

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційну роботу присвячено розробленню технологічного процесу зварювання бічного борта напіввагона моделі 12-7019. У роботі проаналізовано призначення, конструктивну будову та умови навантаження бічної стіни кузова, розглянуто властивості сталі 09Г2С, її хімічний склад, механічні характеристики та технологічну зварюваність.

Обґрунтовано застосування механізованого й автоматизованого MAG-зварювання суцільним електродним дротом діаметром 1,2 мм у середовищі захисної газової суміші М21. Визначено раціональні режими зварювання основних стикових, таврових, кутових і напусткових з'єднань. Для виконання коротких і складнодоступних швів обрано комплекс CLOOS QINEO Next 452 Master, а для автоматичного зварювання протяжних з'єднань — роботизовану установку з двома маніпуляторами CLOOS QIROX QRC-410.

Розроблено послідовність підготовки металопрокату, розкрою, формування деталей, складання каркаса, встановлення обшивки, прихвачування, зварювання та контролю готового виробу. Для забезпечення точності складання запропоновано поворотний складально-зварювальний стенд із гідравлічними притискачами. Виконано розрахунок основних елементів затискної системи та підтверджено достатність створюваного зусилля.

Контроль якості зварних з'єднань передбачено здійснювати візуально-вимірювальним і магнітопорошковим методами. Окремо розглянуто вимоги безпеки життєдіяльності, охорони праці та пожежної безпеки під час виконання складально-зварювальних операцій.

Ключові слова: НАПІВВАГОН, БІЧНИЙ БОРТ, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ РОБОТ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.2 Характеристика матеріалу виробу	13
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу.....	26
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	34
2.1 Обґрунтування способу зварювання.....	34
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	53
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу	57
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	67
3.1 Опис зварювальних пристосувань	67
3.2 Розрахунок елементів кондуктора для складання каркаса	68
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	71
4.1 Управління безпекою життєдіяльності в Україні.....	71
4.2 Забезпечення пожежної безпеки та профілактичні заходи запобігання пожежі	73
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Зварювання є одним із основних технологічних процесів виготовлення металевих конструкцій транспортного машинобудування. Його застосування дає змогу створювати складні просторові вироби з окремих листових і профільних елементів, раціонально використовувати метал, скорочувати тривалість виробничого циклу та зменшувати трудомісткість складальних робіт. Формування технології виготовлення зварної конструкції ґрунтується на загальних принципах зварювального виробництва, які уточнюють відповідно до геометричних параметрів деталей, властивостей основного матеріалу, типів з'єднань та умов експлуатації готового виробу [1].

В умовах сучасного вагонобудування особливого значення набуває підвищення продуктивності праці за одночасного забезпечення стабільної якості зварних з'єднань. Досягнення цього результату передбачає раціональний вибір способу зварювання, оптимізацію послідовності накладання швів, використання спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань і скорочення непродуктивних витрат часу. Удосконалення технологічного процесу дає змогу знизити собівартість виготовлення конструкції, зменшити кількість виправлень і забезпечити необхідну конкурентоспроможність продукції.

Важливим напрямом розвитку зварювального виробництва є механізація та автоматизація основних і допоміжних операцій. Використання автоматизованих комплексів забезпечує стабільність режимів зварювання, рівномірність формування швів, зменшення впливу людського чинника та поліпшення умов праці персоналу. Найбільший ефект досягається тоді, коли автоматизація охоплює не лише безпосереднє виконання зварних швів, а й установлення, базування, притискання, переміщення та кантування складальних одиниць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Залізничні напіввагони належать до відкритого вантажного рухомого складу та призначені для перевезення сипких, крупнокускових, пакетованих і штучних вантажів, які не потребують захисту від атмосферних опадів. Відсутність даху забезпечує можливість механізованого завантаження кузова за допомогою грейферів, ковшових навантажувачів, конвеєрів та іншого вантажопідіймального обладнання.

Напіввагон моделі 12-7019 (рис.1.1) є універсальним чотиривісним вагоном із суцільнометалевим зварним кузовом і глухою підлогою. Він призначений для експлуатації на залізничних коліях шириною 1520 мм. Відсутність розвантажувальних люків у підлозі зумовлює виконання розвантаження сипких матеріалів на стаціонарних або роторних вагоноперекидачах [2-6].



Рис. 1.1 – Загальний вигляд напіввагона моделі 12-7019 [2]

Кузов напіввагона є просторовою несучою системою, до складу якої входять рама, дві бічні стіни, дві торцеві стіни та глухий металевий настил підлоги. Бічні й торцеві стіни жорстко з'єднані між собою та з рамою зварними швами. Завдяки цьому кузов працює як єдина конструкція, здатна сприймати вертикальні, поздовжні, поперечні та місцеві ударні навантаження.

Для виготовлення несучих елементів кузова використовують низьколеговані конструкційні сталі 09Г2С або 09Г2Д. Ці матеріали характеризуються достатньою

міцністю, пластичністю, ударною в'язкістю та задовільною зварюваністю. Застосування низьколегованого прокату дає змогу забезпечити необхідну несучу здатність кузова без надмірного збільшення маси тари.

Основні технічні характеристики напіввагона наведено в таблиці 1.1.

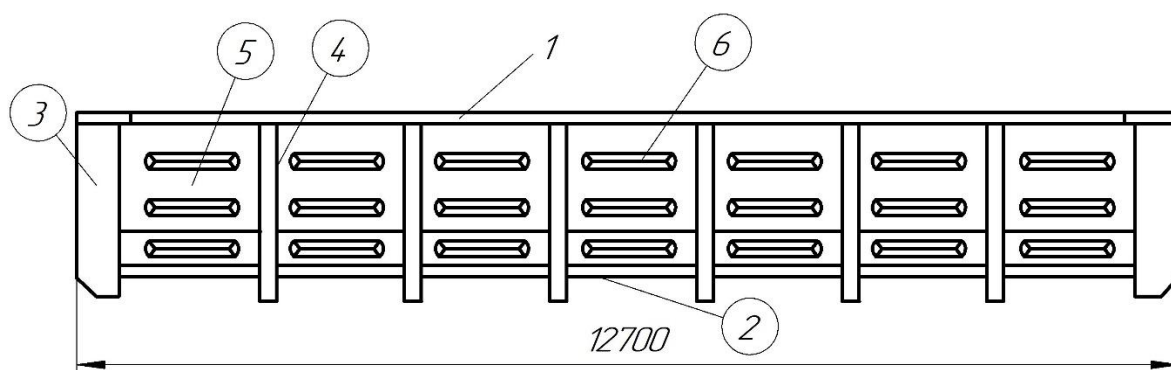
Таблиця 1.1 – Технічні характеристики напіввагона моделі 12-7019 [2]

Найменування параметра	Значення
Вантажопідйомність, не більше, т	72,0
Об'єм кузова, м ³	77,5
Маса тари, не більше, т	22,0
Статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
База вагона, мм	8650
Довжина по осях зчеплення автозчепів, мм	13 920
Габарит рухомого складу	1-ВМ
Внутрішня довжина кузова, мм	12 690
Внутрішня ширина кузова, мм	2986
Внутрішня висота кузова, мм	2050
Модель двовісного візка	18-7055
Конструкційна швидкість, не більше, км/год	120
Міжремонтний пробіг, років (тис. км)	3 (210)
Розрахунковий строк служби, років	22

Об'єктом розроблення технологічного процесу є бічний борт напіввагона моделі 12-7019. У технічній документації цей складальний вузол також називають бічною стіною кузова. Борт являє собою великогабаритну зварну конструкцію каркасно-обшивного типу, яка формує поздовжню поверхню вантажного відсіку, утримує вантаж у кузові та передає створений ним тиск на раму вагона.

Габаритна довжина бічного борта узгоджена з довжиною кузова і становить близько 12 700 мм. Внутрішня робоча довжина вантажного простору дорівнює 12 690 мм, а висота бічної стіни від рівня підлоги до верхньої обв'язки — 2050 мм. Максимальна ширина кузова по зовнішніх виступних частинах становить 3210 мм, тоді як внутрішня ширина вантажного відсіку дорівнює 2986 мм.

Конструкція бічного борта наведена на рисунку 1.2.



1 – верхня обв’язка; 2 – нижня обв’язка; 3 – кутова стійка; 4 – проміжна стійка; 5 – листова обшивка; 6 – горизонтальні гофри

Рисунок 1.2 – Конструкція бічного борта напіввагона моделі 12-7019

Основою борта є металевий каркас, утворений верхньою і нижньою обв’язками, двома кутовими та шістьма проміжними стійками. Стійки поділяють довжину бічної стіни на сім окремих панелей. Середній конструктивний модуль однієї панелі становить приблизно 1810 мм. Фактичний крок між осями стійок уточнюють за складальним кресленням з урахуванням ширини їхніх профілів і розташування шкворневих та проміжних балок рами.

Верхня обв’язка розташована вздовж верхнього краю борта та з’єднує всі вертикальні стійки в єдину силову систему. Її довжина відповідає довжині бічної стіни і становить близько 12 700 мм. Обв’язка виконує функцію верхнього поздовжнього пояса кузова. Вона забезпечує прямолінійність верхнього контуру борта, підтримує задану ширину кузова та обмежує відхилення стіни назовні під дією тиску вантажу. Під час завантаження верхня обв’язка також може зазнавати місцевих ударів від ковша, грейфера або окремих частин вантажу. Для підвищення жорсткості верхню обв’язку виготовляють із гнутого профілю, переріз якого забезпечує достатній опір згинанню та крученню. Від прямолінійності цієї деталі залежить точність складання всього борта. Місцеві прогини або скручування обв’язки можуть спричинити зміну ширини кузова та ускладнити з’єднання бічної стіни з торцевими стінами.

Нижня обв’язка утворює нижній поздовжній пояс борта та слугує основою для встановлення вертикальних стійок і листової обшивки. Її довжина також

становить близько 12 700 мм. Після складання кузова нижню обв'язку з'єднують із боковим елементом рами. Через цей вузол навантаження від обшивки та стійок передається на поперечні, шкворневі й кінцеві балки. Нижня обв'язка сприймає поперечні зусилля від тиску вантажу, поздовжні сили під час розгону та гальмування, а також деформації, що виникають при русі вагона нерівними ділянками колії. До нижньої обв'язки висувають підвищені вимоги щодо прямолінійності й площинності. Її деформація спричиняє утворення монтажних зазорів між бортом і рамою та призводить до виникнення додаткових внутрішніх напружень після остаточного зварювання.

По кінцях борта розташовані дві кутові стійки. Їх висота відповідає висоті бічної стіни і становить приблизно 2050 мм. Кутові стійки забезпечують з'єднання бічного борта з торцевими стінами та рамою кузова. Ці елементи сприймають складне поєднання згинальних, стискальних і розтягувальних навантажень. Особливо навантаженими є нижні вузли, в яких кутові стійки з'єднуються з нижньою обв'язкою та кінцевими ділянками рами. Для зменшення концентрації напружень у таких місцях установлюють підсилювальні накладки, косинки або опорні планки. Точність установлення кутових стійок визначає вертикальність торцевих стін, взаємне положення верхніх обв'язок і відповідність кузова встановленому габариту рухомого складу.

Між кутовими стійками розміщено шість проміжних вертикальних стійок. Вони встановлені вздовж борта відповідно до конструктивної схеми кузова та передають навантаження від листової обшивки на верхню і нижню обв'язки. Проміжні стійки виготовляють із гнутих профілів, форма яких забезпечує підвищений момент опору при порівняно невеликій масі. Профільований переріз дає змогу ефективно протидіяти поперечному згинанню, що виникає під дією розподіленого тиску вантажу. Найбільші згинальні моменти діють у нижніх частинах стійок, оскільки тиск сипкого матеріалу збільшується в напрямку до підлоги кузова. Тому з'єднання стійок із нижньою обв'язкою виконують із застосуванням суцільних або переривчастих кутових швів відповідно до робочого креслення, а навантажені ділянки додатково підсилюють накладками. Під час

складання необхідно контролювати вертикальність стійок, крок між ними та щільність прилягання до обв'язок. Зміщення стійок порушує геометрію панелей, ускладнює встановлення обшивки та знижує можливість автоматизації зварювальних операцій.

Листова обшивка утворює суцільну внутрішню поверхню бічного борта, яка безпосередньо контактує з вантажем. Вона сприймає розподілений боковий тиск, місцеві удари під час завантаження та передає ці навантаження на вертикальні стійки й поздовжні обв'язки. Обшивка розташована з внутрішнього боку каркаса, а стійки — переважно із зовнішнього боку. Таке компонування забезпечує відносно рівну внутрішню поверхню кузова, полегшує висипання вантажу під час розвантаження та захищає профілі каркаса від безпосереднього контакту з вантажем. Для збільшення жорсткості обшивку виконують із горизонтальними гофрами. Гофри є сформованими в листі поздовжніми ребрами, які збільшують момент інерції перерізу, обмежують прогин панелей між стійками та підвищують опір місцевим ударам. Обшивка може складатися з декількох листових заготовок або профільованих секцій. Їхні стики розміщують з урахуванням положення стійок, напрямку навантаження та можливості механізованого виконання зварних швів. Під час складання контролюють суміщення горизонтальних гофр, величину зазорів і відсутність сходинок між сусідніми листами.

Внутрішня поверхня борта після зварювання не повинна мати гострих виступів, значних напливів металу, незачищених прихваток або інших нерівностей, які здатні затримувати вантаж чи спричиняти його пошкодження.

У місцях з'єднання стійок із верхньою і нижньою обв'язками виникають зони концентрації напружень. Для їх зміцнення в конструкції борта передбачають підсилювальні накладки, косинки, опорні й з'єднувальні планки. Підсилювальні деталі збільшують площу передавання навантаження, зменшують напруження в основному металі та запобігають місцевій деформації тонкостінних профілів. Їх установлюють у нижніх вузлах стійок, біля кінців обв'язок, у місцях приєднання борта до суміжних елементів кузова та в зонах кріплення навісного обладнання. Форма накладок і косинок повинна забезпечувати плавну зміну жорсткості

конструкції. Різкі переходи перерізів або неправильне завершення зварних швів створюють концентратори напружень і можуть спричинити появу втомних тріщин під час тривалої експлуатації.

На зовнішній поверхні бічного борта встановлюють поручні, скоби, кронштейни, підніжки, ув'язувальні пристрої та деталі для нанесення маркування. Вони не формують основної силової схеми стіни, однак забезпечують безпечне обслуговування вагона, закріплення вантажу та виконання технологічних операцій. Навісні елементи переважно приєднують до стійок або спеціальних підсилювальних планок. Їх приварювання безпосередньо до ненавантажених ділянок тонкої обшивки небажане, оскільки може спричинити місцеве короблення листа та утворення тріщин біля зварних швів.

Основні конструктивні параметри бічного борта узагальнено в таблиці 1.2.
Таблиця 1.2 – Основні елементи та розміри бічного борта напіввагона 12-7019

Елемент конструкції	Кількість	Основний розмір або характеристика
Верхня поздовжня обв'язка	1	довжина близько 12 700 мм
Нижня поздовжня обв'язка	1	довжина близько 12 700 мм
Кутова стійка	2	висота близько 2050 мм
Проміжна вертикальна стійка	6	монтажна висота визначається відстанню між обв'язками
Міжстійкова панель	7	середній конструктивний модуль близько 1810 мм
Профільована листова обшивка	комплект	внутрішня робоча довжина стіни 12 690 мм

Під час експлуатації бічний борт зазнає дії розподіленого тиску сипкого вантажу, місцевих ударних навантажень при завантаженні, вібрацій, а також поздовжніх і поперечних сил, що виникають під час руху, гальмування та маневрових співударянь. Додаткове навантаження виникає під час розвантаження на вагоноперекидачі, коли змінюється напрям дії маси вантажу та частина зусиль передається через бічну стіну.

Навантаження від вантажу спочатку сприймається профільованою обшивкою, далі передається на кутові й проміжні стійки, а через верхню та нижню

обв'язки — на торцеві стіни й раму вагона. Така схема забезпечує спільну роботу всіх складових кузова.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення основних несучих елементів бічного борта напіввагона моделі 12-7019 застосовують низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С. Із неї виготовляють листову обшивку, вертикальні стійки, поздовжні обв'язки, підсилювальні накладки та інші деталі, що сприймають статичні, динамічні й місцеві ударні навантаження.

