивність, стабільне формування шва, можливість регулювання тепловкладення і придатність до виконання як коротких, так і протяжних швів. У порівнянні з ручним дуговим зварюванням механізований процес забезпечує кращу повторюваність якості, менше розбризкування, вищу продуктивність і зменшення впливу людського фактора.

При аналізі існуючих процесів необхідно враховувати, що надмірна кількість зварних швів і неправильна послідовність їх виконання є однією з головних причин деформацій даху. Якщо зварювання виконується без урахування симетричності, чергування ділянок і поступового розподілу тепла, листові панелі можуть викривлятися, а стикувальні зони втрачати задане положення. Тому сучасний технологічний процес повинен передбачати раціональну послідовність накладання швів, застосування прихваток достатньої якості, фіксацію виробу у кондукторі та контроль геометрії після основних зварювальних переходів.

Після зварювання у більшості існуючих технологічних процесів виконують очищення швів, видалення бризок, зачищення наплавів і контроль якості. Найпростішим видом контролю є візуально-вимірний, який дозволяє виявити поверхневі дефекти, перевірити форму шва, наявність підрізів, кратерів, пор, непроварів на доступних ділянках і відповідність геометрії шва встановленим

вимогам. Для відповідальних з'єднань можуть застосовуватися неруйнівні методи контролю. У випадку даху вагона особливу увагу доцільно приділяти швам у місцях стикування листових панелей, приварювання підсилювачів і зонам, які впливають на точність монтажу виробу на кузов.

Окремим недоліком технологічних процесів є недостатня увага до підготовки поверхні перед нанесенням захисного покриття. Даж вагона постійно працює в умовах контакту з атмосферною вологою, снігом, пилом, конденсатом і перепадами температур. Якщо після зварювання поверхня недостатньо очищена від окалини, бризок, продуктів корозії та технологічних забруднень, це знижує якість зчеплення ґрунтувального шару з металом і може призвести до передчасного розвитку корозії. Тому в удосконаленому технологічному процесі необхідно передбачити якісне очищення поверхні перед фарбуванням або нанесенням іншого захисного покриття.

Порівняння існуючих технологічних процесів показує, що для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 найбільш раціональним є процес, який поєднує точну підготовку заготовок, механізоване різання, правлення листового прокату, контрольоване гнуття профілів, складання у спеціалізованому кондукторі та механізоване зварювання у середовищі захисних газів. Такий підхід дає змогу зменшити трудомісткість, підвищити стабільність геометричних параметрів, знизити кількість дефектів і забезпечити необхідну якість зварних з'єднань.

На основі аналізу можна визначити основні недоліки існуючих технологічних процесів виготовлення даху вагона. До них належать значна частка ручної праці під час складання, недостатня точність базування елементів, можливість виникнення зварювальних деформацій, нерівномірність якості швів при ручному виконанні робіт, потреба у додатковому підганянні деталей, нераціональна послідовність зварювання, а також недостатній рівень підготовки поверхні перед нанесенням захисного покриття. Усунення цих недоліків є основою для подальшого проектування технологічного процесу.

Тому раціональним є розроблення такого процесу виготовлення, який забезпечить стабільну якість виробу, зменшить трудомісткість операцій і

підвищить точність складання. Для цього необхідно передбачити раціональну послідовність виготовлення заготовок, вибрати обладнання для різання, правлення, гнуття та складання, обґрунтувати спосіб зварювання, визначити зварювальні матеріали, розробити вимоги до складально-зварювального пристосування та встановити порядок контролю якості.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 пов'язане зі з'єднанням листових панелей, профільних елементів, поперечних дуг, поздовжніх підсилювачів і допоміжних деталей у єдину просторову конструкцію. Оскільки дах є складовою частиною кузова вагона, зварні з'єднання повинні забезпечувати не лише міцність, а й стабільність геометричної форми виробу. У процесі експлуатації ця конструкція сприймає вібраційні навантаження, температурні деформації, дію атмосферної вологи, снігу, вітрового тиску та місцевих напружень у зонах приєднання до бокових і торцевих елементів кузова. Тому вибір способу зварювання повинен виконуватися з урахуванням якості шва, продуктивності процесу, рівня тепловкладення та можливості обмеження залишкових деформацій.

У вагонобудуванні для виготовлення зварних металоконструкцій можуть застосовуватися різні способи з'єднання металу. До найбільш поширених належать ММА-зварювання, контактне точкове зварювання, автоматичне зварювання під флюсом і MAG-зварювання. Кожен із цих способів має власну область раціонального використання, яка залежить від товщини деталей, типу з'єднання, довжини швів, просторового положення, доступності місця зварювання та вимог до точності готового вузла.

ММА-зварювання є універсальним процесом і може використовуватися для виконання окремих допоміжних або ремонтних з'єднань. Його перевагою є простота обладнання, можливість роботи у важкодоступних місцях і придатність до виконання коротких швів. Проте для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 як основний спосіб воно є менш раціональним. Це пояснюється нижчою продуктивністю, значною залежністю якості шва від навичок виконавця, необхідністю видалення шлаку після кожного проходу та складністю забезпечення однакового теплового режиму на протяжних ділянках. Для великогабаритної листової конструкції такі особливості можуть призвести до нерівномірного тепловкладення, підвищеної трудомісткості та появи залишкових деформацій.

Контактне точкове зварювання доцільно застосовувати при виготовленні тонколистових панелей, обшивок і допоміжних кузовних елементів, де необхідна висока швидкість з'єднання окремих деталей. Цей спосіб має невелику зону термічного впливу і добре піддається автоматизації. Однак для даху комбінованого вагона він не може бути основним, оскільки конструкція включає не тільки листові елементи, а й профілі, підсилювачі та стикувальні ділянки, де потрібні безперервні або протяжні шви. Крім того, контактне зварювання потребує двобічного доступу електродів до місця з'єднання, що ускладнює його застосування під час складання даху у кондукторі.

Автоматичне зварювання під флюсом характеризується високою продуктивністю, добрим формуванням металу шва та глибоким проплавленням. Цей спосіб ефективний для довгих прямолінійних стикових і кутових швів на деталях середньої та значної товщини. Разом з тим конструкція даху вагона має криволінійну форму, містить багато коротких і середніх за довжиною з'єднань, а також ділянки з обмеженим доступом. Для таких умов зварювання під флюсом є менш універсальним. Крім того, підвищене тепловкладення може спричинити короблення листових панелей і порушення заданої кривизни виробу.

З урахуванням конструктивних особливостей даху, властивостей сталі 09Г2С і вимог до якості зварних з'єднань найбільш доцільним є застосування механізованого МАG-зварювання. Цей спосіб забезпечує стабільне горіння дуги, рівномірне формування шва, достатнє проплавлення кромek і можливість точного регулювання тепловкладення. Для листових і профільних елементів даху це має важливе значення, оскільки надмірне нагрівання може викликати короблення, а недостатнє проплавлення — зниження міцності з'єднання.

МАG-зварювання добре пристосоване до виготовлення великогабаритних вузлів рухомого складу. Його можна застосовувати для виконання стикових, кутових і таврових з'єднань, які характерні для конструкції даху. Завдяки стабільній подачі дроту та можливості регулювання параметрів процесу забезпечується повторюваність якості швів, що особливо важливо при серійному або дрібносерійному виготовленні. На відміну від ММА-зварювання, цей спосіб не

потребує видалення шлакової кірки після кожного проходу, що зменшує трудомісткість і скорочує час виконання операцій.

Суттєвою перевагою MAG-зварювання є можливість контролювати тепловий вплив на метал. При виготовленні даху вагона це має принципове значення, оскільки листові панелі великої площі схильні до деформацій під дією зварювального нагріву. Правильний вибір сили струму, напруги дуги, швидкості подачі дроту та швидкості переміщення пальника дає змогу отримати якісний шов без надмірного перегріву металу. У поєднанні зі складанням у кондукторі це сприяє збереженню заданої форми виробу.

До переваг MAG-зварювання при виготовленні даху комбінованого вагона 19-795-01 належать висока продуктивність, стабільність процесу, можливість виконання швів різної довжини, зручність роботи з листовими та профільними деталями, придатність до механізації й роботизації, а також зменшення обсягу післязварювального очищення. Крім того, цей спосіб забезпечує добру видимість зони зварювання, що полегшує спостереження за формуванням зварювальної ванни та дає змогу своєчасно коригувати процес.

Разом з тим MAG-зварювання потребує дотримання певних технологічних умов. Якість з'єднання залежить від стабільності подачі дроту, правильного вибору захисного газу, витрати газової суміші, чистоти кромок і відсутності протягів у зоні виконання робіт. Недостатній газовий захист може спричинити пористість металу шва, а забруднення кромок — непровари, включення і нестабільне формування шва. Тому перед зварюванням поверхні деталей необхідно очистити від вологи, мастила, іржі, окалини, пилу та інших забруднень.

Для зварювання елементів даху зі сталі 09Г2С як захисне середовище доцільно застосовувати газову суміш Corgon 18, яка містить 82 % аргону та 18 % вуглекислого газу. Такий склад забезпечує стабільне горіння дуги, зменшує розбризкування електродного металу та покращує формування шва. Порівняно із застосуванням чистого CO₂ суміш Ar + CO₂ забезпечує м'якше перенесення металу, кращий зовнішній вигляд шва і менший обсяг зачищення після зварювання.

Суміш Corgon 18 є раціональною для зварювання низьколегованих конструкційних сталей, до яких належить 09Г2С. Аргон у складі суміші сприяє стабільності дуги та рівномірному перенесенню електродного металу, а вуглекислий газ забезпечує необхідну активність газового середовища і формування достатнього проплавлення. Таке поєднання властивостей дозволяє отримати якісне зварне з'єднання при обмеженому тепловому впливі на листові елементи даху.

Таблиця 2.1 – Характеристика захисної газової суміші Corgon 18

Показник	Значення
Тип газової суміші	Активна захисна суміш
Група газу	M21
Склад суміші	82 % Ar + 18 % CO ₂
Область застосування	Зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей
Технологічний ефект	Стабілізація дуги, зменшення розбризкування, якісне формування шва

Як електродний матеріал для MAG-зварювання приймається зварювальний дріт Св-08Г2С. Його хімічний склад добре узгоджується зі сталлю 09Г2С і забезпечує формування металу шва з необхідними механічними властивостями. Наявність марганцю та кремнію у складі дроту сприяє розкисненню зварювальної ванни, зменшує ймовірність утворення пор і покращує якість металу шва.

Застосування дроту Св-08Г2С є доцільним для виготовлення даху комбінованого вагона, оскільки метал шва повинен працювати разом з основним металом без різкого зниження міцності або пластичності у зоні з'єднання. Для більшості швів даху раціонально використовувати дріт діаметром 1,0–1,2 мм. Такий діапазон забезпечує стабільне горіння дуги, достатнє проплавлення кромки і дає змогу обмежити тепловкладення, що важливо для зменшення деформацій листових елементів.

Таблиця 2.2 – Орієнтовний хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С

Марка дроту	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %
Св-08Г2С	0,05–0,11	1,80–2,10	0,70–0,95	до 0,025	до 0,030	до 0,20	до 0,25

Під час вибору режимів МАГ-зварювання необхідно враховувати товщину з'єднуваних деталей, тип шва, просторове положення, доступність зони зварювання і вимоги до мінімізації деформацій. Для листових панелей та елементів великої площі слід обмежувати надмірне тепловкладення, застосовувати раціональну послідовність накладання швів і виконувати зварювання при надійній фіксації виробу у складально-зварювальному пристосуванні. Це дає змогу зберегти кривизну даху та забезпечити відповідність готового виробу вимогам креслення.

Для забезпечення необхідної міцності та якості зварних з'єднань під час виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 необхідно правильно визначити основні параметри режиму зварювання. Конструкція даху належить до тонколистових зварних металоконструкцій, тому під час вибору режимів потрібно враховувати не лише міцність шва, а й можливість появи теплових деформацій, пропалювання металу та нерівномірного формування валика.

Аналіз конструкції даху показує, що під час його виготовлення застосовуються переважно напусткові та таврові з'єднання. Напусткові з'єднання використовуються для зварювання листових елементів обшивки, а таврові — для приварювання ребер жорсткості, поперечин, дуг та інших елементів каркаса до листової частини даху. Тому розрахунок режимів зварювання виконуємо для двох характерних типів з'єднань:

- напусткового з'єднання Н2;
- таврового з'єднання Т1.

Напусткове з'єднання Н2 використовується для зварювання листових елементів обшивки даху. Приймаємо, що з'єднуються листи товщиною 3 мм і 2 мм. Зварювання виконується двома напустковими швами, довжина кожного з яких становить 12 м.

Напусткове з'єднання Н2 застосовується для зварювання листових елементів обшивки даху. Для розрахунку приймаємо з'єднання листів товщиною 3 мм і 2 мм. Зварювання виконується двома поздовжніми напустковими швами, довжина кожного з яких становить 12 м.

Вихідні дані для розрахунку:

товщина першого листа — $s_1 = 3\text{мм}$;

товщина другого листа — $s_2 = 2\text{мм}$;

катет зварного шва — $k = 3\text{мм}$;

опуклість шва — $g = 1\text{мм}$;

діаметр електродного дроту — $d_e = 1,2\text{мм}$;

довжина одного шва — $L = 12\text{м}$;

кількість швів — $n = 2$.

Загальна довжина напусткових швів становить:

$$L_{\text{заг}} = L \cdot n$$

$$L_{\text{заг}} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ м}$$

Отже, загальна довжина напусткових швів становить $L_{\text{заг}} = 24 \text{ м}$.

Площу поперечного перерізу наплавленого металу кутового шва з урахуванням опуклості визначаємо за формулою:

$$F_{\text{н}} = \frac{k^2}{2} + 1,05 \cdot k \cdot g, \text{ мм}^2$$

де k — катет зварного шва, мм;

g — опуклість шва, мм.

Підставляємо прийняті значення:

$$F_{\text{н}} = \frac{3^2}{2} + 1,05 \cdot 3 \cdot 1 = 7,65 \text{ мм}^2$$

Отже, площа поперечного перерізу наплавленого металу для напусткового з'єднання Н2 становить $F_{\text{н}} = 7,65 \text{ мм}^2$.

Сила зварювального струму визначається за допустимою густиною струму в електродному дроті:

$$I_{\text{зв}} = j \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}, \text{ А}$$

де j — густина струму в електродному дроті, А/мм²;

d_e — діаметр електродного дроту, мм.

Для дроту діаметром 1,2 мм при зварюванні тонколистових елементів приймаємо $j = 177 \text{ А/мм}^2$.

Тоді:

$$I_{зв} = 177 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 200,0 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{зв} = 200 \text{ А}$.

Напругу дуги визначаємо за емпіричною залежністю для зварювання в захисному газі:

$$U_d = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e} \cdot I_{зв} = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2} \cdot 200 = 23,34 \text{ В}$$

Приймаємо $U_d = 24 \pm 1 \text{ В}$.

Коефіцієнт розплавлення електродного дроту визначається за формулою:

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{I_{зв}}{d_e} = 3 + 0,08 \cdot \frac{200}{1,2} = 16,33 \text{ г/(А год)}$$

Коефіцієнт наплавлення визначаємо з урахуванням втрат металу на чад і розбризкування:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi), \text{ г/(А год)}$$

де Ψ — коефіцієнт втрат електродного металу.

Для MAG-зварювання приймаємо $\Psi = 0,12$.

Тоді:

$$\alpha_n = 16,33 \cdot (1 - 0,12) = 16,33 \cdot 0,88 = 14,37 \text{ г/(А год)}$$

Швидкість подачі електродного дроту визначаємо за формулою:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho}, \text{ м/год}$$

де ρ — густина металу електродного дроту, г/см³.

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

Підставляємо значення:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot 16,33 \cdot 200}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = \frac{13064}{35,26} = 370,5 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{п.д.} = 370 \text{ м/год}$.

Швидкість зварювання визначаємо за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_H \cdot \rho} = \frac{14,37 \cdot 200}{100 \cdot 0,0765 \cdot 7,8} = 48,2 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 48$ м/год.

Витрату захисного газу для напусткового з'єднання при зварюванні дротом діаметром 1,2 мм приймаємо $Q_{г} = 12...14$ л/хв.

Основний час виконання напусткових швів визначаємо за формулою:

$$t_{осн} = \frac{L_{заг}}{V_{зв}} = \frac{24}{48} = 0,5 \text{ год} = 30 \text{ хв}$$

З урахуванням допоміжного часу на встановлення, прихоплення, переміщення пальника та контроль приймаємо коефіцієнт $K_{д} = 1,15$.

Тоді штучний час становить:

$$t_{шт} = t_{осн} \cdot K_{д} = 30 \cdot 1,15 = 34,5 \text{ хв}$$

Отже, для виконання двох напусткових швів загальною довжиною 24 м потрібно приблизно $t_{шт} = 35$ хв.

Таврове з'єднання Т1 застосовується для приварювання ребер жорсткості, дуг, поперечних і поздовжніх елементів каркаса до листової частини даху. Це з'єднання є відповідальним, оскільки саме через нього забезпечується просторове підсилення тонколистової обшивки даху.

Вихідні дані для розрахунку:

товщина листової обшивки — $s_1 = 3$ мм;

товщина профільного елемента — $s_2 = 3...4$ мм;

катет зварного шва — $k = 4$ мм;

опуклість шва — $g = 1$ мм;

діаметр електродного дроту — $d_e = 1,2$ мм.

Площу поперечного перерізу наплавленого металу таврового шва визначаємо за формулою:

$$F_{н} = \frac{k^2}{2} + 1,05 \cdot k \cdot g = \frac{4^2}{2} + 1,05 \cdot 4 \cdot 1 = 12,2 \text{ мм}^2$$

Отже, площа поперечного перерізу наплавленого металу таврового шва становить $F_{н} = 12,2 \text{ мм}^2$.

Для таврового з'єднання необхідно забезпечити більш стійке проплавлення кореня шва. Тому густину струму приймаємо дещо більшою $j = 195 \text{ А/мм}^2$.

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = j \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = 195 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 220,4 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{зв} = 220 \text{ А}$.

Напруга дуги:

$$U_d = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e} \cdot I_{зв} = 15 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2} \cdot 220 = 24,17 \text{ В}$$

Приймаємо $U_d = 25 \pm 1 \text{ В}$.

Коефіцієнт розплавлення електродного дроту:

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{I_{зв}}{d_e} = 3 + 0,08 \cdot \frac{220}{1,2} = 17,67 \text{ г/(А год)}$$

Коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \Psi) = 17,67 \cdot (1 - 0,12) = 15,55 \text{ г/(А год)}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 17,67 \cdot 220}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 441,0 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{п.д.} = 440 \text{ м/год}$.

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_H \cdot \rho} = \frac{15,55 \cdot 220}{100 \cdot 0,122 \cdot 7,8} = 35,9 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 36 \text{ м/год}$.

Витрату захисного газу для таврового з'єднання приймаємо дещо більшою, ніж для напусткового шва, оскільки зона дуги має бути стабільно захищена біля вертикального елемента $Q_r = 14 \dots 16 \text{ л/хв}$.

Основний час зварювання таврового з'єднання визначається залежно від сумарної довжини швів:

$$t_{оч} = \frac{L_T}{V_{зв}}$$

де L_T — сумарна довжина таврових швів, м.

Для визначення часу на 1 м шва використовуємо залежність:

$$t_{1м} = \frac{60}{V_{зв}} = \frac{60}{36} = 1,67 \text{ хв/м}$$

З урахуванням допоміжного часу:

$$t_{шт.1м} = t_{1м} \cdot K_d = 1,67 \cdot 1,15 = 1,92 \text{ хв/м}$$

Таблиця 2.3 – Розраховані режими МАГ-зварювання даху

Тип з'єднання	Призначення шва	Товщина деталі, мм	Катет шва, мм	Діаметр дроту, мм	Струм зварювання, А	Напруга дуги, В	Швидкість подачі дроту, м/год	Швидкість зварювання, м/год	Витрата газу, л/хв
H2	Зварювання листових елементів обшивки даху	2–3	3	1,2	200	24±1	370	48	12–14
T1	Приварювання ребер, дуг і профільних елементів до листової панелі	3–4	4	1,2	220	25±1	440	36	14–16

Запропоновані параметри забезпечують формування зварних швів з катетом 3 мм, достатнє проплавлення зони з'єднання та обмеження тепловкладення, що є особливо важливим для тонколистової конструкції даху. Застосування таких режимів дозволяє отримати якісні напусткові й таврові з'єднання з мінімальними деформаціями та необхідною експлуатаційною надійністю.

2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування

Вибір зварювального устаткування для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 здійснюємо з урахуванням конструктивних особливостей виробу, прийнятого способу зварювання, типів зварних з'єднань, протяжності швів, вимог до точності геометрії та рівня механізації виробництва. Оскільки дах вагона є великогабаритною тонколистовою просторовою конструкцією, під час виконання зварювальних робіт необхідно забезпечити не лише достатню міцність з'єднань, а

й обмеження теплових деформацій, стабільність положення пальника відносно шва та повторюваність результатів на всіх однотипних ділянках.

Аналіз конструкції показує, що під час виготовлення даху застосовуються напускні, таврові та кутові з'єднання. Їх виконання передбачає реалізацію механізованого дугового зварювання плавким електродним дротом у середовищі захисного газу. Згідно з раніше проведеним розрахунком режимів зварювання, найбільше значення зварювального струму становить 260 А, а діаметр електродного дроту змінюється в межах 1,2–1,4 мм. Відповідно, обране обладнання повинно забезпечувати стійку роботу в цьому діапазоні режимів, мати запас за силою струму, підтримувати стабільну подачу дроту та гарантувати якісний газовий захист зони зварювання.

Під час вибору основного зварювального устаткування враховуємо такі вимоги:

- забезпечення необхідного зварювального струму для реалізації прийнятих режимів;
- можливість роботи з електродним дротом діаметром 1,2 і 1,4 мм;
- плавне регулювання швидкості подачі дроту;
- стабільне горіння дуги та рівномірне формування шва;
- надійний захист зварювальної ванни від впливу атмосферного повітря;
- придатність до тривалої роботи при виконанні протяжних швів;
- сумісність джерела живлення, подаючого механізму, пальника та робота-маніпулятора;
- простоту налагодження, експлуатації та технічного обслуговування.

З технологічної точки зору зварювальне устаткування повинно виконувати кілька основних функцій. Насамперед воно має забезпечувати подачу зварювального струму до електродного дроту та виробу, причому величина струму повинна точно відповідати параметрам, прийнятим під час розрахунку режимів. Не менш важливою є стабільна подача електродного дроту, оскільки від цього залежить сталість перенесення електродного металу, рівномірність горіння дуги та якість формування шва. Крім того, устаткування повинно гарантувати надійний

захист зони зварювання захисним газом, що особливо важливо при зварюванні тонколистових елементів зі сталі 09Г2С. Окреме значення має система керування, яка повинна забезпечувати підтримання прийнятого режиму зварювання протягом усього циклу роботи.

У сучасному виробництві для виготовлення великогабаритних металоконструкцій з повторюваними зварними швами доцільно використовувати роботизовані зварювальні комплекси. Їх застосування дозволяє значно підвищити повторюваність технологічного процесу, зменшити вплив людського фактора, покращити якість швів та скоротити трудомісткість виконання операцій. Для даху комбінованого вагона це є особливо важливим, оскільки конструкція містить значну кількість довгомірних однотипних швів, для яких необхідно забезпечити однакові умови зварювання по всій довжині.

Зварювальні роботи-маніпулятори класифікують за способом встановлення на робочому місці та за схемою розташування зварювального обладнання. За способом монтажу вони можуть бути підлогового, настінного або стельового виконання. За розташуванням джерела живлення розрізняють системи з вбудованим або окремо розміщеним зварювальним джерелом. Для виготовлення даху комбінованого вагона найбільш раціональним є використання роботизованої зварювальної комірки підлогового виконання з окремим джерелом живлення та позиціонером. Така схема дозволяє зручно розміщувати великогабаритний виріб у робочій зоні, забезпечує доступ пальника до зварних з'єднань та спрощує обслуговування обладнання.

Враховуючи наведені вимоги, для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 доцільно застосувати роботизований зварювальний комплекс. До складу прийнятого комплексу входять:

- зварювальне джерело живлення Fronius TPS 400i;
- подаючий механізм для електродного дроту;
- рідинно-охолоджуваний зварювальний пальник;
- блок охолодження;
- промисловий робот-маніпулятор ABB IRB 2600ID-8/2.00;

– система керування, кабельні комунікації, газова апаратура та захисне огороження.



Рис. 2.1 – Промисловий робот ABB IRB 2600ID-8/2.00

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики робота ABB IRB 2600ID-8/2.00

Найменування параметра	Значення
Тип робота	промисловий робот для дугового зварювання
Модель	ABB IRB 2600ID-8/2.00
Кількість осей	6
Максимальна досяжність	2,0 м
Вантажопідйомність	8 кг
Конструктивна особливість	Integrated Dressing – внутрішнє прокладання кабелів і шлангів
Радіус основи	337 мм
Ширина основи	511 мм
Розмір зап'ястя	227 × 130 мм
Маса робота	284 кг
Повторюваність позиціонування (RP)	0,023 мм
Основна сфера застосування	роботизоване дугове зварювання

Як джерело живлення для реалізації процесу MAG-зварювання приймаємо Fronius TPS 400i (рис. 2.2). Вибір саме цього джерела пояснюється тим, що воно належить до інверторного обладнання промислового класу та має достатній запас за максимальною силою струму. Оскільки найбільше розраховане значення струму для таврового з'єднання становить 260 А, використання джерела класу 400 А є повністю обґрунтованим. Такий запас дозволяє працювати без перевантаження обладнання, підтримувати стабільні параметри процесу та забезпечувати тривалу роботу комплексу без погіршення якості зварювання.



Рис. 2.2 – Джерело живлення Fronius TPS 400i

Перевагами джерела Fronius TPS 400i для даного виробу є:

- достатній запас за силою струму;
- висока стабільність зварювального процесу;
- придатність до інтеграції в роботизовані комплекси;
- наявність широкого діапазону регулювання режимів;
- можливість роботи з різними діаметрами електродного дроту.

Для подачі електродного дроту доцільно застосовувати сумісний із джерелом живлення подаючий механізм промислового виконання. Його використання дає можливість забезпечити рівномірну подачу дроту діаметром 1,2 і 1,4 мм, що необхідно для реалізації раніше прийнятих режимів зварювання напускних, таврових і кутових з'єднань. Стабільність подачі дроту в роботизованому зварюванні має особливе значення, оскільки від неї залежить сталість довжини дуги, форма шва та рівень розбризкування електродного металу.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики джерела живлення Fronius TPS 400i

<i>Найменування параметра</i>	<i>Значення</i>
Тип обладнання	інверторне джерело живлення для MIG/MAG-зварювання
Модель	Fronius TPS 400i
Напруга мережі	3 × 400 В
Частота мережі	50–60 Гц
Мінімальний зварювальний струм	3 А
Максимальний зварювальний струм	400 А
Тривалість вмикання при 400 А	40 %
Тривалість вмикання при 360 А	60 %
Тривалість вмикання при 320 А	100 %
Напруга холостого ходу	73 В
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри	706 × 300 × 510 мм
Маса	36,45 кг
Призначення	механізоване та роботизоване MIG/MAG-зварювання

Оскільки під час виготовлення даху виконуються протяжні шви, а зварювальний пальник працює в умовах тривалого теплового навантаження, до складу комплексу необхідно включити блок рідинного охолодження. Його застосування дозволяє підтримувати стабільний тепловий стан пальника, зменшує ймовірність перегріву контактного наконечника та сопла, а також підвищує надійність роботи комплексу під час виконання серії зварювальних операцій.

Як робот-маніпулятор у складі комплексу приймаємо ABB IRB 2600ID-8/2.00. Вибір цього робота зумовлений тим, що він має достатню досяжність для

обслуговування зварювальної зони виробу, забезпечує високу точність позиціонування та обладнаний системою внутрішнього прокладання кабелів і шлангів. Така конструкція є особливо доцільною для роботизованого зварювання, оскільки зменшує ризик пошкодження комунікацій, спрощує траєкторію переміщення пальника та підвищує стабільність процесу при багаторазовому повторенні циклів.

Перевагами робота ABB IRB 2600ID-8/2.00 є:

- достатня робоча зона для обслуговування великогабаритного виробу;
- внутрішнє прокладання кабелів і шлангів;
- висока точність та повторюваність рухів;
- придатність до виконання дугового зварювання;
- сумісність із роботизованими зварювальними системами.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Якість зварних з'єднань даху комбінованого вагона 19-795-01 безпосередньо впливає на надійність конструкції під час експлуатації, її жорсткість, стійкість до вібраційних і змінних навантажень, а також на довговічність окремих елементів каркаса і листової обшивки. У зв'язку з цим контроль якості складально-зварювальних операцій повинен забезпечувати своєчасне виявлення дефектів зварних швів, відхилень геометричних параметрів і поверхневих несучільностей, які можуть негативно позначитися на експлуатаційних властивостях виробу.

Для оцінювання якості зварних з'єднань можуть застосовуватися різні методи контролю, вибір яких залежить від конструктивного призначення виробу, типу зварного з'єднання, товщини металу, умов роботи конструкції та вимог до надійності готового виробу. Під час виготовлення зварних металоконструкцій найбільш поширеними є візуально-оптичний, механічний, пневматичний, капілярний, ультразвуковий та деякі спеціальні методи контролю герметичності.

Найпростішим і водночас обов'язковим методом перевірки є зовнішній огляд зварних швів. Його виконують неозброєним оком або з використанням лупи

невеликого збільшення. За допомогою такого контролю виявляють поверхневі тріщини, подрізи, напливи, прожоги, нерівномірність формування шва, порушення форми валика, а також перевіряють ширину, висоту й загальний стан поверхні з'єднання. Перевагами цього методу є простота, висока оперативність і можливість застосування безпосередньо в умовах виробництва без складного додаткового обладнання.

Механічні випробування передбачають перевірку контрольних зразків на розтяг, вигин, ударну в'язкість, відносне подовження та інші характеристики, що дозволяють оцінити механічні властивості зварного з'єднання. Такі випробування є інформативними, однак вони зазвичай застосовуються не для контролю кожного виробу, а для підтвердження правильності вибраної технології, основного й зварювального матеріалу та режимів зварювання. Для поточного контролю якості швів даху комбінованого вагона цей метод не є основним, оскільки потребує виготовлення та руйнування зразків.

Пневматичні випробування, а також випробування гасом, аміаком і за допомогою течешукачів застосовують переважно для виробів, до яких висуваються вимоги щодо герметичності. Такі способи доцільні для резервуарів, балонів, посудин та трубопроводів, у яких необхідно перевіряти щільність зварних швів. Оскільки дах комбінованого вагона не є герметичною ємністю, використання таких методів контролю для даної конструкції не є раціональним.

Ультразвукова дефектоскопія є поширеним неруйнівним методом контролю, який базується на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від меж поділу середовищ з різними акустичними властивостями. За її допомогою можна виявляти внутрішні дефекти, зокрема несплавлення, пори, шлакові включення та внутрішні тріщини. Разом із тим для тонколистової конструкції даху, де значна частина з'єднань виконується на металі малої товщини, а також переважають напускні, таврові та кутові шви, цей метод не можна вважати найбільш доцільним. Це пояснюється складністю розшифрування результатів і зниженням ефективності при контролі тонкого металу.

Капілярні методи контролю призначені для виявлення поверхневих і наскрізних дефектів, що виходять на поверхню металу. Сутність методу полягає у проникненні спеціальної індикаторної рідини в мікронесуцільності, після чого надлишок пенетранту видаляють, а на поверхню наносять проявник. У результаті пенетрант виходить із порожнин дефектів і утворює чіткі індикаторні сліди, за якими можна встановити місце розташування та характер дефекту. Перевагою капілярного методу є висока чутливість до поверхневих тріщин, простота реалізації та можливість контролю зварних швів складної форми без використання громіздкого обладнання.

Для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 найбільш доцільним є застосування двох методів контролю якості: візуально-оптичного та капілярного. Такий вибір обумовлений тим, що основними дефектами, які можуть виникати в даній конструкції, є поверхневі тріщини, подрізи, напливи, прожоги, нерівномірність формування шва, а також дрібні поверхневі несучільності, що виходять на поверхню металу. Саме такі дефекти найбільш ефективно виявляються за допомогою зовнішнього огляду та капілярної дефектоскопії.

Візуально-оптичний контроль доцільно застосовувати як первинний і обов'язковий етап перевірки якості всіх складально-зварювальних операцій. Він дозволяє оперативно оцінити стан зварного шва, виявити видимі дефекти, перевірити форму шва та відповідність його геометричних параметрів вимогам технічної документації. Для підвищення точності контролю, окрім зовнішнього огляду, застосовують контрольно-вимірювальні шаблони. У даному випадку доцільно використовувати шаблон УШС-4 та набір радіусних шаблонів № 3, які дозволяють контролювати катет кутового шва, висоту підсилення, глибину подрізу та інші геометричні параметри з'єднання.

Капілярний метод контролю доцільно застосовувати як додатковий неруйнівний спосіб перевірки відповідальних ділянок швів, насамперед у місцях концентрації напружень, на переходах між листовими й профільними елементами, а також у зонах, де можливе утворення мікротріщин. Реалізація цього методу здійснюється за допомогою комплекту спеціальних матеріалів, до складу якого

входять очисник, пенетрант і проявник. Спочатку поверхню зварного шва очищають і знежирюють, після чого наносять пенетрант та витримують його протягом часу, необхідного для проникнення в дефекти. Після видалення надлишку пенетранту на поверхню наносять проявник, який забезпечує виявлення дефектів у вигляді чітких індикаторних слідів.

Таблиця 2.6 – Засоби для капілярного методу контролю

<i>Найменування засобу</i>	<i>Марка препарату</i>	<i>Призначення</i>	<i>Коротка характеристика</i>
Очисник	SKC-S	Попереднє очищення і знежирення поверхні перед контролем, а також видалення надлишку пенетранту після витримки	Швидковисихаючий очищувач для капілярного контролю, не залишає помітного залишку на поверхні та забезпечує якісну підготовку шва до нанесення пенетранту
Пенетрант	SKL-SP2	Проникнення в поверхневі дефекти та виявлення несутільностей, що виходять на поверхню металу	Червоний контрастний пенетрант, який характеризується високою проникною здатністю і дозволяє виявляти дрібні тріщини, пори, непровари та інші поверхневі дефекти
Проявник	SKD-S2	Витягування пенетранту з порожнин дефектів і формування чіткого індикаторного сліду	Білий контрастний проявник, який утворює однорідне покриття на поверхні та забезпечує чітку візуалізацію дефектів після нанесення пенетранту

Застосування цих методів у комплексі дає можливість забезпечити необхідний рівень контролю якості зварних з'єднань без ускладнення технологічного процесу та без використання складного дороговартісного обладнання.

2.4 Опис технологічного процесу виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01

Дах комбінованого вагона 19-795-01 є відповідальною складально-зварною частиною кузова, яка забезпечує захист вантажу від атмосферних опадів, зберігає просторову жорсткість верхньої частини кузова та формує зони завантаження через верхні люки. На відміну від звичайного суцільного листового перекриття, конструкція даху даного вагона містить не лише листове полотнище, а й каркасні

елементи, поперечні дуги, поздовжні підсилювачі, торцеві елементи, рамки завантажувальних люків і кришки люків. Тому технологічний процес його виготовлення повинен забезпечувати точне взаємне розташування елементів, стабільність форми даху після зварювання, якісне формування напусткових і кутових швів, а також відсутність дефектів у місцях приварювання рам люків і підсилювальних деталей.

Запропонований технологічний процес побудований за вузловим принципом. Спочатку здійснюється підготовка листового та профільного прокату, далі виготовляються окремі елементи полотнища, поперечні дуги, рамки люків і підсилювачі. Після цього виконується складання даху у спеціальному кондукторі з базуванням за основними геометричними осями, прихоплення елементів, автоматизоване зварювання основних швів, приварювання рам люків і завершальний контроль якості. Така послідовність дає змогу зменшити зварювальні деформації, підвищити повторюваність розмірів і скоротити обсяг ручних доводочних операцій.

У даному технологічному процесі прийнято виготовлення всіх основних елементів даху зі сталі 09Г2С. Поперечні дуги виготовляються з листових смугових заготовок шляхом гнуття за заданим радіусом. Торцеві фрамуги та поздовжні підсилювачі виготовляються з листових заготовок із подальшим гнуттям на листозгинальному пресі. Рамки завантажувальних люків виконуються як окремі складально-зварні підвузли прямокутної форми. Кришки люків виготовляються з листових заготовок із підсилювальними ребрами та привареними елементами навішування. Загальне складання даху виконується у спеціальному кондукторі, який задає форму даху, положення поперечних дуг, фрамуг, листових карт і рам люків.

Першою операцією технологічного процесу є вхідний контроль металопрокату. У цех надходять листи сталі 09Г2С, смугові заготовки для дуг, листовий прокат для фрамуг, підсилювачів, рам люків і кришок. Під час контролю перевіряють відповідність марки сталі, товщину листів, стан поверхні, відсутність розшарувань, тріщин, значної хвилястості та механічних пошкоджень. Для

виконання операції застосовуються мостовий кран вантажопідйомністю 10 т, траверса з магнітними захватами, штангенциркуль ШЦ-II-250, рулетка P20УЗК, товщиномір NOVOTEST ТП-1М і контрольна металева лінійка.

Після приймання листовий і профільний прокат подається на очищення. Очищення виконується в роликовій дробоструминній установці Rösler RRB (рис. 2.3). Листи та смугові заготовки укладаються на роликовий конвеєр і проходять через робочу камеру, де дробом видаляються окалина, іржа, пил, мастильні залишки та транспортні забруднення. Після проходження камери поверхня додатково очищується щітковим і повітряним вузлом установки. Дана операція забезпечує стабільну якість різання, підвищує надійність зварювання та зменшує ймовірність утворення пор у зварних швах.



Рис. 2.3 Роликова дробоструминна установка Rösler RRB

Наступною операцією є правлення листів і смугових заготовок. Для цього застосовується роликотправильна машина ARKU FlatMaster88200 (рис. 2.4). Листи пропускаються між системою робочих роликів, унаслідок чого усуваються хвилястість, місцеві залишкові деформації та внутрішні напруження після прокатування. Правлення виконується перед розкромом, оскільки точність геометрії деталей даху значною мірою залежить від рівності вихідного листа. Особливо

важливо забезпечити якісне правлення центральної карти полотнища, у якій формуються прорізи під завантажувальні люки.



Рис. 2.4 Роликоправильна машина ARKU FlatMaster

Розкрій листового прокату виконується на верстаті лазерного різання TRUMPF TruLaser 5030 fiber (рис. 2.5). На даному обладнанні вирізаються бокові листові карти даху, центральна карта з прорізами під завантажувальні люки, заготовки торцевих фрамуг, поздовжніх підсилювачів, елементи рам люків, підсилювальні накладки, ребра кришок люків і отвори під дугові електрозаклепки. Програма різання формується за електронною картою розкрою, що забезпечує повторюваність розмірів деталей і правильне розміщення отворів. Після завершення різання кожна партія деталей маркується відповідно до технологічної карти.



Рис. 2.5 Верстат лазерного різання TRUMPF TruLaser 5030 fiber

Після лазерного різання виконується зачистка кромки. Для оброблення листових деталей застосовується шліфувально-зачисна машина LISSMAC SBM-XS

G1E1 (рис. 2.6). На ній видаляються задирки, гострі краї та дрібні напливи після різання. Великогабаритні листові карти, які не проходять через робочу зону машини повністю, обробляються локально ручними кутовими шліфувальними машинами Bosch GWS 24-230. Якість зачистки перевіряється візуально та дотиком по всій довжині кромки, оскільки наявність ґрату ускладнює щільне прилягання деталей у кондукторі.



Рис. 2.6 Шліфувально-зачисна машина LISSMAC SBM-XS G1E1

Підготовка зварювальних кромки виконується фаскознімальною машиною CEVISA CHP-12G. На цій операції обробляються кромки фрамуг, поздовжніх підсилювачів, елементів рам люків і ділянки деталей, де передбачено формування кутових або стикових з'єднань із підготовкою крайок. Фаска виконується під заданим кутом згідно з технологічною картою. Після фаскування кромки очищуються від металевої стружки та перевіряються шаблоном.

Поперечні дуги даху виготовляються з листових смуг. Після розкрою та зачистки смуги подаються на трироликовий профілезгинальний верстат DAVI MCP (рис. 2.7). На верстаті заготовка послідовно проходить між роликами та набуває заданої кривизни. Радіус гнуття контролюється шаблоном дуги, який відповідає поперечному профілю даху. Після гнуття кожна дуга встановлюється на контрольний стіл, де перевіряється симетричність, висота підйому та відсутність скручування. Дуги, що відповідають шаблону, маркуються та передаються на складальну дільницю.



Рис. 2.7 Трироликовий профілезгинальний верстат DAVI MCP

Торцеві фрамуги та поздовжні підсилювачі виготовляються з листових заготовок, вирізаних на TRUMPF TruLaser 5030 fiber. Формування їхнього профілю виконується на листозгинальному пресі TRUMPF TruBend Series 5130 (рис. 2.8). Заготовки встановлюються за задніми упорами преса, після чого виконується послідовне гнуття полиць і стінок профілю. Після гнуття деталі перевіряються за довжиною, прямолінійністю, кутом згину та висотою профілю. Торцеві фрамуги після контролю передаються до основного кондуктора, а поздовжні підсилювачі комплектуються разом із відповідними листовими картами.



Рис. 2.8 Листозгинальний прес TRUMPF TruBend Series 5130

Рамки завантажувальних люків виготовляються окремими підвузлами. Заготовки для рам вирізаються на TRUMPF TruLaser 5030 fiber, після чого їхні кромки зачищаються на LISSMAC SBM-XS G1E1. Профілювання елементів рам виконується на TRUMPF TruBend Series 5130. Після гнуття елементи встановлюються у спеціальний кондуктор рамки люка. Кондуктор має базові упори по довжині та ширині, притискачі для фіксації кутів і контрольні планки для перевірки розміру у світлі. Складання рамки виконується з перевіркою діагоналей, після чого деталі прихоплюються MAG-зварюванням.

Зварювання рамок завантажувальних люків виконується на робочому посту механізованого MAG-зварювання з джерелом Fronius TPS 400i. Шви виконуються короткими ділянками з чергуванням протилежних сторін рамки, щоб не допустити її перекосу. Після зварювання рамка залишається у кондукторі до охолодження, після чого знімається, зачищається та перевіряється на площинність, прямокутність і відповідність розміру люкового прорізу.

Кришки завантажувальних люків виготовляються з листових заготовок. Лист кришки вирізається на TRUMPF TruLaser 5030 fiber, після чого гнеться на TRUMPF TruBend Series 5130 для формування крайових відгинів. Підсилювальні ребра кришки також вирізаються лазером і зачищаються. Складання кришки виконується у малому кондукторі, де листова частина фіксується притискачами, а ребра встановлюються за упорами. Приварювання ребер і елементів навішування виконується механізованим MAG-зварюванням на джерелі Fronius TPS 400i. Після зварювання перевіряється площинність кришки, якість швів і правильність розташування вузлів кріплення.

Основне складання даху виконується у спеціалізованому кондукторі. Кондуктор складається з жорсткої основи, базових поздовжніх балок, ложементів під кривизну даху, торцевих упорів, фіксаторів поперечних дуг, шаблонів для розміщення рам люків і пневматичних притискачів. Спочатку в кондуктор встановлюються торцеві фрамуги. Вони базуються за торцевими упорами та фіксуються притискачами. Після цього у відповідні гнізда встановлюються

поперечні дуги. Кожна дуга притискається до ложементу, що забезпечує правильну форму даху по всій довжині вузла.

Після встановлення дуг у кондуктор монтуються поздовжні підсилювачі. Вони розміщуються вздовж даху за боковими упорами та фіксуються пневматичними притискачами. Далі укладаються бокові листові карти полотнища. Листи вирівнюються за поздовжніми базами, притискаються до поперечних дуг і фіксуються так, щоб між листом і каркасом не залишалося зазорів. Після бокових карт установлюється центральна карта з трьома прорізами під завантажувальні люки. Центральна карта базується за поздовжньою віссю даху та контрольними отворами, після чого притискається до дуг і підсилювачів.

На наступному етапі в прорізи центральної карти встановлюються три підготовлені рамки завантажувальних люків. Кожна рамка базується за шаблоном, який забезпечує правильне положення відносно осі даху та сусідніх люків. Рамки фіксуються притискачами по периметру. Після встановлення всіх трьох рамок перевіряються відстані між люками, діагоналі рамок, площинність посадкових поверхонь і рівномірність прилягання рамок до листового полотнища.

Перед прихопленням виконується контроль складеного вузла. Перевіряються довжина і ширина даху, положення торцевих фрамуг, висота поперечних дуг, взаємне розташування люкових прорізів, діагоналі, прилягання листових карт до каркаса та симетричність конструкції відносно поздовжньої осі. Для контролю використовуються рулетка, металева лінійка, набір щупів, шаблони дуг і лазерний трекер FARO Vantage. Після підтвердження правильності складання вузол допускається до прихоплення.

Прихоплення елементів даху виконується роботизованим MAG-зварюванням на складальному порталі з роботом ABB IRB 2600ID-8/2.00i джерелом Fronius TPS 400i. Робот переміщується вздовж кондуктора по лінійній осі порталу та виконує прихоплення в заданих точках. Спочатку прихоплюються торцеві фрамуги до дуг, потім поперечні дуги до поздовжніх підсилювачів, після цього листові карти до каркаса. Окремо прихоплюються рамки завантажувальних люків до центральної

карти полотнища. Прихоплення виконуються симетрично від середини даху до торців, що зменшує ризик зміщення деталей.

Основне зварювання даху виконується на зварювальному порталі з двома роботами ABB IRB 2600ID-8/2.00i. Кожен робот оснащений пальником для MAG-зварювання, механізмом подавання дроту та підключений до джерела Fronius TPS 400i. Зварювання починається з поздовжніх швів листового полотнища. Шви виконуються від середньої частини даху до торців із чергуванням правого і лівого боку. Така послідовність забезпечує рівномірний розподіл тепла та зменшує короблення листових карт.

Після виконання поздовжніх швів зварюються поперечні з'єднання полотнища з дугами та торцевими фрамугами. Зварювання виконується короткими ділянками з пропуском між суміжними зонами, після чого незаварені ділянки заповнюються у зворотній послідовності. Такий порядок дає змогу зменшити місцеві деформації в зоні поперечних дуг. Особлива увага приділяється місцям переходу від листового полотнища до фрамуг, оскільки ці ділянки впливають на якість подальшого встановлення даху на кузов вагона.

Окремою операцією виконується приварювання рам завантажувальних люків до центральної карти полотнища. Зварювання кожної рамки проводиться по периметру з чергуванням протилежних сторін. Спочатку виконуються короткі ділянки шва на поздовжніх сторонах рамки, потім на поперечних сторонах, після чого шов доводиться до повного контуру. Кутові зони рам зварюються з пониженим тепловкладенням, щоб не допустити утворення тріщин і перекосу посадкової поверхні. Після зварювання кожна рамка перевіряється шаблоном і щупом по периметру.

З'єднання листового полотнища з поперечними дугами та поздовжніми підсилювачами в місцях, де передбачені технологічні отвори, виконується дуговими електрозаклепками. Отвори під електрозаклепки формуються ще на етапі лазерного різання. Під час зварювання робот ABB IRB 2600ID-8/2.00i встановлює пальник у центр отвору, формує зварювальну ванну та заповнює отвір металом, забезпечуючи з'єднання листа з нижнім елементом каркаса. Електрозаклепки

виконуються у визначеній послідовності — від середини даху до торцевих частин, із чергуванням суміжних дуг.

Після завершення зварювання дах витримується у кондукторі до зниження температури металу. Розтискання пневматичних притискачів виконується поступово, починаючи з центральної зони та переходячи до торців. Зняття даху з кондуктора виконується мостовим краном із застосуванням траверси, яка має декілька точок підвішування. Це запобігає прогину вузла під час транспортування та зберігає його форму після зварювання.

Після зняття з кондуктора виконується зачистка зварних швів. Для цієї операції застосовуються кутові шліфувальні машини і пневматичні зачистні машинки. Видаляються бризки металу, гострі напливи, нерівності в місцях початку і закінчення швів, а також локальні задирки по контуру люкових рам. Зачистка виконується без надмірного зняття металу основного шва, щоб не зменшити його розрахунковий переріз.

Після зачистки дах подається на правильний стенд. Правлення виконується на стенді з гідравлічними домкратами Enerpac RC-Series і притискними балками. У процесі правлення усуваються місцеві відхилення листового полотнища, незначні перекоси крайок і відхилення положення окремих зон після зварювання. Зони рам завантажувальних люків правляться тільки через опорні прокладки, щоб не пошкодити посадкові поверхні рам.

Контроль готового даху виконується у три етапи. На першому етапі проводиться візуально-вимірний контроль зварних швів. Перевіряється рівномірність валика, відсутність тріщин, подрізів, пропалів, пор, кратерів і наплівів. Геометрія швів контролюється універсальним шаблоном зварника УШС-3. На другому етапі перевіряється геометрія даху: довжина, ширина, діагоналі, висота дуг, положення трьох люкових прорізів і площинність посадкових поверхонь рам. Для цього застосовуються шаблони, рулетка, щупи та лазерний трекер FARO Vantage. На третьому етапі відповідальні ділянки швів у зоні рам люків і кутових переходів перевіряються капілярним методом із використанням комплекту Magnaflux SK-3.

Після завершення контролю дах проходить заключне очищення. Поверхня очищується від пилу, залишків пенетранта, бризок і технологічних забруднень. Після цього виріб маркується, на нього оформлюється карта контролю, і готовий дах передається на ділницю загального складання кузова вагона.

Узагальнений маршрут виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 Маршрут виготовлення даху вагона

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
010	Вхідний контроль матеріалу	Перевірка сталі 09Г2С, товщини, стану поверхні та геометрії прокату	Мостовий кран 10 т, траверса з магнітними захватами, NOVOTEST ТП-1М, ШЦ-П-250
020	Дробоструминне очищення	Очищення листів і смугових заготовок від окалини, іржі та забруднень	Rösler RRB
030	Правлення заготовок	Усунення хвилястості та залишкових деформацій листового прокату	ARKU FlatMaster 88 200
040	Лазерний розкрій	Вирізання листових карт, фрамуг, підсилювачів, рам люків, кришок і отворів під електрозаклепки	TRUMPF TruLaser 5030 fiber
050	Зачистка кромek	Видалення задирок і гострих крайок після різання	LISSMAC SBM-XS G1E1, Bosch GWS 24-230
060	Фаскування кромek	Підготовка зварювальних кромek фрамуг, підсилювачів і елементів рам	CEVISA CHP-12G
070	Виготовлення поперечних дуг	Гнуття смугових заготовок за радіусом даху	DAVI MCP
080	Виготовлення фрамуг і підсилювачів	Гнуття листових профілів після лазерного розкрою	TRUMPF TruBend Series 5130
090	Виготовлення рам люків	Складання, прихоплення і зварювання рам у кондукторі	Кондуктор рам люків, Fronius TPS 400i
100	Виготовлення кришок люків	Гнуття листа, встановлення ребер і приварювання елементів навішування	TRUMPF TruBend Series 5130, Fronius TPS 400i
110	Основне складання даху	Встановлення фрамуг, дуг, підсилювачів, листових карт і рам люків	Спеціалізований кондуктор даху з пневмопритискачами
120	Контроль складання	Перевірка розмірів, діагоналей, положення люків і прилягання листів	FARO Vantage, шаблони, щупи, рулетка

130	Прихоплення елементів	Роботизоване прихоплення деталей у заданих точках	Портал із ABB IRB 2600ID-8/2.00, Fronius TPS 400i
140	Основне зварювання	Зварювання поздовжніх і поперечних швів полотнища та каркаса	Зварювальний портал із двома ABB IRB 2600ID-8/2.00, Fronius TPS 400i
150	Приварювання рам люків	Зварювання рам по периметру з чергуванням сторін	ABB IRB 2600ID-8/2.00, Fronius TPS 400i
160	Виконання електрозаклепок	З'єднання листового полотнища з дугами та підсилювачами через отвори	ABB IRB 2600ID-8/2.00, Fronius TPS 400i
170	Зачистка після зварювання	Видалення бризок, напливів і локальних нерівностей	Bosch GWS 24-230, пневмозачисні машинки Rodcraft
180	Правлення даху	Усунення місцевих деформацій після зварювання	Правильний стенд, гідравлічні домкрати Enerpac RC-Series
190	Контроль якості	Візуально-вимірювальний, геометричний і капілярний контроль	УШС-3, FARO Vantage, Magnaflux SK-3
200	Заключне очищення і передача	Очищення, маркування, оформлення карти контролю та передача на складання кузова	Кран-балка, траверса, ручний зачистний інструмент

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок механізму переміщення зварювального порталу

З урахуванням того, що у запропонованому технологічному процесі виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 застосовується зварювальний портал, на якому розміщуються два промислові роботи ABB IRB 2600ID-8/2.00, джерела живлення Fronius TPS 400i, механізми подавання дроту, зварювальні пальники, кабельні пакети та елементи системи керування, необхідно провести розрахунок елементів механізму переміщення порталу.

Портал переміщується вздовж складально-зварювального кондуктора у двох режимах: із робочою швидкістю зварювання та з маршовою швидкістю під час переходу між окремими ділянками швів. Розрахунок виконуємо за схемою, використаною у прикладі розрахунку зварювального порталу, але з уточненням маси рухомої частини порталу та встановленого на ньому обладнання.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: $V_{зв} = 55 \text{ м/год} = 0,0153 \text{ м/с}$, $V_m = 20 \text{ м/хв} = 0,333 \text{ м/с}$, $l_1 = 0,5 \text{ м}$, $l_2 = 2,0 \text{ м}$, $l = 4,0 \text{ м}$, $a_{\pi} = 0,1 \text{ м/с}^2$

До маси рухомої частини порталу включаємо власну масу металоконструкції порталу, вагу двох роботів, вагу двох джерел живлення, механізмів подавання дроту та допоміжного зварювального оснащення. Маса одного робота ABB IRB 2600ID-8/2.00 становить 284 кг, маса одного джерела Fronius TPS 400i — 36,45 кг. Маса металоконструкції порталу приймається за конструктивними міркуваннями $m_{mk} = 1650 \text{ кг}$, $m_p = 568 \text{ кг}$, $m_{дж} = 72,9 \text{ кг}$, $m_{пд} = 12 \text{ кг}$, $m_{осн} = 110 \text{ кг}$

Загальна маса рухомої частини порталу становить:

$$m_{\pi} = m_{mk} + m_p + m_{дж} + m_{пд} + m_{осн}$$

$$m_{\pi} = 1650 + 568 + 72,9 + 12 + 110 = 2412,9 \text{ кг}$$

Вага рухомої частини порталу:

$$G_{\pi} = \frac{m_{\pi} \cdot g}{1000}$$

$$G_{\pi} = \frac{2412,9 \cdot 9,81}{1000} = 23,67 \text{ кН}$$

Для подальшого розрахунку приймаємо $G_{\pi} = 24 \text{ кН}$

Оскільки портал має дві рейкові сторони, розрахункове навантаження на одну сторону становить:

$$G = \frac{G_{\text{п}}}{2}$$
$$G = \frac{24}{2} = 12 \text{ кН}$$

Визначення реакцій на ходові колеса portalу

Визначаємо реакцію Q_1 , яка діє на ходове колесо portalу:

$$Q_1 \cdot l_2 = G \cdot (l_1 + l_2)$$
$$Q_1 = \frac{G \cdot (l_1 + l_2)}{l_2}$$
$$Q_1 = \frac{12 \cdot (0,5 + 2,0)}{2,0} = 15 \text{ кН}$$

Визначаємо реакцію Q_2 :

$$Q_2 \cdot l_2 = G \cdot l_1$$
$$Q_2 = \frac{G \cdot l_1}{l_2}$$
$$Q_2 = \frac{12 \cdot 0,5}{2,0} = 3 \text{ кН}$$

Визначаємо навантаження Q_3 , яке діє на колесо однієї рейкової сторони portalу:

$$Q_3 \cdot l = Q_1 \cdot (l - l_1)$$
$$Q_3 = \frac{Q_1 \cdot (l - l_1)}{l}$$
$$Q_3 = \frac{15 \cdot (4,0 - 0,5)}{4,0} = 13,125 \text{ кН}$$

Визначаємо навантаження Q_4 :

$$Q_4 \cdot l = Q_1 \cdot l_1$$
$$Q_4 = \frac{Q_1 \cdot l_1}{l}$$
$$Q_4 = \frac{15 \cdot 0,5}{4,0} = 1,875 \text{ кН}$$

Максимальне навантаження на ходове колесо порталу становить:

$$Q_{max} = Q_1 = 15 \text{ кН}$$

$$P = Q_{max} = 15 \text{ кН.}$$

Визначення радіуса ходового колеса порталу. Радіус ходового колеса визначаємо за умовою контактної міцності:

$$\sigma_e = 0,167 \cdot k_f \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E}{h \cdot r_1}} \leq [\sigma_e]$$

Звідки:

$$r_1 = \left(\frac{0,167 \cdot k_f}{[\sigma_e]} \right)^2 \cdot \frac{P \cdot E}{h}$$

де $k_f = 1,05$ — коефіцієнт, що враховує умови контакту колеса з рейкою;

$h = 0,06$ м — ширина поверхні контакту колеса з рейкою;

$E = 2,1 \cdot 10^6$ МПа — приведений модуль пружності матеріалу колеса та рейки;

$P = 15$ кН — максимальне навантаження на ходове колесо;

$[\sigma_e] = 70$ МПа — допустиме контактне напруження.

$$r_1 = \left(\frac{0,167 \cdot 1,05}{70} \right)^2 \cdot \frac{15 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1 \cdot 10^6}{0,06} = 0,329 \text{ м}$$

Приймаємо $r_1 = 0,35$ м

Тоді діаметр ходового колеса:

$$D_{хк} = 2 \cdot r_1$$

$$D_{хк} = 2 \cdot 0,35 = 0,70 \text{ м} = 700 \text{ мм}$$

Розрахунок осі опорного катка. Згинальний момент в осі опорного катка визначаємо при відстані від точки прикладання навантаження до небезпечного перерізу $a = 0,25$ м:

$$M_{зг1} = Q_{max} \cdot a$$

$$M_{зг1} = 15000 \cdot 0,25 = 3750 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{зг1} = 3750 \cdot 10^3 = 3,75 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Діаметр осі опорного катка визначаємо за формулою:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{зг1}}{[\sigma]}}$$

де $[\sigma] = 70$ МПа — допустиме напруження для матеріалу осі.

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 3,75 \cdot 10^6}{70}} = 81,2 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_0 = 85$ мм

Розрахунок приводного вала. Згинальний момент на приводному валу визначаємо при відстані від колеса до опори вала $b = 0,05$ м:

$$M_{зг2} = \frac{Q_3 \cdot b}{4}$$
$$M_{зг2} = \frac{13125 \cdot 0,05}{4} = 164 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначення опору переміщенню порталу. Опір переміщенню порталу визначаємо за залежністю:

$$W_T = \sum Q_i \cdot k_p \cdot \frac{f_n \cdot d_0 + 2 \cdot \mu_k}{D_{хк}}$$

де $f_n = 0,1$ — коефіцієнт тертя в підшипниках;

$\mu_k = 0,0005$ м — коефіцієнт тертя кочення;

$k_p = 2,5$ — коефіцієнт, що враховує тертя реборди колеса об рейку;

$d_0 = 0,085$ м — діаметр осі опорного катка;

$D_{хк} = 0,70$ м — діаметр ходового колеса.

$$\sum Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$\sum Q_i = 15 + 3 + 13,125 + 1,875 = 33 \text{ кН}$$

$$W_T = 33000 \cdot 2,5 \cdot \frac{0,1 \cdot 0,085 + 2 \cdot 0,0005}{0,70} = 1120 \text{ Н}$$

Додатковий опір під час розгону порталу:

$$W_i = \frac{G \cdot 1000 \cdot a_{\Pi}}{9,81}$$

$$W_i = \frac{12 \cdot 1000 \cdot 0,1}{9,81} = 122 \text{ Н}$$

Повний розрахунковий опір переміщенню однієї приводної сторони порталу:

$$W_d = W_T + W_i$$

$$W_d = 1120 + 122 = 1242 \text{ Н}$$

Крутний момент на приводному валу визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = \frac{W_d \cdot D_{хк}}{2}$$

$$M_{кр} = \frac{1242 \cdot 0,70}{2} = 435 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентний момент на приводному валу:

$$M_e = \sqrt{M_{зг2}^2 + M_{кр}^2}$$

$$M_e = \sqrt{164^2 + 435^2} = 465 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_e = 465 \cdot 10^3 = 4,65 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Уточнюємо діаметр приводного вала:

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_e}{[\sigma]}}$$

$$d_b = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 4,65 \cdot 10^5}{70}} = 40,5 \text{ мм}$$

З урахуванням запасу міцності, посадкових місць під підшипники та шпонкових пазів приймаємо $d_b = 45 \text{ мм}$.

Визначення потужності двигуна переміщення порталу. Загальний коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta_0 = \eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{з}} = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54$$

Потужність двигуна однієї приводної сторони порталу визначаємо для маршової швидкості, оскільки вона є більшою за швидкість зварювання:

$$N = \frac{W_d \cdot V_{\text{м}}}{\eta_0}$$

$$N = \frac{1242 \cdot 0,333}{0,54} = 766 \text{ Вт} = 0,766 \text{ кВт}$$

Оскільки портал має дві приводні сторони, загальна розрахункова потужність становить:

$$N_{\text{заг}} = 2 \cdot N$$

$$N_{\text{заг}} = 2 \cdot 0,766 = 1,532 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $K_3 = 1,3$:

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{заг}} \cdot K_3$$

$$N_{\text{пр}} = 1,532 \cdot 1,3 = 1,99 \text{ кВт}$$

Приймаємо два мотор-редуктори потужністю по 1,1 кВт кожний. Загальна встановлена потужність приводу становить:

$$N_{\text{вст}} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ кВт}$$

За результатами розрахунку для механізму переміщення зварювального порталу приймаємо:

- діаметр ходового колеса $D_{\text{хк}} = 700 \text{ мм}$;
- діаметр осі опорного катка $d_0 = 85 \text{ мм}$;
- діаметр приводного вала $d_{\text{в}} = 45 \text{ мм}$;
- кількість приводних мотор-редукторів — 2 шт.;
- потужність одного мотор-редуктора $N_{\text{дв}} = 1,1 \text{ кВт}$;
- загальна встановлена потужність приводу $N_{\text{вст}} = 2,2 \text{ кВт}$.

3.2 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи

Для виготовлення великогабаритних просторових зварних конструкцій застосовують складально-зварювальні пристосування, які забезпечують правильне базування деталей, фіксацію їхнього положення, зменшення зварювальних деформацій і підвищення повторюваності геометричних параметрів готового виробу. Залежно від характеру виробництва такі пристосування поділяють на універсальні, спеціалізовані та спеціальні. Універсальні пристрої використовують переважно при одиничному або дрібносерійному виготовленні, тоді як для

серійного виробництва вагонних конструкцій найбільш раціональним є застосування спеціалізованого оснащення.

Вагонобудування належить до серійного виробництва, тому під час виготовлення елементів кузова доцільним є використання спеціалізованих складально-зварювальних установок. Таке оснащення проектується з урахуванням конструктивних особливостей конкретного вузла, маршруту виготовлення та можливості часткової модернізації при зміні конструкції вагона. Для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 прийнято спеціалізовану автоматизовану складально-зварювальну установку, яка забезпечує складання каркаса, встановлення листового полотна, монтаж рам завантажувальних люків, прихоплення та роботизоване MAG-зварювання основних з'єднань.

До складу прийнятої установки входять: складально-зварювальний кондуктор для базування елементів даху, складально-зварювальний портал із роботом ABB IRB 2600ID-8/2.00 для прихоплення, виконання дугових електрозаклепок і приварювання рам люків, а також зварювальний портал із двома роботами ABB IRB 2600ID-8/2.00 для виконання поздовжніх і поперечних швів полотна. Як джерела живлення для роботизованого MAG-зварювання прийнято Fronius TPS 400i з механізмами подавання дроту Fronius WF 25i. Застосування такої установки дає змогу зменшити частку ручних складальних операцій, скоротити тривалість виготовлення даху та забезпечити стабільну якість зварних з'єднань.

Модернізована складально-зварювальна установка для виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 представлена на рис. 3.1. Основним елементом установки є складально-зварювальний кондуктор, який задає просторову форму даху та забезпечує точне розташування поперечних дуг, торцевих фрамуг, поздовжніх підсилювачів, листових карт і рам трьох завантажувальних люків. Кондуктор має жорстку раму, базові упори, ложементи під кривизну даху, упори для встановлення фрамуг, гнізда для поперечних дуг, шаблони положення люкових рам і систему пневматичних притискачів.

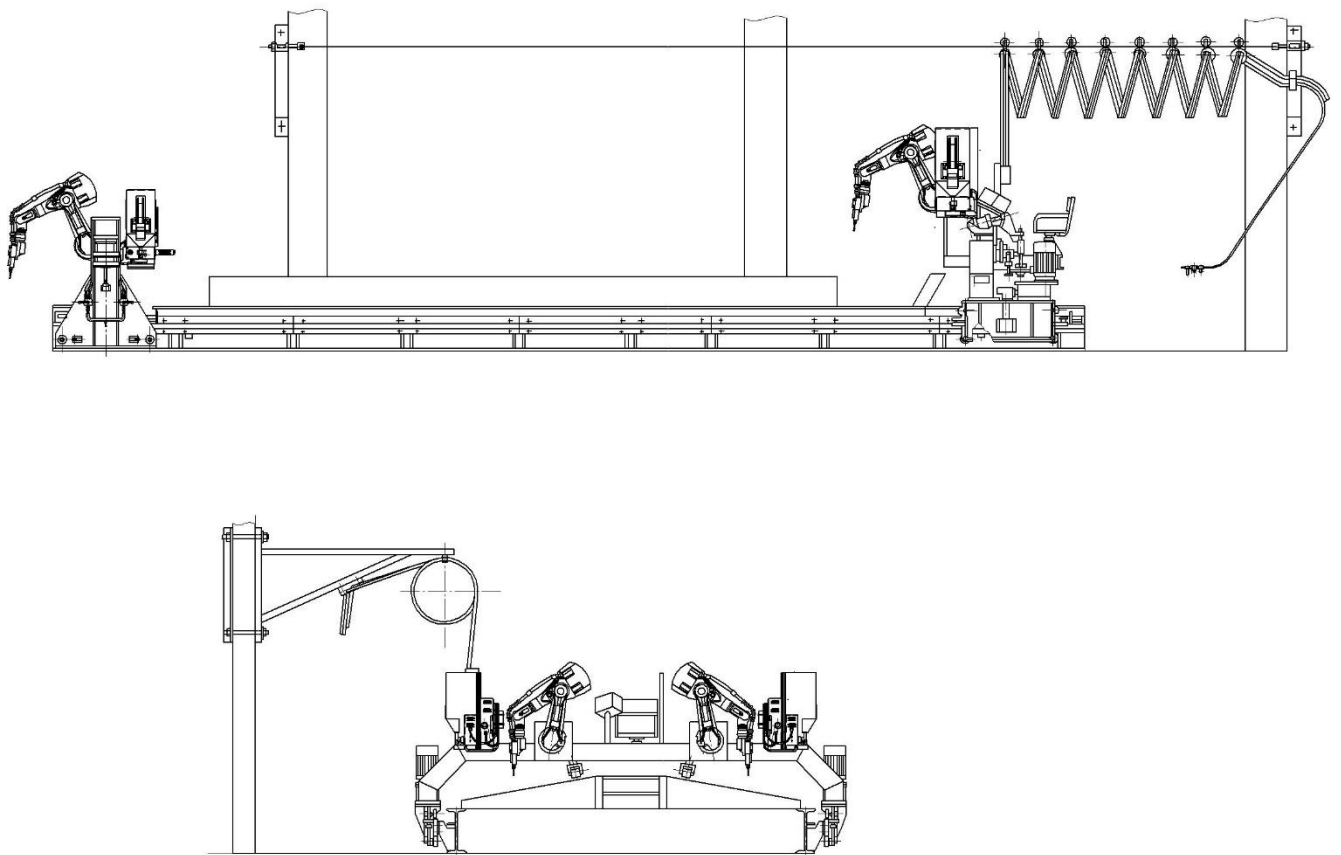


Рис. 3.1 – Схема модернізованої складально-зварювальної установки для виготовлення даху вагона

Складання даху в кондукторі виконується у чіткій технологічній послідовності. Спочатку в базові місця встановлюють торцеві фрамуги, які фіксуються пневматичними притисками. Після цього в ложементи кондуктора встановлюють поперечні дуги. Кожна дуга базується за опорною поверхнею та притискається до ложемента, що забезпечує задану кривизну даху по всій довжині вузла. Далі монтують поздовжні підсилювачі, які встановлюються за боковими упорами та фіксуються притисками.

Після встановлення елементів каркаса на них укладають листове полотнище даху. Спочатку кран-балкою подають і встановлюють дві бокові листові карти, які вирівнюють за поздовжніми базами кондуктора та притискають до поперечних дуг і підсилювачів. Потім встановлюють центральну карту з прорізами під три завантажувальні люки. Центральна карта базується відносно поздовжньої осі даху

та торцевих упорів, після чого фіксується пневмопритискачами. Таке базування виключає зміщення листів під час прихоплення та забезпечує правильне розташування люкових прорізів.

Окрему увагу в конструкції пристосування приділено встановленню рам завантажувальних люків. Для цього в кондукторі передбачено змінні шаблони, які задають положення кожної рамки відносно поздовжньої осі даху та сусідніх люків. Рамки встановлюють у прорізи центральної листової карти, вирівнюють за шаблонами та фіксують притискачами по периметру. Після фіксації перевіряють діагоналі рам, відстані між люками та площинність посадкових поверхонь під кришки.

Після завершення складання та перевірки положення всіх елементів виконується прихоплення. Для цієї операції застосовується складально-зварювальний портал, на якому встановлено промисловий робот ABB IRB 2600ID-8/2.00 із джерелом живлення Fronius TPS 400i. Портал переміщується вздовж кондуктора по рейкових напрямних, а робот виконує прихоплення у заданих точках за програмою. Спочатку прихоплюються фрамуги до поперечних дуг, потім дуги до поздовжніх підсилювачів, після цього листові карти до каркаса, а завершальним етапом — рамки завантажувальних люків до центральної карти полотнища.

Складально-зварювальний портал також використовується для виконання дугових електрозаклепок. Для цього в листових картах ще на етапі лазерного різання виконуються технологічні отвори. Під час роботи робот встановлює пальник у центр отвору, формує зварювальну ванну та заповнює отвір металом шва, з'єднуючи листове полотнище з нижнім елементом каркаса. Електрозаклепки виконуються послідовно від середньої частини даху до торців із чергуванням суміжних поперечних дуг. Така схема дає змогу зменшити місцеве короблення листа та забезпечити рівномірне з'єднання полотнища з каркасом.

Для виконання основних поздовжніх і поперечних швів застосовується окремий зварювальний портал. На ньому симетрично розміщено два роботи ABB IRB 2600ID-8/2.00, кожен з яких оснащений джерелом живлення Fronius TPS 400i, механізмом подавання дроту Fronius WF 25i та зварювальним пальником для MAG-

зварювання. Портал переміщується вздовж складально-зварювального стенда зі швидкістю зварювання, а роботи виконують шви за узгодженою програмою. Одночасна робота двох роботів забезпечує рівномірне тепловкладення з обох боків даху та зменшує ризик перекосу конструкції.

Поздовжні шви листового полотнища виконуються першими. Зварювання ведеться від середньої частини даху до торців із чергуванням правої та лівої сторони. Після цього виконуються поперечні з'єднання листів із дугами та торцевими фрамугами. У місцях примикання до рам люків зварювання ведеться короткими ділянками з чергуванням протилежних сторін, що дає змогу зберегти форму рам і площинність посадкових поверхонь під кришки.

Приварювання рам завантажувальних люків здійснюється складально-зварювальним порталом із роботом ABB IRB 2600ID-8/2.00. Робот послідовно обварює кожну рамку по периметру. Спочатку виконуються короткі ділянки шва на поздовжніх сторонах рамки, потім — на поперечних, після чого контур шва доводиться до повного замикання. Така послідовність зменшує теплове викривлення рамки та забезпечує щільне прилягання кришки люка під час подальшого складання.

Пневматичні притискачі в кондукторі розміщені таким чином, щоб забезпечити притискання дуг, фрамуг, поздовжніх підсилювачів і листових карт без перешкод для переміщення роботизованих порталів. Основна частина притискачів винесена на сторону, протилежну напрямку вивантаження готового даху з кондуктора. Це скорочує час розтискання пристосування, полегшує знімання готового вузла та зменшує тривалість допоміжних операцій.

Після завершення зварювання дах залишається в кондукторі до часткового охолодження. Розтискання пневмопритискачів виконується поступово, щоб не допустити різкого перерозподілу залишкових напружень. Далі готовий дах знімають із кондуктора кран-балкою за допомогою траверси та передають на операції зачистки, правлення і контролю якості.

Застосування спеціалізованого складально-зварювального кондуктора разом із двома роботизованими порталами забезпечує точне складання даху, стабільне

положення трьох завантажувальних люків, зменшення обсягу ручного зварювання та підвищення продуктивності виготовлення. Крім того, автоматизоване виконання прихоплень, електрозаклепок і основних швів дозволяє отримати більш рівномірну якість з'єднань і знизити вплив людського чинника на кінцевий результат.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці у зварювальному виробництві

У зварювальному виробництві важливе значення для збереження працездатності працівників і підвищення ефективності виконання робіт має правильна організація робочого місця та застосування допоміжного технологічного оснащення. До такого оснащення належать складально-зварювальні кондуктори, маніпулятори, кантувачі, затискні пристрої, струбцини та інші засоби фіксації й переміщення виробів. Їх використання дає змогу зменшити фізичне навантаження на працівника, забезпечити зручне положення зварюваних деталей і підвищити стабільність якості зварних з'єднань.

Основними заходами, спрямованими на поліпшення умов праці зварників, є механізація та автоматизація виробничих процесів, раціональне розміщення обладнання, застосування засобів індивідуального захисту, організація ефективної вентиляції, а також дотримання правил електробезпеки. У сучасному зварювальному виробництві особливу увагу приділяють зменшенню безпосередньої участі людини в операціях, які супроводжуються інтенсивним тепловим випромінюванням, виділенням газів, диму та металевого пилу.

Під час горіння електричної дуги утворюється потужне світлове, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, яке негативно впливає на органи зору та відкриті ділянки шкіри. Найбільшу небезпеку становить робота з відкритою дугою, зокрема ручне дугове зварювання та механізоване зварювання у захисних газах. Для захисту шкіри зварник повинен використовувати спеціальний вогнестійкий одяг, рукавиці та взуття, а для захисту очей і обличчя — зварювальну маску або щиток із відповідним світлофільтром.

Крім випромінювання дуги, небезпеку для очей становлять механічні частинки, що утворюються під час очищення швів, видалення шлаку, зачистки бризок металу та оброблення кромek. Тому під час виконання таких операцій необхідно користуватися захисними окулярами або щитками з прозорим ударостійким склом. У разі травмування або подразнення очей працівник повинен

припинити роботу, повідомити відповідальну особу та звернутися за медичною допомогою.

У процесі зварювання під дією високої температури відбувається випаровування металу, електродного дроту, покриттів і забруднень на поверхні виробу. Пари металів взаємодіють із киснем повітря та утворюють дрібнодисперсний зварювальний аерозоль. Особливо небезпечними є сполуки марганцю, цинку, свинцю, кадмію, міді та інших елементів, які можуть потрапляти в повітря робочої зони під час зварювання легованих сталей, кольорових металів або деталей із покриттями. Додаткову небезпеку можуть становити гази, що утворюються під час плавлення флюсів і захисних матеріалів.

Під час зварювання у середовищі захисних газів необхідно враховувати можливість накопичення шкідливих газоподібних речовин у зоні виконання робіт. Зокрема, вуглекислий газ є важчим за повітря, тому за недостатньої вентиляції він може накопичуватися в заглибленнях, закритих просторах або погано провітрюваних приміщеннях. Це призводить до зменшення вмісту кисню в повітрі та створює небезпеку для дихання працівників.

Для видалення зварювального диму, газів і пилу у виробничих приміщеннях застосовують загальнообмінну та місцеву вентиляцію. Загальнообмінна вентиляція забезпечує постійне оновлення повітря в цеху, а в холодний період року повинна передбачати подавання підігрітого припливного повітря. Місцева вентиляція призначена для відсмоктування шкідливих речовин безпосередньо в зоні їх утворення. Найбільш ефективним є поєднання обох систем, оскільки воно дає змогу підтримувати допустимі санітарно-гігієнічні умови на робочих місцях.

Під час виконання робіт у замкнутих або важкодоступних просторах працівники повинні використовувати додаткові засоби захисту органів дихання та системи подавання свіжого повітря. Перед початком таких робіт необхідно перевірити стан вентиляції, наявність засобів зв'язку, справність електрообладнання та можливість швидкого виведення працівника з небезпечної зони.

У разі погіршення самопочуття працівника або появи ознак отруєння його потрібно негайно вивести на свіже повітря, звільнити від одягу, що утруднює дихання, забезпечити спокій і викликати медичну допомогу. Якщо у потерпілого відсутнє нормальне дихання, необхідно розпочати заходи з відновлення життєвих функцій до прибуття медичних працівників.

4.2 Вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці

Норми та правила охорони праці спрямовані на запобігання виробничому травматизму, зменшення впливу шкідливих і небезпечних факторів, а також створення безпечних умов для виконання технологічних операцій. У зварювальному виробництві такі вимоги мають особливе значення, оскільки працівники можуть зазнавати впливу електричного струму, теплового випромінювання, високої температури, рухомих частин обладнання, зварювального диму та шкідливих газів.

Вимоги техніки безпеки регламентують порядок роботи з обладнанням, правила експлуатації зварювальних установок, використання складально-зварювальних пристосувань, розміщення машин, організацію проходів і робочих зон. Вони визначають безпечну поведінку персоналу під час виконання виробничих операцій і встановлюють порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

Промислова санітарія та виробнича гігієна спрямовані на захист працівників від перевтоми, шкідливого хімічного впливу, забруднення повітря, недостатнього освітлення, шуму, вібрації та несприятливих мікрокліматичних умов. До таких вимог належить правильне планування виробничих приміщень, забезпечення нормативного освітлення, організація вентиляції, облаштування побутових приміщень, підтримання чистоти робочих місць і своєчасне технічне обслуговування обладнання.

Виробничі будівлі та ділянки повинні проєктуватися з урахуванням характеру технологічного процесу, габаритів обладнання, вантажопотоків, пожежної та вибухової небезпеки, а також можливих шкідливих викидів. Найбільш

зручною для організації виробничих потоків є прямокутна форма приміщення, оскільки вона дає змогу раціонально розмістити обладнання, забезпечити зручні проходи, під'їзди для транспортних засобів і ефективне природне або штучне освітлення.

Робочі місця зварників повинні бути обладнані таким чином, щоб працівник мав достатній простір для виконання операцій, безпечний доступ до виробу, зручне розташування інструменту та засобів керування. Кабелі, шланги та інші комунікації необхідно розміщувати так, щоб вони не створювали перешкод для переміщення працівників і не пошкоджувалися під час роботи обладнання. Усі металеві частини зварювального устаткування, які можуть опинитися під напругою, повинні бути заземлені.

Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити працівників справними засобами індивідуального захисту, провести інструктажі з охорони праці, організувати навчання безпечним методам роботи та контролювати дотримання встановлених вимог. Працівники, у свою чергу, повинні виконувати правила безпеки, користуватися захисними засобами, не допускати роботи на несправному обладнанні та повідомляти відповідальних осіб про виявлені небезпечні ситуації.

Недотримання вимог охорони праці, промислової санітарії та електробезпеки може призвести до травмування працівників, виникнення пожеж, пошкодження обладнання та порушення технологічного процесу. Тому виконання встановлених правил є обов'язковим як для керівників виробництва, так і для всіх працівників підприємства.

4.3 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

Долікарська допомога — це сукупність невідкладних дій, спрямованих на збереження життя та підтримання основних життєвих функцій потерпілого до прибуття медичних працівників. Таку допомогу можуть надавати працівники підприємства, очевидці події або сам потерпілий, якщо його стан це дозволяє. Найважливішою умовою ефективності долікарської допомоги є її своєчасність, оскільки при ураженні електричним струмом зволікання може мати тяжкі наслідки.

Порядок надання допомоги повинен починатися з усунення дії небезпечного фактора. У разі ураження електричним струмом насамперед необхідно припинити контакт потерпілого зі струмовідними частинами. Після цього оцінюють стан людини, визначають наявність свідомості, дихання та пульсу, встановлюють характер травми й обирають подальшу послідовність дій. За потреби виконують заходи з відновлення прохідності дихальних шляхів, штучне дихання та непрямий масаж серця. Одночасно необхідно викликати швидку медичну допомогу або організувати транспортування потерпілого до лікувального закладу.

Результат порятунку людини при ураженні електричним струмом значною мірою залежить від швидкості звільнення її від дії струму та правильності подальших дій. При електротравмі можлива клінічна смерть, тому відсутність дихання, серцебиття або пульсу не є підставою для відмови від реанімаційних заходів. Рішення про припинення таких заходів або встановлення факту смерті має приймати лише медичний працівник.

Усі працівники, які обслуговують електроустановки, зварювальне обладнання, електричні мережі та допоміжні пристрої, повинні проходити періодичне навчання з електробезпеки та правил надання першої допомоги. Такі заняття мають включати не лише теоретичні положення, а й практичне відпрацювання дій зі звільнення потерпілого від струму, виконання штучного дихання та непрямого масажу серця. Організація навчання покладається на керівництво підприємства та відповідальних осіб з охорони праці.

У місцях постійного перебування персоналу повинні бути аптечки з необхідними засобами для надання першої допомоги, а також інформаційні матеріали з правилами дій у разі нещасного випадку. Плакати й інструкції необхідно розміщувати на видимих місцях, щоб працівники могли швидко скористатися ними у разі потреби.

Дотик людини до струмовідних частин, що перебувають під напругою, може викликати судомне скорочення м'язів, порушення дихання, зупинку серця та втрату свідомості. У деяких випадках потерпілий не може самотійно відпустити провід або елемент обладнання, оскільки м'язи кисті різко скорочуються. Тому

першою дією особи, яка надає допомогу, має бути швидке вимкнення електроустановки за допомогою вимикача, рубильника, автомата або іншого пристрою відключення.

Якщо негайно вимкнути електроустановку неможливо, потерпілого необхідно відокремити від струмовідних частин безпечним способом. Особа, яка надає допомогу, не повинна торкатися потерпілого голими руками, оскільки сама може потрапити під дію струму. Для звільнення людини від струмовідних частин напругою до 1000 В можна використати суху дерев'яну палицю, дошку, мотузку, сухий одяг або інший предмет, що не проводить електричний струм.

Потерпілого допускається відтягувати за сухий одяг, уникаючи контакту з відкритими ділянками тіла та металевими предметами. Для додаткового захисту рук потрібно використовувати діелектричні рукавиці або інші ізолювальні матеріали. Особа, яка надає допомогу, повинна стояти на сухій дошці, гумовому килимку або іншій непровідній основі. За можливості дії слід виконувати однією рукою, щоб зменшити ризик проходження струму через тіло.

Якщо струм проходить через тіло потерпілого в землю, необхідно розірвати електричне коло, відокремивши людину від землі або струмовідної частини. Для цього можна підсунути під потерпілого суху дошку, відтягнути його за сухий одяг або використати ізольований інструмент. Перерізання або перекушування проводів допускається лише інструментом з ізольованими ручками, по одному проводу за раз, з обов'язковим дотриманням заходів електробезпеки.

Під час звільнення потерпілого від струмовідних частин напругою понад 1000 В необхідно використовувати діелектричні рукавиці, діелектричне взуття, ізолювальні штанги або кліщі, розраховані на відповідну напругу. У таких випадках особливо важливо дотримуватися безпечної відстані та не наближатися до місця аварії без необхідних засобів захисту.

Після звільнення потерпілого слід пам'ятати про небезпеку крокової напруги, якщо струмовідна частина торкається землі. Переміщення в такій зоні без засобів захисту необхідно виконувати дрібними кроками, не відриваючи ступні одна від

одної. Потерпілого потрібно винести із небезпечної зони лише після забезпечення безпеки для особи, яка надає допомогу.

Подальші дії залежать від стану потерпілого. Якщо людина при свідомості, дихає самостійно та має пульс, її потрібно покласти у зручне положення, забезпечити приплив свіжого повітря, розстебнути одяг, що утруднює дихання, зігріти та залишити у спокої до прибуття медичних працівників. Навіть за відсутності виражених симптомів потерпілий повинен бути оглянутий лікарем, оскільки наслідки електротравми можуть проявитися пізніше.

Якщо потерпілий непритомний, але дихає, необхідно контролювати його стан, стежити за диханням і пульсом, не залишати його без нагляду та забезпечити виклик медичної допомоги. Якщо дихання відсутнє або воно різко порушене, а пульс не визначається, слід негайно розпочати штучне дихання та непрямий масаж серця. Ці дії виконують до відновлення самостійного дихання і серцевої діяльності або до передачі потерпілого медичним працівникам.

Переносити потерпілого в інше місце потрібно лише тоді, коли залишатися на місці небезпечно або надати допомогу там неможливо. У разі ураження людини на висоті слід насамперед забезпечити її безпечне зняття або спуск, після чого негайно продовжити заходи з надання допомоги. Головним завданням у такій ситуації є якнайшвидше припинення дії струму, підтримання життєво важливих функцій і передача потерпілого кваліфікованим медичним працівникам.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра вирішено завдання розроблення технологічного процесу виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01.

Проведений аналіз конструкції показав, що дах має складну просторову будову та складається з листового полотнища, поперечних дуг, торцевих фрамуг, поздовжніх підсилювачів, рамок і кришок завантажувальних люків. Наявність трьох завантажувальних люків зумовлює підвищені вимоги до точності виготовлення центральної частини даху, правильного встановлення рам люків і збереження площинності посадкових поверхонь.

У роботі розроблено послідовний технологічний процес виготовлення даху, який охоплює всі основні стадії виробництва: вхідний контроль металопрокату, дробоструминне очищення, правлення листів, лазерний розкрій заготовок, зачистку та підготовку кромek, виготовлення поперечних дуг, фрамуг, підсилювачів і рам завантажувальних люків, складання у спеціалізованому кондукторі, прихоплення, роботизоване зварювання, виконання дугових електрозаклепок, правлення, контроль якості та передачу готового вузла на подальше складання кузова.

Для реалізації запропонованого технологічного процесу вибрано сучасне технологічне обладнання, яке забезпечує стабільність підготовчих і складально-зварювальних операцій. Основним технічним рішенням роботи є застосування спеціалізованої автоматизованої складально-зварювальної установки для виготовлення даху вагона. Завдяки цьому під час складання зберігається задана кривизна даху, правильне положення люкових прорізів і стабільність геометрії виробу. Таке рішення дає змогу механізувати найбільш трудомісткі операції, зменшити вплив людського чинника та забезпечити однакову якість з'єднань у повторюваних точках конструкції.

Для виконання основних поздовжніх і поперечних швів прийнято зварювальний портал із двома промисловими роботами ABB IRB 2600ID-8/2.00, джерелами живлення Fronius TPS 400i та механізмами подавання дроту. Одночасне та узгоджене переміщення роботів уздовж виробу забезпечує рівномірне

тепловкладення, стабільне формування швів і зменшення залишкових деформацій листового полотнища.

Запропонована система контролю якості включає візуально-вимірювальний, геометричний і капілярний контроль. Поєднання цих методів дозволяє оцінити якість зварних швів, перевірити геометричні параметри даху, виявити поверхневі дефекти та підтвердити придатність виробу до подальшого встановлення на кузов вагона.

У розділі з безпеки життєдіяльності розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори зварювального виробництва, заходи щодо збереження працездатності працівників, вимоги до вентиляції, електробезпеки, застосування засобів індивідуального захисту та порядок надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом. Дотримання цих вимог є необхідною умовою безпечної експлуатації зварювального обладнання та організації роботи автоматизованої складально-зварювальної ділянки.

Запропонований технологічний процес виготовлення даху комбінованого вагона 19-795-01 є технічно обґрунтованим і може бути використаний в умовах серійного вагонобудівного виробництва. Його впровадження дозволяє підвищити точність складання, забезпечити стабільну якість зварних з'єднань, зменшити залишкові деформації та підвищити експлуатаційну надійність готової конструкції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. <https://tekcom-zavod.com.ua/ua/p1052917014-yomkostnoj-vodonagrevatel-vpeg.html>
3. <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s>
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
5. ДСТУ EN 13445-1:2015. Посудини, що працюють під тиском без вогневого підведення тепла. Частина 1. Загальні положення.
6. ДСТУ EN 13445-3:2015. Посудини, що працюють під тиском без вогневого підведення тепла. Частина 3. Проектування.
7. Водопідігрівачі STD. Технічні характеристики підігрівачів ємнісних ВПЕГ. ТОВ «Хіммашнафтогаз». URL: <https://www.hng-ua.com/vodopidigrivachi-std/>
8. ДСТУ EN ISO 3834-2:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. Всебічні вимоги до якості. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_iso_3834-2_2022_vimogi_do_yakosti_dlya_zvaryuvannya_p.pdf
9. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/search?query=ДСТУ%20EN%20ISO%203834-3>
10. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні з'єднання, виконані зварюванням плавленням. Рівні якості залежно від дефектів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102602
11. ДСТУ ISO 5817:2016. Зварювання. Рівні якості залежно від дефектів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65291
12. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. Зварювання та споріднені процеси. Типи підготовки з'єднань. Частина 1. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/search?query=ДСТУ%20EN%20ISO%209692-1>
13. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
14. 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. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82621

15. ДСТУ EN ISO 14171:2015. Матеріали зварювальні. Суцільні дроти, порошкові дроти та комбінації дріт-флюс для зварювання під флюсом нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838
16. https://esab.com/lv/eur_en/products-solutions/search/?brand=esab
17. 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.
18. https://esab.com/md/eur_en/products-solutions/product/welding-automation/submerged-arc-welding/column-and-boom-systems/esab-cab-300m/
19. https://kemppi.in.ua/catalog/visokie_technologii/223.htm
20. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72977
21. ДСТУ EN ISO 17640:2022. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104111
22. ДСТУ EN ISO 3452-1:2014. Неруйнівний контроль. Капілярний контроль. Частина 1. Загальні принципи. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/search?query=ДСТУ%20EN%20ISO%203452-1>
23. ДСТУ EN ISO 17638:2016. Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/search?query=ДСТУ%20EN%20ISO%2017638>
24. <https://www.wheelabratorgroup.com/wheelblast-equipment/roller-conveyor-machines/>
25. <https://svartech.com.ua/ua/p1183680545-listopravilnaya-mashina-bendmak.html>
26. <https://machineryline.ua/ru/-/prodazha/stanki-dlya-plazmennoy-rezki/MicroStep/MG-6001-25PrGB--25120201043758466700?srsId=AfmBOopY-gDbjXi6diO2BsANKmUsQHWTz7SgIeWA1Wxn6xtmdrcChpQT>
27. https://www.cevisa.net/bevelling-machines/adjustable-bevelling-machines/bevelling-machine-chp-12g?utm_source=chatgpt.com
28. https://www.davi.com/int/en/plate-roll/4-roll-plate-roll/mca?utm_source=chatgpt.com
29. https://www.bendmakusa.com/machines/dishing-flanging/bfm_flanging_machine?utm_source=chatgpt.com
30. https://www.promotech.eu/product/pro-36rh-petrol-motor-rail-drill/?utm_source=chatgpt.com

31. https://www.clemcoindustries.com/blastrooms?utm_source=chatgpt.com
32. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
33. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
34. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТКИ