

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технологічного процесу виготовлення
даху вагона-хопера моделі 19-765**

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

(шифр і назва спеціальності)

Ковбасовський А.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Сенчишин В.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: " Розроблення технологічного процесу виготовлення даху вагона-хопера моделі 19-765" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 56 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 5 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, конструкторська та безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Для висвітлення питань, які розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 20 рисунка, 11 таблиць, 2 додатків. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 20 першоджерел.

В кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення даху вагона-хопера, який ґрунтується використанні автоматизованої установки для реалізації всіх складально-зварювальних операцій. Такий підхід дозволить зменшити використання виробничих площ та підвищити якість виконання робіт пов'язаних із складанням, транспортуванням та зварюванням. За рахунок застосування такого технологічного і конструкторського підходів можна досягти значних економічних показників за рахунок зменшення кількості обслуговуючого обладнання та працівників.

Для забезпечення безпечних умов праці в роботі передбачено шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві, запропоновано вимоги по забезпеченню безпечних і здорових умов праці та розглянуто питання надання долікарська допомога при ураженні електричним струмом.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ РОБОТ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 6 |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА | 7 |
| 1.1 Опис конструкції виробу | 7 |
| 1.2 Характеристика матеріалу виробу | 10 |
| 1.3 Технічні умови на виготовлення виробу | 12 |
| 1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу..... | 15 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА | 17 |
| 2.1 Обґрунтування способу зварювання..... | 17 |
| 2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування | 25 |
| 2.3 Вибір методу контролю якості | 31 |
| 2.4 Опис запропонованого технологічного процесу | 35 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА | 40 |
| 3.1 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи..... | 40 |
| 3.2 Розрахунок елементів складально-зварювального порталу | 43 |
| 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ | 48 |
| 4.1 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві | 48 |
| 4.2 Вимоги по забезпеченню безпечних і здорових умов праці | 49 |
| 4.3 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом..... | 50 |
| ВИСНОВКИ..... | 54 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 55 |

ВСТУП

Розвиток технічного рівня конструкцій нових вагонів здійснюється у напрямку підвищення їх міцності та надійності, що відповідає умовам сучасної експлуатації. Передбачається будівництво напіввагонів лише у суцільнометалевому виконанні. На основі проведення технічної політики у всіх галузях народного господарства намічено прискорити технічне переозброєння виробництва, широко впроваджувати прогресивну техніку та технологію, що забезпечують підвищення продуктивності праці та якості вагонобудівної продукції. При виготовленні нових вагонів будуть використані найбільш економічні матеріали, зварні конструкції, принципи уніфікації та стандартизації складальних одиниць та деталей вагонів та їх взаємозамінності.

Для підвищення якості будівництва та забезпечення високого рівня надійності вагонів велике значення мають технології вагонобудівного виробництва. Тому передбачено впровадження на вагонобудівних підприємствах прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей та складальних одиниць вагонів, підвищення рівня вимог щодо дотримання технологічної дисципліни. Головний напрямок розвитку сучасного вагонобудівного виробництва полягає в його подальшій індустріалізації, основою якої служить система машин, що забезпечує комплексну механізацію та автоматизацію технологічних процесів будівництва вагонів та виробництва запасних частин.

Основний шлях підвищення рівня механізації та автоматизації вагонобудівного виробництва – застосування методів та технічних засобів програмного управління. На підприємствах почали використовувати металорізальні верстати та зварювальне обладнання з числовим програмним управлінням, створюються промислові роботи для зварювальних та складальних процесів. [1]

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Кузови вагонів-хопер (рис. 1.1) призначаються для перевезення сипучих вантажів. Вагони складаються з наступних основних вузлів: кузова з рамою, ходових частин, автозчепних пристроїв та гальмівного устаткування.

Каркас кузова вантажних критих вагонів складається з металевих стояків, дуг і балок фасонного профілю, стіни кузова обшиваються сталевими листами. Стельові дуги і фрамуги зовні накриваються сталевими листами, звареними в стиках і утворюючими суцільнометалевий дах. Характеристика вагона приведена в табл. 1.1. [2]

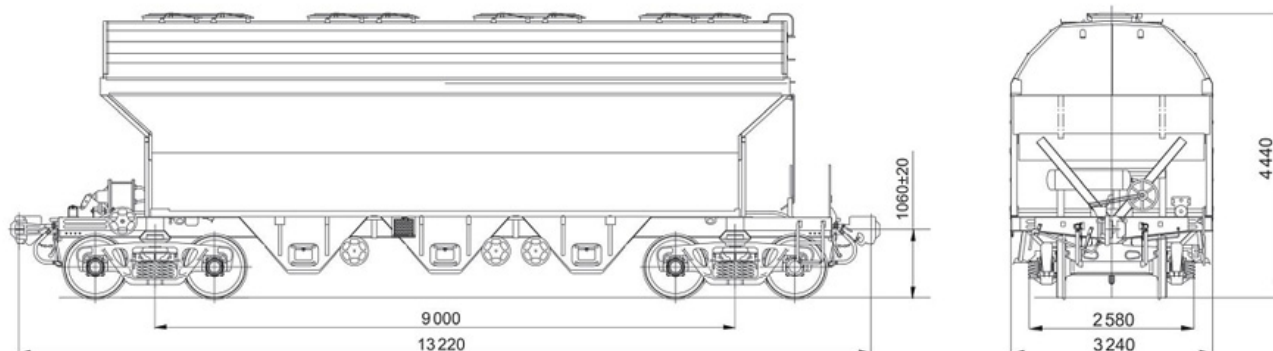


Рис 1.1 – Вагон-хопер моделі 19-765

Таблиця 1.1. – Характеристика вагона-хопера 19-765 [2]

| | |
|--|----------------|
| Вантажопідйомність, не більше , т | 67,0 |
| Об'єм кузова, м ³ | 80,0 |
| Маса тари, не більше, т | 23,0 |
| Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки , кН(тс) | 220,5 (22,5) |
| База вагона, мм | 9 000 |
| Довжина вагона по осях автозчеплень , мм | 13 220 |
| Габарит: | |
| - кузова | IRR (RAI) |
| - візка по ГОСТ 9238 | 02-ВМ (03-ВМ) |
| Висота рівня головок рейок до вісі зчеплення автозчеплень, мм | 1040...1080 |
| Число люків: | |
| - завантажувальних | 4 |
| - розвантажувальних | 6 |
| Візок | <u>18-7055</u> |
| Ширина колії, мм | 1435 |
| Конструкційна швидкість , км/год | 120 |
| Міжремонтний пробіг, км | 210 000 |
| Строк служби, років | 26 |

Вагони-хопери відносяться до універсальних вантажних вагонів із завантажувальними люками в даху та розвантажувальними люками в підлозі для вивантаження сипучих вантажів.

Вони застосовуються для перевезення насипних вантажів, що потребують укриття та захисту від впливу атмосферних опадів та розкрадання. Кузови критих вагонів мають раму, бічні та торцеві стіни, дах та люки для завантаження і вивантаження вантажів (див. рис.1.1).

Суцільнозварний дах вагона складається з двох фрамуг 1, набору дуг 2, приварених до гофрованої металевої обшивки, а також поздовжніх бічних обв'язок і поздовжніх підкріплюючих елементів. Для доступу до завантажувальних люків дах обладнується трапом (рис.1.2).

Обшива даху складається з двох крайніх листів (3) товщиною 2 мм та одного середнього листа (4) товщиною 3 мм.

Крайні листи обшиви виготовлені цільними з чотирма повздовжніми

гофрами. Середній лист має дві гофри з отворами для встановлення завантажувальних люків (5). Повздовжні гофри як крайніх, так і середніх листів призначені для підсилення жорсткості даху та запобігають ковзанню по обшиві даху обслуговуючого персоналу. До крайніх дуг з обох торців даху приварені фрамуги, за допомогою яких дах з'єднуються з торцевими стінами вагону.

По вісі даху розташовані чотири завантажувальні люки (5), які зачиняються кришками зі сферичною поверхнею та притискаються ричагами.

З'єднання деталей, складальних одиниць та інших металевих елементів даху вагону виконується за допомогою дугового зварювання.

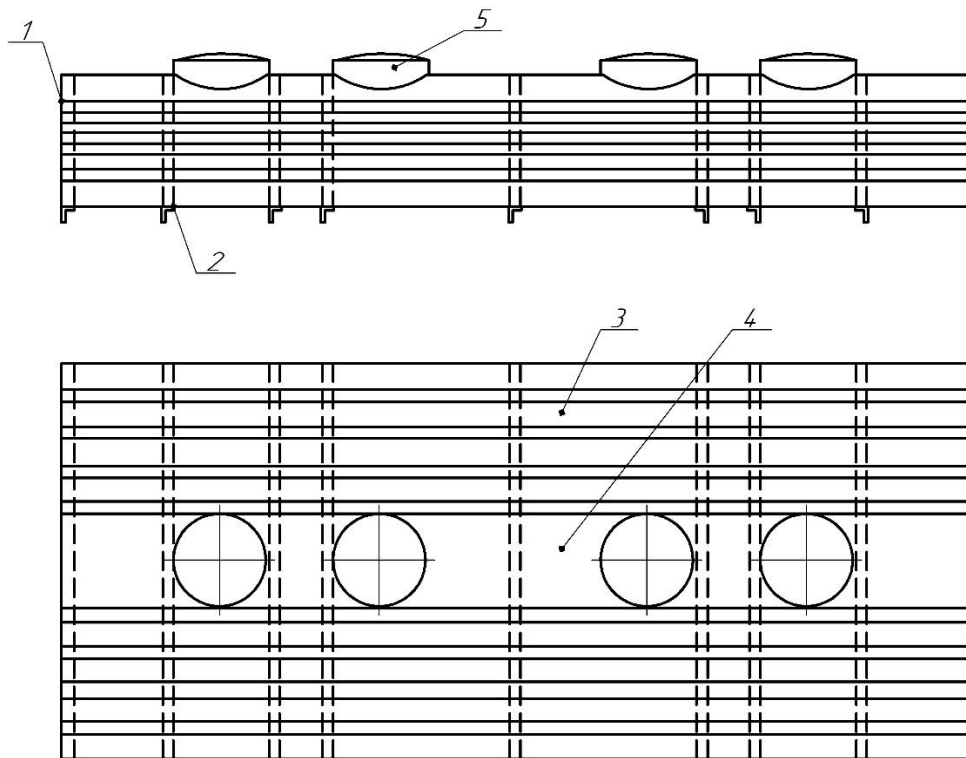


Рис. 1.2 – Конструкція даху

Дах в основному піддається статичному навантаженню. При експлуатації, крім своєї ваги, дах піддається дії атмосферних опадів. Дах – це громіздка конструкція розмірами 12000×2872×580мм.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

З метою забезпечення необхідних властивостей дах виготовляють із сталі 09Г2С. Сталь 09Г2С є одним з розповсюджених матеріалів, які використовуються в металургії та будівництві. Вона відноситься до категорії низьколегованих конструкційних сталей. Її основні компоненти включають вуглець (0,06-0,14%), кремній (0,17-0,37%), марганець (1,40-1,80%) і хром (0,70-1,00%), також містить деяку кількість інших легуючих елементів, таких як фосфор і сірка. Ця сталь відноситься до категорії низьколегованих сталей з високою міцністю.

Сталь 09Г2С має високу міцність і деформованість, що робить її широкоживаним матеріалом для конструкційних до яких ставляться підвищені вимоги. Вона здатна витримувати значні навантаження і забезпечувати стійкість у різних умовах. Її використовують у багатьох галузях, зокрема у будівництві, металургії, нафтовій і газовій промисловості.

Сталь 09Г2С має добру зварюваність. За допомогою відповідних технологій зварювання, можна забезпечити міцні з'єднання між деталями з цієї сталі.

Також, вона забезпечує деяку корозійну стійкість, особливо завдяки наявності хрому в її складі. Однак, в разі експлуатації у вологому або агресивному середовищі рекомендується застосовувати додаткові заходи з захисту від корозії, такі як фарбування або використання захисних покриттів. В таблиці 1.1 та 1.2 приведено характеристику сталі за хімічним складом та механічними властивостями.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 09Г2С [3]

| C,% не більше | Si,% | Mn, % | Cr,% | Cu,% | Ni,% | P,% не більше | S,% | N,% | As,% |
|---------------------|-------------|-------------|------|------|------|------------------|-------|-------|------|
| 0,12 | 0,5- 0,8 | 1,3- 1,7 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,035 | 0,040 | 0,008 | 0,08 |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості [3]

| Переріз, мм | σ_T , МПа | σ_B , МПа | δ_5 , % |
|-------------|------------------|------------------|----------------|
| до 10 | 345 | не менше 490 | 21 |

Легуючі елементи можуть впливати на зварюваність сталей. Збільшення вмісту елементів, які збільшують загартованість, може призводити до зниження опору зварних з'єднань проти холодних тріщин. Зменшення погонної енергії та підвищення інтенсивності охолодження може підвищити можливість розпаду аустеніту і сприяти утворенню загартованих структур, що знижує опір зварного з'єднання до холодних тріщин.

Важливо, щоб зварне з'єднання було стійким до переходу в крихкий стан. Технологія зварювання повинна забезпечувати максимальну продуктивність і економічність процесу з урахуванням вимог надійності конструкції. Для забезпечення монолітності зварного з'єднання використовуються монолітні і міжмолекулярні зв'язки між частинами з'єднувальних матеріалів.

Зварювальні процеси, характерні для зварювання металів, можна розділити на теплові процеси (нагрів, плавлення і охолодження), термомеханічні процеси (пластичне деформування металу з одночасною високою температурою) і фізико-хімічні процеси (фазові перетворення, розплавлення, дисоціація, дифузія і т. д.).

Зварюваність - це так би мовити, комплексна характеристика, що оцінює реакцію на фізико-хімічну дію зварювального процесу і здатність утворювати зварні з'єднання металів, що відповідають експлуатаційним вимогам. Оцінка зварюваності включає такі критерії, як окислення металу, опір гарячим тріщинам і тріщинам при повторних нагрівах, опір холодним тріщинам і повільному руйнуванню, чутливість до теплового впливу зварювання та утворення пор.

Одним із найпростіших способів оцінки «зварюваності металів» є аналітичні методи, які характеризуються поняттям Секв. Для його визначення існує декілька

формул, які використовуються в різних країнах. Для визначення Секв застосуємо аналітичний метод, і проводимо розрахунок за формулою [4]:

$$\text{Секв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (1.1)$$

$$\text{Секв} = 0,18 + 1,7/6 + 0,8/24 + 0,3/10 + 0,3/13 + 0,04/2 = 0,54\%$$

Оскільки 0,44 і 0,54 менше 0,55, то можна зробити висновок, що ці сталі можна зварити без підігріву і вони мають відповідно добру і задовільну зварюваність..

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

При виготовленні конструкції даху зварні елементи мають задовольняти наступні вимоги [5]:

- використання гнутих профілів у конструкції;
- використання механізованих та автоматизованих методів складання та видів зварювання, які гарантують високу якість зварних з'єднань;
- вимоги до типів перерізів елементів конструкції та зварних з'єднань повинні відповідати вимогам щодо міцності та технологічності зварної конструкції при економічному використанні металу. Вони повинні сприяти зручному виконанню зварювальних робіт та не спричиняти значних зварювальних деформацій та напружень;
- основні зварні елементи повинні бути симетричними та складатися з мінімальної кількості деталей та швів;
- заготовки та деталі повинні бути максимально уніфікованими та маємо просту конфігурацію;
- точність виготовлення деталей повинна бути на рівень вище, ніж точність готової механічно необробленої конструкції;

- не допускається використання комбінованих з'єднань, де частина зусиль переноситься зварними швами, а частина заклепками або болтами;
- зварні з'єднання повинні бути придатними для ремонту;
- у напружених елементах зварних конструкцій вільні кромки деталей піддаються обробці ;
- складальні одиниці не повинні мати місць, де може накопичуватися вода або бруд;
- розташування зварних швів повинно бути таким, щоб їх можна було легко контролювати та проводити необхідну зміцнювальну обробку після зварювання.

Вимоги до зварних конструкцій та з'єднань, що виконуються дуговими методами зварювання:

- форма та розташування деталей у конструкції повинні забезпечувати зручність зварювальних робіт, видимість зварювальної ванни та нахил електрода за заданим кутом;
- зварні елементи не повинні мати різких змін перерізів, що можуть спричинити концентрацію напружень;
- поздовжні шви з'єднання зварних елементів, що виготовляються з штампованих або гнутих профілів, рекомендується розташовувати у площині нейтрального шару поперечного перерізу;
- кутові лобові шви повинні мати плавний перехід до основного металу, при цьому відношення більшого катета до меншого слід приймати в діапазоні від 2 до 2,5;
- в зварних з'єднаннях не допускається концентрація кількох швів в обмеженій зоні. При приварюванні додаткових деталей до основних елементів, які працюють на розтяг, з товщиною понад 5 мм, відстань між швами повинна бути не менше 50 мм, за винятком випадків, передбачених технічною документацією, затвердженою замовником;
- зварювальні матеріали повинні мати сертифікати.

Основні принципи зберігання матеріалів:

- металеві вироби, зокрема сталь, повинні бути складені у стійкі штабелі на підкладки, уникайте контакту з ґрунтом або поверхнею, що може їх пошкодити;
- зварювальні матеріали, такі як електродний дріт, повинні бути збережені окремо за марками та партіями в умовах, що захищають їх від пошкодження, забруднення та вологості.

Правила обробки та підготовки для зварювання:

- перед зварюванням металеві вироби повинні бути оглянуті, очищені від бруду, льоду, корозії та інших забруднень;
- якщо металеві вироби мають викривлення або деформацію, які перевищують допустимі стандарти, вони повинні бути попередньо виправлені;
- виправлення металу або заготовок повинно проводитися на вальцях, пресах або спеціальних пристроях, які забезпечують рівномірне розподілення навантаження;
- листові матеріали товщиною до 3 мм можна виправляти вручну на рівних поверхнях, таких як чавунні плити або столи з твердих порід дерева;
- для профілів із низьколегованих сталей необхідно збільшити мінімальні значення внутрішніх радіусів на 50% порівняно з вуглецевими сталями. В разі менших значень радіусів кривизни правку можна виконати лише в гарячому стані;
- дефекти на поверхні металу не припустимі і повинні бути видалені за допомогою абразивних інструментів;
- заготовки, що підлягають зварюванню, повинні відповідати вимогам креслення;
- кромки заготовок, які будуть зварюватися, повинні бути сухими та очищеними від окалини, масла, металевого пилу та інших забруднень на відстань, що перевищує розміри шва не менше 10 мм від країв кромок;
- після термічного різання або різання на гільйотинних ножицях кромки повинні бути оброблені;

- кромки прокатних профілів можуть залишатися необробленими;
- виготовлення деталей для зварювання може включати різання, штампування, гнуття, враховуючи розміри, допуски та вимоги до шорсткості поверхні, визначені на кресленнях;
- складання для зварювання повинно проводитися в спеціальних складально-зварювальних конструкціях та пристосуваннях. Вони повинні бути достатньо жорсткими, забезпечувати вільний доступ до місць зварювання, можливість зварювання без прихваток та зручність виконання зварювання (зокрема в нижньому положенні) та мінімальні деформації під час зварювання;
- прихватки повинні бути очищені від шлаку та бризок, а якщо вони неякісні, їх слід замінити на нові;
- види зварювання та зварювальні матеріали для зварювання конструкцій із вуглецевих та низьколегованих сталей повинні відповідати стандартам і вимогам.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу

При виготовленні даху вагону застосовуються криволінійні полотнища, які потім об'єднуються в жорстку просторову конструкцію, що здатна витримувати статичні, вібраційні і динамічні навантаження.

Дах вагону складається з випуклого листового полотна з гофрами і елементів жорсткості. Листове полотнище зварюють із окремих листів.

Складання і зварювання даху вагона секціями дозволяє зменшити площу виробництва. Полотнище конструкції складають на столі-стенді, де по фіксаторам встановлюють середній лист і два бокових листи. Напусткові з'єднання листів виконують автоматичним дуговим зварюванням на мідній підкладці. Після виготовлення полотнища в пристосування вручну послідовно встановлюють дві дуги з фрамугами, одну дугу з розпоркою, п'ять дуг по фіксаторам пристосування

та притискають гвинтовими притискачами. Потім, встановлюють полотнище за допомогою мостового крана. Контроль якості складання здійснюють візуально, щоб усі деталі прилягали до упорних поверхонь та фіксаторів. Вручну переміщують траверсу до першої дуги, притискають пневматичними притискачами полотнище до дуги з фрамугою та прихвачують. Прихвачування виконують напівавтоматом. Потім переключають напівавтомат в режим встановлення електрозаклепок, підводять траверсу до другої дуги та приварюють полотнище до дуг електрозаклепками по чергово до кожної дуги. Встановлюють, прихоплюють та приварюють заглушки.

Потім вручну виготовляють чотири обичайки та чотири замки на лист середній та прихоплюють. Після прихоплення виконують зварювання тим же напівавтоматом. Коли завершено зварювання даху, його відправляють на випробування. Випробування проводять на спеціальних стелажах та наносять крейдовий розчин з зовнішньої сторони даху на зварні шви, а з внутрішньої сторони на зварні шви наносять газ. Таким способом відбувається контроль якості зварних швів.

Недоліком даного техпроцесу є те, що складання та зварювання конструкції здійснюється механізованим способом, що збільшує трудомісткість виконуваних робіт та знижує якість з'єднань.

З метою усунення цих недоліків раціональним буде розробити конструкцію механізованої лінії із застосуванням автоматизованого зварювання усіх типів з'єднань із врахуванням вимог до, що ставляться до виготовлення вагонів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

У вагонобудівному для з'єднання частин та елементів вагонів широко використовується зварювання. Це сучасний технологічний процес, що є методом з'єднання твердих матеріалів в результаті дії міжатомних сил, який відбувається при місцевому сплавленні або спільному пластичному деформуванні частин, що зварюються. Змінюючи режими зварювання, роблять наплавлення шарів металу різної товщини та різного складу. Сучасні способи зварювання металів поділяються на великі групи: зварювання плавленням, або зварювання в рідкій фазі, і зварювання тиском, або в твердій фазі. При зварюванні плавленням розплавлений метал з'єднаних частин мимовільно, без застосування зовнішніх сил з'єднується в одне ціле в результаті розплавлення та змочування в зоні зварювання та взаємного розчинення матеріалу. При зварюванні тиском для з'єднання частин без розплавлення потрібний значний тиск [6].

Основними способами які можна застосовувати при виготовленні вагонів є дугові способи та контактне точкове зварювання. Контактне зварювання в більшості випадків застосовують при виготовленні вагонів призначених для пасажирських перевезень. В таких вагона за допомогою цього способу здійснюють з'єднання обшивки вагона з каркасом. Товщина обшивки становить 2 мм. Тому даний спосіб при виготовленні даху вагона-хопера не доцільно застосовувати, оскільки товщина з'єднувальних деталей складає більше 5 мм [7].

Із способів, що відносяться до групи зварювання в рідкій фазі можна застосовувати відповідно до діючих стандартів автоматичне під флюсом та автоматичне і механізоване в газах. Перший спосіб відповідно до стандартів можна застосовувати при з'єднанні деталей товщиною більше 3 мм. Тому його застосування при виготовленні даху не можливе оскільки товщина з'єднуваних кромки становить 2 мм.

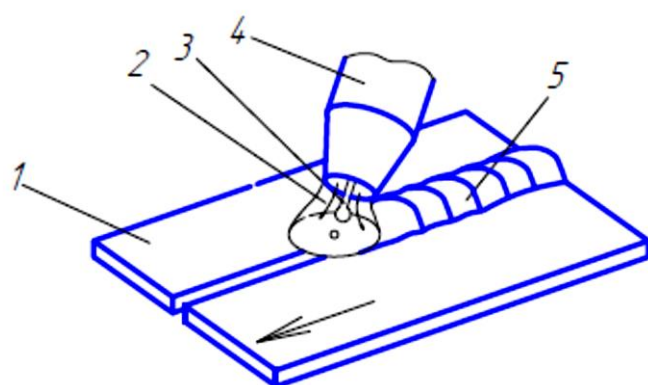
Із всіх можливих перелічених способів залишається застосування зварювання в захисних газах (рис. 2.1). Даний спосіб ґрунтується на дуговому процесі, де електрична дуга горить у куполі захисного газу. Цей метод відрізняється від звичайного дугового зварювання тим, що захисні гази (один або комбінація газів) вводяться до зони плавлення, витісняючи звідти кисень, азот та інші гази, які можуть негативно впливати на якість шва та з'єднання. Як результат, отримується однорідний, гладкий шов, який відповідає встановленим вимогам. Товщина зварюваних поверхонь може варіюватися від десятих часток до десятків міліметрів. Застосування захисних газів у дуговому зварюванні надало йому альтернативну назву - зварювання в захисних газах. Максимальна можлива товщина шва досягає 65 мм² [7-8].

Переваги цього методу зварювання в захисних газах включають:

- 1) Відносна перевага над іншими методами зварювання завдяки багатьом позитивним факторам.
- 2) Ефективний захист зварного шва, особливо при використанні інертних захисних газів.
- 3) Висока швидкість роботи. Зварювання в захисних газах значно швидше, ніж звичайне дугове зварювання.
- 4) Легкість контролю. Можна безпосередньо спостерігати за процесом дуги та станом шва.
- 5) Універсальність. Ця технологія зварювання дозволяє працювати в будь-яких площинах.
- 6) Чистота шва. Немає потреби в додатковому очищенні шва при нанесенні кількох шарів.
- 7) Обмежений термічний вплив. Завдяки цьому мінімізуються деформації, які можуть виникати під час зварювання.
- 8) Широкий спектр застосування. Здійснення зварювання металів різної товщини, від найтонших до декількох сантиметрів.
- 9) Декоративний ефект. Зварні шви мають привабливий зовнішній вигляд - гладкі та рівні.

Деякі недоліки цього методу включають:

- 1) Високі витрати. Технологія потребує спеціального газового обладнання та захисних газів, що збільшує вартість робіт.
- 2) Вимогливість. Зварювання з використанням захисних газів вимагає налагодження захисних пристроїв, щоб уникнути викиду летких газів під впливом атмосфери (особливо при роботі на відкритому просторі). В закритих приміщеннях це менш критично [8].



- 1 - виріб;**
- 2 –захисний газ;**
- 3 - плавкий електрод;**
- 4 - сопло;**
- 5 – шов**

Рис. 2.1 Схема процесу запропонованого способу зварювання [8]

Для реалізації запропонованого способу необхідно підібрати ефективні зварювальні матеріали. До матеріалів які застосовуються при зварюванні в газах відносять дріт та газ. Другий забезпечує захист рідкої ванни, так би мовити від впливу повітря, а також підтримує стабільність горіння дуги. В якості захисного середовища застосовують інертні та активні гази. На даний час найбільш широкого застосування отримали суміші газів, так звані «мікси» [9].

Використання сумішей захисних газів замість чистої вуглекислоти є ефективним рішенням згідно з вітчизняним і закордонним досвідом. Зміна складу газового середовища дозволяє покращити ефективність процесу зварювання, що в свою чергу призводить до підвищення якості з'єднання. Особливо перспективними є суміші аргону з окисними газами, такими як кисень і вуглекислий газ, оскільки вони поєднують високі зварювально-технологічні характеристики. Застосування

суміші $Ar+20-25\%CO_2$ і $Ar+20-30\%CO_2+3-7\%O_2$ забезпечують оптимальне поєднання зварювально-технологічних властивостей і забезпечують ефективність та якість зварювальних робіт.

Важливо зазначити, що суміш $Ar+CO_2+O_2$ має вищий окисний потенціал порівняно з сумішшю $Ar+CO_2$, що сприяє більшій стійкості швів проти утворення азотних пор. Ця суміш особливо ефективна для зварювання з'єднань зі збільшеним зазором, металу з окалиною або товстого металу за високих режимів з використанням дротів більшого діаметру. Вона також рекомендується для використання в умовах обмеженої захисної зони зварювання [9].

Для зварювання низьколегованих сталей широко використовується суміш Corgon 18, яка містить 82%Ar та 18%CO₂. Застосування цієї суміші не потребує змінювати існуючу технологію зварювання. Дана суміш забезпечує стабільне протікання процесу зварювання при низьких густинах струму і ефективного перенесення металу електроду у розплавленому стані, що допомагає зменшити втрати електродного металу. Варто зауважити, що при вмісті CO₂ в суміші понад 20%, струминне перенесення металу стає менш стабільним.

Отже, використання сумішей захисних газів, зокрема спеціально підібраних комбінацій аргону з окисними газами, є ефективним способом поліпшення процесу зварювання та якості зварних з'єднань. Тому для зварювання будемо застосовувати мікс Corgon 18, характеристики якого приведено в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Характеристика технологічного інертного газу [9].

| Захисний газ | $I_{зв}, A$ | U_d, B | $Q, \text{кг/год}$ | $Y, \%$ |
|---------------------|-------------|----------|--------------------|---------|
| $82\%Ar + 18\%CO_2$ | 200 – 210 | 24 – 25 | 3 | 3,8 |
| | 300 – 310 | 30 – 31 | 5,3 | 2,9 |

Для хорошого формування зварного шва і забезпечення стабільного процесу застосовуємо разом із сумішшю Corgon18 дріт Св08Г2С. Даний має оптимальний хімічний склад з вмістом кремнію і марганцю, що сприяє формуванню металу зварного шва з хорошою розкисленою структурою, і відповідає загальним вимогам

щодо застосування зварювальних дротів наближених за хімічним складом основному металу. Таке поєднання дозволить забезпечити необхідні властивості металу шва. Хімічний склад дроту приведено в таблиці 2.2. [9].

Таблиця 2.2 – Хімічний склад запропонованого дроту [9]

| Вміст елементів, % | | | | | | |
|--------------------|-----------|---------|-----------|------|-------|------|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | S | P |
| | | | не більше | | | |
| 0,05-0,11 | 0,70-0,95 | 1,8-2,1 | 0,20 | 0,25 | 0,025 | 0,03 |

З метою забезпечення високої міцності з'єднання в експлуатаційних умовах, важливо правильно вибрати режими зварювання. Для цього проведемо їх розрахунок за літературою [7], при цьому враховуємо тип з'єднання (рис. 2.2.) За стандартом, для кутових з'єднань, де кутові елементи мають товщину від 1 до 8 мм, рекомендується застосовувати одно- або двобічне зварювання без розробки кромки. Використання зазначених матеріалів і режимів зварювання допоможе забезпечити якісне з'єднання та отримати високі техніко-експлуатаційні характеристики. [7].

Враховуючи те, що зварювання елементів даху, а саме його обшивки, проводимо двома напустковими з'єднаннями типу Н2. Протяжність зварних швів складає 12 м кожного, при цьому товщина з'єднуваних деталей 3 та 2 мм. Розрахункова схема зварного шва представлена на рис. 2.2.

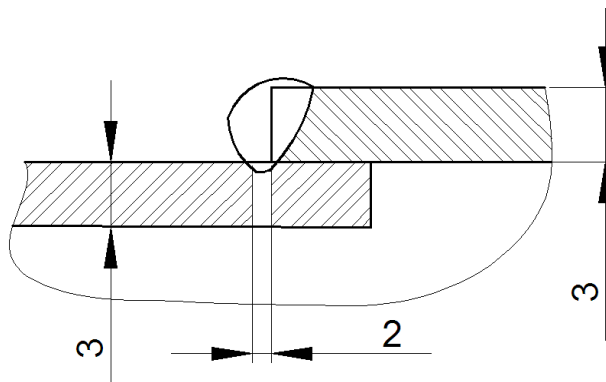


Рис. 2.2 – Конструктивна схема з'єднання Н2

При реалізації процесу дугового зварювання, основними параметрами є: діаметр дроту d_e , струм $I_{зв}$, напруга дуги U_d , швидкість подачі дроту $V_{п.д.}$, швидкість зварювання $V_{зв.}$, виліт дроту l_d та витрати газу Q_r . Всі ці величини по своєму впливають на процес зварювання. Тому необхідно провести їх розрахунок або підбір із врахуванням їхньої залежності один відносно іншого. Розрахунок проводимо у відповідності до літературних даних [7].

Враховуючи тип з'єднання та відповідальність конструкції і технічних вимог до неї, тому необхідно в процесі зварювання забезпечити формування якісного зварного шва з відповідною величиною катета.

Визначаємо F_n :

$$F_n = \frac{k^2}{2}, \quad (2.1)$$

де k – катет шва, $k=3.0$ мм,

$$F_n = \frac{3^2}{2} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ мм}^2$$

Висота шва a :

$$a = \sqrt{F_n}, \quad (2.2)$$

$$A = \sqrt{4.5} = 2.1213. \text{ мм}$$

Ширина шва b :

$$b = \sqrt{2k^2}, \quad (2.3)$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 9} = 4.2426 \text{ м}$$

Загальна висоту шва H :

$$\psi_M = \frac{b}{H}, \quad (2.4)$$

тоді

$$H = \frac{b}{\psi_M}, \quad (2.5)$$

ψ_M для приймаємо $\psi_M=1,1$ А/мм²:

$$H = \frac{4.2426}{1.1} = 3.8569 \text{ мм}$$

ψ_M знаходиться в межах 0,8-2,0 для запропонованого способу, Чим менше його значення тим більша продуктивність процесу.

Глибина проплавлення h_0 :

$$h_0 = H - a, \quad (2.6)$$

$$h_0 = 3.8569 - 2.1213 = 1.8181 \text{ мм.}$$

Для зварювання катетом 3мм вибираємо дріт діаметром 1,2 мм.

Струм зварювання $I_{зв}$:

$$I_{зв} = \frac{h_0}{K_a} \cdot 100, \quad (2.7)$$

де K_a – коефіцієнт пропорційності, $K_a=1.45$ [7],

$$I_{зв} = \frac{1.8181}{1.45} \cdot 100 = 125.38 \quad A \approx 130 \text{ A}$$

Швидкість подачі електрода:

$$V_{n.e.} = \frac{\alpha_p \cdot I_{зв}}{F_{ел} \cdot \gamma}, \quad (2.8)$$

де $\alpha_p = 15$ г/А × год, $\gamma = 7.8 \times 10^3$ кг/м³,

$$F_{ел} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = \frac{3.14159 \cdot 1.2^2}{4} = 1.1309 \text{ мм}^2 \quad (2.9)$$

тоді:

$$V_{н.е.} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 130}{1.1309 \cdot 10^{-6} \cdot 7.8 \cdot 10^3} = 221.062 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{п.е.} = 220 \text{ м/год}$.

Напряга дуги:

$$U_{\delta} = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_e}} \pm 1, \quad (2.10)$$

$$U_{\delta} = 20 + \frac{50 \cdot 130}{1000 \cdot \sqrt{1.2}} \pm 1 = 25.93 \pm 1 \text{ В}$$

Приймаємо $U_{\delta} = 25 \pm 1 \text{ В}$.

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{F_{ел} \cdot V_{н.е.}}{F_n}, \quad (2.11)$$

$$V_{зв} = \frac{1.1309 \cdot 10^{-6} \cdot 221.062}{4.5 \cdot 10^{-6}} = 55.556 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 55 \text{ м/год}$.

Перевіряємо діаметр дроту:

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{зв}}{\gamma}}, \quad (2.12)$$

де γ для дроту діаметром 1,2 мм $\gamma = 100 \dots 300 \text{ А/мм}^2$ [7],

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{130}{120}} = 1.1761 \text{ мм}$$

Виліт електрода приймаємо $l_d = 15$ мм.

Витрати захисного газу $Q_g = 3$ кг/год.

Розраховані параметри приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри режиму зварювання даху

| ПАРАМЕТР | | | |
|-------------------------------------|------------|---------------------|------------|
| Назва | Символ | Одиниці вимірювання | Значення |
| Сила зварювального струму | $I_{зв}$ | А | 130 |
| Напруга на дузі | U_d | В | 25 ± 1 |
| Діаметр електродного дроту | d_e | мм | 1.2 |
| Виліт електрода | l_d | мм | 15 |
| Швидкість зварювання | $V_{зв}$ | м/год | 55 |
| Швидкість подачі електродного дроту | $V_{п.е.}$ | м/год | 220 |
| Розхід захисного газу | Q_g | кг/год | 3 |

2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування

Зважаючи на особливості конструкції зварного виробу, типи зварних з'єднань і запропонований метод зварювання

Вибір обладнання залежить від кількох факторів, таких як:

- постачання зварювального струму до електродного дроту та зварювального виробу. Джерело живлення повинно забезпечити необхідний зварювальний струм для виконання процесу зварювання.
- подача електродного дроту. Вона повинна забезпечити стабільну та регульовану подачу дроту з відповідною швидкістю плавлення, що допомагає отримати рівномірний і якісний зварний шов.
- захист зони зварювання. Обладнання повинно мати механізми для захисту зони зварювання від повітряного впливу і може включати системи

газового захисту, які забезпечують стабільне середовище захисного газу навколо зони зварювання.

Для автоматичного зварювання використовують універсальне та спеціалізоване обладнання. Універсальне обладнання здатне виконувати різні види зварювання, тоді як спеціалізоване обладнання призначене для конкретних видів зварювальних робіт. Зварювальний апарат виконувати такі функції:

- забезпечення необхідного режиму зварювання.
- підтримка постійного та стабільного режиму під час зварювання.
- безперебійна подача дроту.
- надійний захист розплавленого металу.
- мати надійну і просту систему керування.

Враховуючи існуючий рівень автоматизації і роботизації зварювальних процесів та існуючого обладнання для їх реалізації, при виготовленні даху будемо застосовувати роботи-маніпулятори.

Зварювальні роботи класифікуються за двома ознаками:

- за способом установки на робочому місці вони бувають: підлогові зварювальні роботи, які розташовані на підлозі робочої зони (рис. 2.3 а), підвісні зварювальні роботи настінного виконання, які встановлені на стіні робочого приміщення (рис. 2.3 б), підвісні зварювальні роботи стельового виконання, які розташовані на стелі робочого приміщення (рис. 2.3 в).
- по місцю розміщення джерела зварювального струму: зварювальні роботи з вбудованим в старанний пристрій джерелом зварювального струму, де джерело струму розташоване безпосередньо всередині робота; зварювальні роботи з вбудованим в робочий орган джерелом зварювального струму, де джерело струму розташоване у робочому органі робота; зварювальні роботи з окремим джерелом зварювального струму, де джерело струму знаходиться окремо від робота і маніпулятора.

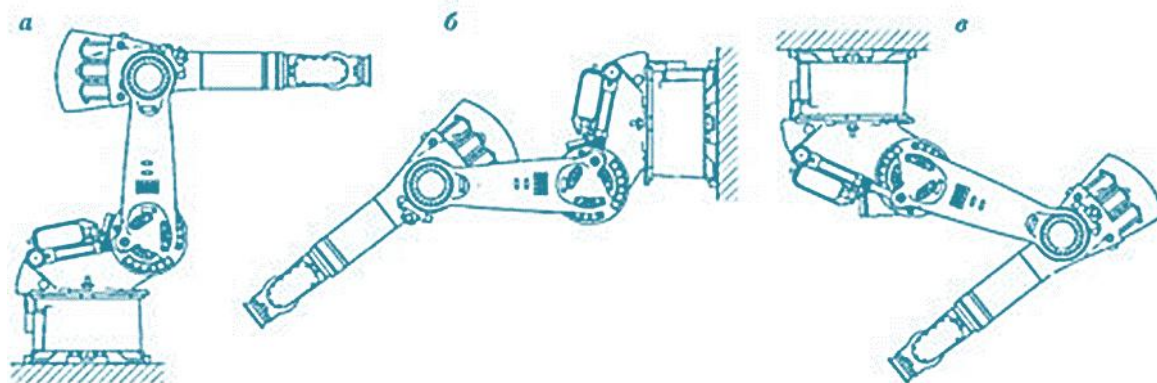


Рис2.3 – Схеми розміщення зварювальних роботів

Враховуючи протяжність та кількість однотипних зварних швів доцільно буде застосування робота конструкції підвісного настінного виконання. З метою забезпечення отриманих параметрів а також із конструктивних особливостей будемо застосовувати комплект обладнання для роботизованого зварювання типу A7 MIG Welder 450 (рис. 2.4).



Рис. 2.4 – Роботизований комплекс A7MIG Welder450 [10]

Даний комплекс зварювального обладнання, включає в себе наступне обладнання: зварювальний пальник, подавальний механізм, джерело живлення і блок охолодження. Характеристика елементів комплексу приведена в табл. 2.4 -2.7.

Таблиця 2.4 – Загальна характеристика комплексу [10]

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Напруга живильної мережі 1 ~ 50/60 Гц | N/A |
| Напруга живильної мережі 3 ~ 50/60 Гц | 400 В, -15... +20 % |
| Підключення мережевого кабелю | 4G6 (5м) |
| Струм живлення (макс) | 32А |
| Струм живлення (ефективний) | 25А |
| Запобіжник (затримка) | 35А |
| Напруга холостого ходу (пікова) | U ₀ = 80 В – 98 В |
| Холоста напруга (середня) | 85 В – 103 В |
| Діапазон робочої температури | -20... +40 |
| Потужність генератора | 35 кВА |
| Зовнішні габарити д х ш х в | 610 x 240 x 520 мм |
| Вага (без аксесуарів) | 40.2 кг |
| Вага (з кабелем мережі) | 42.6 кг |
| Рівень захисту | IP23S |
| Ефективність (100% ПВ) | 87% |
| Фактор сили при максимальному струмі | 0.88 |

Таблиця 2.5 – Характеристика джерела живлення A7Mig450 [10]

| | |
|---|----------------------------|
| Температура зберігання | -40... +60 |
| Клас температур | 155 (F) |
| Клас | F |
| Потужність короткого замикання | 5.5 MVA |
| Діапазон зварювання | 20 А / 12 V – 450 А / 46 V |
| Вихід при 60% ПВ | 450 А |
| Вихід при 100% ПВ | 350 А |
| Джерело живлення для допоміжного пристрою | 50 В DC / 100 W |
| Максимальна повна потужність | 22 kVA |
| Потужність холостого ходу | 25 W |
| Джерело живлення для блоку охолодження | 24 V DC / 50 VA |

Таблиця 2.6 – Характеристика охолоджуючого блоку [10]

| | |
|-----------------------------------|--------------------|
| Назва продукту | Cool X |
| Діапазон робочої температури | -20... +40 |
| Зовнішні габарити | 570 x 230 x 280 мм |
| Вага (без аксесуарів) | 11 кг |
| Рівень захисту | IP23S |
| Температури зберігання | -40... +60 |
| Клас | A |
| Робоча напруга (безпечна напруга) | 400 В -15... +20 % |
| Потужність охолодження | 1 kW |
| Максимальний тиск | 0.4 Мра |
| Обсяг | 3 л |

Таблиця 2.7 – Характеристика подаючого механізму A7 Mig 25 [10]

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Діапазон температур роботи | -20...+40 |
| Габаритні розміри | 380 x 250 x 170 mm |
| Вага (без аксесуарів) | 7.8 kg |
| Рівень захисту | IP21S |
| Температура зберігання | -40...+60 |
| Клас | A |
| Тип з'єднання пальником | EURO |
| Подаючий механізм | 4-роликовий, подвійний мотор |
| Діаметр дроту Fe (суцільна) | 0.8 – 1.6 |
| Діаметр дроту Fe (порошкова) | 1.0 – 1.6 |
| Діаметр дроту Ss | 0.8 – 1.6 |
| Діаметр дроту Al | 1.0 – 2.4 |
| Діаметр дроту CuSi | 0.8 – 1.2 |
| Регулювання подачі дроту | 0.5 – 25 м/мин |
| Робоча напруга (Безпечна напруга) | 50 В DC |

В якості сомого робота будемо застосовувати робот для дугового зварювання ARC Mate 100 iC/12S (рис. 2.5). Основні дані робота приведено в табл. 2.8.



Рис. 2.5 – Робот ARCMate100iC/12S [10]

Таблиця 2.8 – Характеристика робота ARCMate100iC/12S

| | |
|-----------------------------------|---------------------|
| Виробник | FANUC |
| Назва | ARC Mate 100 iC/12S |
| Максимальне навантаження на кисть | 12 кг |
| Досяжність | 1098 мм |
| Керованих осей | 6 |
| Повторюваність | ±0,04 мм |
| Вага | 130 кг |
| Середнє споживання енергії | 1 кВт |

2.3 Вибір методу контролю якості

Враховуючи вимоги до зварних з'єднань та умов роботи зварної конструкції контроль якості складально-зварювальних операцій можна здійснювати різними способами. Розглянемо кожен із можливих і раціональних способів [12].

Зовнішній огляд виконують неозброєним оком або за допомогою лупи (не більше семиразового збільшення), при цьому виявляють тріщини, подрізи, напливи, рівномірність шва та розміри його. Ця операція проста, але високоефективна.

Механічні випробування - це випробування зразків на розрив, вигин, ударну в'язкість, відносне подовження, на розтягування виконуються на ударну в'язкість.

Пневматичні випробування – наповнення контрольованої ємності стисненим повітрям (рис. 2.6). Так, наприклад, випробовують зварні балони для пропану. Після заповнення повітрям балон занурюють у ванну з водою для перевірки густини, при цьому оглядають наявність повітряних бульбашок. Процес простий та швидкий, при цьому перевіряється щільність швів на течі та міцність.



Рис. 2.6 - Схема випробувань на густину зварних швів повітрям [12]

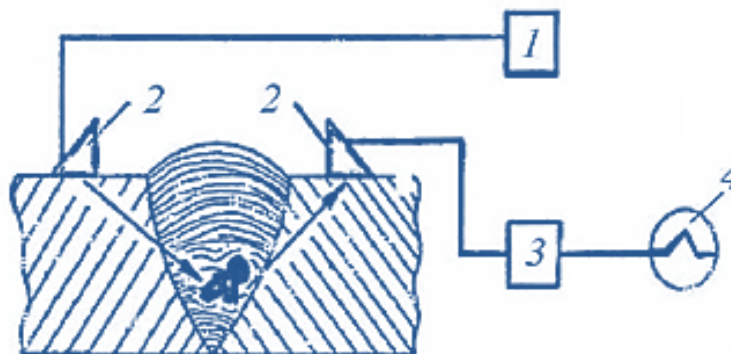
Випробування гасом - змочування зварних швів гасом, витримка, потім, якщо є нещільність, гас проступає жовтими плямами на крейдяному покритті зі зворотного боку шва. Процес простий і досить надійний. Гасова проба еквівалентна 4 кгс/мм гідравлічного тиску.

Випробування аміаком - випробувані шви покривають паперовою або марлевою стрічкою, просоченою 5% водним розчином азотнокислої ртуті або фенолфталеїном. У виріб нагнітають повітря суміші з аміаком до певного тиску.

Проходячи через нещільність шва, аміак залишає на папері чорні (розчин азотнокислої ртуті) або червоні (фенолфталеїн) плями.

Випробування за допомогою течешукачів. Застосовують гелієві течешукачі, при контролі всередині випробуваної судини створюють глибокий вакуум, а зовні зварні шви обдувають сумішшю повітря з гелієм. Через нещільності гелій проникає всередину судини, а потім у течешукач, обладнаний апаратурою для його виявлення.

Ультразвукова дефектоскопія. Ультразвуковий метод контролю заснований на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від межі розділу двох пружних середовищ, що володіють різними акустичними властивостями (рис. 2.7).



1 – генератор ультразвукових коливань; 2 - п'єзoeлектричний щуп; 3 – підсилювач; 4 - екран дефектоскопа

Рис. 2.7. - Схема ультразвукового контролю [12]

Відбившись від нижньої поверхні виробу, ультразвук повернеться, буде прийнятий датчиком, перетворений на електричні коливання і подано на екран електроннопроменевої трубки. За наявності дефектів ультразвукові коливання спотворяться, це буде видно на екрані електронно-променевої трубки, де з'явиться сплеск – спотворення. За характером та розмірами спотворень визначають види та розміри дефектів. Розповсюджуються коливання в однорідних матеріалах щодо відносно прямих ліній, а на межі розділу двох різнорідних матеріалів (пори, тріщини та ін) відбувається їх відображення. Недолік ультразвукового контролю - у

складності розшифровки дефекту, обмеження для застосування на виробках аустенітних сталей, чавуну, металів із великим зерном, неможливості контролю сталей малої товщини (до 4 мм).

Капілярні методи контролю. Існує два методи: 1. люмінесцентний (ЛД) (люмінесцентна дефектоскопія) заснований на властивості деяких речовин (люмінофорів) світитися при дії ультрафіолетових променів; 2. кольорова дефектоскопія (ЦД), коли використовуються барвники, видимі в зоні дефекту при денному світлі. Капілярні методи контролю призначені для виявлення несплошності в поверхневих шарах виробів, які полягають у зміні світловіддачі дефектів, заповненням їх з поверхні спеціальними світло-і контрастними кольорами індикаторними рідинами, званими пенетрантами. Якщо до складу пенетранту входять люмінесцентні речовини, тобто речовини, що дають яскраве свічення при опроміненні їх ультрафіолетовим світлом, такі рідини називаються люмінесцентними, а метод контролю відповідно - люмінесцентним. Якщо основою пенетранта є барвники, видимі при денному світлі, метод контролю називають кольоровим (кольорова дефектоскопія). У ЦД використовують барвники яскраво-червоного кольору. Сутність капілярної дефектоскопії ось у чому. Поверхню очищають від забруднень, знежирюють, сушать. Після цього на неї наносять шар пенетранту і дають витримку, щоб рідина змогла проникнути в дефекти. Потім поверхню очищають від рідини, частина якої залишається у порожнині дефектів. На поверхню виробу після видалення з неї пенетрантів наносять спеціальний матеріал, що виявляє у вигляді швидко сохнучої суспензії (каоліну, колодія) або лакові покриття. Виявляє матеріал витягує пенетрант з порожнини дефектів, залишаючи на собі сліди розташування дефекту, що повністю повторюють конфігурацію дефекту [12].

На основі аналізу можливих методів контролю якості можна виділити два методи, такі як капілярний та візуально-оптичний.

Реалізація другого окрім зовнішнього огляду швів здійснюється контрольовими вимірювальними шаблонами, такими як: УШС-4 (рис. 2.8) та набір радіусних шаблонів № 3 (2.9).

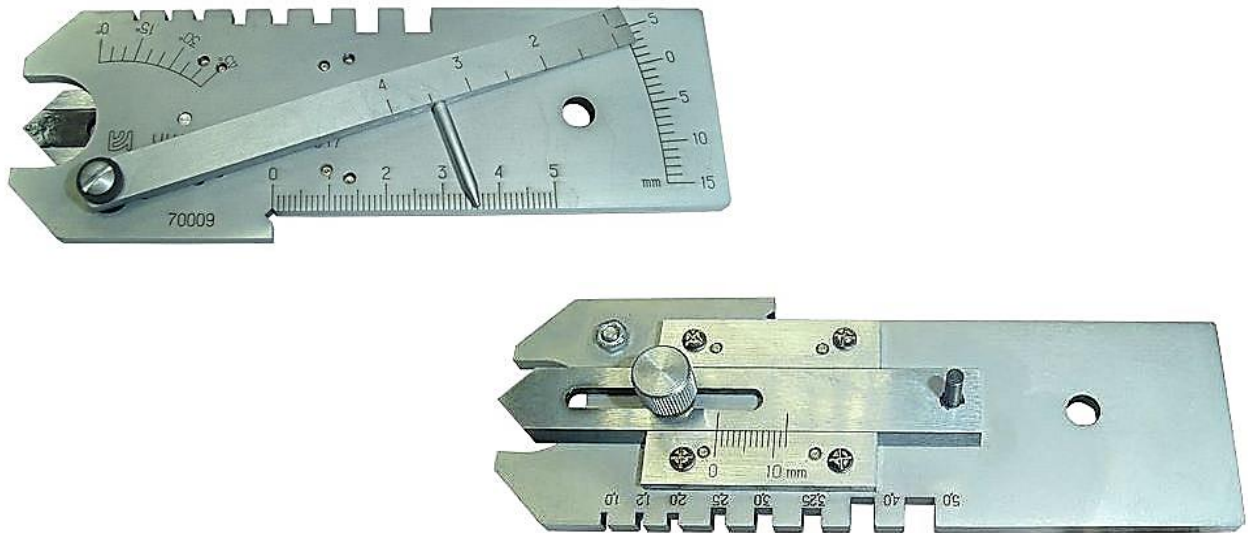


Рис. 2.8 - Шаблон для контролю зварних швів УШС-4 [13]



Рис. 2.9 - Набір радіусних шаблонів № 3 [13]

Капілярний метод проводимо за допомогою пенетранту, проявника та очистника, які представлені в табл. 2.9 та зображені на рис. 2.10.

Таблиця 2.9 Засоби для капілярного методу контролю [14]

| № п/п | Найменування | Серія | Тара/об'єм |
|---|-----------------------------|-----------|----------------------|
| Контрастний капілярний метод, що змивається розчинником або водою | | | |
| 1 | Очисник U-87 | NORD-TEST | Балон аерозоль 0,5 л |
| 2 | Пенетрант U-88 | NORD-TEST | Балон аерозоль 0,5 л |
| 3 | Проявник U-89 | NORD-TEST | Балон аерозоль 0,5 л |
| 4 | Пенетрант червоний Rot 3000 | NORD-TEST | Балон аерозоль 0,5 л |
| 5 | Очисник U-87 | NORD-TEST | Каністра 1 л, 10 л |
| 6 | Пенетрант U-88 | NORD-TEST | Каністра 1 л, 10 л |
| 7 | Проявник U-89 | NORD-TEST | Каністра 1 л, 10 л |
| 8 | Пенетрант червоний Rot 3000 | NORD-TEST | Каністра 1 л, 10 л |



Рис. 2.10 – Аерозольні балони та каністри із речовинами для капілярного контролю

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Процес виготовлення даху вагона-хопера включає в собі реалізацію і виконання декількох технологічних операцій, які пов'язані між собою технологічними маршрутами.

Першим етапом техпроцесу є постачання листового гофрованого прокату в цех. Після цього листи проходять очищення від різного роду забруднень в

дробоструменевій установці (рис. 2.11). Листи в установку подається за допомогою кран-балок.



Рис. 2.11 – Дробеструменева установка SK-1 ÇETİNGİL [15]

Після проходження очищення дробом листи складаються і за допомогою кран-балок поступають на складально-зварювальні операції. Складання проводять в спеціальному кондукторі (рис. 2.12). Послідовність проведення складальних операцій наступна:

- в спеціальних місцях кондуктора встановлюються поперечні дуги та фіксуються з обох сторін кондуктора за допомогою притискачів;
- на торцях кондуктора встановлюються фрамуги і теж фіксуються притискачами;
- з двох сторін кондуктора на встановленні дуги та фрамуги вкладаються крайні гофровані листи та фіксуються з нижньої сторони;
- після цього встановлюють верхній лист та фіксують його з торців.

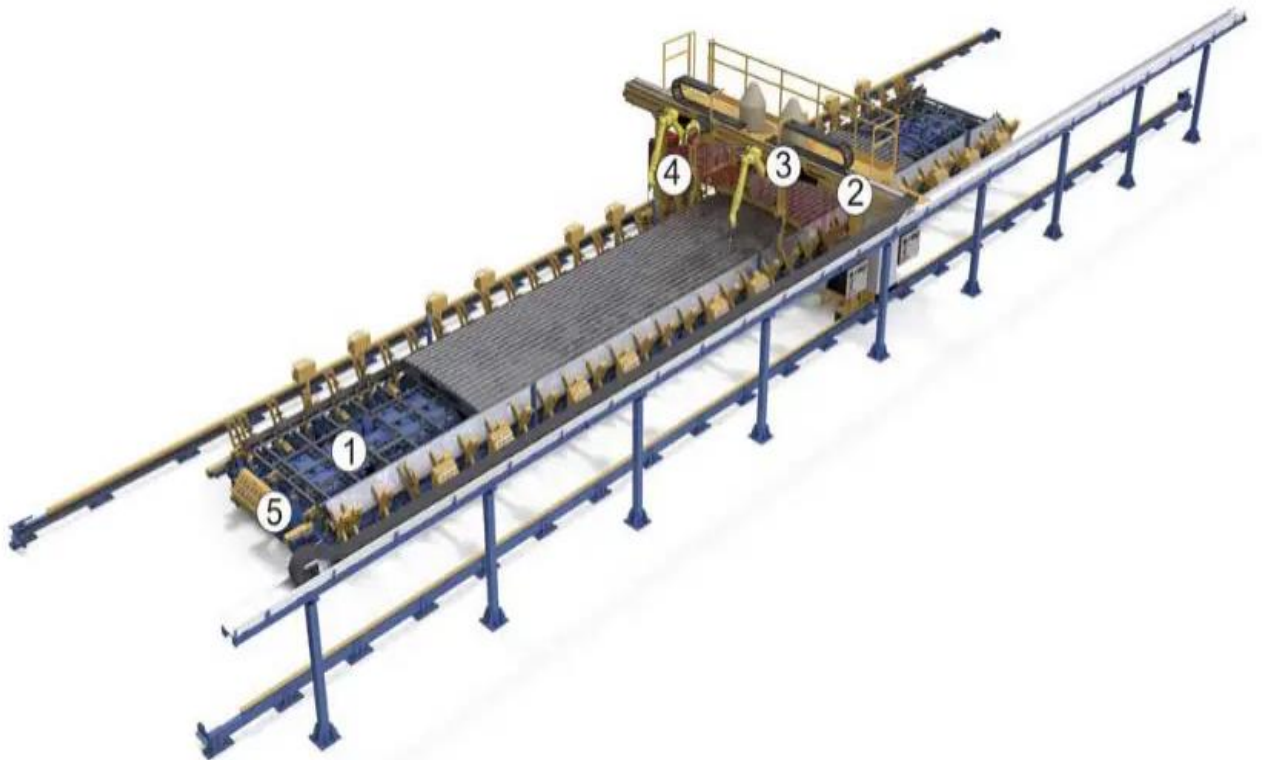


Рис. 2.12 – Процес послідовності складання даху [16]

Коли всі елементи даху встановленні у відповідних місцях здійснюють їх прихоплення. Цей процес реалізується за допомогою спеціального порталу (рис. 2.13) на якому розміщені пневматичні притискачі та підвісний зварювальний робот ARCMate100iC/12S. Застосування такого складального-порталу дозволяє значно підвищити продуктивність та підвищити якість складальних операцій.

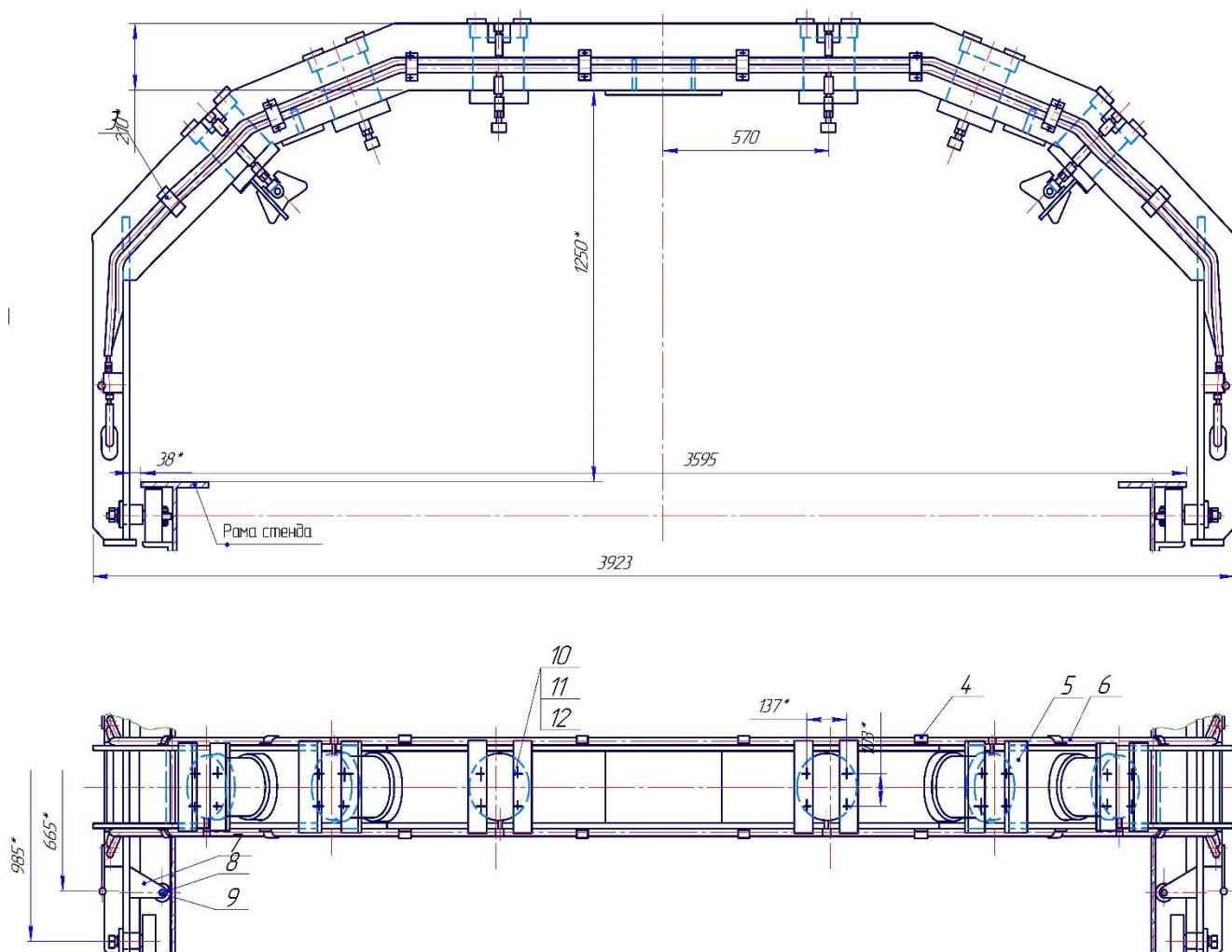


Рис. 2.13 – Конструктивна схема складального порталу

Після проведення складальних операцій проводять автоматизоване зварювання двох напусткових швів катетом 3 мм і протяжністю 12 м. Це реалізується за допомогою спеціального зварювального порталу (рис. 2.14) на якому вмонтовані два зварювальні роботи ARCMate100iC/12S з комплекс A7MIG Welder450.

Після заварювання повздовжніх швів проводять приварювання електрозаклепки фрамуг і дуг до полотнища. Цей процес реалізується за допомогою складального порталу (див. рис. 2.13).

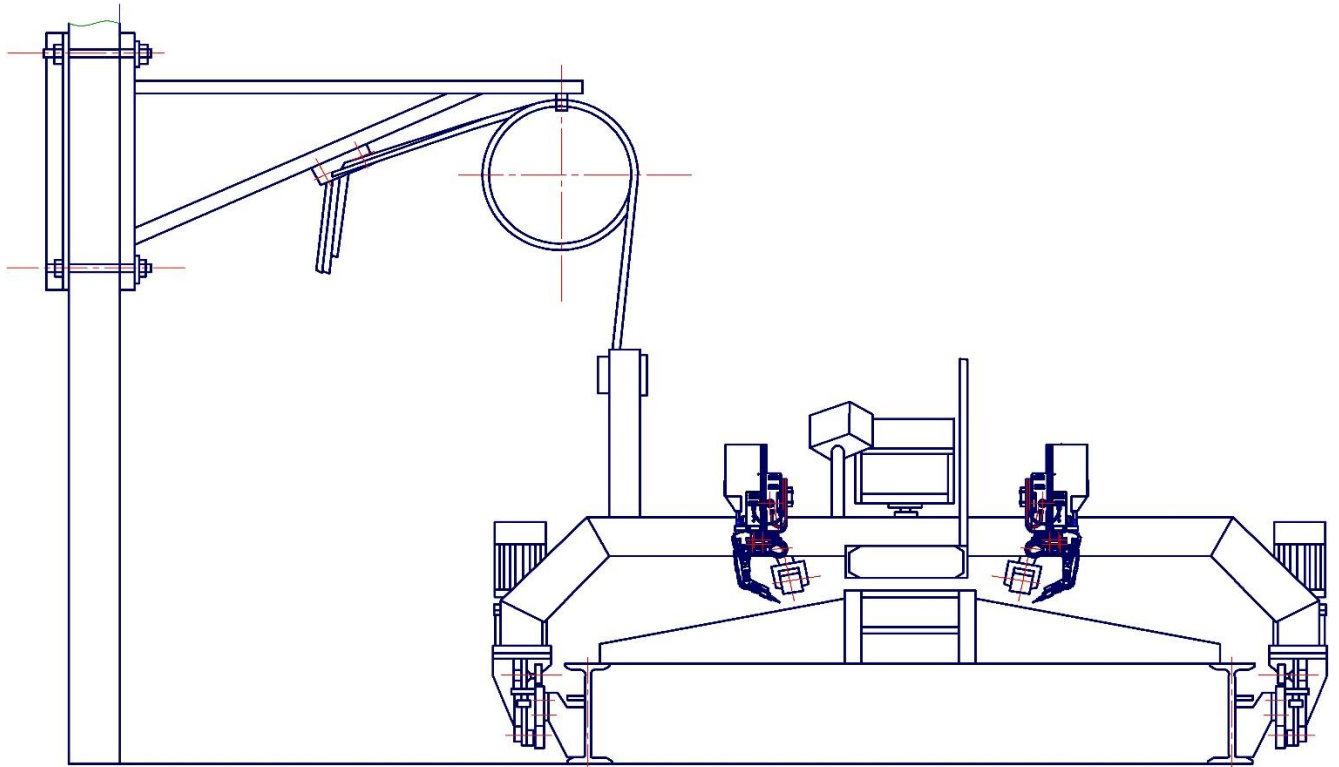


Рис. 2.14 – Схема зварювального порталу для виготовлення даху вагона

Перед останньою операцією техпроцесу є проведення контролю якості. За допомогою капілярного методу перевіряють наявність тріщин чи інших дефектів в зварних швах, а також візуально перевіряють їх відповідність технологічній документації та наявності подрізів, пропалів та напливів і т.п. З контрольної операції виріб поступає на очищення та подальше складання вагона.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи

Для виготовлення просторових конструкцій застосовується різноманітна кількість складально-зварювальних пристосувань, які поділяються на універсальні, спеціалізовані та спеціальні. Перші застосовуються переважно при виготовленні одиночних конструкцій або невеликих партій. Для серійного та масового виробництва застосовують спеціальні та спеціалізовані пристосування.

Враховуючи той факт, що вагонне виробництво відноситься до серійного, оскільки залізничні перевезення й досі залишаються одним із основних способів. Виробництво вагонів й досі залишається актуальним питанням промисловості. Для виготовлення елементів вагонів застосовують спеціалізовані установки та пристосування, які проектуються і виготовляються таким чином, щоб їх можна булоб застосовувати після модернізації конструкцій вагонів.

Для виготовлення даху вагона-хопер будемо застосовувати спеціалізовану складальнозварювальну установку, з модернізацією її окремих вузлів, для підвищення ефективності виробництва та якості виготовлених деталей.

Модернізована автоматизована складально-зварювальна установка для виготовлення даху вагона-хопер представлена на рис. 3.1. До складу даної установки входить складально-зварювальний кондуктор (рис. 3.2), складально-зварювальний портал (див. рис.2.13) та зварювальний портал (див. рис. 2.14).

Складання та зварювання даху вагона із застосуванням даної установки дозволяє зменшити виробничі площі. Складання даху вагона-хопер здійснюється одночасним встановлення всіх основних елементів конструкції в складально-зварний стенд. Фіксація всіх складових елементів здійснюється за допомогою пневмопритискачів. Це дозволяє зменшити час на складання конструкції. Притискачі в кондукторі розташовані таким чином, що притискання дуг і фрамуг здійснюється з однієї сторони протилежній потоковому маршруту

технологічного процесу виготовлення вагона-хопера. Це дозволяє зменшити час на знімання та вивільнення конструкції даху із пристосувань.

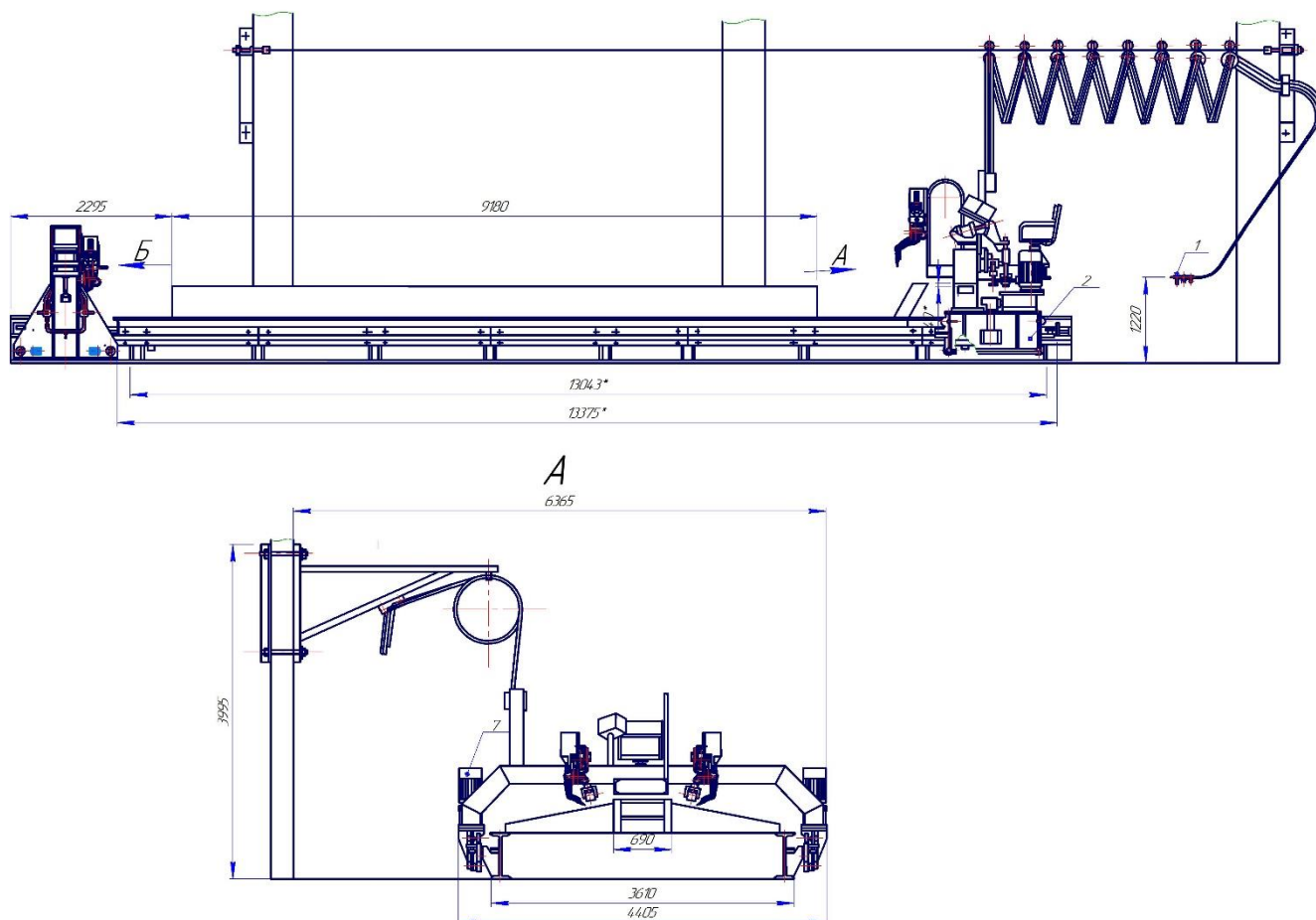


Рис. 3.1 – Схема модернізованої складально-зварювальної установки

Принцип роботи установки полягає в наступному: в складальний кондуктор на відповідні місця встановлюють дуги і притискають пневматичними притискачами. Після цього встановлюють фрамуги і теж притискають пневмопритискачами. На встановлені деталі вкладають за допомогою кран балки листи обшивки даху. Спочатку вкладають два крайніх гофровані листи та притискають їх в нижній частині, після цього встановлюють верхній лист з отворами під звантажувальні люки, та фіксують по торцям, щоб не було зміщення відносно інших елементів.

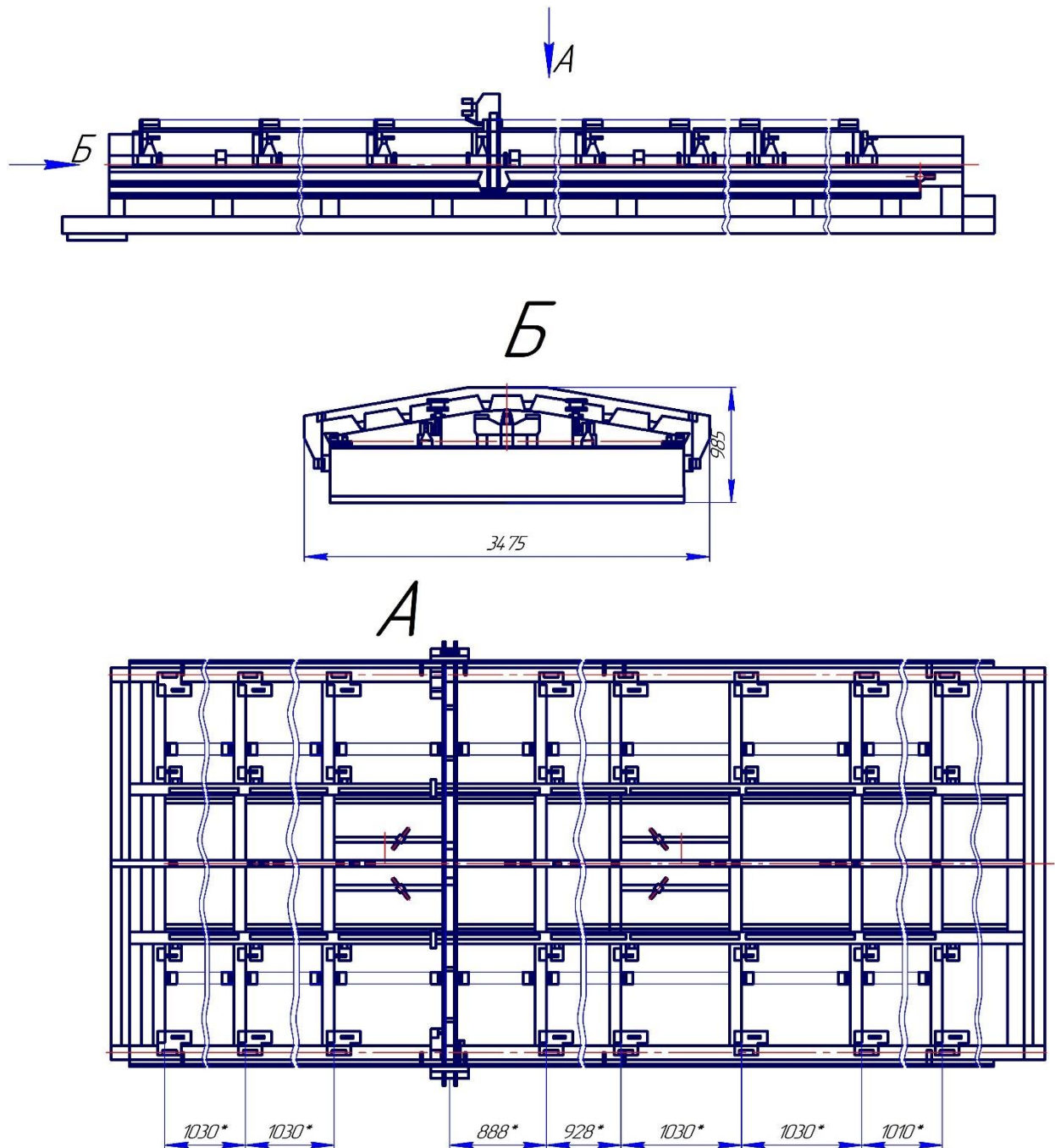


Рис. 3.2 – Стенд для складання та зварювання даху

Після встановлення всіх елементів в пристосування та їх фіксації здійснюється прихвачування листів обшивки між собою за допомогою складально-зварювального порталу на якому розташований зварювальний робот. Портал виконаний таким чином що родот по направляючим може переміщуватися поперек зварної конструкції. На основі складально-

зварювального порталу розташовані пневмопритискачі в один ряд, за допомогою яких здійснюють притискання листів обшивки між собою, та в подальшому притискання обшивки до встановлених дуг і фрамуг, з метою приварювання їх електрозаклепками. На основній рамі, по якій переміщується складально-зварювальний портал розташовані кінцевики вмикання та вимикання механізму його переміщення, в місцях де встановлюють дуги і фрамуги. Тобто складання та зварювання електрозаклепками здійснюється автоматично. З іншого боку складально-зварювального стенду розташований стенд для автоматичного зварювання повздовжніх напусткових швів. На цьому порталі розміщено симетрично два зварювальні роботи із апаратурою. Даний портал в процесі зварювання переміщується із швидкістю зварювання. Портали працюють у послідовності виконання операцій згідно технологічного процесу.

Також варто зазначити, що приварювання завантажувальних люків теж здійснюється за допомогою складально-зварювального порталу.

3.2 Розрахунок елементів складально-зварювального порталу

З врахуванням того, що при виготовленні даху вагона-хопер застосовуються зварювальні портали, на яких вмонтоване зварювальне устаткування. Портали виконують роботу переміщення обладнання із швидкістю зварювання та маршевою швидкістю. Тому, проведемо розрахунок елементів механізму переміщення порталу згідно літератури [17]. Розрахункову схему приведено на рис. 3.3. Вихідними даними для розрахунку є: $V_{зв}=55$ м/год, $G=15$ кН, $l_1=0.5$ м, $l_2=1.5$ м, $l=2.5$ м.

Визначаємо реакції, які діють на ходові колеса порталу:

$$Q_1 l_2 = G(l_1 + l_2), \quad Q_1 = \frac{G(l_1 + l_2)}{l_2}, \quad Q_1 = 20 \text{ Н}; \quad (3.1)$$

$$Q_2 l_2 = G l_1, \quad Q_2 = \frac{G l_1}{l_2}, \quad Q_2 = 5 \text{ Н}; \quad (3.2)$$

$$Q_3 l = Q_1 (l - l_1), \quad Q_3 = \frac{Q_1 (l - l_1)}{l}, \quad Q_3 = 16 \text{ Н}; \quad (3.3)$$

$$Q_4 l = Q_1 l_1, \quad Q_4 = \frac{Q_1 l_1}{l}, \quad Q_4 = 4 \text{ Н}. \quad (3.4)$$

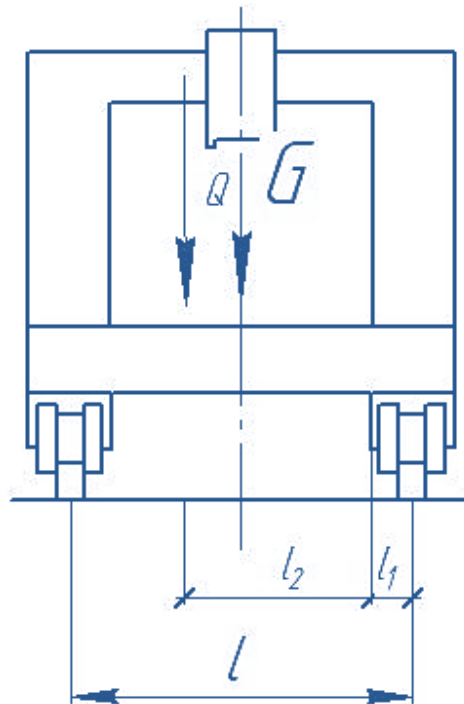


Рис. 3.3 - Розрахункова схема порталу [17]

Визначаємо радіус r_1 ходових коліс порталу:

$$\sigma_e = 0,167 k_f \sqrt{\frac{PE}{hr_1}} \leq [\sigma] \text{ звідки } r_1 = \left(\frac{0,167 k_f}{[\sigma_e]} \right)^2 \frac{PE}{h}, \quad (3.5)$$

де $k_f = 1,05$ – коефіцієнт тертя;

$h = 0,06$ м – ширина поверхні контакту ролика з рейкою;

$E = 2E_1E_2 / (E_1 + E_2)$ – модуль пружності ($E = 2,1 \times 10^6$ МПа);

$P = Q_{\max}$ – максимальне навантаження, яке сприймає колесо візка переміщення порталу, Н;

$[\sigma_e] = 70$ МПа – допускане напруження в місці контакту колеса.

$$r_1 = \left(\frac{0.167 \cdot 1.05}{70} \right)^2 \frac{20 \cdot 10^{-4} \cdot 2.1 \cdot 10^6}{0.06} = 0,3 \text{ м}$$

Отже, приймаємо $r_1 = 30$ см, тоді $D_{\text{ок}} = 2r_1 = 60$ см.

Згинальний момент в осі опорного катка, при $a = 35$ см:

$$M_{321} = Q_2 a \quad (3.6)$$

$$M_{32} = 20 \cdot 0.35 = 7 \text{ Нм.}$$

Діаметр осі катка

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{10M_{32}}{[\sigma]}} \quad (3.7)$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 7}{70 \cdot 10^6}} = 0.5 \text{ м.}$$

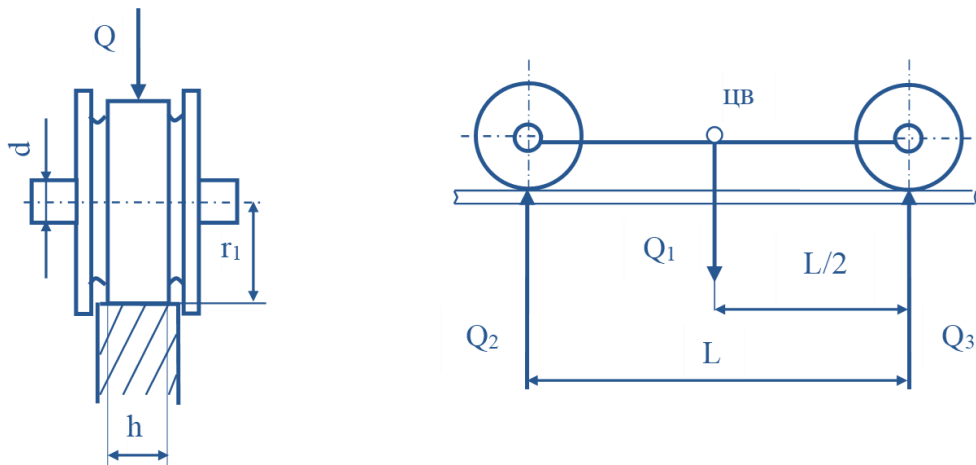


Рис. 3.4 - Схема розподілу сил на колеса однієї рейки [17]

Визначаємо згинальний момент на валу. При $b = 5$ см.

$$M_{322} = \frac{Q_3 b}{4} \quad (3.8)$$

$$M_{322} = \frac{16 \cdot 0.05}{4} = 2 \text{ Нм.}$$

Визначаємо опір від переміщення

$$W_T = \sum_1^n Q_1 k_p \frac{f_n d + 2\mu_k}{D_{ок}} + Q_2 k_p \frac{f_n d + 2\mu_k}{D_{ок}} + Q_3 k_p \frac{f_n d + 2\mu_k}{D_{хк}} + Q_4 k_p \frac{f_n d + 2\mu_k}{D_{хк}}, \quad (3.9)$$

де Q_k -навантаження;

$f_n=0,1$ – коефіцієнт тертя в підшипниках;

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

$k_p=2,5$ – коефіцієнт тертя борта колеса об рейки;

n - кількість коліс та роликів.

$$W_T = 20 \cdot 2.5 \cdot \frac{0.1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.0005}{0.6} + 5 \cdot 2.5 \cdot \frac{0.1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.0005}{0.6} + 16 \cdot 2.5 \cdot \frac{0.1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.0005}{0.6} + 4 \cdot 2.5 \cdot \frac{0.1 \cdot 0.5 + 2 \cdot 0.0005}{0.6} = 19$$

Опір пересуванню візка при прискоренні $a = 0,1$ м/с²:

$$W_D = W_T \cdot G \frac{a}{9,81} \quad (3.10)$$

$$W_D = 19 \cdot 15 \cdot \frac{0.1}{9,81} = 2.9 \text{ Н.}$$

Крутний момент привідного вала

$$M_{кр} = W_D \frac{D_{хк}}{2} \quad (3.11)$$

$$M_{кр} = 2.9 \cdot \frac{0.6}{2} = 0.87 \text{ Нм.}$$

Еквівалентний момент :

$$M_e = \sqrt{M_{3z2}^2 + M_{kp}^2} \quad (3.12)$$

$$M_e = \sqrt{2^2 + 0.87^2} = 2.2 \text{ Нм.}$$

Уточнюємо діаметр вала

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 2.2}{70}} = 0.68 \text{ м.}$$

Визначаємо потужність двигуна при к.к.д. приводу $\eta_0 = \eta_u \eta_z = 0.6 \cdot 0.9 = 0.54$,

$$N = \frac{W_{DM}}{\eta_0} \quad (3.13)$$

$$N = \frac{2.9 \cdot 20}{0.54} = 107 \text{ Вт.}$$

Отже, потужність двигуна приймаємо 100 Вт.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві

Істотну роль у збереженні працездатності і підвищенні продуктивності праці зварника відіграють такі пристрої для удержування та переміщення зварюваних виробів, як кондуктори, кантувачі, маніпулятори, струбцини, затискачі.

До заходів, спрямованих на поліпшення умов праці зварників належать: автоматизація, механізація і раціоналізація виробничого процесу; захист очей від променистої енергії; видалення пилу і газів з робочих приміщень за допомогою вентиляції; заходи безпеки від ураження електричним струмом.

Електрична дуга випромінює велику кількість невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів, які шкідливо впливають на зір і шкіру людини. Опіки променями електричної дуги можуть відбуватися тільки при зварюванні відкритою дугою (наприклад ручне дугове зварювання, зварювання в CO_2 і т.д.). Шкіра зварювальника захищається робочим одягом, а зір – захисними щитками або масками із спеціальним темно-синім скло-фільтром.

Щоб запобігти механічному пошкодженню очей при прибиранні флюсу і відбиванні шлаку зварювальник повинен користуватися захисними окулярами з простим склом. При опіках очей необхідно робити холодні примочки, промивати очі слабким содовим розчином або закапати очі очними цинковими каплями. При сильних опіках необхідно звернутися до лікаря.

В результаті високої температури зварювальної дуги відбувається випаровування металів. Пари металів з'єднуються з киснем повітря, утворюючи дрібний порошок в вигляді окислів. Особливо шкідливі пари окислів цинку, свинцю, кадмію, міді та інші, які утворюються при зварюванні міді, латуні і бронз. В результаті плавлення деяких флюсів утворюються пари окислів марганцю, а також хлористий і фтористий водень.

При зварюванні в вуглекислому газі виділяється шкідливий для організму оксидами вуглецю (чадний газ). Оскільки вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, то він може накопичуватися в тісних приміщеннях і закритих посудинах, що приводить до браку кисню для дихання.

Для відведення шкідливих газів та пилу, а також для подачі свіжого повітря застосовують загальну або місцеву вентиляцію. Загальна вентиляція повинна бути приточно-витяжною з підігрівом повітря в зимову пору. Її застосовують для обміну повітря в закритих приміщеннях (цехах, майстернях...). Місцеву вентиляцію застосовують для відсмоктування шкідливих газів безпосередньо з місць їх утворення. При роботі в закритих приміщеннях застосовують ізолюючі апарати (ШР-1, ША-40, ДПА-4) або маски із шлангами для подачі свіжого повітря.

При отруєннях, потерпілого необхідно винести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу і дати спокій до приходу лікаря. При зупинці дихання слід застосувати штучне дихання [18].

4.2 Вимоги по забезпеченню безпечних і здорових умов праці

Правила і норми по техніці безпеки направлені на захист організму людини від фізичних травм, дії технічних засобів, що використовуються в технологічному процесі. Вони регулюють поведінку людей, забезпечуючи безпеку праці з точки зору пристосувань та розміщення машин і обладнання.

Правила і норми по промисловій санітарії і гігієні мають на меті захист організму від втомлюваності, хімічної, атмосферної дії і т.д. Ці правила і норми встановлюють вимоги по благоустрою і правильному використанні території, промислових і побутових приміщень підприємств, обладнання робочих місць і т.д., яких необхідно дотримуватися як при проектуванні, так і при експлуатації промислових об'єктів, обладнання.

Вимоги по забезпеченню безпечних і здорових умов праці передбачені в правилах і нормах як по техніці безпеки, так і промислової санітарії, являється юридично відповідальними як для адміністрації, так і для робочих та службовців.

При невиконанні цих вимог обвинувачувані особи несуть юридичну відповідальність.

Виходячи із санітарно-гігієнічних вимог (освітлення, вентиляція) найбільш доцільно будувати промислові приміщення у формі прямокутника. Конструкція промислових будівель, їх протяжність і кількість поверхів обумовлена технологічним процесом, зниженню його пожежної безпеки, вибухонебезпеки, наявністю шкідливих викидів [19].

4.3 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим потерпілим (самодопомога). Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок. [20]

Послідовність надання першої допомоги:

— усунути вплив на організм ушкоджуючих факторів, котрі загрожують здоров'ю та життю потерпілих, оцінити стан потерпілого;

— визначити характер та важкість травми, найбільшу загрозу для життя потерпілого і послідовність заходів щодо його рятування;

— виконати необхідні заходи з рятування потерпілих в послідовності терміновості (відновити прохідність дихальних шляхів, здійснити штучне дихання, провести зовнішній масаж серця);

— підтримати основні життєві функції потерпілого до прибуття медичного працівника;

— викликати швидку медичну допомогу або вжити заходів щодо транспортування потерпілого до найближчого лікувального закладу.

Рятування потерпілих від впливу електричного струму залежить від швидкості звільнення його від струму, а також від швидкості та правильності надання йому допомоги. Зволікання може зумовити загибель потерпілого. При ураженні електричним струмом смерть часто буває клінічною, тому ніколи не слід

відмовлятися від надання допомоги потерпілому і вважати його мертвим через відсутність дихання, серцебиття, пульсу. Вирішувати питання про доцільність або непотрібність заходів з оживлення та винести заключення про його смерть має право лише лікар.

Весь персонал, що обслуговує електроустановки, електричні станції, підстанції і та електричні мережі, повинен не рідше 1 разу на рік проходити інструктаж з техніки безпеки про експлуатацію електроустановок, з надання першої медичної допомоги, а також практичне навчання з прийомів звільнення від електричного струму, виконання штучного дихання та зовнішнього масажу серця. Заняття повинні проводити компетентні особи з медичного персоналу або інженери з техніки безпеки, котрі пройшли спеціальну підготовку і мають право навчати персонал підприємства наданню першої допомоги. Відповідальним за організацію навчання є керівник підприємства.

В місцях постійного чергування персоналу повинні бути:

- аптечка з необхідними пристосуваннями та засобами для надання першої медичної допомоги;
- плакати, присвячені правилам надання першої допомоги, виконання штучного дихання та зовнішнього масажу серця, вивішені на видних місцях.

Дотик до струмоведучих частині що знаходяться під напругою, викликає мимовільне судомне скорочення м'язів та загальне збудження, котре може призвести до порушення і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу. Якщо потерпілий тримає провід руками, його пальці так сильно стискаються, що звільнити провід стає неможливим. В зв'язку з цим першою дією того, хто надає першу допомогу, повинне бути швидке вимкнення тієї частини електроустановки, до котрої доторкається потерпілий. Вимкнення здійснюється за допомогою вимикачів, рубильника або іншого вимираючого апарата.

Якщо вимкнути установку швидко не можна, слід вжити заходів щодо звільнення потерпілого від струмоведучих частин, до котрих він торкається. У всіх випадках той, хто надає допомогу, не повинен доторкатися до потерпілого без належних запобіжних заходів, оскільки це небезпечно для життя. Він також

повинен слідкувати, щоб самому не опинитися в контактi з струмоведучою частиною або під кроковою напругою. Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин напругою до 1000 В слід скористатись канатом, палицею, дошкою або будь-яким сухим предметом, що не проводить електричного струму.

Потерпілого можна також відтягнути за його одяг (якщо він сухий та відстає від тіла), уникаючи дотику до оточуючих металевих предметів та частин тіла. З метою ізоляції рук той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати руку шарфом, натягнути, на руку рукав піджака або пальто, накинути на потерпілого гумовий килимок, прогумований матеріал (плащ) або просто сухий матеріал. Можна також ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку або непровідну підстилку, жмут одягу. При відділенні потерпілого від струмопровідних частин рекомендується діяти однією рукою.

Якщо електричний струм проходить в землю через потерпілого і він судорожно стискає один провід, то простіше перервати струм, відокремивши потерпілого від землі (підсунувши під нього суху дошку, або відтягнувши за ноги від землі вірьовкою, або відтягнувши за одяг), дотримуючись при цьому запобіжних заходів. Можна також перерубати дроти сокирою з сухою ручкою або перекусити їх інструментом з ізольованими ручками. Перерубувати або перекушувати проводи слід пофазово, тобто кожний провід окремо, при цьому рекомендується стояти на сухих дошках, на дерев'яній драбині.

Для звільнення потерпілого від струмоведучих частин під напругою понад 1000 В слід одягнути діелектричні рукавиці та боти і діяти штангою або ізольованими кліщами, розрахованими на відповідну напругу .

Не слід забувати про небезпеку крокової напруги, якщо струмоведуча частина лежить на землі. Тому після звільнення потерпілого необхідно винести з цієї зони. Без засобів захисту пересуватися в зоні розтікання струму по землі слід не відриваючи ноги одна від одної.

Заходи долікарської допомоги залежать від стану, в якому знаходиться потерпілий після звільнення від електричного струму. Після звільнення потерпілого від дії електричного струму необхідно оцінити його стан. У всіх

випадках ураження електричним струмом необхідно обов'язково викликати лікаря незалежно від стану потерпілого.

Якщо потерпілий при свідомості та стійке дихання і є пульсом, але до цього втрачав свідомість, його слід покласти на підстилку з одягу, розстебнути одяг, котрий затрудняє дихання, забезпечити приплив свіжого повітря, розтерти і зігріти тіло та забезпечити повний спокій, дати понюхати нашатирний спирт, сполоснути обличчя холодною водою. Якщо потерпілий, котрий знаходиться без свідомості, прийде до тями, слід дати йому випити 15—20 краплин настоянки валеріани і гарячого чаю.

Ні в якому разі не можна дозволяти потерпілому рухатися, а тим більше продовжувати роботу, оскільки відсутність важких симптомів після ураження не виключає можливості подальшого погіршення стану. Лише лікар може робити висновок про стан здоров'я потерпілого. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але у нього не намацується пульсу необхідно відразу зробити йому штучне дихання.

За відсутності дихання та пульсу у потерпілого внаслідок різкого погіршення кровообігу мозку розширюються зіниці, зростає синюшність шкіри та слизових оболонок. У таких випадках допомога повинна бути спрямована на відновлення життєвих функцій шляхом проведення штучного дихання та зовнішнього (непрямого) масажу серця.

Потерпілого слід переносити в інше місце лише в тих випадках, коли йому та особі, що надає допомогу, продовжує загрозувати небезпека або коли надання допомоги на місці не можливе. Для того, щоб не втрачати час, не слід роздягати потерпілого. Не обов'язково, щоб при проведенні штучного дихання потерпілий знаходився в горизонтальному положенні. Якщо потерпілий знаходиться на висоті, необхідно перед спуском на землю зробити штучне дихання безпосередньо в люльці, на щоглі і на опорі.

Опустивши потерпілого на землю, необхідно відразу розпочати проведення штучного дихання та масажу серця і робити це до появи самостійного дихання і відновлення діяльності серця або передачі потерпілого медичному персоналу.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення даху вагона-хопера. Запропонований техпроцес ґрунтується на об'єднанні всіх складально-зварювальних операцій здійснювати в одній автоматизованій установці. Такий підхід дозволить зменшити використання виробничих площ та підвищити якість виконання технологічних операцій пов'язаних із складанням, транспортуванням та зварюванням. За рахунок застосування такого технологічного і конструкторського підходів можна досягти значних економічних показників за рахунок зменшення кількості обслуговуючого обладнання та працівників.

В роботі запропоновано застосовувати роботизовані та автоматизовані системи зварювання що дозволять полегшити умови праці та підвищити якість продукції. Розроблений технологічний процес передбачає застосування сучасних зварювальних роботів та устаткування для їх живлення.

Для забезпечення безпечних умов праці в роботі передбачено шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві, запропоновано вимоги по забезпеченню безпечних і здорових умов праці та розглянуто питання надання долікарська допомога при ураженні електричним струмом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Цыган, Б. Г. Современное вагоностроение [Текст]: монография: в 4 т. / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган, С. Д. Мокроусов. — Харьков: Техностандарт, 2008. — Т. 1. — 432 с.
2. <https://kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-khoperi/item/1958-vagon-khoper-dlya-perevezennya-zernovikh-kultur-model-19-765e>
3. http://www.s-metall.com.ua/spravochnik_stalej.html
4. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів при зварюванні. Навчальний посібник. - Миколаїв. УДМТУ, 2002. - 181с.
5. ОСТ 24.050.34 -84. Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования.
6. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. — К.: КВІЦ, 2012. — 896с.
7. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов. - М.: Машиностроение, 1974 — 768 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. — К.: Основа, 2021. — 400 с.
9. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін — Миколаїв: НУК, 2004. — 225 с.
10. https://kemppi.in.ua/catalog/svarochnoe_oborudovanie_robotov/202.htm
11. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст]: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. — 336 с.
12. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. — Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. - 192 с.
13. <http://standart-m.com.ua/izmeritelnyj-instrument/shablony-svarcshika>
14. <https://industry.hlr.ua/nodestructtest/capillary-control/products-for-capillary-control-from-the-manufacturer-helling/>

15. <https://svartech.com.ua/ua/p1116531029-drobestrujnaya-ustanovka-prohodnogo.html>
16. <https://www.tvagonm.com.ua/catalog/>
17. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві .-К.: Арістей, 2005. – 268с.
18. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. – Львів.:1997. – 275с.
19. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.
20. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник.- Видавництво 5-те, доповнене. – Л.: Афіша, 2000. -350 с.