Сталь 09Г2С належить до конструкційних сталей підвищеної міцності, призначених для виготовлення відповідальних зварних конструкцій. Позначення марки характеризує її орієнтовний склад: вміст вуглецю становить близько 0,09 %, марганцю — до 2 %, кремнію — до 1 %. Невелика кількість вуглецю забезпечує задовільну пластичність і добру зварюваність, а марганець та кремній сприяють підвищенню міцності, твердості й опору крихкому руйнуванню.

Хімічний склад сталі 09Г2С відповідно до нормативних вимог наведено в таблиці 1.2 [7].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С [7]

Хімічний елемент	Позначення	Масова частка, %
Вуглець	C	не більше 0,12
Кремній	Si	0,50–0,80
Марганець	Mn	1,30–1,70
Фосфор	P	не більше 0,030
Сірка	S	не більше 0,035
Хром	Cr	не більше 0,30
Нікель	Ni	не більше 0,30
Мідь	Cu	не більше 0,30
Ванадій	V	не більше 0,12
Азот	N	не більше 0,012
Залізо	Fe	решта

Вуглець є основним елементом, який визначає міцність і зварюваність сталі. Зростання його вмісту підвищує твердість металу, але одночасно збільшує ймовірність утворення гартівних структур і холодних тріщин у зоні термічного

впливу. Для сталі 09Г2С масова частка вуглецю обмежена значенням 0,12 %, тому ризик надмірного зміцнення металу після зварювання є невисоким.

Марганець підвищує міцність, ударну в'язкість і прогартуваність сталі. Крім того, він зв'язує сірку в тугоплавкі сполуки, зменшуючи її негативний вплив на стійкість металу проти гарячих тріщин. Кремній виконує функцію розкиснювача та сприяє підвищенню границі текучості. Водночас його вміст обмежують, оскільки надлишок кремнію може знизити пластичність металу.

Сірка та фосфор належать до шкідливих домішок. Сірка сприяє утворенню легкоплавких міжкристалічних прошарків, що підвищують небезпеку виникнення гарячих тріщин. Фосфор знижує пластичність і ударну в'язкість сталі, особливо за від'ємних температур. Тому їх масова частка суворо обмежується нормативною документацією.

Механічні властивості сталі залежать не лише від її хімічного складу, а й від товщини прокату, класу міцності та стану постачання. Для деталей борта завтовшки до 10 мм застосовують прокат зі сталі 09Г2С класу міцності 345. Його основні механічні характеристики наведено в таблиці 1.3 [8].

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 09Г2С класу міцності 345

Показник	Позначення	Значення
Границя текучості, не менше	σ_T	345 МПа
Тимчасовий опір розриву, не менше	σ_B	480 МПа
Відносне видовження після розриву, не менше	δ_5	21 %
Ударна в'язкість КСУ за температури $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менше	КСУ ₋₄₀	39 Дж/см ²
Модуль пружності	E	$2,1 \cdot 10^5$ МПа
Коефіцієнт Пуассона	μ	0,30
Густина	ρ	7850 кг/м ³

Поєднання підвищеної границі текучості з достатньою пластичністю дає змогу використовувати тонші листові й профільні елементи без зниження несучої здатності конструкції. Це має важливе значення для вагонобудування, оскільки зменшення маси тари забезпечує можливість підвищення корисного навантаження вагона.

Достатня ударна в'язкість сталі 09Г2С за від'ємних температур забезпечує опір крихкому руйнуванню під час експлуатації рухомого складу в холодний період року. Така властивість особливо важлива для бічного борта, який зазнає ударів вантажу, вібрації та циклічних деформацій у широкому температурному діапазоні.

Зварюваність характеризує здатність матеріалу утворювати зварне з'єднання, властивості якого відповідають вимогам до основного металу й умовам експлуатації конструкції. Вона залежить від хімічного складу сталі, товщини деталей, жорсткості зварюваного вузла, погонної енергії процесу, швидкості охолодження, вмісту дифузійного водню та температури навколишнього середовища.

Одним із показників попереднього оцінювання зварюваності є вуглецевий еквівалент. Для низьколегованих конструкційних сталей його визначають за формулою Міжнародного інституту зварювання [9]:

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

$$= 0,09 + \frac{1,50}{6} + \frac{0,10 + 0,02 + 0,02}{5} + \frac{0,10 + 0,15}{15} = 0,385 \%$$

Одержане значення вуглецевого еквівалента менше 0,45 %, що свідчить про невисоку схильність сталі 09Г2С до утворення гартівних структур і холодних тріщин. За звичайних виробничих умов деталі борта невеликої товщини можна зварювати без попереднього підігрівання.

Остаточне значення вуглецевого еквівалента під час підготовки технологічної інструкції зварювання необхідно визначати за фактичним хімічним складом конкретної плавки, наведеним у сертифікаті якості прокату. Такий підхід враховує реальний вміст залишкових легувальних елементів і дає змогу точніше встановити необхідність попереднього підігрівання.

Утворення холодних тріщин можливе після охолодження зварного з'єднання під дією трьох основних чинників: наявності загартованої структури в зоні термічного впливу, підвищеного вмісту дифузійного водню та значних залишкових розтягувальних напружень. У конструкції борта небезпека їх виникнення може

зростати в місцях з'єднання стійок із нижньою обв'язкою, де спостерігається підвищена жорсткість закріплення деталей.

Для запобігання холодним тріщинам необхідно застосовувати сухі зварювальні матеріали, ретельно очищати кромки від вологи, іржі, мастила та інших забруднень, обмежувати надмірно високу швидкість охолодження і дотримуватися встановленої послідовності накладання швів. За зварювання при низькій температурі навколишнього середовища, підвищеній товщині деталей або значній жорсткості вузла допускається місцеве підігрівання зони з'єднання до 100–120 °С. Схильність сталі до утворення гарячих тріщин оцінюють за показником HCS [9]:

$$\begin{aligned} \text{HCS} &= \frac{C \cdot (S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100}) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \\ &= \frac{0,09 \cdot (0,025 + 0,025 + \frac{0,65}{25} + \frac{0,10}{100}) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,50 + 0,10 + 0,02 + 0,02} = 1,49 \end{aligned}$$

Оскільки розраховане значення HCS менше 4, сталь 09Г2С характеризується низькою схильністю до утворення гарячих тріщин. Позитивний вплив на тріщиностійкість забезпечують низький вміст вуглецю, сірки та фосфору, а також достатня кількість марганцю.

Гарячі тріщини формуються переважно під час кристалізації металу шва за одночасної дії усадкових розтягувальних деформацій і легкоплавких міжкристалічних прошарків. Небезпека їх виникнення зростає при надмірному проплавленні, несприятливій формі шва, великому відношенні його глибини до ширини та неправильному виборі присадного матеріалу.

Для забезпечення стійкості зварних з'єднань борта проти гарячого розтріскування необхідно дотримуватися раціонального тепловкладення, не допускати формування вузьких і глибоких швів, застосовувати зварювальний дріт із контрольованим вмістом сірки та фосфору й забезпечувати рівномірну послідовність виконання протяжних з'єднань.

Проведене оцінювання показало, що сталь 09Г2С має добру технологічну зварюваність. За умови правильно підібраних зварювальних матеріалів,

стабільного захисту зони дуги, очищення поверхонь і дотримання рекомендованого тепловкладення з'єднання можна виконувати механізованим та автоматизованим дуговим зварюванням без погіршення властивостей основного металу.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Бічний борт напіввагона моделі 12-7019 належить до відповідальних несучих елементів кузова, тому його виготовлення здійснюють відповідно до робочих креслень, специфікації матеріалів, затвердженого технологічного процесу та нормативних вимог до зварювання залізничного рухомого складу. На всіх етапах виробництва забезпечують точність взаємного розташування деталей, необхідну геометрію складальної одиниці, стабільну якість зварних з'єднань і належний протикорозійний захист.

Організація зварювального виробництва повинна відповідати вимогам серії EN 15085, яка регламентує виготовлення зварних елементів залізничних транспортних засобів, та ISO 3834, що встановлює вимоги до системи забезпечення якості зварювання плавленням [3-6]. Технологію зварювання оформлюють у вигляді специфікації процедури зварювання, у якій зазначають спосіб зварювання, тип з'єднання, основний і присадний матеріали, положення шва, послідовність виконання операцій та межі допустимих режимів.

Основні несучі деталі бічного борта — листову обшивку, верхню та нижню обв'язки, кутові й проміжні стійки, підсилювальні накладки, косинки та з'єднувальні планки — виготовляють із низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С. Заміна марки сталі допускається лише за погодженням із розробником конструкторської документації та за умови, що механічні властивості, зварюваність і холодостійкість матеріалу не нижчі від установлених для вихідної марки.

Кожна партія металопрокату повинна супроводжуватися сертифікатом якості, у якому наводять:

- марку сталі та номер плавки;
- хімічний склад матеріалу;

- механічні властивості прокату;
- клас міцності та стан постачання;
- номер партії;
- товщину й розміри прокату;
- результати передбачених випробувань.

До запуску металу у виробництво проводять вхідний контроль. Маркування на прокаті звіряють із даними сертифіката, після чого перевіряють товщину, прямолінійність, площинність і стан поверхні.

На листах і профілях не допускаються тріщини, розшарування, закати, полони, глибокі вм'ятини, значне корозійне пошкодження та інші дефекти, що знижують міцність деталей. Місцеві поверхневі пошкодження, усунення яких дозволене нормативною документацією, зачищають плавно, без різких заглиблень і без зменшення товщини прокату нижче значення, указанного в кресленні.

Метал зберігають на стелажах або спеціальних підкладках окремо за марками, товщинами й номерами партій. Умови зберігання повинні виключати забруднення поверхонь мастильними матеріалами, накопичення вологи та інтенсивне корозійне пошкодження.

Розміри листових і профільних заготовок повинні відповідати робочим кресленням. Розмічання та розкрій виконують з урахуванням технологічних припусків на механічне оброблення, формування гнутих профілів і компенсацію зварювальної усадки.

Листові деталі розкроюють механічним, плазмовим або лазерним способом. Обраний метод повинен забезпечувати необхідну точність контуру та якість поверхні різку. Після термічного різання з кромek видаляють шлак, окалину, грат, місцеві напливи та інші нерівності.

На поверхні термічного різку не допускаються тріщини, глибокі надрізи, розшарування, незачищені підпали та місцеве оплавлення кромek. Виявлені нерівності усувають механічним зачищенням із формуванням плавного переходу до основного металу.

Верхню й нижню обв'язки, вертикальні стійки та інші профільні елементи виготовляють холодним гнуттям. Після формування контролюють:

- форму та розміри поперечного перерізу;
- радіуси згину;
- паралельність полиць;
- прямолінійність деталі;
- відсутність поздовжнього скручування;
- стан поверхні в зоні згину.

На зігнутих деталях не допускаються тріщини, надриви, розшарування, складки та значне місцеве потоншення металу.

Листову обшивку профілюють відповідно до креслення. Гофри повинні мати однакову форму, глибину та напрямок по всій довжині панелей. Зміщення гофр у місцях стикування сусідніх заготовок не допускається, оскільки воно ускладнює складання і створює місцеві концентратори напружень.

Тип зварного з'єднання, форму підготовки кромки, кут їх розкриття, розмір притуплення та монтажний зазор визначають робочим кресленням і технологічною інструкцією. Під час виготовлення борта застосовують стикові, таврові, кутові та напусткові з'єднання.

Безпосередньо перед складанням кромки та прилеглі до них ділянки очищають від окалини, іржі, вологи, мастила, фарби, пилу й інших забруднень. Ширина очищеної зони повинна забезпечувати стабільне горіння дуги та надійний газовий захист металу зварювальної ванни.

Зварювання деталей із мокрими, обмерзлими або забрудненими кромками не допускається. Після очищення поверхні повинні мати металевий блиск і не містити речовин, які спричиняють утворення пор, шлакових включень або непроварів.

Якість підготовки кромки перевіряють візуально та за допомогою вимірювального інструменту. Особливу увагу приділяють відсутності розшарувань у торцях листів, оскільки такі дефекти можуть розкриватися під дією термічного циклу зварювання.

Складання бічного борта виконують у спеціалізованому складально-зварювальному пристосуванні. Конструкція стенда повинна забезпечувати точне базування нижньої та верхньої обв'язок, установлення стійок відповідно до заданих координат, притискання листової обшивки та збереження геометрії виробу під час прихвачування і зварювання.

Базовим елементом під час складання є нижня обв'язка. Її встановлюють на опорні поверхні стенда, притискають до поздовжніх і торцевих упорів та контролюють прямолінійність.

Після закріплення нижньої обв'язки послідовно встановлюють кутові й проміжні стійки. Під час їх монтажу контролюють:

- координати розташування відносно торця борта;
- крок між осями суміжних стійок;
- перпендикулярність до нижньої обв'язки;
- паралельність стійок між собою;
- щільність прилягання до опорних поверхонь;
- відсутність перекосу та скручування профілів.

Листи обшивки встановлюють після перевірки положення елементів каркаса. Обшивка повинна рівномірно прилягати до стійок і обв'язок. Не допускається примусове підтягування листів із прикладанням надмірного зусилля, яке створює значні пружні напруження у складеній конструкції.

Верхню обв'язку встановлюють після остаточного вирівнювання стійок і панелей обшивки. Вона повинна прилягати до верхніх торців стійок без місцевих зазорів, прогинів і скручування.

Перед виконанням прихваток перевіряють:

- загальну довжину та висоту борта;
- різницю довжин діагоналей;
- прямолінійність верхньої і нижньої обв'язок;
- положення кутових та проміжних стійок;
- площинність листової обшивки;
- суміщення горизонтальних гофр;

- величину монтажних зазорів;
- зміщення кромки стикових з'єднань;
- положення накладок, косинок і кронштейнів.

Значення допустимих відхилень установлюють складальним кресленням. Для розмірів, на які індивідуальні допуски не зазначені, застосовують загальні допуски для зварних конструкцій відповідно до класу точності, встановленого в технічній документації [10-13].

Після перевірки геометрії деталі закріплюють складальними прихватками. Для їх виконання застосовують той самий зварювальний матеріал, що й для основних швів, або матеріал, сумісність якого підтверджена технологічною документацією.

Розміри й крок прихваток установлюють залежно від товщини деталей, довжини з'єднання та жорсткості вузла. Прихватки повинні надійно утримувати елементи в заданому положенні, але не створювати надмірної концентрації тепла та додаткових деформацій.

Не допускається виконувати прихватки в місцях різкої зміни перерізу, безпосередньо на кінцях відповідальних швів і в зонах найбільшої концентрації напружень, якщо інше не передбачено кресленням.

Перед накладанням основного шва прихватки оглядають. Прихватки з тріщинами, порами, непроварами, підрізами або шлаковими включеннями повністю видаляють. Якісні прихватки зачищають у початковій і кінцевій частинах та переплавляють основним швом.

Зварювальний дріт і захисний газ вибирають відповідно до марки основного металу, способу зварювання та необхідних механічних властивостей з'єднання. Зварювальні матеріали повинні мати сертифікати якості та зберігатися в умовах, встановлених виробником.

Поверхня дроту повинна бути чистою, без іржі, вологи, мастила та механічних пошкоджень. Касети або котушки з дротом зберігають у сухому приміщенні та подають на робоче місце в закритій упаковці.

Склад і чистота захисного газу повинні відповідати технології зварювання. Газові магістралі, редуктори, витратоміри та шланги перевіряють на справність і герметичність. Подавання газу має залишатися стабільним протягом усього періоду формування шва.

Зварювання борта виконують за затвердженою специфікацією процедури зварювання. Технологія повинна бути кваліфікована випробуванням і підтверджувати можливість отримання з'єднань із необхідними механічними властивостями.

У технологічній документації зазначають:

- спосіб зварювання;
- марку та діаметр електродного дроту;
- склад захисного газу;
- силу зварювального струму;
- напругу дуги;
- швидкість подавання дроту;
- швидкість зварювання;
- виліт електродного дроту;
- витрату захисного газу;
- просторове положення шва;
- кількість проходів;
- послідовність накладання швів;
- допустиму температуру металу перед зварюванням і між проходами.

Установлені режими повинні забезпечувати стабільне проплавлення основного металу, задані геометричні розміри шва та плавне сполучення його поверхні з прилеглими ділянками деталей.

Збільшення катета кутового шва понад значення, установлене кресленням, не допускається. Надмірний переріз шва збільшує витрату зварювальних матеріалів, тепловкладення та залишкові деформації, не забезпечуючи пропорційного підвищення міцності з'єднання.

Для обмеження короблення борта шви виконують у технологічно обґрунтованій послідовності. Протяжні з'єднання поділяють на окремі ділянки та зварюють по чергово від середини конструкції до її країв. Шви на симетрично розташованих елементах виконують із чергуванням сторін, не допускаючи тривалого нагрівання лише однієї частини борта.

Зварювання починають із більш жорстких вузлів каркаса, після чого переходять до з'єднання обшивки зі стійками й обв'язками. Такий порядок зменшує накопичення кутових і поздовжніх деформацій.

У місцях зупинки процесу кінцеву частину шва зачищають і формують плавний перехід для наступного проходу. Кратери наприкінці шва повністю заплавляють.

Зварювання під час протягів, атмосферних опадів або в умовах, за яких порушується газовий захист зварювальної ванни, не допускається. Температура основного металу та навколишнього середовища повинна відповідати вимогам затвердженої технології.

Зварні шви повинні відповідати формі, розмірам і розташуванню, указаним на кресленні. Поверхня шва має бути рівномірною, з плавним переходом до основного металу.

У зварних з'єднаннях не допускаються:

- тріщини будь-якого виду та протяжності;
- непровари, величина яких перевищує допустимий рівень;
- незаплавлені кратери;
- пропали;
- грубі підрізи;
- напливи металу;
- поверхневі пори та шлакові включення понад установлені межі;
- різкі нерівності профілю шва;
- зміщення кромок понад допуск;
- відхилення катета або товщини шва від креслення.

Допустимі види, кількість і розміри окремих недосконалостей установлюють залежно від класу відповідальності з'єднання та заданого рівня якості. Рівень якості повинен бути зазначений у конструкторській або технологічній документації [8].

Після зварювання з поверхні борта видаляють бризки металу, шлак, окалину та залишки тимчасових технологічних елементів. Місця їх видалення зачищають без утворення підрізів і надмірного зменшення товщини основного металу.

Контроль якості борта здійснюють на всіх етапах виробничого процесу. Він охоплює вхідний контроль матеріалів, операційний контроль під час виготовлення та приймальний контроль завершеної складальної одиниці.

Усі зварні з'єднання готового борта піддають суцільному візуальному та вимірювальному контролю. Перевіряють зовнішній вигляд швів, їх ширину, висоту підсилення, катет, плавність переходу до основного металу та відсутність видимих дефектів.

Для контролю поверхневих і підповерхневих тріщин у найбільш навантажених вузлах застосовують магнітопорошковий метод. Насамперед перевіряють місця з'єднання вертикальних стійок із нижньою обв'язкою, кінцеві ділянки протяжних швів і зони різкої зміни жорсткості конструкції.

Ультразвуковий контроль застосовують для стикових з'єднань із повним проплавленням, якщо товщина та геометрія деталей забезпечують достовірність його результатів. Для тонколистових кутових і напусткових з'єднань основними методами є візуально-вимірювальний і магнітопорошковий контроль.

Вибір методу, обсяг контролю, рівень чутливості та критерії приймання встановлюють у технологічній карті контролю відповідно до відповідальності конкретного з'єднання.

Ділянки, які не відповідають установленому рівню якості, підлягають виправленню за затвердженою технологією ремонту. Вид і межі дефекту визначають за результатами неруйнівного контролю.

Дефектний метал видаляють механічним способом або повітряно-дуговим струганням до повного розкриття несучільності. Порожнина після видалення

дефекту повинна мати плавну форму, достатню ширину та доступність для повторного зварювання.

Перед заварюванням відремонтовану ділянку очищають і перевіряють на відсутність залишкових тріщин. Повторне зварювання виконують за режимами, установленими ремонтною технологічною інструкцією.

Після виправлення ділянку повторно контролюють тим самим методом, яким було виявлено початковий дефект. Багаторазове повторне заварювання одного місця без установлення причин появи дефекту не допускається.

Після завершення зварювання конструкцію звільняють від затискачів складального пристосування та витримують до вирівнювання температури по всьому виробу. Остаточний контроль геометрії виконують після охолодження борта до температури виробничого приміщення.

Готовий борт повинен установлюватися на раму без додаткового підрізання деталей, насильного стягування, значного підігрівання або зміни положення приєднувальних елементів.

Залишкові деформації, що перевищують установлені допуски, виправляють за затвердженою технологією. Правлення не повинно спричиняти утворення тріщин, різких вм'ятин, місцевого потоншення або погіршення властивостей металу.

Підготовку поверхні до фарбування виконують лише після завершення зварювання, усунення виявлених дефектів, остаточного контролю геометрії та приймання борта відділом технічного контролю.

Перед очищенням із поверхні видаляють бризки металу, шлак, гострі виступи, залишки тимчасових кріплень, мастило та інші забруднення. Зварні шви, кромки, отвори й місця приєднання допоміжних деталей обробляють так, щоб вони не мали гострих країв і дефектів, які перешкоджають рівномірному нанесенню покриття.

Сталеву поверхню піддають струменево-абразивному очищенню. Для прийнятої системи захисту встановлюють ступінь очищення S_a 2½. Після

оброблення поверхня не повинна містити видимої окалини, іржі, старого покриття, мастила та інших сторонніх речовин.

Пил після абразивного очищення повністю видаляють. Ґрунтування виконують безпосередньо після підготовки поверхні, не допускаючи появи вторинної корозії.

Систему лакофарбового покриття вибирають з урахуванням корозійної агресивності середовища, необхідної довговічності захисту та умов експлуатації напіввагона. Тип ґрунту, проміжного і фінішного шару, кількість шарів та загальну товщину сухого покриття встановлюють технологією фарбування.

Бічний борт передають на загальне складання кузова після підтвердження відповідності:

- марки та якості основного металу;
- розмірів і форми деталей;
- геометрії складальної одиниці;
- розташування стійок, обв'язок та обшивки;
- якості зварних з'єднань;
- результатів неруйнівного контролю;
- стану захисного покриття;
- вимог конструкторської і технологічної документації.

Результати контролю фіксують у виробничій документації. На прийнятий виріб наносять установлене маркування, яке забезпечує його ідентифікацію та простежуваність під час подальшого складання й експлуатації.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу

Базовий технологічний процес виготовлення бічного борта напіввагона моделі 12-7019 охоплює підготовку листових і профільних заготовок, складання та зварювання каркаса, установлення обшивки, виконання завершальних зварювальних операцій, очищення, контроль геометричних параметрів і приймання готового виробу. Характерною особливістю цього процесу є поділ виготовлення

борта на два основні етапи: спочатку окремо складають і зварюють несучий каркас, після чого до нього приєднують профільовану листову обшивку.

За рівнем технічного оснащення базовий процес належить до частково механізованих. Підготовлення заготовок виконують на спеціалізованому металообробному обладнанні, зварювання здійснюють механізованим способом, однак установа, базування, притискання, перевертання та міжопераційне переміщення великогабаритного борта значною мірою залежать від ручної праці та застосування цехових вантажопідіймальних засобів.

Виготовлення деталей борта починають із приймання та добору металопрокату. Листи й профілі підбирають відповідно до марки сталі, товщини, форми поперечного перерізу та розмірів, наведених у специфікації. Для несучих елементів конструкції застосовують низьколеговану сталь 09Г2С.

Перед передаванням металу на розкрій проводять його вхідний контроль. Перевіряють сертифікати якості, маркування, товщину прокату, стан поверхні, наявність корозії, розшарувань, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень. Прокат, який не відповідає технічним вимогам, у виробництво не передають.

Листовий метал піддають правленню для усунення хвилястості, місцевих прогинів і деформацій, що виникли під час прокатування, транспортування або зберігання. Якість правлення має важливе значення, оскільки нерівність листів ускладнює їх укладання на складальному стенді, спричиняє нерівномірні зазори та потребує прикладання значних зусиль притискання.

Після правлення виконують розмічання заготовок. У базовому процесі контури деталей і положення технологічних отворів наносять за шаблонами, рулетками та розмічальним інструментом. Точність цієї операції залежить від кваліфікації виконавця, стану шаблонів і правильності встановлення базових ліній.

Розкроювання листів здійснюють механічним або термічним способом. Прямолінійні заготовки отримують на гільйотинних ножицях, а деталі зі складним контуром вирізають плазмовим різанням. Після термічного різання з кромek видаляють шлак, окалину, грат і місцеві напливи металу.

Профілі вертикальних стійок та обв'язок формують на листозгинальному обладнанні. Листи обшивки піддають профілюванню з утворенням поздовжніх горизонтальних гофр, які забезпечують необхідну жорсткість панелей. Після гнуття контролюють форму поперечного перерізу, прямолінійність, паралельність полиць і відсутність скручування заготовок.

Завершальною операцією підготовки деталей є очищення ділянок майбутнього зварювання. Кромки та прилеглі поверхні очищають від іржі, окалини, вологи, мастила та інших забруднень, здатних спричинити утворення пор, включень і непроварів.

Підготовлені обв'язки, стійки, панелі обшивки, накладки та інші деталі комплектують відповідно до складального креслення. Заготовки переміщують до місця складання за допомогою кран-балки, мостового крана або цехового транспортного візка.

Через значну довжину верхньої та нижньої обв'язок їх стропування виконують у декількох точках. Неправильне розміщення стропів може спричинити прогин або залишкове деформування тонкостінного профілю. Для листів обшивки використовують траверси, захвати або магнітні вантажопідіймальні пристрої.

У базовому процесі деталі доставляють до складального стенда окремими партіями. Це збільшує кількість вантажопідіймальних операцій і потребує додаткового контролю комплектності перед початком складання.

Каркас бічного борта складають на стаціонарному горизонтальному стенді. Першою на опорну поверхню встановлюють нижню поздовжню обв'язку, яку суміщають із базовими упорами та закріплюють механічними затискачами.

Після базування нижньої обв'язки послідовно встановлюють кутові та проміжні вертикальні стійки. Їх положення визначають за розміткою на поверхні стенда, знімними упорами або шаблонами. Кожну стійку тимчасово утримують гвинтовими струбцинами.

Далі встановлюють верхню обв'язку, підсилювальні накладки, косинки та інші елементи каркаса. Коригування положення деталей виконують вручну за допомогою монтажних ломиків, клинів, струбцин і переносних притискних

пристроїв. Після досягнення необхідної геометрії елементи з'єднують складальними прихватками.

Прихватки накладають у послідовності, яка повинна запобігати зміщенню деталей і перекосу каркаса. Після їх виконання частину струбцин знімають, а геометрію складальної одиниці перевіряють повторно.

Зварювання каркаса в базовому технологічному процесі виконують напівавтоматичним дуговим способом плавким електродом у середовищі вуглекислого газу. За міжнародною класифікацією цей процес належить до механізованого MAG-зварювання суцільним дротом.

Зварник вручну переміщує пальник уздовж з'єднання, тоді як подавання електродного дроту та захисного газу здійснюється автоматично. Зварювання виконують безпосередньо на складальному стенді у нижньому та горизонтальному положеннях.

Спочатку зварюють найбільш жорсткі вузли каркаса: з'єднання кутових і проміжних стійок із нижньою обв'язкою, після чого переходять до верхніх вузлів і підсилювальних деталей. Шви виконують окремими ділянками з чергуванням місць нагрівання.

Після зварювання доступних з одного боку з'єднань каркас звільняють від затискачів і знімають зі стенда. За допомогою кран-балки його перевертають, повторно встановлюють на опори та зварюють шви, недоступні в початковому положенні.

Після завершення зварювання поверхню очищають від бризок металу, окалини й залишків прихваток. Зварні з'єднання піддають візуальному та вимірному контролю, а також перевіряють загальні розміри каркаса.

Зварений каркас переміщують на окрему позицію складання бічного борта. Профільовані листи обшивки укладають на опорну поверхню стенда внутрішньою стороною донизу. Під час укладання суміщають їхні поздовжні й поперечні кромки, а також забезпечують співвісність горизонтальних гофр.

Листи тимчасово фіксують від зміщення, після чого на них за допомогою кран-балки встановлюють зварений каркас. Положення каркаса відносно обшивки визначають за торцевими та боковими упорами.

Обшивку притискають до стійок та обв'язок гвинтовими струбцинами. Кількість і розташування притискачів обирає складальник залежно від місцевих зазорів та жорсткості листа. На ділянках недостатнього прилягання застосовують додаткові переносні притиски.

Після вирівнювання деталей виконують прихватки, які з'єднують листи обшивки з каркасом. Перед основним зварюванням перевіряють положення стиків, величину зазорів, суміщення гофрів і площинність поверхні борта.

У базовому процесі обшивку приварюють до каркаса напівавтоматичним MAG-зварюванням у середовищі вуглекислого газу. Спочатку виконують поздовжні шви, які з'єднують обшивку з верхньою та нижньою обв'язками. Після цього накладають поперечні або вертикальні шви в місцях прилягання листів до проміжних і кутових стійок.

Переміщення пальника вздовж усіх з'єднань виконує зварник. Стабільність швидкості зварювання, кута нахилу пальника та відстані від контактного наконечника до виробу залежить від його кваліфікації та фізичного стану.

Після завершення доступних швів борт звільняють від струбцин і підіймають кран-балкою. Виріб перевертають та повторно встановлюють на робочу позицію для виконання швів із протилежного боку.

Після остаточного зварювання видаляють бризки металу, зачищають місця початку і завершення швів та усувають залишки тимчасових технологічних кріплень.

Готовий борт піддають візуальному та вимірювальному контролю. Перевіряють форму й розміри зварних швів, плавність їх переходу до основного металу, відсутність тріщин, пропалів, незаплавлених кратерів, значних підрізів, напливів і поверхневих пор.

Після приймання відділом технічного контролю борт передають на загальне складання кузова або на дільницю підготовки поверхні та фарбування.

До позитивних сторін базового процесу належить його відносна технологічна простота. Для виконання операцій застосовують універсальне обладнання, яке не потребує складного програмування та може використовуватися для виготовлення різних типорозмірів зварних конструкцій.

Напівавтоматичне MAG-зварювання забезпечує вищу продуктивність порівняно з ручним дуговим зварюванням покритими електродами. Безперервне подавання дроту зменшує кількість зупинок процесу та дає змогу виконувати протяжні кутові шви борта.

Застосування вуглекислого газу як захисного середовища характеризується порівняно невеликою вартістю та забезпечує достатню глибину проплавлення низьколегованої сталі. Процес є добре освоєним у вагонобудівному виробництві й не потребує складної підготовки обслуговувального персоналу.

Окреме складання каркаса дозволяє проконтролювати його геометрію до встановлення листової обшивки. Виявлені відхилення можна частково усунути до завершального складання борта.

Незважаючи на можливість отримання працездатної конструкції, базовий технологічний процес має низку недоліків, які знижують продуктивність і стабільність якості виробу.

Основним недоліком є значний обсяг ручних складальних операцій. Установлення стійок, вирівнювання деталей, регулювання зазорів та притискання обшивки здійснюють за допомогою гвинтових струбцин. Установлення й затягування кожної струбцини потребує часу, а величина створюваного зусилля залежить від працівника.

Нерівномірне притискання обшивки до каркаса призводить до зміни монтажних зазорів уздовж з'єднання. Унаслідок цього змінюються умови формування шва, виникає необхідність коригування режиму та збільшується ймовірність пропалів, непроварів і місцевого короблення листа.

Базовий процес передбачає окреме виготовлення каркаса та його подальше встановлення на обшивку. Через це збільшується кількість транспортних, установлювальних і контрольних операцій. Похибки, які виникли під час

виготовлення каркаса, накопичуються та впливають на точність остаточного складання.

Перевертання каркаса і готового борта за допомогою кран-балки є тривалою допоміжною операцією. Вона потребує участі стропальника, зупинки основних робіт і звільнення робочої зони. Під час кантування існує небезпека пошкодження тонколистової обшивки, появи залишкових прогинів і зміщення недостатньо жорстко закріплених деталей.

Суттєвим недоліком є залежність якості швів від кваліфікації та фізичного стану зварника. Під час виконання протяжних з'єднань складно постійно підтримувати однакову швидкість переміщення пальника, виліт дроту та кут його нахилу. Це спричиняє коливання ширини, висоти й глибини проплавлення шва.

Застосування чистого вуглекислого газу супроводжується підвищенням розбризкуванням електродного металу. Бризки осідають на обшивці та профілях каркаса, що потребує додаткового механічного очищення поверхні перед контролем і фарбуванням.

Виконання спочатку всіх поздовжніх, а потім усіх поперечних швів створює нерівномірне тепловкладення. Тривалий нагрів однієї зони може спричинити поздовжнє скорочення обв'язок, хвилястість обшивки та відхилення верхнього пояса від прямолінійності.

У базовому процесі відсутнє автоматичне стеження за положенням з'єднання. Зварник самостійно компенсує відхилення траєкторії шва та зміну зазорів, що ускладнює забезпечення стабільної якості при значній довжині борта.

Недостатньо розвинена система реєстрації параметрів зварювання. Фактичні значення струму, напруги, швидкості подавання дроту та витрати газу не фіксуються автоматично для кожного шва. Це ускладнює аналіз причин дефектів і простежуваність виготовлення виробу.

Контроль у базовому процесі зосереджений переважно після завершення зварювання. Виявлення значних відхилень геометрії на завершальному етапі потребує трудомісткого правлення, а інколи — видалення та повторного виконання частини швів.

Проведений аналіз показує, що базовий технологічний процес забезпечує можливість виготовлення бічного борта встановленої конструкції, однак має підвищену трудомісткість, значну тривалість допоміжних операцій та недостатню повторюваність результатів.

Основними напрямками його вдосконалення є:

- об'єднання складання каркаса й обшивки на одному спеціалізованому стенді;
- заміна гвинтових струбцин швидкодійними пневматичними або гідравлічними притискачами;
- застосування стаціонарного механізованого кантувача замість кранового перевертання;
- використання роботизованого або порталного комплексу для виконання протяжних швів;
- застосування газової суміші групи M21 замість чистого вуглекислого газу;
- упровадження систем стеження за стиком і автоматичного коригування траєкторії пальника;
- розроблення симетричної зворотно-ступінчастої послідовності накладання швів;
- автоматичне реєстрування основних параметрів зварювання.

Реалізація зазначених заходів дасть змогу скоротити тривалість виробничого циклу, зменшити трудомісткість складальних і транспортних операцій, обмежити залишкові деформації та підвищити стабільність якості зварних з'єднань бічного борта напіввагона моделі 12-7019.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Бічний борт напіввагона моделі 12-7019 є великогабаритною зварною конструкцією каркасно-панельного типу. До його складу входять верхня і нижня поздовжні обв'язки, кутові та проміжні стійки, профільована листова обшивка, підсилювальні накладки, косинки, кронштейни й допоміжні деталі. З'єднання цих елементів утворюють значну кількість швів різної довжини та просторової орієнтації.

Основний обсяг зварювання припадає на протяжні прямолінійні шви, якими листову обшивку приєднують до верхньої і нижньої обв'язок та вертикальних стійок. Водночас у конструкції наявні короткі шви підсилювальних накладок, косинок, кронштейнів і допоміжних деталей, виконання яких автоматичним обладнанням ускладнене або технологічно недоцільне.

Під час виготовлення борта застосовують стикові, таврові, кутові та напусткові з'єднання. Тип з'єднання визначається взаємним положенням деталей, їх товщиною та характером навантаження, яке сприймає відповідний вузол. Основні з'єднання конструкції наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні типи зварних з'єднань бічного борта

Тип з'єднання	Місце застосування	Виконання шва
Стикове	З'єднання окремих листів або секцій обшивки	Одnobічний або двобічний шов
Таврове	Приєднання вертикальних стійок до обв'язок	Двobічні або одnobічні кутові шви
Напусткове	Приєднання обшивки до каркаса, встановлення накладок	Суцільні або переривчасті кутові шви
Кутове	З'єднання елементів гнутих профілів та обв'язок	Кутовий шов заданого катета

Для тонколистових деталей стикові з'єднання переважно виконують без спеціального розроблення кромки із нормованим монтажним зазором. За збільшення товщини металу або необхідності забезпечення повного проплавлення застосовують одnobічне чи двобічне розчищення. Форму кромки, величину

притуплення, монтажний зазор, катет і довжину зварних швів визначають робочим кресленням та специфікацією процедури зварювання.

Для визначення доцільної технології розглянемо ручне дугове зварювання покритими електродами, автоматичне під флюсом та у захисному газі.

Ручне дугове зварювання покритими електродами характеризується універсальністю та можливістю виконання робіт у важкодоступних місцях. Проте процес має невисоку продуктивність, потребує періодичної заміни електродів та видалення шлакової кірки після кожного проходу. Якість протяжних швів значною мірою залежить від кваліфікації зварника, тому ручне дугове зварювання недоцільно використовувати як основний спосіб виготовлення борта [14].

Автоматичне зварювання під флюсом забезпечує високу продуктивність і значну глибину проплавлення. Однак підвищене тепловкладення створює небезпеку пропалювання тонколистової обшивки та збільшення залишкових деформацій. Шар флюсу ускладнює візуальне спостереження за положенням електрода відносно з'єднання, а після зварювання необхідно видаляти шлак і залишки флюсу. Крім того, цей спосіб придатний переважно для швів у нижньому положенні.

Найповніше конструктивним і технологічним особливостям борта відповідає дугове зварювання плавким електродом у захисному газі. Цей процес характеризується безперервним подаванням електродного дроту, відсутністю шлакової кірки, можливістю точного регулювання тепловкладення та придатністю до механізації й автоматизації [14].

Для виготовлення борта оберемо два варіанти реалізації процесу MIG/MAG:

- I. напіваавтоматичне MIG/MAG-зварювання;
- II. автоматичне MIG/MAG-зварювання.

Оскільки як захисне середовище використовується суміш аргону з вуглекислим газом, тобто газ із хімічно активною складовою, обидва варіанти відповідно до технічної класифікації належать до MAG-зварювання суцільним дротом — процесу 135.

Під час напіваавтоматичного зварювання подавання електродного дроту та захисного газу відбувається автоматично, а переміщення пальника вздовж з'єднання виконує зварник.

Напіваавтоматичний спосіб забезпечує необхідну гнучкість технологічного процесу. Зварник може змінювати положення пальника відповідно до конфігурації вузла, компенсувати незначні відхилення складальних зазорів і виконувати шви на ділянках, недоступних для автоматичної головки.

Порівняно з ручним дуговим зварюванням процес не потребує періодичної заміни електродів і видалення шлаку. Безперервне подавання дроту скорочує кількість зупинок, а візуальний доступ до зварювальної ванни полегшує контроль формування шва.

Разом із тим стабільність швидкості переміщення пальника, кута його нахилу та вильоту електродного дроту залежить від кваліфікації зварника. Тому напіваавтоматичне зварювання доцільно використовувати переважно для коротких, криволінійних і важкодоступних з'єднань, автоматизація яких не забезпечує достатнього технологічного ефекту.

Під час автоматичного зварювання подавання дроту, захисного газу та переміщення пальника вздовж заданої траєкторії здійснюються автоматично. Функції оператора полягають у встановленні програми, контролі положення виробу, запуску циклу та спостереженні за роботою обладнання.

Автоматичне MIG/MAG-зварювання застосовують для виконання:

- протяжних швів з'єднання обшивки з верхньою обв'язкою;
- протяжних швів з'єднання обшивки з нижньою обв'язкою;
- швів приєднання профільованої обшивки до проміжних стійок;
- стикових швів окремих секцій обшивки;
- повторюваних прямолінійних швів однакової конфігурації.

Для автоматичного виконання швів використовують порталну установку або роботизований комплекс, зварювальний пальник якого переміщується відносно нерухомо закріпленого борта. Траєкторія руху задається програмою, а положення з'єднання контролюється системою стеження за стиком.

Автоматичне зварювання забезпечує стабільні швидкість переміщення пальника, виліт електродного дроту, кут нахилу та відстань до поверхні виробу. Унаслідок цього зменшуються коливання ширини, катета і глибини проплавлення шва.

Автоматичний процес висуває підвищені вимоги до точності складання борта. Значна зміна зазору, зміщення кромки або відхилення фактичної траєкторії шва від запрограмованої може порушити стабільність формування з'єднання. Тому автоматичне зварювання поєднують із застосуванням спеціалізованого складального стенда, швидкодійних притискачів і системи стеження за стиком.

Розподіл зварних з'єднань між напіваавтоматичним та автоматичним способами наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розподіл зварних з'єднань борта за способом виконання

<i>Зварне з'єднання</i>	<i>Спосіб виконання</i>	<i>Обґрунтування</i>
Складальні прихватки	Напіваавтоматичне MIG/MAG	Необхідність оперативного закріплення деталей
Кутові стійки з обв'язками	Напіваавтоматичне MIG/MAG	Складна конфігурація і обмежений доступ
Проміжні стійки з обв'язками	Напіваавтоматичне MIG/MAG	Невелика довжина окремих ділянок
Підсилювальні накладки й косинки	Напіваавтоматичне MIG/MAG	Короткі шви різної орієнтації
Обшивка з верхньою обв'язкою	Автоматичне MIG/MAG	Протяжний прямолінійний шов
Обшивка з нижньою обв'язкою	Автоматичне MIG/MAG	Протяжний прямолінійний шов
Обшивка з проміжними стійками	Автоматичне MIG/MAG	Повторювані шви однакової конфігурації

Напіваавтоматичний і автоматичний варіанти не замінюють, а взаємно доповнюють один одного. Напіваавтоматичне зварювання забезпечує гнучкість під час виконання коротких та складно розташованих швів, тоді як автоматичне використовується для основного обсягу протяжних повторюваних з'єднань.

Для обох варіантів MIG/MAG-зварювання доцільно застосовувати однаковий суцільний електродний дріт. Це спрощує організацію виробництва, зменшує номенклатуру зварювальних матеріалів і виключає необхідність переналагодження обладнання при переході між операціями.

Для зварювання сталі 09Г2С обрано дріт ESAB Purus 42, який належить до класу G3Si1 за EN ISO 14341-A та ER70S-6 за AWS A5.18. За хімічним складом і технологічним призначенням він є сучасним аналогом дроту Св-08Г2С. Дріт легований марганцем і кремнієм. Ці елементи забезпечують розкиснення зварювальної ванни, знижують імовірність утворення пор і сприяють формуванню щільного металу шва. Типовий хімічний склад дроту наведено в таблиці 2.3. [15-18]

Таблиця 2.3 – Типовий хімічний склад дроту ESAB Purus 42 [18]

Хімічний елемент	C	Mn	Si
Масова частка, %	0,08	1,45	0,85

Для напівавтоматичного й автоматичного зварювання застосовують постійний струм зворотної полярності: електродний дріт під'єднують до позитивного полюса джерела живлення, а виріб — до негативного.

Для обох варіантів процесу обрано двокомпонентну газову суміш групи M21-ArC-18, яка складається з 82 % аргону та 18 % вуглекислого газу.

Аргон стабілізує горіння дуги та сприяє плавному перенесенню електродного металу. Вуглекислий газ забезпечує необхідну активність газового середовища та достатнє проплавлення кромок низьколегованої сталі.

Порівняно із чистим CO₂ суміш M21 забезпечує:

- стабільніше горіння дуги;
- меншу інтенсивність розбризкування;
- рівномірніше формування поверхні шва;
- плавніший перехід до основного металу;
- зменшення трудомісткості очищення;
- кращі умови для автоматичного стеження за процесом;
- підвищення стабільності роботизованого зварювання.

Зменшення кількості бризок має особливе значення під час виготовлення борта, оскільки його поверхня має значну площу і перед нанесенням лакофарбового покриття потребує ретельного очищення.

Для виготовлення бічного борта напіввагона моделі 12-7019 обрано два взаємопов'язані варіанти MIG/MAG-зварювання суцільним дротом.

Поєднання напівавтоматичного та автоматичного MIG/MAG-зварювання дає змогу раціонально розподілити операції залежно від довжини, конфігурації та доступності з'єднань. Автоматичний процес забезпечує продуктивне й стабільне виконання основного обсягу протяжних швів, а напівавтоматичний — технологічну гнучкість під час зварювання складних і допоміжних вузлів.

Для забезпечення необхідної міцності та стабільної геометрії зварних з'єднань бічного борта напіввагона моделі 12-7019 виконуємо розрахунок режимів для характерних типів швів. Розрахунок проводимо для напівавтоматичного й автоматичного MAG-зварювання суцільним дротом у суміші M21 відповідно до літератури [9].

Площа поперечного перерізу електродного дроту становить:

$$F_d = \frac{\pi \cdot d^2_d}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,131 \text{ мм}^2$$

Площа металу, що фактично наплавляється за одиницю довжини шва, визначається з умови балансу подавання дроту:

$$F_n = \frac{\eta_d \cdot F_d \cdot V_{п.д}}{V_{зв}}$$

де $V_{п.д}$ — швидкість подавання дроту, мм/хв; $V_{зв}$ — швидкість зварювання, мм/хв.

Погонну енергію визначаємо за формулою:

$$q_n = \frac{60 \cdot U \cdot I \cdot \eta}{1000 \cdot V_{зв}}$$

де I — сила струму, А; U — напруга дуги, В; $V_{зв}$ — швидкість зварювання, мм/хв.

Орієнтовну витрату захисної суміші для дроту діаметром 1,2 мм визначаємо за практичною залежністю:

$$Q = 5 + 0,05 \cdot I, \text{ л/хв}$$

Розрахунок стикового з'єднання С17. Стикове з'єднання С17 утворюється деталями завтовшки 8 мм. Приймаємо однобічне V-подібне розроблення з кутом розкриття 40° , зазором $b = 2$ мм, притупленням $c = 2$ мм, шириною підсилення $e =$

10 мм і висотою підсилення $g = 2$ мм. Зварювання виконуємо за два проходи: кореневий та заповнювальний.

Висота розробленої частини кромок:

$$h = s - c = 8 - 2 = 6 \text{ мм}$$

Ширина розробленняу верхній частині:

$$B = b + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) = 2 + 2 \cdot 6 \cdot \operatorname{tg}20^\circ = 6,37 \text{ мм}$$

Площа металу в розчищенні кромок:

$$F_p = \frac{(b + B) \cdot h}{2} = \frac{(2 + 6,37) \cdot 6}{2} = 25,11 \text{ мм}^2$$

Площу підсилення шва наближено визначаємо як площу параболічного сегмента:

$$F_{\text{підс}} = \frac{2 \cdot e \cdot g}{3} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 2}{3} = 13,33 \text{ мм}^2$$

Загальна площа наплавленого металу:

$$F_{C17} = F_p + F_{\text{підс}} = 25,11 + 13,33 = 38,44 \text{ мм}^2$$

Для кореневого проходу приймаємо швидкість подавання дроту 6,5 м/хв та швидкість зварювання 21 м/год, або 350 мм/хв. Розрахункова площа наплавлення становить:

$$F_{H1} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 6500}{350} = 19,32 \text{ мм}^2$$

Для заповнювального проходу приймаємо швидкість подавання дроту 7,5 м/хв і швидкість зварювання 24 м/год, або 400 мм/хв:

$$F_{H2} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 7500}{400} = 19,51 \text{ мм}^2$$

Сумарна площа двох проходів:

$$F_{H\Sigma} = 19,32 + 19,51 = 38,83 \text{ мм}^2$$

Отримане значення практично відповідає необхідній площі 38,44 мм². Розбіжність становить близько 1 %, тому прийняті швидкості забезпечують заповнення розроблення без надмірного підсилення.

Для кореневого проходу приймаємо $I_1 = 210$ А, $U_1 = 23$ В. Погонна енергія:

$$q_{п1} = \frac{60 \cdot 23 \cdot 210 \cdot 0,80}{1000 \cdot 350} = 0,662 \text{ кДж/мм}$$

Для заповнювального проходу приймаємо $I_2 = 240 \text{ А}$, $U_2 = 25 \text{ В}$:

$$q_{п2} = \frac{60 \cdot 25 \cdot 240 \cdot 0,80}{1000 \cdot 400} = 0,720 \text{ кДж/мм}$$

Витрата захисної суміші:

$$Q_1 = 5 + 0,05 \cdot 210 = 15,5 \approx 16 \text{ л/хв}$$

$$Q_2 = 5 + 0,05 \cdot 240 = 17,0 \text{ л/хв}$$

Маса наплавленого металу на 1 м шва:

$$G_{н.С17} = 38,44 \cdot 1000 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,302 \text{ кг/м}$$

Витрата електродного дроту з урахуванням коефіцієнта використання:

$$G_{др.С17} = \frac{0,302}{0,92} = 0,328 \text{ кг/м}$$

Розрахунок таврового з'єднання Т1. Таврове з'єднання Т1 використовується для приєднання проміжної стійки завтовшки 9 мм до нижньої обв'язки завтовшки 10 мм. Катет кутового шва становить $k = 6 \text{ мм}$. Зварювання виконуємо напівавтоматичним способом за один прохід.

Теоретична площа поперечного перерізу рівнобедреного кутового шва:

$$F_{Т1} = \frac{k^2}{2} = \frac{6^2}{2} = 18,0 \text{ мм}^2$$

Приймаємо швидкість подавання дроту $V_{п.д} = 8,0 \text{ м/хв}$. Розрахункова швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 8000}{18,0} = 462,5 \text{ мм/хв} = 27,75 \text{ м/год}$$

Для практичного налаштування приймаємо $V_{зв} = 27 \text{ м/год}$, або 450 мм/хв .

Фактична площа наплавлення:

$$F_{н.Т1} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 8000}{450} = 18,50 \text{ мм}^2$$

Еквівалентний фактичний катет:

$$k_{\phi} = \sqrt{2 \cdot 18,50} = 6,08 \text{ мм}$$

Приймаємо $I = 250 \text{ А}$, $U = 26 \text{ В}$. Погонна енергія:

$$q_{п.Т1} = \frac{60 \cdot 26 \cdot 250 \cdot 0,80}{1000 \cdot 450} = 0,693 \text{ кДж/мм}$$

Витрата газу:

$$Q_{Т1} = 5 + 0,05 \cdot 250 = 17,5 \approx 18 \text{ л/хв}$$

Витрата дроту на 1 м однобічного шва:

$$G_{др.Т1} = \frac{18,0 \cdot 1000 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}}{0,92} = 0,154 \text{ кг/м}$$

Розрахунок напусткового з'єднання Н1 для обшивки 4 мм. З'єднання Н1-4 застосовуємо для приєднання верхньої частини обшивки завтовшки 4 мм до верхньої обв'язки завтовшки 6 мм і до верхніх ділянок стійок завтовшки 8–9 мм. Катет шва становить $k = 4$ мм. Протяжні шви виконуються автоматично.

Необхідна площа кутового шва:

$$F_{Н1-4} = \frac{4^2}{2} = 8,0 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $V_{п.д} = 5,5$ м/хв. Розрахункова швидкість зварювання:

$$V_{зв.Н1-4} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 5500}{8,0} = 715,3 \text{ мм/хв} = 42,9 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 42$ м/год, або 700 мм/хв. Фактична площа наплавлення:

$$F_{н.Н1-4} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 5500}{700} = 8,18 \text{ мм}^2$$

Фактичний катет:

$$k_{ф.Н1-4} = \sqrt{2 \cdot 8,18} = 4,04 \text{ мм}$$

Приймаємо $I = 185$ А, $U = 21,5$ В. Погонна енергія:

$$q_{п.Н1-4} = \frac{60 \cdot 21,5 \cdot 185 \cdot 0,80}{1000 \cdot 700} = 0,273 \text{ кДж/мм}$$

Витрата газу:

$$Q_{Н1-4} = 5 + 0,05 \cdot 185 = 14,25 \approx 15 \text{ л/хв}$$

Витрата дроту на 1 м шва:

$$G_{др.Н1-4} = \frac{8,0 \cdot 1000 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}}{0,92} = 0,068 \text{ кг/м}$$

Розрахунок напусткового з'єднання Н1 для обшивки 5 мм. З'єднання Н1-5 застосовуємо для приєднання нижнього підсиленого пояса обшивки завтовшки 5

мм до нижньої обв'язки завтовшки 10 мм і нижніх частин стійок. Катет шва становить $k = 5$ мм. Протяжні шви виконуються автоматично.

Необхідна площа шва:

$$F_{H1-5} = \frac{5^2}{2} = 12,50 \text{ мм}^2$$

Приймаємо $V_{п.д} = 7,0$ м/хв. Розрахункова швидкість зварювання:

$$V_{зв.H1-5} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 7000}{12,50} = 582,8 \text{ мм/хв} = 35,0 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 35$ м/год, або 583 мм/хв. Фактична площа наплавлення:

$$F_{н.H1-5} = \frac{0,92 \cdot 1,131 \cdot 7000}{583} = 12,49 \text{ мм}^2$$

Фактичний катет:

$$k_{ф.H1-5} = \sqrt{2 \cdot 12,49} = 5,00 \text{ мм}$$

Приймаємо $I = 225$ А, $U = 24$ В. Погонна енергія:

$$q_{п.H1-5} = \frac{60 \cdot 24 \cdot 225 \cdot 0,80}{1000 \cdot 583} = 0,445 \text{ кДж/мм}$$

Витрата газу:

$$Q_{H1-5} = 5 + 0,05 \cdot 225 = 16,25 \approx 16 \text{ л/хв}$$

Витрата дроту на 1 м шва:

$$G_{др.H1-5} = \frac{12,50 \cdot 1000 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}}{0,92} = 0,107 \text{ кг/м}$$

Таблиця 2.4 – Розрахункові режими МАГ-зварювання

З'єднання	Товщина, мм	Спосіб	Прохід	I, А	U, В	$V_{п.д}$, м/хв	$V_{зв}$, м/год	Q, л/хв	qp, кДж/мм
C17	8+8	напівавт.	кореневий	210	23	6,5	21	16	0,662
C17	8+8	напівавт.	заповнюв.	240	25	7,5	24	17	0,720
T1, k=6	9+10	напівавт.	1	250	26	8,0	27	18	0,693
H1-4, k=4	4+6/8/9	автомат.	1	185	21,5	5,5	42	15	0,273
H1-5, k=5	5+9/10	автомат.	1	225	24	7,0	35	16	0,445

Основний час визначаємо як відношення довжини шва до швидкості зварювання з урахуванням кількості проходів:

$$t_o = \frac{60 \cdot L \cdot n}{V_{зв}}$$

де L — довжина шва, м; n — кількість проходів; $V_{зв}$ — швидкість зварювання, м/год.

Для напіваавтоматичного зварювання допоміжний час на запалювання дуги, переходи між ділянками, зміну положення пальника та локальне очищення приймаємо 30 % від основного часу. Витрати часу на обслуговування робочого місця й регламентовані перерви становлять 12 % від оперативного часу. Для автоматичного зварювання відповідні значення становлять 15 % та 8 %.

Штучний час визначаємо:

$$t_{шт} = t_o \cdot (1 + k_d) \cdot (1 + k_{обс+відп})$$

Норма часу на 1 м стикового шва С17:

$$t_{o.C17} = \frac{60}{21} + \frac{60}{24} = 5,36 \text{ хв/м}$$

$$t_{шт.C17} = 5,36 \cdot 1,30 \cdot 1,12 = 7,80 \text{ хв/м}$$

Норма часу на 1 м таврового шва Т1:

$$t_{o.T1} = \frac{60}{27} = 2,22 \text{ хв/м}$$

$$t_{шт.T1} = 2,22 \cdot 1,30 \cdot 1,12 = 3,24 \text{ хв/м}$$

Норма часу на 1 м автоматичного шва Н1-4:

$$t_{o.H1-4} = \frac{60}{42} = 1,43 \text{ хв/м}$$

$$t_{шт.H1-4} = 1,43 \cdot 1,15 \cdot 1,08 = 1,77 \text{ хв/м}$$

Норма часу на 1 м автоматичного шва Н1-5:

$$t_{o.H1-5} = \frac{60}{35} = 1,71 \text{ хв/м}$$

$$t_{шт.H1-5} = 1,71 \cdot 1,15 \cdot 1,08 = 2,13 \text{ хв/м}$$

Для швів приєднання обшивки до кутових стійок, які виконуються напіваавтоматично, швидкість зменшуємо до 36 м/год для катета 4 мм і до 30 м/год для катета 5 мм. Відповідні норми часу становлять:

$$t_{шт.H1-4н} = \frac{60}{36} \cdot 1,30 \cdot 1,12 = 2,43 \text{ хв/м}$$

$$t_{\text{шт.Н1-5н}} = \frac{60}{30} \cdot 1,30 \cdot 1,12 = 2,91 \text{ хв/м}$$

Довжина автоматичних швів катетом 4 мм включає верхній поздовжній шов і приєднання верхньої обшивки до шести проміжних стійок з двох боків:

$$L_{\text{Н1-4а}} = 12,70 + 6 \cdot 2 \cdot 1,30 = 28,30 \text{ м}$$

Довжина автоматичних швів катетом 5 мм:

$$L_{\text{Н1-5а}} = 12,70 + 6 \cdot 2 \cdot 0,60 = 19,90 \text{ м}$$

Довжина напівавтоматичних швів приєднання обшивки до двох кутових стійок:

$$L_{\text{Н1-4н}} = 2 \cdot 2 \cdot 1,30 = 5,20 \text{ м}$$

$$L_{\text{Н1-5н}} = 2 \cdot 2 \cdot 0,60 = 2,40 \text{ м}$$

Сумарну довжину коротких таврових швів Т1 приймаємо для восьми стійок. Кожна стійка з'єднується з верхньою та нижньою обв'язками чотирма ділянками завдовжки 0,16 м:

$$L_{\text{Т1}} = 8 \cdot 4 \cdot 0,16 = 5,12 \text{ м}$$

Якщо листова обшивка складається із семи панелей, між ними утворюється шість вертикальних стиків С17 заввишки 2,05 м:

$$L_{\text{С17}} = 6 \cdot 2,05 = 12,30 \text{ м}$$

Тривалість виконання кожної групи швів:

$$T_{\text{С17}} = 12,30 \cdot 7,80 = 95,94 \text{ хв}$$

$$T_{\text{Т1}} = 5,12 \cdot 3,24 = 16,59 \text{ хв}$$

$$T_{\text{Н1-4а}} = 28,30 \cdot 1,77 = 50,09 \text{ хв}$$

$$T_{\text{Н1-5а}} = 19,90 \cdot 2,13 = 42,39 \text{ хв}$$

$$T_{\text{Н1-4н}} = 5,20 \cdot 2,43 = 12,64 \text{ хв}$$

$$T_{\text{Н1-5н}} = 2,40 \cdot 2,91 = 6,98 \text{ хв}$$

Загальна норма часу без урахування установлення, кантування та остаточного контролю:

$$\begin{aligned} T_{\Sigma} &= 95,94 + 16,59 + 50,09 + 42,39 + 12,64 + 6,98 = 224,63 \text{ хв} \\ &= 3,74 \text{ год} \end{aligned}$$

Таблиця 2.5 – Норма часу на виконання зварних швів одного борта

Група швів	Спосіб	Довжина, м	Норма, хв/м	Час, хв
С17, два проходи	напіваавтоматичне	12,30	7,80	95,94
Т1, k=6	напіваавтоматичне	5,12	3,24	16,59
Н1-4, проміжні стійки та верхня обв'язка	автоматичне	28,30	1,77	50,09
Н1-5, проміжні стійки та нижня обв'язка	автоматичне	19,90	2,13	42,39
Н1-4, кутові стійки	напіваавтоматичне	5,20	2,43	12,64
Н1-5, кутові стійки	напіваавтоматичне	2,40	2,91	6,98
Разом	—	73,22	—	224,63

Отримана тривалість 3,74 год характеризує час безпосереднього виконання основного обсягу зварних швів із урахуванням коротких допоміжних переходів, локального очищення, обслуговування робочого місця та регламентованих перерв. Час установлення деталей у складально-зварювальному стенді, кантування борта, повного очищення, виправлення можливих дефектів, неруйнівного контролю й транспортування визначається окремо в операційній карті.

2.2 Вибір зварювального устаткування

Вибір зварювального устаткування для виготовлення бічного борта напіввагона моделі 12-7019 здійснюємо з урахуванням конструктивних особливостей виробу, прийнятого способу зварювання, типів зварних з'єднань, протяжності швів, товщини деталей і необхідного рівня механізації виробництва.

Під час виготовлення борта виконують стикові, таврові, кутові й напусткові з'єднання. Короткі шви, складальні прихватки та з'єднання допоміжних деталей виконують напіваавтоматичним MAG-зварюванням. Протяжні шви приєднання профільованої обшивки до верхньої та нижньої обв'язок, а також повторювані шви вздовж проміжних стійок виконують автоматичним MAG-зварюванням.

Зварювальне устаткування повинно забезпечувати подавання струму до електродного дроту та виробу, стабільне переміщення дроту в напрямку зварювальної ванни, подавання захисного газу й підтримання заданих параметрів

протягом усього циклу. Для автоматичного зварювання додатково необхідно забезпечити програмоване переміщення пальника вздовж з'єднання та коригування його положення за наявності складальних відхилень.

Для виконання напівавтоматичного й автоматичного MAG-зварювання застосовуємо обладнання компанії Carl Cloos Schweißtechnik GmbH. До складу прийнятого комплексу входять:

- джерела живлення QINEO NexT 452;
- переносний механізм подавання дроту QWD-P;
- роботизовані механізми подавання дроту QN-WD-AR;
- водоохолоджувані зварювальні пальники CLOOS;
- модулі рідинного охолодження;
- два промислові роботи QIROX QRC-410;
- рухома С-подібна рама з поздовжньою лінійною віссю;
- сенсорна система пошуку зварного з'єднання;
- станції автоматичного очищення пальників;
- система керування та програмне забезпечення RoboPlan;
- газова апаратура, кабельні комунікації та захисне огороження.

Для виконання складальних прихваток, стикових з'єднань С17, таврових швів Т1, приєднання кутових стійок, накладок, косинок і кронштейнів застосовуємо комплекс CLOOS QINEO NexT 452 Master (рис. 2.1).

QINEO NexT 452 Master є інверторним джерелом живлення промислового класу, призначеним для механізованого MIG/MAG-зварювання. Цифрова система керування забезпечує точне регулювання параметрів дуги та стабільне перенесення електродного металу.

Під час налагодження обладнання задають тип основного матеріалу, діаметр електродного дроту, склад захисного газу та необхідну швидкість його подавання. Система керування узгоджує швидкість подавання дроту з напругою дуги й забезпечує стабільність процесу за незначної зміни вильоту електрода.

Технічні характеристики джерела наведено в таблиці 2.5.

Найбільша сила струму, визначена під час розрахунку режимів зварювання, становить 260 А. Джерело QINEO NexT 452 забезпечує роботу на струмі 350 А за ПВ 100 %, тому має достатній запас за струмовим навантаженням.

Для подавання електродного дроту використовуємо переносний механізм CLOOS QWD-P. Він оснащений чотирироликівим приводом і призначений для роботи із суцільними дротами різного діаметра.



Рис. 2.1 – Зварювальний комплекс CLOOS QINEO NexT 452 Master [19]

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики CLOOS QINEO NexT 452 Master [19]

Найменування параметра	Значення
Тип обладнання	інверторне джерело для MIG/MAG-зварювання
Діапазон зварювального струму	25–450 А
Діапазон робочої напруги	15–36,5 В
Зварювальний струм за ПВ 60 %	450 А
Зварювальний струм за ПВ 100 %	350 А
Напруга холостого ходу	80 В
Напруга мережі живлення	380–480 В
Кількість фаз	3
Номінал мережевого запобіжника	32 А
Ступінь захисту	IP23
Клас ізоляції	F
Габаритні розміри	720 × 340 × 500 мм
Маса силового блока	63 кг
Маса охолоджувального модуля	28 кг



Рис. 2.2 – Переносний механізм подавання дроту CLOOS QWD-P [20]

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики механізму CLOOS QWD-P [20]

Найменування параметра	Значення
Тип механізму	переносний чотирироликівий
Максимальна швидкість подавання дроту	24 м/хв
Діаметр електродного дроту	0,8–2,0 мм
Місткість касети з дротом	15 кг
Габаритні розміри	674 × 260 × 450 мм
Маса	12,8 кг

Прийнята швидкість подавання дроту 6,0–8,5 м/хв перебуває в межах регулювання механізму QWD-P. Чотирироликівий привод забезпечує рівномірне подавання дроту діаметром 1,2 мм без проковзування та ривків.

Через значну довжину борта механізм подавання встановлюють на пересувній підвісній консолі, яка переміщується вздовж складально-зварювального стенда. Це скорочує довжину шлангового пакета між механізмом подавання та пальником і полегшує переміщення зварника.

Для виконання протяжних швів комплекс оснащують водоохолоджуваним пальником. Рідинне охолодження зменшує нагрівання контактного наконечника й газового сопла, підвищує ресурс витратних елементів і забезпечує стабільну роботу на струмах до 260 А.

До переваг комплексу QINEO NexT 452 Master належать:

- достатній запас за силою струму;
- стабільне горіння дуги;
- плавне регулювання швидкості подавання дроту;

- можливість роботи з дротом діаметром 1,2 мм;
- придатність до тривалого зварювання;
- зменшення розбризкування електродного металу;
- можливість збереження налаштованих режимів;
- зручне переміщення механізму подавання вздовж виробу.

Під час виготовлення борта значний обсяг робіт становлять протяжні шви приєднання профільованої обшивки до верхньої та нижньої обв'язок, а також повторювані вертикальні шви вздовж проміжних стійок. Для їх виконання застосовуємо автоматизований комплекс із двома промисловими роботами CLOOS QIROX QRC-410 (рис.2.3).

Роботи встановлюють у підвішеному положенні на рухомій С-подібній рамі. Рама переміщується вздовж підлогової лінійної осі, розташованої паралельно складально-зварювальному стенду. Таке компонування забезпечує доступ пальників до всієї поверхні борта та дає можливість виконувати як поздовжні, так і вертикальні шви без зміни положення виробу.

QIROX QRC-410 є шестикоординатним промисловим роботом із класичним зап'ястком і робочим простором 4100 мм. Така досяжність забезпечує обслуговування всієї висоти борта, включно з верхньою та нижньою обв'язками.

Для переміщення вздовж борта роботи встановлюють на спільній лінійній осі. Робочий хід рейкового модуля приймаємо 18 000 мм. Це забезпечує оброблення виробу завдовжки 12 700 мм, вихід пальників за його торці та переміщення роботів до станцій технічного обслуговування.

Технічні характеристики автоматизованої установки наведено в таблиці 2.7.

Кожний робот оснащують окремим джерелом живлення QINEO NexT 452 Premium. Це виконання призначене для інтеграції в автоматизовані зварювальні комплекси та обміну даними із системою керування робота.

Роботизований механізм подавання QN-WD-AR встановлюють поблизу маніпулятора. Це скорочує довжину каналу подавання дроту та забезпечує його рівномірне переміщення під час зміни положення пальника.

Станція обслуговування пальника забезпечує механічне очищення газового сопла від бризок, нанесення антиадгезійного засобу та обрізання деформованого кінця дроту. Обслуговування здійснюється автоматично через установлену кількість зварювальних циклів.



Рис. 2.3 – Промисловий зварювальний робот CLOOS QIROX QRC-410 [21]

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики комплексу CLOOS QIROX [21]

Найменування параметра	Значення
Тип обладнання	автоматизований комплекс для дугового зварювання
Кількість керованих осей одного робота	6
Робочий простір одного робота	4100 мм
Тип зап'ястка	класичне
Спосіб установлення	підвішений
Додаткова керована вісь	поздовжній рейковий модуль
Прийнятий хід лінійної осі	18 000 мм
Джерело живлення	QINEO NexT 452 Premium
Механізм подавання дроту	QN-WD-AR
Охолодження пальника	рідинне
Програмне забезпечення	CLOOS RoboPlan

Принцип роботи автоматизованої установки. Перед початком автоматичного зварювання складений борт установлюють у спеціалізований стенд

і фіксують притискними механізмами. Обшивка повинна щільно прилягати до поверхонь стійок і поздовжніх обв'язок.

Оператор обирає програму відповідного виконання борта та подає команду на запуск циклу. Рухома С-подібна рама переміщує роботи вздовж лінійної осі до початкової ділянки.

Перед запалюванням дуги робот визначає фактичне положення зварного з'єднання. Пошук здійснюється шляхом контакту електродного дроту або газового сопла з контрольними поверхнями деталей. За отриманими координатами система коригує положення запрограмованої траєкторії.

Після завершення пошуку вмикається подавання захисного газу, подається електродний дріт і запалюється дуга. Робот переміщує пальник уздовж з'єднання із заданою швидкістю, підтримуючи встановлені кут нахилу, виліт дроту та відстань до поверхні виробу.

Під час виконання протяжного шва сенсорна система контролює положення пальника та за необхідності коригує його траєкторію. Це дає змогу компенсувати місцеві відхилення профільованої обшивки й каркаса, які залишилися після складання.

Наприкінці шва виконується заповнення кратера, після чого дуга вимикається. Робот переміщується до наступної ділянки або до станції очищення пальника.

Два роботи виконують шви за узгодженою програмою. Зварювання доцільно починати в середній частині борта та продовжувати в напрямку його торців. Одночасне виконання симетричних ділянок сприяє рівномірному розподілу теплоти та зменшує поздовжнє викривлення конструкції.

Перший робот обробляє одну частину борта, а другий — іншу. Під час виконання вертикальних швів маніпулятори послідовно переходять від однієї проміжної стійки до наступної.

Програмування роботів здійснюють у середовищі CLOOS RoboPlan за тривимірною моделлю борта, складального стенда та автоматизованої установки. Програмне забезпечення дає змогу формувати траєкторії пальника, задавати

режими зварювання, перевіряти доступність швів, визначати можливі зіткнення та розраховувати тривалість автоматичного циклу. Розподіл операцій між прийнятим обладнанням наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розподіл зварювальних операцій

Зварювальна операція	Обране обладнання
Складальні прихватки	QINEO NexT 452 Master
Стикові шви С17	QINEO NexT 452 Master
Таврові з'єднання Т1	QINEO NexT 452 Master
З'єднання стійок з обв'язками	QINEO NexT 452 Master
Приварювання накладок і косинок	QINEO NexT 452 Master
Приварювання кронштейнів і скоб	QINEO NexT 452 Master
Обшивка з верхньою обв'язкою	2 × QIROX QRC-410
Обшивка з нижньою обв'язкою	2 × QIROX QRC-410
Обшивка з проміжними стійками	2 × QIROX QRC-410
Локальне виправлення дефектів	QINEO NexT 452 Master

Прийняте обладнання забезпечує виконання розрахованих режимів, стабільне формування зварних швів, доступ до всіх основних з'єднань та необхідну продуктивність виготовлення бічного борта.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань є обов'язковим етапом технологічного процесу виготовлення бічного борта напіввагона моделі 12-7019. Його проводять для виявлення зовнішніх дефектів, поверхневих несплошностей, відхилень геометричних параметрів швів та порушень форми готової конструкції.

Методи контролю вибирають з урахуванням марки основного металу, товщини деталей, типу зварних з'єднань, їх доступності та характеру експлуатаційних навантажень. Бічний борт виготовляють зі сталі 09Г2С, а товщина його основних елементів становить від 4 до 10 мм. У конструкції переважають таврові, кутові та напусткові з'єднання, а стикові шви застосовуються лише на окремих ділянках [22].

Під час МАГ-зварювання борта можуть утворюватися такі дефекти:

– тріщини в металі шва та зоні термічного впливу;

- поверхневі пори;
- подрізи основного металу;
- напливи та пропали тонколистової обшивки;
- незаповнені кратери;
- нерівномірний катет кутового шва;
- відхилення шва від осі з'єднання;
- надмірна опуклість або увігнутість шва;
- несплавлення на межі основного та наплавленого металів;
- бризки електродного металу;
- місцеве деформування листової обшивки.

З огляду на конструкцію борта, товщину з'єднуваних деталей і характер можливих дефектів для контролю якості застосовуємо два методи:

- візуально-вимірювальний контроль;
- магнітопорошковий контроль.

Візуально-вимірювальний контроль є основним методом перевірки якості зварних з'єднань борта. Його проводять до початку зварювання, під час виконання технологічного процесу та після завершення зварювальних робіт.

До початку зварювання перевіряють:

- відповідність марки й товщини металу робочій документації;
- якість очищення кромek і прилеглих поверхонь;
- форму та розміри підготовлених кромek;
- величину складального зазору;
- зміщення деталей відносно одна одної;
- щільність прилягання обшивки до стійок і поздовжніх обв'язок;
- положення деталей у складально-зварювальному стенді;
- розміри, довжину та розташування прихваток.

Під час виконання зварювальних операцій контролюють стабільність горіння дуги, дотримання визначеної послідовності накладання швів, положення пальника, якість захисту зварювальної ванни газовою сумішшю та рівномірність формування шва.

Після завершення зварювання шви та прилеглі ділянки очищають від бризок електродного металу, окалини й інших забруднень. Поверхню оглядають за достатнього природного або штучного освітлення.

Під час остаточного контролю перевіряють:

- відсутність тріщин;
- відсутність видимих пор і свищів;
- якість початку та завершення шва;
- відсутність незаповнених кратерів;
- наявність подрізів і напливів;
- рівномірність ширини шва;
- відповідність катета кутового шва кресленню;
- висоту підсилення стикового шва;
- відсутність пропалів обшивки;
- плавність переходу від металу шва до основного металу;
- відсутність недопустимих деформацій конструкції.

Геометричні параметри швів контролюють універсальним шаблоном зварника WG-2. За допомогою шаблона визначають катет кутового шва, ширину валика, висоту підсилення, глибину подрізу та величину зміщення кромки. Додатково застосовують металеву лінійку, щупи, штангенциркуль і контрольну рулетку.

Візуально-вимірювальному контролю підлягають усі зварні з'єднання бічного борта. Шви з видимими тріщинами, пропалами, незаповненими кратерами, значними подрізами або відхиленнями геометричних розмірів до подальшого контролю не допускаються.

Виявлені дефекти позначають, а їх розташування вносять до журналу контролю. Після цього дефектну ділянку видаляють механічним способом і виконують повторне зварювання.

Магнітопорошковий контроль застосовують для виявлення поверхневих і близько розташованих до поверхні несплошностей, які неможливо надійно визначити звичайним оглядом. Під час контролю перевірювану ділянку

намагнічують. У місці розташування дефекту виникає поле розсіювання, яке притягує частинки магнітної суспензії. Над несплошністю утворюється індикаторний рисунок, за формою та розмірами якого оцінюють характер дефекту. [22]/ Для проведення контролю застосовують переносне електромагнітне ярмо Magnaflux Y-2. Компактне виконання обладнання дає змогу перевіряти шви безпосередньо на складально-зварювальному стенді.

Перед проведенням контролю поверхню очищають від бризок, окалини, мастила, фарби та інших забруднень. На перевірювану ділянку наносять тонкий шар білої контрастної фарби, після чого встановлюють електромагнітне ярмо та подають магнітну суспензію.

Для виявлення несплошностей різної орієнтації ділянку контролюють у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Відстань між полюсами ярма та напрямок його встановлення вибирають так, щоб силові лінії магнітного поля перетинали ймовірний дефект.

Магнітопорошковому контролю підлягають:

- місця приєднання кутових стійок до верхньої та нижньої обв'язок;
- таврові з'єднання T1;
- початкові та кінцеві ділянки протяжних швів;
- місця перетину і примикання зварних швів;
- шви підсилювальних накладок і косинок;
- усі зони, на яких проводилося виправлення дефектів.

Протяжні напусткові шви приєднання обшивки до стійок і обв'язок перевіряють магнітопорошковим методом вибірково. Обсяг контролю встановлюють технологічною документацією залежно від відповідальності з'єднання та результатів попереднього візуального огляду.

Після завершення перевірки результати оцінюють за розмірами, формою й розташуванням індикацій. Лінійні індикації, характерні для тріщин і несплавлень, вважають недопустимими та підлягають усуненню.

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Запропонований технологічний процес виготовлення бічного борта напіввагона моделі 12-7019 охоплює вхідний контроль металопрокату, очищення та правлення металу, одержання листових і профільних заготовок, формування деталей, складання конструкції, виконання напіваавтоматичного й автоматичного MAG-зварювання, контроль якості та передавання готового виробу на фарбування.

Вхідний контроль металопрокату. Листовий і профільний прокат надходить на заготівельну ділянку окремими партіями. Під час вхідного контролю перевіряють супровідну документацію, марку сталі, товщину листів, стан поверхні та відповідність геометричних параметрів установленим вимогам.

На поверхні металопрокату не допускаються тріщини, розшарування, заходи, глибокі вм'ятини, значні корозійні пошкодження та інші дефекти, які можуть знизити міцність деталей або погіршити формування зварних швів.

Придатний металопрокат маркують і передають на ділянку попереднього очищення.

Дробоструминне очищення металопрокату. Очищення листів і профілів виконують для видалення прокатної окалини, іржі, залишків консерваційних мастил та інших забруднень. Наявність цих включень у зоні зварювання може спричинити нестабільне горіння дуги, утворення пор та погіршення якості металу шва.

Для виконання операції застосовують роликову дробоструминну установку Wheelabrator Roller Conveyor Type G.



Рис. 2.10 – Роликова дробоструминна установка Wheelabrator Type G [23]

Листи та профілі укладають на вхідний рольганг, після чого вони безперервно переміщуються через дробоструминну камеру. Турбіни спрямовують потік металевого дробу на верхні, нижні та бічні поверхні заготовок.

Відпрацьований дріб збирається, очищається від продуктів руйнування окалини та повертається до робочого циклу. Пил і дрібні забруднення видаляються аспіраційною системою.

Після очищення поверхню оглядають. На ній не повинно залишатися відшарованої окалини, іржі та інших забруднень, які перешкоджають подальшому різанню, згинанню і зварюванню.

Правлення листового прокату. Під час транспортування та зберігання листи можуть отримувати місцеві прогини, хвилястість і залишкові деформації. Використання таких заготовок ускладнює щільне прилягання обшивки до стійок та обв'язок і підвищує ймовірність виникнення зварювальних деформацій.

Правлення листів завтовшки 4–10 мм виконують на роликотправильній машині KOHLER Peak Performer 60P.2000.

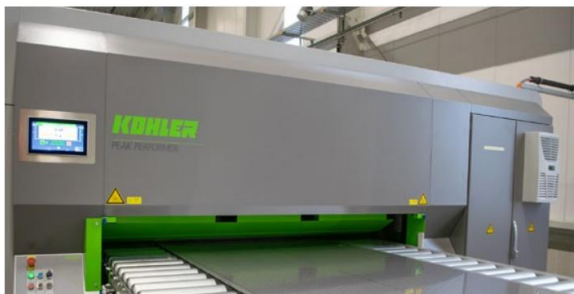


Рис. 2.11 – Роликотправильна машина KOHLER Peak Performer 60P.2000 [24]

Лист проходить між рядами робочих роликів і послідовно зазнає знакозмінного вигину. Амплітуда деформування поступово зменшується в напрямку виходу заготовки з машини. У результаті усувається початкова кривизна та вирівнюється розподіл залишкових напружень.

Машина має робочу ширину 2000 мм і забезпечує правлення листів у діапазоні товщин, що охоплює прийняті для борта значення 4–10 мм.

Після завершення операції площинність заготовки перевіряють контрольною рейкою та щупами. Листи, які не відповідають установленим вимогам, повторно пропускають через правильні ролики з уточненим налаштуванням.

Розкрій листових заготовок. Листові заготовки обшивки, накладок, косинок і плоских деталей кронштейнів вирізають на портальній машині плазмового різання MicroStep MasterCut.

Для виготовлення деталей борта застосовують виконання машини з робочою зоною $14\,000 \times 3\,000$ мм. Така довжина дає змогу обробляти великогабаритні заготовки без додаткового стикування або повторного базування.



Рис. 2.12 – Портальна машина плазмового різання MicroStep MasterCut [25]

Програма розкрою розробляється за електронними моделями деталей. Автоматичне компонування заготовок на листі забезпечує раціональне використання металу та зменшення кількості відходів.

Після різання перевіряють довжину й ширину заготовок, прямолінійність кромки, розташування отворів та відсутність надмірного грата.

Різання профільних заготовок. Довгомірні заготовки верхньої та нижньої обв'язки, кутових і проміжних стійок відрізають на автоматичному стрічкопильному верстаті BEHRINGER HBE320-523GA.



Рис.2.13 – Автоматичний верстат BEHRINGER HBE320-523GA [26]

Профіль подають на роликовий конвеєр і базують відносно упора. Система автоматичного захоплення переміщує заготовку на задану довжину, після чого пильна рама виконує різання.

Верстат дає змогу виконувати прямі та кутові різи, що необхідно під час підготовки кінців стійок, обв'язок і допоміжних профільних елементів. Відрізані деталі укладають на спеціальні стелажі окремими комплектами.

Оброблення кромки. Після плазмового та механічного різання з кромки видаляють грат, задирки й гострі виступи. Поверхні в зоні майбутнього шва очищають до металевого блиску.

Підготовки кромки стикових з'єднань С17 виконують переносною кромкофрезерною машиною PROMOTECH BM-21.



Рис. 2.14 – Переносна кромкофрезерна машина PROMOTECH BM-21 [27]

Машина виконує механічне фрезерування кромки без значного нагрівання основного металу. Кут фаски встановлюють відповідно до конструкції зварного з'єднання.

Для кутових і напусткових з'єднань спеціальне розчищення не виконують. Їхні кромки очищають і притуплюють гострі краї.

Згинання обв'язок і стійок. Гнуті профілі верхньої та нижньої обв'язок, кутових і проміжних стійок одержують на тандемному листозгинальному комплексі SafanDarley H-Brake Tandem.



Рис. 2.15 – Тандемний листозгинальний комплекс SafanDarley H-Brake [28]

Комплекс складається з двох синхронізованих гідравлічних пресів, які можуть працювати спільно під час згинання довгомірних деталей або окремо під час виготовлення заготовок меншої довжини.

Сумарна робоча довжина комплексу становить 14 000 мм, що забезпечує формування довгомірних елементів борта без поділу їх на окремі частини.

Заготовку встановлюють на передні опори та базують за програмованими задніми упорами. Після цього виконують послідовне згинання відповідно до технологічної карти.

Синхронне переміщення балок двох пресів забезпечує однаковий кут згину по всій довжині деталі. Система компенсації прогину зменшує відхилення форми довгомірного профілю.

Профілювання листів обшивки. Профільовану обшивку борта виготовляють на спеціалізованій роликовій лінії DREISTERN Roll Forming System.



Рис.2.16 – Роликова профілезгинальна лінія DREISTERN [29]

Лінію оснащують комплектом формувальних клітей, конфігурація яких відповідає поперечному профілю обшивки борта. Плоский лист послідовно проходить через систему роликів і поступово набуває заданої форми.

Поступове деформування у кількох клітях зменшує місцеві напруження та запобігає утворенню тріщин і заломів.

Комплектування деталей. Підготовлені деталі одного борта збирають на комплектувальному стелажі.

Перед передаванням на складання перевіряють кількість деталей, позиційне маркування, стан кромки та відсутність механічних пошкоджень.

Листові деталі переміщують кран-балкою з вакуумною траверсою. Для транспортування довгомірних профілів застосовують балансирні траверси, які запобігають їх прогинанню.

Складання бічного борта. Складання конструкції виконують на спеціалізованому горизонтальному складально-зварювальному стенді. Стенд оснащують базовою рамою, опорними елементами, переставними упорами та гідравлічними притискачами.

Спочатку на базову поверхню стенда укладають профільовані листи обшивки внутрішньою стороною догори. Першу панель базують відносно поздовжньої та поперечної осей стенда. Наступні листи встановлюють послідовно в напрямку до кінців конструкції.

Кромки панелей суміщають відповідно до заданого напуску або складального зазору. Після перевірки взаємного положення листи притискають до опор стенда.

На обшивку послідовно встановлюють:

1. нижню поздовжню обв'язку;
2. верхню поздовжню обв'язку;
3. кутові стійки;
4. проміжні стійки;
5. підсилювальні накладки;
6. косинки й кронштейни.

Обв'язки базують за поздовжніми упорами. Положення стійок визначають регульованими поперечними фіксаторами. Після встановлення деталі притискають до обшивки та базових поверхонь стенда.

Прихватки виконують напівавтоматичним MAG-зварюванням за допомогою комплексу CLOOS QINEO NexT 452 Master.

Спочатку прихвачують центральні проміжні стійки, після чого послідовно закріплюють сусідні стійки в напрямку до кінців конструкції. Далі прихвачують кутові стійки, накладки, косинки та кронштейни.

Прихватки накладають симетрично відносно середини борта. Така послідовність зменшує зміщення елементів і обмежує накопичення складальних деформацій.

Для прихвачування застосовують той самий електродний дріт діаметром 1,2 мм і газову суміш M21, що й для основного зварювання.

Напіваавтоматичне зварювання каркаса. Короткі стикові, таврові та кутові з'єднання виконують комплексом CLOOS QINEO NexT 452 Master.

Напіваавтоматичним способом зварюють:

- стикові шви C17;
- таврові з'єднання T1;
- місця приєднання стійок до обв'язок;
- кутові стійки;
- підсилювальні накладки;
- косинки;
- кронштейни й допоміжні деталі.

Зварювання починають із середньої частини каркаса та продовжують у напрямку до його кінців. Шви на протилежних сторонах стійок виконують почергово, щоб зменшити нерівномірність теплової усадки.

Після завершення кожної групи швів перевіряють положення стійок, прямолінійність обв'язок і щільність прилягання обшивки.

Автоматичне приварювання обшивки. Протяжні шви приєднання обшивки до верхньої та нижньої обв'язок, а також шви вздовж проміжних стійок виконують комплексом із двома роботами CLOOS QIROX QRC-410.

Роботи встановлені на рухомій С-подібній рамі, яка переміщується вздовж поздовжньої лінійної осі. Кожний робот оснащений джерелом живлення QINEO NexT 452 Premium, механізмом подавання дроту, водоохолоджуваним пальником і сенсорною системою пошуку з'єднання.

Перед початком автоматичного циклу оператор завантажує програму відповідного виконання борта. Роботи визначають фактичне положення обв'язок і стійок, після чого коригують запрограмовані траєкторії пальників.

Шви виконують у такій послідовності:

1. приварюють центральні ділянки обшивки до верхньої та нижньої обв'язок;
2. виконують симетричні ділянки в напрямку до кінців борта;
3. приварюють обшивку до центральних проміжних стійок;
4. послідовно переходять до сусідніх стійок;
5. завершують шви біля кутових стійок;
6. виконують передбачені кресленням шви зі зворотного боку.

Два роботи працюють за узгодженою програмою. Одночасне виконання симетрично розташованих швів забезпечує рівномірніше тепловкладення та зменшує поздовжнє викривлення конструкції.

Затискачі стенда залишають увімкненими до завершення зварювання та часткового охолодження металу.

Очищення зварних з'єднань. Після завершення зварювання з поверхні швів видаляють бризки електродного металу, окалину та гострі нерівності.

Шліфування виконують лише на ділянках, де необхідно усунути дефект або забезпечити плавний перехід до основного металу. Надмірне зачищення не допускається, оскільки воно може зменшити робочий переріз шва.

Контроль якості. Усі зварні з'єднання підлягають суцільному візуально-вимірювальному контролю. Перевіряють відсутність тріщин, пор, підрізів, напливів, пропалів, незаповнених кратерів та інших зовнішніх дефектів.

Катет кутових швів, ширину валика, висоту підсилення та глибину підрізів вимірюють універсальним шаблоном зварника WG-2.

Магнітопорошковому контролю підлягають:

- таврові з'єднання стійок з обв'язками;
- шви кутових стійок;
- місця перетину зварних швів;
- початкові та кінцеві ділянки протяжних швів;
- усі виправлені ділянки.

Контроль виконують електромагнітним ярмом Magnaflux Y-2.

Після перевірки швів контролюють загальні розміри борта, прямолінійність обв'язок, положення стійок, різницю діагоналей і хвилястість обшивки.

Передавання готового борта на фарбування. Борт, який пройшов контроль, очищають від пилу, мастила й залишків технологічних матеріалів. Отвори, різьбові поверхні та ділянки, які не підлягають фарбуванню, закривають захисними елементами.

Готову конструкцію маркують і переміщують на дільницю фарбування кран-балкою зі спеціальною траверсою.

Таблиця 2.10 – Маршрут виготовлення бічного борта напіввагона 12-7019

Номер операції	Найменування операції	Основне обладнання
005	Вхідний контроль металопрокату	Вимірювальні прилади
010	Дробоструминне очищення листів і профілів	Wheelabrator Type G
015	Правлення листового прокату	KOHLER Peak Performer 60P.2000
020	Плазмовий розкрій листових заготовок	MicroStep MasterCut
025	Різання профільних деталей	BEHRINGER HBE320-523GA
030	Видалення ґрата та задирок	Шліфувальне обладнання
035	Формування фасок стикових з'єднань	PROMOTECH BM-21
040	Згинання обв'язок і стійок	SafanDarley H-Brake Tandem
045	Профілювання листів обшивки	DREISTERN Roll Forming System
050	Контроль і комплектування деталей	Стелаж, вимірювальний інструмент
055	Укладання листів обшивки	Кран-балка, вакуумна траверса
060	Установлення верхньої та нижньої обв'язок	Складально-зварювальний стенд
065	Установлення стійок	Стенд із гідравлічними затисками
070	Установлення накладок і кронштейнів	Складально-зварювальний стенд
075	Контроль геометрії складеної конструкції	Вимірювальне обладнання
080	Виконання прихваток	CLOOS QINEO NexT 452 Master
085	Напіваавтоматичне зварювання каркаса	CLOOS QINEO NexT 452 Master
090	Зварювання допоміжних деталей	CLOOS QINEO NexT 452 Master

095	Автоматичне приварювання обшивки до обв'язок	2 × CLOOS QIROX QRC-410
100	Автоматичне приварювання обшивки до стійок	2 × CLOOS QIROX QRC-410
105	Виконання швів зі зворотного боку	Поворотний стенд, CLOOS QIROX
110	Очищення швів	Ручне шліфувальне обладнання
115	Візуально-вимірний контроль	Шаблон WG-2
120	Магнітопорошковий контроль	Magnaflux Y-2
125	Контроль геометрії готового борта	Вимірні прилади
130	Виправлення дефектів	CLOOS QINEO NexT 452 Master
135	Повторний контроль	WG-2, Magnaflux Y-2
140	Підготовлення до фарбування	Дільниця очищення
145	Маркування і транспортування	Кран-балка, траверса

Запропонований технологічний процес передбачає послідовне встановлення обшивки та каркаса в одному складально-зварювальному стенді. Це зменшує кількість перевстановлень великогабаритної конструкції, підвищує точність взаємного розташування деталей і скорочує тривалість складальних операцій.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис зварювальних пристосувань

Для складання та зварювання бічного борта напіввагона 12-7019 застосовують спеціалізовану складально-зварювальну установку з поворотною рамою. Вона забезпечує базування обшивки й елементів каркаса, їх закріплення, прихвачування, автоматичне зварювання та поворот конструкції для виконання швів зі зворотного боку. Загальний вигляд установки наведено на рисунку 3.1.

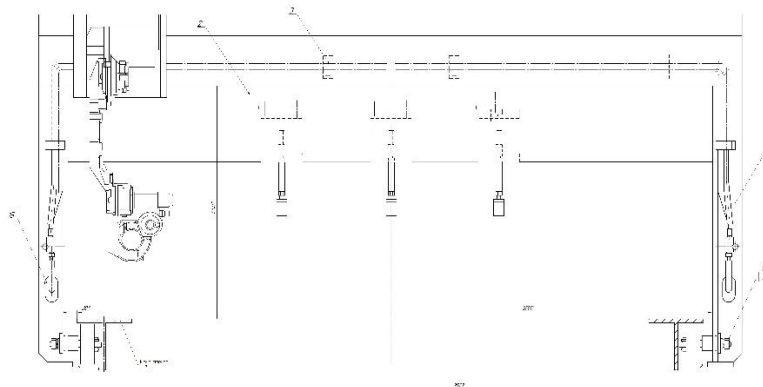


Рис. 3.1 – Установка автоматичного зварювання бічного борта напіввагона 12-7019

До складу установки входять нерухома опорна рама, поворотний складально-зварювальний стенд, базові упори, гідравлічні притискачі, привод кантування, два роботи CLOOS QIROX QRC-410, поздовжня лінійна вісь та система керування.

Поворотний стенд виконаний у вигляді жорсткої металевої рами, на якій розташовані опори для профільованої обшивки, фіксатори верхньої та нижньої обв'язок, а також установчі елементи для кутових і проміжних стійок. Деталі закріплюють гідравлічними притискачами, що забезпечують щільне прилягання обшивки до каркаса та запобігають їх зміщенню під час зварювання. Загальний вигляд стенда наведено на рисунку 3.2.

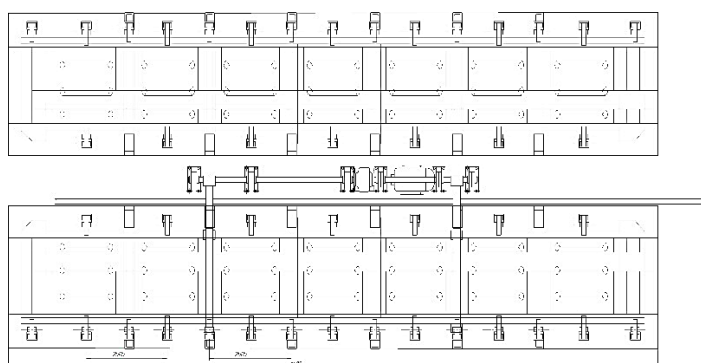


Рис. 3.2 – Складально-зварювальний стенд

Робота установки здійснюється у такій послідовності. Спочатку на опорну поверхню стенда укладають профільовані листи обшивки та фіксують їх притискними балками. Після цього встановлюють нижню й верхню обв'язки, кутові та проміжні стійки, накладки, косинки й кронштейни.

Після перевірки загальних розмірів, положення стійок і різниці діагоналей деталі прихвачують напівавтоматичним MAG-зварюванням. Короткі стикові, таврові та кутові шви виконують комплексом CLOOS QINEO NexT 452 Master.

Протяжні шви приєднання обшивки до обв'язок і проміжних стійок зварюють двома роботами CLOOS QIROX QRC-410. Маніпулятори встановлені на рухомій рамі, яка переміщується вздовж борта. Перед початком роботи система визначає фактичне положення з'єднань і коригує траєкторію пальників.

Зварювання починають із середньої частини конструкції та продовжують симетрично в напрямку до її кінців. Така послідовність сприяє рівномірному нагріванню та зменшує викривлення обшивки й поздовжніх обв'язок.

Після завершення зварювання з першого боку роботи відводять у безпечне положення, а поворотна рама кантує борт на 180°. У новому положенні виконують передбачені кресленням шви зі зворотного боку. До часткового охолодження конструкція залишається закріпленою у стенді.

Після завершення циклу притискачі послідовно відводять, готовий борт знімають кран-балкою та переміщують на позицію очищення і контролю якості.

Обслуговування установки здійснюють оператор роботизованого комплексу та два слюсарі-складальники. Застосування такого пристосування скорочує кількість перевстановлень великогабаритної конструкції, підвищує точність складання та зменшує залишкові зварювальні деформації.

3.2 Розрахунок елементів кондуктора для складання каркаса

Для фіксації обшивки, обв'язок і стійок бічного борта у складально-зварювальному стенді застосовують важільні гідравлічні притискачі. Вони повинні утримувати деталі в заданому положенні під час прихвачування, зварювання та кантування конструкції.

Для розрахунку використовуємо такі вихідні дані:

$m = 1200$ кг – розрахункова маса складеного борта;

$n = 10$ – кількість одночасно увімкнених притискачів;

$\mu = 0,20$ – коефіцієнт тертя сталі по сталі;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

$a = 180$ мм – плече прикладання зусилля гідроциліндра;

$b = 160$ мм – плече притискної п'яти;

$\eta_v = 0,90$ – коефіцієнт корисної дії важільного механізму;

$p = 6,3$ МПа – робочий тиск у гідравлічній системі;

$\eta_\Gamma = 0,85$ – механічний ККД гідроциліндра.

Загальний коефіцієнт запасу [30]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 1,30 \cdot 1,10 \cdot 1,05 = 1,50$$

де $K_0 = 1,30$ – гарантований коефіцієнт запасу; $K_1 = 1,10$ – коефіцієнт, що враховує стан контактних поверхонь; $K_2 = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження між притискачами.

Необхідне зусилля одного притискача визначаємо з умови утримання борта силами тертя:

$$Q_{\text{тр}} = \frac{K \cdot m \cdot g}{n \cdot \mu} = \frac{1,50 \cdot 1200 \cdot 9,81}{10 \cdot 0,20} = 8829 \text{ Н} = 8,83 \text{ кН}$$

Зусилля на штоку гідроциліндра з урахуванням передавального відношення важеля становить:

$$P = \frac{Q_{\text{тр}} \cdot b}{a \cdot \eta_v} = \frac{8829 \cdot 160}{180 \cdot 0,90} = 8720 \text{ Н}$$

Необхідний діаметр поршня гідроциліндра визначаємо за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot p \cdot \eta_\Gamma}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8720}{3,14 \cdot 6,3 \cdot 0,85}} = 45,5 \text{ мм}$$

За стандартним рядом діаметрів встановлюємо $D = 50$ мм. Для приводу притискача застосовуємо гідроциліндр двосторонньої дії з діаметром поршня 50 мм, діаметром штока 32 мм і ходом 200 мм.

Фактичне зусилля гідроциліндра становить:

$$P_{\phi} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta_r}{4} = \frac{3,14 \cdot 50^2 \cdot 6,3 \cdot 0,85}{4} = 10\,510 \text{ Н}$$

Фактичне зусилля на притискній п'яті дорівнює:

$$Q_{\phi} = \frac{P_{\phi} \cdot a \cdot \eta_b}{b} = \frac{10\,510 \cdot 180 \cdot 0,90}{160} = 10\,640 \text{ Н} = 10,64 \text{ кН}$$

Отримане фактичне зусилля перевищує необхідне:

$$Q_{\phi} = 10,64 \text{ кН} > Q_{\text{тр}} = 8,83 \text{ кН}$$

Отже, гідроциліндр із діаметром поршня 50 мм забезпечує надійне закріплення деталей борта під час складання, зварювання та кантування.

Шарнірна вісь важеля працює на подвійний зріз. Її мінімальний діаметр визначаємо за формулою:

$$d \geq \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\phi}}{\pi \cdot [\tau]}} \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 10\,510}{3,14 \cdot 60}} = 10,6 \text{ мм}$$

де $[\tau] = 60 \text{ МПа}$ – допустиме напруження зрізу для сталі осі. З урахуванням запасу міцності та конструктивних вимог встановлюємо діаметр шарнірної осі $d = 16 \text{ мм}$.

Перевіримо вісь на зминання:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{P_{\phi}}{2 \cdot d \cdot t} = \frac{10\,510}{2 \cdot 16 \cdot 10} = 32,8 \text{ МПа}$$

де $t = 10 \text{ мм}$ – товщина однієї щоби важеля. Отримане напруження є меншим за допустиме напруження зминання для сталевих деталей, тому діаметр осі 16 мм забезпечує необхідну міцність шарнірного з'єднання.

За результатами розрахунку для складально-зварювального кондуктора застосовуємо гідроциліндр двосторонньої дії 50/32×200 мм, важіль із плечами $a = 180 \text{ мм}$ і $b = 160 \text{ мм}$ та шарнірну вісь діаметром 16 мм. Розрахункове зусилля притискання становить 8,83 кН, фактичне – 10,64 кН.

Обрані параметри забезпечують стійке положення деталей каркаса та обшивки, запобігають їх зміщенню під час зварювання і дозволяють безпечно кантувати складений борт.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Управління безпекою життєдіяльності в Україні

Управління безпекою життєдіяльності являє собою цілеспрямовану діяльність державних органів, органів місцевого самоврядування, підприємств і громадян, спрямовану на попередження небезпек, зниження рівня ризику та захист людей, майна і навколишнього природного середовища від надзвичайних ситуацій.

Основною метою такого управління є створення умов, за яких імовірність травмування людей, виникнення аварій, пожеж, техногенних подій та негативного впливу виробничих чинників зменшується до прийняттого рівня.

Правову основу державної політики у сфері безпеки життєдіяльності становлять Конституція України, Кодекс цивільного захисту України, законодавство про охорону праці, пожежну й техногенну безпеку, охорону здоров'я та навколишнього природного середовища [31].

Конституційні засади управління безпекою ґрунтуються на визнанні життя, здоров'я та безпеки людини найвищою соціальною цінністю. Держава забезпечує захист населення від небезпечних подій, створює правові й організаційні механізми запобігання надзвичайним ситуаціям та встановлює відповідальність за порушення вимог безпеки.

Основними функціями системи управління безпекою життєдіяльності є:

- прогнозування можливих небезпек;
- планування запобіжних і захисних заходів;
- організація взаємодії між відповідальними органами та службами;
- контроль стану техногенної й пожежної безпеки;
- підготовка населення і працівників до дій у надзвичайних ситуаціях;
- оповіщення, евакуація та проведення рятувальних робіт;
- аналіз причин аварій і розроблення заходів щодо недопущення їх повторення.

Загальне спрямування державної політики у сфері цивільного захисту забезпечує Кабінет Міністрів України. Центральні органи виконавчої влади, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування реалізують відповідні заходи в межах визначених повноважень.

Державна служба України з надзвичайних ситуацій реалізує державну політику у сферах цивільного захисту, запобігання надзвичайним ситуаціям, пожежної та техногенної безпеки, рятувальної справи й ліквідації наслідків небезпечних подій.

Основним нормативним документом у цій сфері є Кодекс цивільного захисту України. Він визначає організацію єдиної державної системи цивільного захисту, повноваження органів влади, права та обов'язки громадян і суб'єктів господарювання, порядок реагування на надзвичайні ситуації та здійснення державного нагляду.

На рівні промислового підприємства відповідальність за організацію цивільного захисту та безпечні умови праці покладається на його керівника. На підприємстві розробляють інструкції щодо дій персоналу у разі аварії або пожежі, визначають порядок оповіщення та евакуації, призначають відповідальних осіб і проводять навчання працівників.

Для зварювальної дільниці, на якій виготовляють бічний борт напіввагона 12-7019, система управління безпекою передбачає:

- ідентифікацію небезпечних виробничих чинників;
- перевірку справності зварювального, вантажопідіймального та роботизованого обладнання;
- навчання й інструктаж працівників;
- контроль стану вентиляції, електрообладнання та газового господарства;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту;
- утримання евакуаційних шляхів і засобів пожежогасіння у справному стані;
- періодичне відпрацювання дій персоналу при пожежі, аварії або припиненні електропостачання.

Управління безпекою життєдіяльності здійснюється на державному, регіональному та виробничому рівнях. Ефективність цієї системи залежить від своєчасного планування, контролю, навчання персоналу та виконання встановлених вимог безпеки.

4.2 Забезпечення пожежної безпеки та профілактичні заходи

Пожежна безпека є невід'ємною складовою організації виробництва. Відповідальність за її забезпечення на підприємстві покладається на керівника та призначених наказом відповідальних осіб. Кожний працівник зобов'язаний дотримуватися встановленого протипожежного режиму та знати порядок дій у разі виникнення пожежі [32].

Під час виготовлення бічного борта напіввагона 12-7019 найбільша пожежна небезпека виникає під час МАГ-зварювання, термічного різання, шліфування, експлуатації електрообладнання та підготовки виробу до фарбування.

Основними джерелами займання є:

- зварювальна дуга;
- розпечені краплі та бризки металу;
- нагріті поверхні деталей;
- коротке замикання або перевантаження електричних мереж;
- пошкодження кабелів і зварювальних пальників;
- іскри, що виникають під час шліфування;
- наявність поблизу мастил, фарб, розчинників та інших горючих матеріалів.

Зварювання борта виконують на постійно обладнаному робочому місці. Його розташування визначають наказом по підприємству, а підлогу, огороження та захисні екрани виготовляють із негорючих матеріалів.

Під час зварювання на висоті до 2 м робочу зону очищають від горючих речовин і матеріалів у радіусі не менше 5 м. Деталі обладнання або конструкції, які неможливо прибрати, закривають металевими листами чи покривалами з негорючого теплоізоляційного матеріалу.

Зварювальну зону відділяють світлозахисними екранами заввишки не менше 1,8 м. Екрани перешкоджають поширенню випромінювання дуги та потраплянню розпечених частинок на сусідні робочі місця.

Безпосередньо біля складально-зварювального стенда встановлюють первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання застосовують вуглекислотні вогнегасники, а для локалізації загоряння твердих і рідких матеріалів

— порошкові. Проходи до вогнегасників, пожежних кранів і виходів повинні залишатися вільними.

Перед початком роботи працівник перевіряє:

- справність джерела живлення та механізму подавання дроту;
- стан електричних кабелів, контактних з'єднань і заземлення;
- герметичність газових шлангів та редукторів;
- надійність закріплення балонів із захисним газом;
- роботу місцевої витяжної вентиляції;
- відсутність поблизу горючих матеріалів;
- наявність і справність засобів пожежогасіння.

Балони із сумішшю M21 встановлюють вертикально та захищають від падіння, механічного пошкодження і нагрівання. Їх не розміщують біля відкритого вогню, нагрівальних приладів або шляхів переміщення вантажів.

Після завершення зміни джерела живлення відключають від електромережі, подавання захисного газу припиняють, а робоче місце оглядають для виявлення тліючих матеріалів або нагрітих ділянок.

Виконання тимчасових вогневих робіт поза постійним зварювальним постом допускається лише за нарядом-допуском. До початку таких робіт видаляють горючі матеріали, захищають обладнання від іскор і призначають відповідальну особу. Після завершення тимчасових вогневих робіт місце їх проведення контролюють упродовж двох годин.

Зварювання не виконують ближче ніж за 15 м від відкритих прорізів фарбувальних і сушильних камер. Конструкції, на які нанесено лакофарбове покриття, дозволяється зварювати лише після повного висихання покриття та очищення зони шва.

До виконання зварювальних робіт допускають працівників, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань із пожежної безпеки.

У разі виникнення пожежі працівник повинен:

- негайно припинити зварювання;

- відключити електроживлення та подавання газу;
- повідомити керівника робіт;
- викликати пожежно-рятувальний підрозділ;
- розпочати гасіння первинними засобами без ризику для власного життя;
- залишити небезпечну зону відповідно до плану евакуації.

Реалізація організаційних, технічних та експлуатаційних заходів запобігає виникненню пожежі, обмежує поширення вогню та забезпечує безпечну роботу персоналу під час виготовлення бічного борта напіввагона.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес зварювання бічного борта напіввагона моделі 12-7019 з урахуванням конструктивних особливостей виробу, властивостей основного металу, типів зварних з'єднань і вимог до точності готової конструкції.

Проведений аналіз показав, що бічний борт є великогабаритною каркасно-обшивною конструкцією, яка під час експлуатації сприймає розподілений тиск вантажу, місцеві ударні, вібраційні та динамічні навантаження. Основні елементи борта виготовляють зі сталі 09Г2С, яка характеризується достатньою міцністю, пластичністю, холодостійкістю та доброю технологічною зварюваністю.

Для з'єднання деталей обґрунтовано застосування процесу MAG із використанням суцільного електродного дроту діаметром 1,2 мм і газової суміші М21. Вибрані режими забезпечують стабільне горіння дуги, необхідне проплавлення основного металу, формування швів заданого перерізу та обмеження теплового впливу на тонколистову обшивку.

Для виконання коротких, стикових, таврових і складнодоступних швів обрано зварювальний комплекс CLOOS QINEO NexT 452 Master. Протяжні шви приєднання обшивки до обв'язок і проміжних стійок передбачено виконувати двома роботами CLOOS QIROX QRC-410. Використання роботизованого комплексу забезпечує постійну швидкість зварювання, стабільність положення пальника, повторюваність параметрів та зменшення впливу людського чинника.

Розроблений технологічний маршрут охоплює очищення й правлення металопрокату, розкрій заготовок, підготовлення кромek, формування профільних деталей, комплектування, складання, прихвачування, напівавтоматичне й автоматичне зварювання, очищення, контроль та підготовлення борта до фарбування. Застосування симетричної послідовності накладання швів від середини конструкції до її кінців сприяє рівномірному розподілу теплоти та зменшенню залишкових деформацій.

Для складання борта запропоновано поворотний складально-зварювальний стенд із базовими упорами, контурними опорами та гідравлічними притискачами.

Така конструкція забезпечує точне встановлення обшивки, обв'язок і стійок, утримує їх у заданому положенні під час зварювання та дозволяє виконувати шви з обох боків без повторного базування виробу.

За результатами розрахунку для приводу затискного механізму обрано гідроциліндр 50/32×200 мм. Фактичне зусилля притискання становить 10,64 кН і перевищує необхідне розрахункове значення 8,83 кН, що підтверджує надійність закріплення деталей під час складання, зварювання та кантування.

Якість готового виробу забезпечується суцільним візуально-вимірювальним контролем усіх зварних швів та магнітопорошковим контролем відповідальних, підозрілих і виправлених ділянок. Передбачена система контролю дозволяє своєчасно виявляти поверхневі дефекти, відхилення форми швів і порушення геометрії конструкції.

У розділі з безпеки життєдіяльності й охорони праці визначено основні небезпечні чинники зварювального виробництва та запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації електричного, газового, роботизованого й вантажопідіймального обладнання, організації вентиляції та запобігання пожежам.

Запропонований технологічний процес забезпечує підвищення точності складання, стабільності якості зварних з'єднань і продуктивності виготовлення бічного борта. Поєднання механізованого та роботизованого зварювання, використання поворотного станда й раціональної послідовності виконання операцій зменшує трудомісткість, кількість перевстановлень і ймовірність виникнення зварювальних деформацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
2. <https://kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/napivvagoni/item/1941-napivvahon-mod-12-7019>
3. Технологія вагонобудування та ремонту вагонів: навчальний посібник / за ред. В. І. Мямліна. Дніпро: ДНУЗТ, 2016.
4. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.
5. ДСТУ 7598:2014 Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних).
6. Напіввагон чотиривісний: технічні умови. ТУУ35.2–01124454-032-2004. – К. – 53 с.
7. https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-09g2s/?srsltid=AfmBOooKLeMUAnoGOufCsqa4P_GC7gtfxcpY1S9qPmsZdmcW8CaFk0fk
8. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізвуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. - 263 с.
9. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
10. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні з'єднання зі сталі, нікелю, титану та їх сплавів, виконані плавленням. Рівні якості залежно від дефектів.
11. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
12. ДСТУ EN ISO 9606-1:2016. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
13. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та кваліфікація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування технології зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
14. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
15. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.

16. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
17. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання металевим електродом у захисному газі нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. Стандарт визначає класифікацію дротів і наплавленого металу для газозахисного дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей.
18. https://esab.com/lv/eur_en/products-solutions/product/filler-metals/mild-steel/mig-wires-tig-rods-gmaw-gtaw/purus-42-cf/
19. <https://yellowcones.sa/product/cloos-qineo-next-452-premium/>
20. <https://yellowcones.sa/product-category/welding/>
21. https://cloos-group.com/en/products/automated-welding/robot-welding-products/welding-robots/?utm_source=chatgpt.com
22. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с/
23. <https://www.wheelabratorgroup.com/wheelblast-equipment/roller-conveyor-type-g>
24. <https://www.kohler-germany.com/en/Products/Part-Leveling-Machines>
25. <https://www.microstep.eu/machines/plasma-and-oxyfuel-machines/mastercut/>
26. <https://www.behringer.net/en/products/behringer-bandsaws/horizontal-mitre-bandsaws/automatic-mitre-bandsaws/hbe320-523ga.html>
27. <https://www.promotech.eu/product/bm-21-industrial-plate-pipe-beveler/>
28. <https://us.safandarley.com/products/h-brake-tandem/>
29. <https://www.dreistern.com/en/products/roll-forming-machines>
30. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
31. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокуренко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
32. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТКИ