

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Кафедра зварювального виробництва**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ  
(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою  
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

**на тему: Технологія складання та зварювання мансардної конструкції**

Виконав:

Студент IV курсу, групи ЗВ-21

Кайдан Іван Сергійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

Професор, д.т.н., професор

Смирнов Ігор Володимирович

\_\_\_\_\_

Консультант із організаційно – економічного розділу:

Доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський Сергій Вікторович

\_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці

Зав. каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

зав. каф., к.т.н., доцент.,

Кагляк Олексій Дмитрович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2026

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона**  
**Кафедра зварювального виробництва**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проєкт студенту**  
**Кайдану Івану Сергійовичу**

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання мансардної конструкції», керівник проєкту Смирнов Ігор Володимирович, д.т.н., професор затверджені наказом по університету від «28» травня 2026 р. № 1986-с \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2026 р. \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сталь S355J2. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Річна програма виготовлення виробу – 100 шт. Умови виготовлення – цехові, температура експлуатації – від - 30°C до +70°C \_\_\_\_\_

#### 4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати конструктивно-технологічний аналіз конструкції. Обґрунтувати вибір способів зварювання. Вибрати зварювальні матеріали. Призначити зварні шви згідно нормативних документів. Розрахувати режими зварювання зварних швів і витрати зварювальних матеріалів, призначити параметри режимів зварювання. Вибрати устаткування для зварювання. Розробити технологічну послідовність складання-зварювання конструкції. Виконати компонування установки для зварювання швів. Призначити способи контролю якості зварних швів. Спланувати розміщення засобів технологічного спорядження на виробничій площі. Скласти операційну карту процесу зварювання. Зробити загальні висновки до технологічного розділу дипломного проєкту. Розрахувати економічний ефект від впровадження розробленої технології у виробництво. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

#### 5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Кресленик мансардної конструкції (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення мансардної конструкції (1 А1).
3. Кресленик складання мансардної конструкції (1 А1).
4. Кресленик зварювання шву №1 мансардної конструкції (1 А1).
5. Кресленик зварювання шву №2 мансардної конструкції (1 А1).
6. План виробничої площі для зварювання мансардної конструкції (1 А1).

#### 6. Консультанти розділів проєкту

| Розділ                      | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|-----------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                             |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Розроблення стартап-проєкту | Нараєвський С. В., доц.                   |                |                  |
| Охорона праці               | Левченко О. Г., зав. каф.                 |                |                  |

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2026 р.

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проєкту                                        | Строк виконання етапів проєкту | Прим. |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|
| 1     | Аналіз літератури за темою проєкту                                               | до 30 квітня                   |       |
| 2     | Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту | до 15 травня                   |       |
| 3     | Розробка стартап-проєкту                                                         | до 20 травня                   |       |
| 4     | Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях   | до 20 травня                   |       |
| 5     | Оформлення графічного матеріалу                                                  | до 25 травня                   |       |
| 6     | Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист                 | до 9 червня                    |       |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Іван КАЙДАН

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор СМІРНОВ

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проєкту: 83 сторінок тексту, 0 рисунків, 9 таблиць, 14 джерел у бібліографії

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ, ВИРОБНИЦТВО, КАНТУВАЧ, ДЕФЕКТ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ, ЗВАРНИЙ ШОВ, ЗВАРЮВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ АПАРАТ, ОСНАСТКА, СКЛАДАННЯ, СТАРТАП, ЯКІСТЬ, ЕКОНОМІКА, S355J2.

У дипломному проєкті розроблено технологію складання та зварювання мансардної конструкції зі сталі S355J2. Визначено конструктивні особливості, механічні властивості, хімічний склад матеріалу, його зварюваність і потенційні дефекти. Обрано метод зварювання в суміші газів 135 (MAG) відповідно до вимог експлуатації виробу.

Підібрано зварювальне обладнання: джерело живлення, обертач та оснастка. Спроектовано виробничу площу з розміщенням устаткування, проїздів і компонування у споруді з одним прольотом та двома рядами колон. Розроблено зварювальну оснастку для складання.

Оцінено умови праці, ризики виробництва, розраховано вентиляцію, освітлення й мікроклімат на робочих місцях. Відповідно до правил, велика увага приділяється запобіганню безпеці та ризикам на робочому місці при використанні зварювального обладнання.

Останнім етапом було створення стартап-проєкту з залученням інвестицій, аналізом можливостей виходу на ринок та введенням проєкту в експлуатацію. SWOT-аналіз з аналогами, аналіз конкуренції та аналіз переваг продукту на ринку.

## **ABSTRACT**

Explanatory note of the diploma project: 83 pages of text, 0 figures, 9 tables, 14 sources in the bibliography.

AUTOMATION, VENTILATION, MANUFACTURING, PRODUCTION, TILTER, DEFECT, POWER SUPPLY, WELDED JOINT, WELD SEAM, WELDING, OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY, TOOLING, ASSEMBLY, STARTUP, QUALITY, S355J2.

The diploma project develops the assembly and welding technology for a mansard construction made of S355J2 steel. The design features, mechanical properties, chemical composition of the material, its weldability, and potential defects have been determined. The 135 (MAG) welding method in a gas mixture was selected according to the operational requirements of the product.

Welding equipment has been selected: a power supply, a positioner. The production area was designed, including the layout of equipment and driveways within a single-span building with two rows of columns. Welding tooling for assembly has been developed.

Working conditions and production risks have been evaluated; ventilation, lighting, and the microclimate at the workplaces have been calculated. In accordance with the regulations, significant attention is paid to ensuring safety and preventing risks at the workplace when using welding equipment.

The final stage was the creation of a startup project, which included attracting investment, analyzing market entry opportunities, and commissioning the project. It features a SWOT analysis with analogs, a competitive analysis, and an analysis of the product's advantages in the market.

## ЗМІСТ

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....                                | 8  |
| ВСТУП.....                                                          | 11 |
| 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАНСАРДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ .....      | 13 |
| 1.1 Призначення виробу .....                                        | 13 |
| 1.1 Аналіз сучасних конструктивних рішень мансардних систем .....   | 14 |
| 2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ .....                   | 19 |
| 2.1 Опис конструкції мансардної конструкції.....                    | 19 |
| 2.1 Аналіз матеріалу та його зварюваності .....                     | 20 |
| 2.2 Вибір способу та режимів зварювання.....                        | 23 |
| 2.3 Технічні умови виготовлення виробу .....                        | 25 |
| 2.4 Технологічний процес виготовлення виробу.....                   | 27 |
| 2.5 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки..... | 30 |
| 3 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ.....                    | 32 |
| 3.1 Технічні вимоги до оснастки .....                               | 32 |
| 3.1 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок.....       | 34 |
| 3.2 Розробка принципової схеми пристрою.....                        | 36 |
| 3.3 Компонування складально-зварювального пристрою.....             | 37 |
| 3.4 Опис роботи складально-зварювального пристрою .....             | 38 |

|           |                 |          |        |      |                                                           |                                                      |      |         |
|-----------|-----------------|----------|--------|------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------|---------|
|           |                 |          |        |      | <b>ЗВ-21.01.00.000 ПЗ</b>                                 |                                                      |      |         |
| Змін.     | Лист            | № докум. | Підпис | Дата |                                                           |                                                      |      |         |
| Розроб.   | Кайдан І.С      |          |        |      | Технологія складання та зварювання мансардної конструкції | Літ.                                                 | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  | Смирнов І.В     |          |        |      |                                                           |                                                      | 6    | 84      |
|           |                 |          |        |      |                                                           | КПІ ім. Ігоря Сікорського<br>НН ІМЗ ім.. Є.О. Патона |      |         |
| Н. контр. | Лисак В.В       |          |        |      |                                                           |                                                      |      |         |
| Затверд.  | Квасницький В.В |          |        |      |                                                           |                                                      |      |         |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 КОМПОНУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....                             | 41 |
| 4.1 Обґрунтування вибору основного зварювального устаткування .....    | 41 |
| 4.1 Обґрунтування вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС)..... | 47 |
| 4.2 Позиціювання виробу у просторі .....                               | 47 |
| 4.3 Переміщення зварювального обладнання .....                         | 48 |
| 4.4 Ущільнення стиків перед зварюванням .....                          | 50 |
| 4.5 Допоміжні засоби технологічного спорядження .....                  | 53 |
| 4.6 Адаптація ЗТС до особливостей мансардної конструкції .....         | 54 |
| 4.7 Опис роботи зварювальної установки.....                            | 58 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....                                                  | 65 |
| 6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....                                    | 75 |
| ВИСНОВКИ .....                                                         | 79 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....                                           | 82 |
| ДОДАТКИ .....                                                          | 84 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

|         |                                                                                         |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| ВТК –   | працівник відділу технічного контролю                                                   |
| ГДК –   | гранично допустима концентрація                                                         |
| ГДР –   | гранично допустимий рівень                                                              |
| ГТ –    | гарячі тріщини                                                                          |
| ДБН –   | державні будівельні норми                                                               |
| ДНАОП – | державні нормативи з охорони праці                                                      |
| ДСН –   | державні санітарні норми                                                                |
| ДСП –   | державні санітарні правила                                                              |
| ЗІЗ –   | засоби індивідуального захисту                                                          |
| ЗТВ –   | зона термічного впливу                                                                  |
| ІЧ –    | інфрачервоне випромінювання                                                             |
| МОЗ –   | міністерство охорони здоров'я України                                                   |
| ПВ –    | робочий цикл, питома тривалість вмикання                                                |
| ТУ –    | технічні умови, затверджені в Україні                                                   |
| ХТ –    | холодні тріщини                                                                         |
| ЧПК –   | числове програмне керування                                                             |
| Ar –    | argon, аргон, інертний газ                                                              |
| CO –    | оксид вуглецю                                                                           |
| DIN –   | Deutsches Institut für Normung, німецький інститут стандартизації                       |
| EN –    | European Norm, європейський стандарт                                                    |
| MAG –   | metal active gas, зварювання плавким електродом в активному газі                        |
| MIG –   | metal inert gas, зварювання плавким електродом в інертному газі                         |
| MMA –   | manual metal arc, ручне дугове зварювання                                               |
| PA –    | welding position, нижнє положення при зварюванні                                        |
| PB –    | welding position, горизонтальне положення на вертикальній площині                       |
| pWPS –  | preliminary welding procedure specification, попередня інструкція зварювального процесу |
| SAW –   | submerged arc welding, зварювання під флюсом                                            |

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 8    |

TIG – tungsten inert gas, аргонодугове зварювання неплавким електродом

WPS – welding procedure specification, специфікація зварювального процесу

$\sigma_B$  – межа короточасної міцності, [МПа]

$\sigma_T$  – межа плинності, [МПа]

$\delta_5$  – відносне видовження при розриві, [%]

HB – твердість по шкалі Брінелля, [МПа]

Q – теплова енергія, (Дж)

q – лінійна енергія або теплова енергія на одиницю довжини шва, (Дж/мм)

U – напруга на дузі, (В)

I – зварювальний струм, (А)

v – швидкість зварювання, (мм/с або мм/хв)

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) процесу зварювання

$\rho$  – густина металу, (г/см<sup>3</sup>)

P – потужність зварювальної дуги, (Вт)

F – площа поперечного перерізу шва, (мм<sup>2</sup>)

L – довжина зварного шва, (мм)

h – глибина проплавлення або висота шва, (мм)

K – катет шва, (мм)

V – об'єм наплавленого металу або шва, (см<sup>3</sup>)

$\tau$  – час нагрівання або зварювання, (с)

W – потужність джерела, (Вт або кВт)

HCS – індекс схильності до утворення гарячих тріщин

$C_{\text{екв}}$  – еквівалент вуглецю (показник, що характеризує схильність сталі до утворення холодних тріщин)

F – сила, (Н);

$D_p$  – діаметр колеса передачі, (мм)

$d_p$  – діаметр вала, (мм)

$L_1$  – важіль або часткова довжина, (мм)

m – маса, (кг)

g – прискорення вільного падіння, (9,81 м/с<sup>2</sup>)

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 9    |

$\mu$  – коефіцієнт тертя

$\Delta t$  – зміна температури, (°C)

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 10   |

## ВСТУП

Сучасний розвиток будівельної галузі та машинобудування характеризується широким застосуванням зварних металевих конструкцій, що забезпечують поєднання високої несучої здатності, надійності та економічності. Зварювання як технологічний процес дозволяє суттєво знизити масу конструкцій, підвищити їх технологічність і скоротити витрати матеріальних та трудових ресурсів. Особливо актуальним є застосування зварних конструкцій у покрівельних системах будівель, зокрема у вигляді мансардних несучих систем.

Мансардні конструкції є складовими елементами сучасних будівельних споруд і забезпечують формування геометрії даху, а також передачу навантажень на несучі елементи будівлі. Вони працюють в умовах складного напруженого стану, що включає дію вертикальних, горизонтальних та динамічних навантажень - власної ваги, снігових і вітрових впливів. З огляду на відповідальність та умови роботи, до виготовлення мансардних конструкцій висуваються підвищені вимоги щодо точності розмірів, міцності зварних з'єднань та стабільності якості.

Виріб, що розглядається у даному дипломному проєкті, виготовляється зі сталі S355J2 (1.0577) - низьколегованої конструкційної сталі підвищеної міцності, що відповідає вимогам стандарту EN 10025-2:2022 [5]. Ця сталь характеризується гарантованою межею текучості не менше 355 МПа, задовільною зварюваністю та достатньою ударною в'язкістю при знижених температурах, що робить її оптимальним матеріалом для несучих будівельних конструкцій.

Основою дипломного проєкту є розробка технологічного процесу виготовлення мансардної конструкції в умовах серійного виробництва (150 штук на рік) в цехових умовах. Серійний характер виробництва обумовлює необхідність застосування механізованого зварювання, спеціалізованої

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 11   |

складально-зварювальної оснастки та засобів технологічного спорядження, що забезпечують стабільність параметрів процесу і повторюваність якості.

Особлива увага приділяється конструктивно-технологічному аналізу виробу, вибору раціонального способу зварювання та розрахунку режимів процесу, розробці складально-зварювальної оснастки та komponуванню зварювальної установки. Окремими розділами висвітлюються питання охорони праці при виконанні зварювальних робіт і здійснюється економічне обґрунтування запропонованих рішень.

Метою дипломного проєкту є розробка обґрунтованого технологічного процесу виготовлення мансардної конструкції, що включає аналіз конструктивних особливостей виробу, вибір оптимального способу і параметрів зварювання, визначення технологічної послідовності операцій, а також проєктування необхідного технологічного оснащення. Досягнення мети дозволить забезпечити виготовлення виробу відповідно до вимог нормативної документації при мінімальних витратах матеріальних, часових і трудових ресурсів.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 12   |

# 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МАНСАРДНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

## 1.1 Призначення виробу

Мансардна конструкція являє собою несучий зварний металевий виріб рамного типу з ламаною геометрією, призначений для використання у складі покрівельних систем будівель та споруд різного призначення. Основна функція конструкції полягає у формуванні геометрії даху мансардного типу та передачі діючих навантажень на несучі вертикальні та горизонтальні елементи будівлі.

Виріб сприймає комплекс експлуатаційних навантажень: власну вагу конструктивних елементів і покрівельного покриття, нормативні снігові навантаження (для кліматичного регіону України - до 1,4 кПа), вітрові впливи, а також можливі монтажні навантаження у процесі зведення покрівлі. В умовах роботи конструкція перебуває у стані складного напруженого деформування, що включає згин, стиск, а в окремих зонах - розтяг, особливо в районах перелому геометричного профілю.

Конструкція складається з двотаврових прокатних профілів та з'єднувальних пластин, об'єднаних в єдину просторову систему за допомогою зварювання. Відповідно до завдання, до складу виробу входять такі основні елементи: двотавр довжиною 3000 мм (поперечний переріз В–В: висота 200 мм, ширина полиці 400 мм, товщина стінки 14 мм, товщина полиці 185 мм); двотавр довжиною 1390 мм (поперечний переріз Г–Г: висота 200 мм, ширина полиці 400 мм, товщина стінки 96 мм); двотавр довжиною 940 мм (поперечний переріз Б–Б); з'єднувальні пластини товщиною 20 мм з отворами діаметром 22 мм для кріплення конструкції до опор.

Загальні габаритні розміри конструкції становлять: довжина – 4292 мм, висота – 2627 мм. Виріб є симетричним у плані, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень між несучими елементами. Ламана геометрія конструкції визначена функціональним призначенням мансардного даху:

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 13   |

верхня частина забезпечує плавний перехід між похилими площинами покрівлі, а нижня – стрімкий нахил, характерний для класичної мансарди.

З конструктивної точки зору, найбільш відповідальним вузлом є місце перелому геометрії, де з'єднуються двотаврові балки верхнього та нижнього відрізків. Саме в цій зоні діють найбільші концентрації напружень, що визначає підвищені вимоги до якості зварних з'єднань у цьому районі. Шов, що розглядається детально в проєкті, позначений на кресленні та розташований у вузловому з'єднанні двотаврів.

Умови виготовлення виробу - цехові. Виробнича програма - 150 штук. Такий обсяг виробництва відповідає дрібносерійному або серійному типу виробництва, що обумовлює доцільність застосування спеціалізованої оснастки, механізованого зварювання та елементів автоматизації технологічного процесу. Ці чинники суттєво впливають на вибір способу зварювання, конструкцію складально-зварювального пристрою та компонування зварювальної установки.

Мансардна конструкція відноситься до відповідальних зварних виробів будівельного призначення. Вона підпадає під дію вимог нормативної документації щодо якості зварних з'єднань (ISO 5817 [2], рівень якості C), підготовки кромek (ISO 9692–1 [4]), позначення способів зварювання (ISO 4063 [1]) та просторових положень зварювання (ISO 6947 [3]). Відповідність цим вимогам є обов'язковою умовою для забезпечення безпечної та надійної роботи конструкції протягом усього терміну експлуатації.

### **1.1 Аналіз сучасних конструктивних рішень мансардних систем**

Мансардні несучі системи є одним із поширених типів покрівельних конструкцій у сучасному будівництві. Вони відрізняються різноманіттям конструктивних схем і матеріалів виготовлення, що обумовлено архітектурними вимогами, умовами навантаження та технологічними можливостями виробництва. Аналіз сучасних конструктивних рішень

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 14   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

дозволяє обґрунтувати прийняті в даному проєкті рішення щодо матеріалу та форми конструкції.

За матеріалом виготовлення мансардні системи поділяють на дерев'яні, металеві та комбіновані. Дерев'яні несучі системи традиційно застосовуються в малоповерховому будівництві і характеризуються простотою монтажу та низькою теплопровідністю, однак мають обмежений термін служби і чутливість до вологості. Металеві мансардні системи – сталеві та алюмінієві – забезпечують вищу несучу здатність, довговічність і придатні для великих прольотів та складних архітектурних форм. Комбіновані системи поєднують переваги обох матеріалів.

Серед металевих мансардних систем найбільшого поширення набули конструкції з прокатних і гнутих профілів: двотаврів, швелерів, прямокутних замкнених профілів (труб). Двотаврові профілі є оптимальними для сприйняття згинальних навантажень, що характерні для мансардних конструкцій, завдяки раціональному розподілу металу в перерізі: основна маса матеріалу зосереджена у полицях, які сприймають нормальні напруження, тоді як стінка забезпечує роботу на зріз. Саме тому у розглядуваній конструкції застосовані двотаврові прокатні профілі.

За конструктивною схемою мансардні системи поділяють на: безкарнизні (трикутні ферми), ламані (мансардні ферми класичного типу), вальмові та напіввальмові. Ламана схема, реалізована в даному виробі, є класичним конструктивним рішенням мансарди, що дозволяє отримати максимально корисний простір мансардного поверху за рахунок крутого нахилу нижньої частини та більш пологого верхнього скату. Типовий кут нижнього схилу мансардного даху становить 60°–80°, верхнього – 15°–30°.

Сучасні тенденції розвитку мансардних металевих систем пов'язані з широким застосуванням легких прокатних профілів з оцинкованої сталі (ЛСТК - легкі сталеві тонкостінні конструкції), які дозволяють суттєво знизити масу покрівельної системи. Проте для відповідальних несучих конструкцій, особливо при великих прольотах і значних навантаженнях,

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 15   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

традиційні важкі прокатні профілі залишаються пріоритетними завдяки вищій несучій здатності і більшій жорсткості.

З'єднання елементів мансардних металевих систем може виконуватися різними способами, серед яких основними є зварні та болтові з'єднання, а також їх комбіноване використання залежно від конструктивних вимог, умов виготовлення та монтажу.

Зварні з'єднання характеризуються утворенням суцільного металевого зв'язку між елементами конструкції, що забезпечує високу жорсткість і монолітність вузлів. У цехових умовах вони є технологічно доцільними, оскільки дозволяють зменшити трудомісткість складання та виключають необхідність додаткових операцій з контролю затягування кріпильних елементів. Крім того, зварювання забезпечує більш компактні вузли, зменшує кількість допоміжних деталей і сприяє підвищенню загальної просторової жорсткості металоконструкції.

Болтові з'єднання, у свою чергу, мають перевагу при монтажі конструкцій безпосередньо на будівельному майданчику. Вони не потребують зварювального обладнання, дозволяють швидко виконувати складання та розбирання елементів, а також забезпечують зручність роботи в умовах обмеженого доступу. Саме тому болтові з'єднання часто використовуються як монтажні, коли необхідно швидко з'єднати великогабаритні елементи конструкції на висоті або в складних умовах.

У деяких випадках застосовується комбінована схема з'єднань, коли частина вузлів виконується зварюванням у заводських умовах, а інша частина – болтовими з'єднаннями під час монтажу. Такий підхід дозволяє поєднати переваги обох методів і оптимізувати процес виготовлення та встановлення конструкцій.

У проєктованій мансардній конструкції прийнято використання саме зварних з'єднань, оскільки виготовлення здійснюється в цехових умовах, де є можливість забезпечити стабільні технологічні параметри, контроль якості швів та точну фіксацію елементів у зварювальних пристроях. Це дозволяє

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 16   |

отримати більш жорстку та надійну конструкцію з мінімальною кількістю монтажних операцій на будівельному майданчику, що підвищує загальну ефективність виробництва і якість готового виробу.

Вузлові з'єднання елементів мансардних ферм виконуються переважно у вигляді стикових і кутових зварних швів, які забезпечують необхідну жорсткість, міцність та просторову стабільність металевої конструкції. Вибір типу шва визначається геометрією елементів, характером передавання навантажень та умовами роботи вузла в складі загальної системи.

Для двотаврових профілів найбільш характерним є застосування поясних зварних швів, які забезпечують нерозривне з'єднання полиць зі стінкою профілю. Такі шви працюють на сприйняття значних зусиль і забезпечують спільну роботу всіх елементів перерізу як єдиного конструктивного елемента. Крім того, при складанні окремих секцій конструкції застосовуються монтажні стикові шви, які дозволяють з'єднувати великогабаритні частини ферми в єдину систему, зберігаючи при цьому необхідну геометричну точність і несучу здатність.

Особливе значення в конструкції має вузол перелому геометрії мансардної ферми, де відбувається зміна напрямку елементів і концентруються значні внутрішні зусилля. У цьому місці реалізується кутове стикове з'єднання двотаврових балок, яке працює в умовах складного напруженого стану, поєднуючи розтяг, стиск і згинальні навантаження. Саме тому якість виконання зварних швів у цьому вузлі має вирішальне значення для загальної працездатності конструкції.

Належне формування кутового стикового з'єднання забезпечує рівномірний розподіл напружень, зменшує концентрацію зусиль у зоні зварювання та підвищує опір конструкції до втомних руйнувань. Будь-які дефекти шва - непровари, пори, подрізи або нерівномірність заповнення - можуть суттєво знизити несучу здатність вузла і, як наслідок, вплинути на надійність усієї ферми.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 17   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Таким чином, вузол перелому геометрії є одним із найбільш відповідальних елементів мансардної конструкції, а якість його зварного виконання безпосередньо визначає довговічність, безпеку та експлуатаційну надійність усієї системи. Саме тому до технології зварювання цього вузла висуваються підвищені вимоги щодо точності складання, контролю параметрів процесу та перевірки якості готового з'єднання.

Аналіз сучасних конструктивних рішень підтверджує обґрунтованість прийнятих у проєкті технічних рішень: застосування двотаврових прокатних профілів зі сталі S355J2, ламаної геометричної схеми конструкції та зварних з'єднань у цехових умовах. Ці рішення відповідають вимогам міцності, жорсткості та технологічності виготовлення, забезпечуючи оптимальне співвідношення несучої здатності та маси конструкції.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 18   |

## 2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБУ

### 2.1 Опис конструкції мансардної конструкції

Мансардна конструкція являє собою зварний металевий виріб рамного типу з ламаною геометрією. Загальні габаритні розміри виробу: довжина – 4292 мм, висота – 2627 мм, що відповідає типовим параметрам несучої системи мансардного поверху для будівель середньої поверховості. Конструкція складається з п'яти основних деталей, з'єднаних між собою зварюванням у єдину просторову систему.

Основним несучим елементом є двотаврова балка (деталь 1) довжиною 3000 мм, яка утворює верхній похилий відрізок конструкції. Переріз В–В показує, що балка має висоту 200 мм, ширину полиці 400 мм, при цьому товщина стінки становить 14 мм. Другим несучим елементом є двотавр (деталь 2) довжиною 1390 мм, що формує нижній, більш стрімкий відрізок конструкції. Переріз Г–Г цього елемента: висота 200 мм, ширина полиці 400 мм, товщина стінки 96 мм. Третій двотавр (деталь 4) довжиною 940 мм розташований у верхній частині конструкції і забезпечує з'єднання з опорним вузлом. Його переріз Б–Б має розміри 200 мм × 90 мм з товщинами полиці 10 і 14 мм.

З'єднувальні пластини (деталі 3 та 5) розміром 400 мм × 200 мм × 20 мм виконують функцію опорних елементів і вузлових деталей для кріплення конструкції до опор будівлі. Пластини мають наскрізні отвори діаметром 22 мм для болтового кріплення до опорних конструкцій. Розміщення отворів визначається координатою 21,35 мм від краю пластини згідно з кресленням.

Геометрія конструкції є ламаною - двотаврові балки з'єднуються під кутом, що забезпечує характерну для мансардних дахів форму з переломом профілю. Верхній відрізок (3000 мм) нахилений більш полого, нижній (1390 мм) – більш стрімко. Наявність перелому геометрії визначає особливості навантаження в цій зоні та підвищені вимоги до якості зварного з'єднання в

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 19   |

вузлі перелому. Шов у даному вузлі позначений на кресленні кружком і є основним об'єктом детального розгляду в проєкті.

Зварні з'єднання у конструкції виконуються відповідно до процесу 135 за ISO 4063 [1] (механізоване дугове зварювання плавким електродом у середовищі активного захисного газу – MAG). Підготовка кромок здійснюється відповідно до вимог ISO 9692–1 [4]. Якість зварних з'єднань контролюється за рівнем С стандарту ISO 5817 [2]. Просторове положення зварювання – РВ відповідно до ISO 6947 [3] («в човник», або горизонтальний кут).

У конструкції присутні стикові та кутові зварні з'єднання. Стикові з'єднання реалізовані при з'єднанні двотаврових балок між собою в вузлі перелому, а кутові – при приварюванні пластин до двотаврів. Товщина елементів, що зварюються, становить 14 мм для поясів основних двотаврів, 96 мм – для стінки нижнього двотавра (деталь 2), 20 мм – для пластин. Наявність елементів різної товщини вимагає диференційованого підходу до вибору режимів зварювання різних швів конструкції.

Конструкція є технологічною: вільний доступ до зони зварювання забезпечується для більшості швів при правильній організації складання. Виняток становлять деякі зварні шви у вузлах кріплення пластин, де можуть виникати труднощі доступу пальника через обмежений простір між елементами. Вирішення цієї проблеми досягається за рахунок правильного вибору послідовності складання і зварювання та застосування спеціального пальника зменшеного розміру.

## 2.1 Аналіз матеріалу та його зварюваності

Матеріал мансардної конструкції - низьколегована конструкційна сталь S355J2 (1.0577), що регламентується стандартом EN 10025–2:2022 [5] «Вироби гарячекатані з конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей». Позначення S355J2

|       |                 |          |        |      |      |
|-------|-----------------|----------|--------|------|------|
|       | розшифровується |          |        |      | Арк. |
| Змін. | Арк.            | № докум. | Підпис | Дата | 20   |

таким чином: S – сталь конструкційна (structural); 355 – мінімальна межа текучості, МПа; J2 – гарантована ударна в'язкість не менше 27 Дж при температурі – 20 °С, що забезпечує роботу конструкції в умовах помірного клімату.

Хімічний склад сталі S355J2 відповідно до EN 10025–2:2022 [5] наведено в таблиці 1. Відсутність сильних карбідоутворюючих елементів (Cr, Mo, V, Nb у значних кількостях) та відносно невисокий вміст вуглецю (<0,14%) обумовлюють задовільну зварюваність матеріалу.

Таблиця 1 – Хімічний склад сталі S355J2 (EN 10025-2:2022), %

| C     | Mn   | Si   | P      | S      | Cu   | Ni   | Al    | Ti     | Fe     |
|-------|------|------|--------|--------|------|------|-------|--------|--------|
| ≤0,14 | ≤1,6 | ≤0,8 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,3 | ≤0,3 | ≤0,06 | ≤0,035 | основа |

Механічні характеристики сталі S355J2 наведено в таблиці 2. Відношення межі текучості до тимчасового опору  $ReH/Rm = 355/470 = 0,75$ , що є прийнятним для зварних конструкцій і свідчить про достатній запас пластичності матеріалу.

Таблиця 2 – Механічні характеристики сталі S355J2

| Марка сталі | Тимчасовий опір $R_m$ , МПа | Межа плинності $ReH$ , МПа |
|-------------|-----------------------------|----------------------------|
| S355J2      | 470–630                     | 355 (min)                  |

Для оцінки зварюваності матеріалу використовується показник еквівалента вуглецю  $С_{екв}$ , що розраховується за формулою (1) [9] відповідно до ISO/TR 15608 [14] та методичних вказівок:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1.1)$$

Підставляючи максимальні значення легуючих елементів зі стандарту для сталі S355J2, отримаємо:

$$C_{екв} = 0,14 + \frac{1,6}{6} + \frac{(0 + 0 + 0)}{5} + \frac{(0,3 + 0,3)}{15} = 0,447$$

Розраховане значення Секв = 0,447 знаходиться на межі діапазону від 0,40 до 0,45, що характеризує задовільну зварюваність матеріалу. Сталь не схильна до утворення загартованих мартенситних структур у зоні термічного впливу при зварюванні в нормальних умовах. Попередній підігрів для товщини 14 мм, як правило, не потрібен, однак при температурі навколишнього середовища нижче +5 °С рекомендується підігрів до 50 °С – 75 °С.

Схильність металу шва до утворення гарячих тріщин оцінюється за показником HCS (Hot Cracking Susceptibility):

$$\begin{aligned}
 HCS &= \frac{C \times (S + P + 0,004 \times Si + 0,01 \times Ni)}{(3 \times Mn + Cr)} = \\
 &= \frac{0,14 \times (0,025 + 0,025 + 0,004 \times 0,8 + 0,01 \times 0,3)}{(3 \times 1,6)} = \\
 &= 0,0016
 \end{aligned}$$

Значення HCS = 0,0016 значно менше за граничне значення 0,004, що підтверджує відсутність схильності до гарячих тріщин. Це пояснюється низьким вмістом сірки, фосфору та кремнію, що є основними сегрегуючими елементами, які провокують утворення гарячих тріщин.

Стійкість металу шва проти утворення холодних тріщин визначається насамперед вмістом дифузійного водню у зварному шві та рівнем залишкових напружень. Для MAG-зварювання з дротом суцільного перерізу G4Si1 вміст дифузійного водню зазвичай не перевищує 5 мл/100 г наплавленого металу, що відповідає категорії D. Це задовільний показник для матеріалу з Секв ≈ 0,45. Таким чином, сталь S355J2 є придатною для виготовлення мансардної конструкції із застосуванням механізованого MAG-зварювання без спеціальних заходів щодо запобігання холодним тріщинам.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 22   |

## 2.2 Вибір способу та режимів зварювання

Вибір способу зварювання для виготовлення мансардної конструкції здійснювався з урахуванням комплексу технологічних чинників: хімічного складу та зварюваності матеріалу, товщини елементів, просторового положення швів, протяжності зварних з'єднань, типу виробництва та вимог до якості. Аналіз цих чинників дозволив обрати як основний спосіб зварювання - механізоване дугове зварювання плавким електродом в середовищі активного захисного газу (MAG), що відповідає процесу 135 за ISO 4063 [1].

Обґрунтування вибору процесу MAG (135) базується на таких перевагах у порівнянні з альтернативними способами. По-перше, висока продуктивність: коефіцієнт наплавлення для MAG-зварювання дротом діаметром 1,2 мм при струмі 220 А становить від 8г до 12 г/(А·год), що у 2–3 рази перевищує аналогічний показник для ручного дугового зварювання (РДЗ). По-друге, можливість механізації та автоматизації: процес добре піддається автоматизації завдяки безперервній подачі дроту. По третє, можливість виконання швів у різних просторових положеннях, зокрема в положенні РВ (ISO 6947 [3]). По-четверте, хороша придатність для зварювання низьколегованих конструкційних сталей, зокрема S355J2.

Порівняно з автоматичним зварюванням під флюсом (SAW, процес 121 за ISO 4063), MAG-зварювання є більш гнучким і придатним для складних просторових конструкцій з різноманітними типами швів. Відсутність необхідності у флюсі і флюсовій подачі спрощує компонування зварювальної установки. Порівняно з TIG-зварюванням (141 за ISO 4063 [1]), MAG є значно продуктивнішим при зварюванні деталей товщиною понад 3 мм.

Як зварювальний матеріал застосовується суцільний дріт G4Si1 (ER70S-6) відповідно до ISO 14341 [7]. Цей дріт добре узгоджується за хімічним складом з основним металом S355J2 і забезпечує механічні властивості металу шва (межа міцності  $\geq 490$  МПа, ударна в'язкість при  $-20$  °C  $\geq 47$  Дж), що відповідають або перевищують властивості основного металу.

|       |               |          |        |      |      |
|-------|---------------|----------|--------|------|------|
|       | Діаметр дроту |          |        |      | Арк. |
|       |               |          |        |      |      |
| Змін. | Арк.          | № докум. | Підпис | Дата | 23   |

– 1,2 мм як оптимальний для товщини 14 мм і режиму струму від 200А до 240 А.

Як захисне середовище застосовується газова суміш M21 (Ar + 18% CO<sub>2</sub>) за ISO 14175 [6]. Ця суміш забезпечує стабільне дрібнокраплинне перенесення металу в дузі, мінімальне розбризкування, достатню глибину проплавлення і добре формування шва. Вміст CO<sub>2</sub> 18% є оптимальним для зварювання маловуглецевих і низьколегованих сталей: забезпечує задовільне проплавлення без надмірного окиснення металу шва.

Параметри режиму зварювання для шва №1 (стикове з'єднання полиць двотаврів товщиною 14 мм) визначені з урахуванням методичних рекомендацій та практики промислового застосування і наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Параметри режиму зварювання шва №1 (MAG, процес 135)

| Параметр               | Значення                                  |
|------------------------|-------------------------------------------|
| Діаметр дроту          | 1,2 мм (G4Si1 / ER70S-6)                  |
| Зварювальний струм     | від 200 до 240 А                          |
| Напруга дуги           | від 24 до 28 В                            |
| Швидкість подачі дроту | від 7 до 9 м/хв                           |
| Швидкість зварювання   | від 25 до 35 см/хв                        |
| Витрата газу           | від 15 до 18 л/хв                         |
| Захисний газ           | M21: Ar + 18% CO <sub>2</sub> (ISO 14175) |
| Положення зварювання   | PB (ISO 6947)                             |
| Кількість проходів     | від 3 до 4 (багатошарове)                 |

Зварювання шва №1 виконується багатошаровим способом (3–4 проходи) з розробкою кромek відповідно до ISO 9692-1 [4]. Корінний прохід виконується на режимі: I = 200 А, U = 24 В, швидкість зварювання 35 см/хв. Наповнювальні проходи – I = від 220 до 240 А, U = від 26 до 28 В, швидкість 25–30 см/хв. Для кожного наступного шару виконується очищення від шлакових включень металевою щіткою.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 24   |

Погонна енергія зварювання розраховується за формулою (2) [11], що визначає теплове вкладення в шов і безпосередньо впливає на ширину зони термічного впливу та ймовірність виникнення деформацій:

$$q = \eta \times U \times \frac{I}{v_{зв}} = 0,85 \times 26 \times \frac{220}{(0,00050)} = 9,7 \text{ кДж/мм} \quad (2)$$

де  $\eta = 0,85$  – ефективний ККД нагрівання для MAG-процесу;

$U = 26 \text{ В}$  – напруга дуги;

$I = 220 \text{ А}$  – зварювальний струм;

$v = 0,30 \text{ м/хв} = 5 \text{ мм/с}$  – швидкість зварювання.

Розрахована погонна енергія не перевищує допустимого значення для сталі S355J2 (не більше 35 – 40 кДж/мм для товщини 14 мм), що підтверджує правильність вибору режиму.

### 2.3 Технічні умови виготовлення виробу

Технічні умови виготовлення мансардної конструкції регламентують вимоги до матеріалів, підготовки деталей, складання, зварювання, контролю якості та маркування виробу. Дотримання цих умов є обов'язковою умовою відповідності виробу вимогам нормативної документації та забезпечення його надійної роботи протягом встановленого терміну служби.

Вимоги до матеріалів: прокатні профілі (двотаври) та пластини виготовляються зі сталі S355J2 відповідно до EN 10025-2:2022 [5]. Кожна партія матеріалу повинна супроводжуватися сертифікатом якості виробника з підтвердженням хімічного складу та механічних властивостей. Зварювальний дріт G4Si1 постачається відповідно до ISO 14341 [7]. Захисний газ M21 ( $\text{Ar} + 18\% \text{ CO}_2$ ) повинен відповідати ISO 14175. Застосування матеріалів без супровідної документації або з простроченим сертифікатом забороняється.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 25   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Вимоги до заготовок та підготовки кромок: різання профілів і пластин виконується механічними способами (пилка, гільйотинні ножиці) або термічними методами (плазмова, газова різка). Після термічного різання зона різу підлягає механічній зачистці на глибину не менше 2 мм для видалення зони термічного впливу різки. Кути перерізу торців двотаврів після різання перевіряються за допомогою кутника - відхилення не повинно перевищувати  $1^\circ$  на 200 мм довжини. Підготовка кромок для зварювання шва №1 виконується відповідно до ISO 9692-1 з утворенням V-подібного скосу під кутом  $30^\circ \pm 2^\circ$  з кожного боку, притупленням  $2 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$  та зазором між деталями  $2 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ . Поверхня кромок та прилеглі ділянки шириною не менше 20 мм очищаються від іржі, окалини, мастил та вологі безпосередньо перед складанням.

Вимоги до складання: складання елементів виконується у складально-зварювальному пристрої, що забезпечує точне базування і фіксацію деталей. Допустимі відхилення при складанні: зміщення елементів у поперечному напрямку - не більше 1,5 мм; відхилення від заданого кута між елементами - не більше  $0,5^\circ$ ; зазор у стикових з'єднаннях -  $2 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ ; перекіс полиць двотаврів - не більше 2 мм на 200 мм довжини. Прихватки виконуються тим самим способом і матеріалом, що і основні шви. Довжина прихваток - 30-50 мм, крок - 200 мм - 300 мм. Прихватки, що мають дефекти (тріщини, підрізи, непровари), перед основним зварюванням видаляються механічно.

Вимоги до зварювання: зварювання виконується відповідно до затвердженого технологічного процесу способом 135 за ISO 4063. Зварник повинен мати кваліфікацію відповідно до ISO 9606-1. Мінімальна температура навколишнього середовища при зварюванні -  $+5^\circ\text{C}$ . Зварювання при наявності вітру зі швидкістю більше 2 м/с без захисних укриттів - забороняється. Контроль параметрів режиму зварювання (струм, напруга, швидкість подачі дроту) здійснюється вбудованими приладами зварювального апарата та фіксується в журналі зварювальних робіт. Між проходами необхідне очищення поверхні шва від бризок і шлакових включень металевою щіткою.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 26   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Вимоги до якості зварних з'єднань: якість зварних швів оцінюється відповідно до ISO 5817 [2], рівень якості С (проміжний). Неруйнівний контроль виконується: 100% зовнішній огляд усіх швів; ультразвуковий контроль (УЗК) шва №1 у 100% обсязі. Неприпустимі дефекти: тріщини, непровари, несплавлення, прожоги. Допустимі дефекти: поодинокі пори діаметром до 1,5 мм в кількості не більше 3 на 100 мм шва; підрізи глибиною до 0,5 мм і довжиною до 25 мм на 100 мм шва; перевищення валика до 3 мм. Геометричні параметри шва контролюються шаблонами.

## 2.4 Технологічний процес виготовлення виробу

Технологічний процес виготовлення мансардної конструкції розроблений з урахуванням умов серійного виробництва (150 штук на рік), цехових умов виготовлення та вимог до якості, встановлених у технічних умовах. Процес передбачає послідовне виконання заготівельних, складально-зварювальних і контрольних операцій.

Технологічний маршрут виготовлення мансардної конструкції включає операції, наведені в таблиці 4. Послідовність операцій забезпечує поступове формування виробу від заготовок до готової зварної конструкції з контролем якості на кожному етапі.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 27   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Таблиця 4 – Технологічний маршрут виготовлення мансардної конструкції

| №   | Назва операції                      | Обладнання                       | Інструмент               | Норма часу, хв |
|-----|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 005 | Вхідний контроль матеріалів         | Стіл контролера                  | Штангенциркуль, рулетка  | 15             |
| 010 | Заготівельна (різання, правлення)   | Стрічкова пила, прес             | Розмічальний інструмент  | 45             |
| 015 | Підготовка кромок                   | КШМ, фаскознімач                 | Шаблон кута, кутник      | 30             |
| 020 | Складання вузла 1 (вузол перелому)  | Складально-зварювальний пристрій | Молоток, щітка           | 40             |
| 025 | Прихватки вузла 1                   | Напівавтомат Fronius             | Пальник MAG              | 20             |
| 030 | Зварювання шва №1 (основного)       | Fronius TransSteel 3500 + робот  | Пальник MAG, дріт G4Si1  | 60             |
| 035 | Загальне складання конструкції      | Складально-зварювальна установка | Оснастка, упори          | 50             |
| 040 | Зварювання решти швів               | Fronius TransSteel 3500          | Пальник MAG              | 90             |
| 045 | Зачищення швів                      | КШМ, щіткова машина              | Шліфувальний круг, щітка | 25             |
| 050 | Контроль якості                     | Стіл контролера                  | Шаблони, лінійка         | 30             |
| 055 | Виправлення деформацій (за потреби) | Прес, домкрат                    | Кутник                   | 20             |
| 060 | Ґрунтування та маркування           | Фарборозпилювач                  | Пензель                  | 20             |

Заготівельні операції включають отримання прокатних профілів і пластин зі сховища матеріалів, їх вхідний контроль, розкрій (різання) до необхідних розмірів, а також підготовку кромок. Різання двотаврів на мірні довжини здійснюється за допомогою стрічкової пилки з вимірюванням і розміткою за допомогою рулетки та розмічального кутника. Пластини можуть вирізатися на гільйотинних ножицях або газокисневим різанням з подальшою механічною зачисткою кромок.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 28   |

Складання вузла перелому геометрії (основного зварного вузла, де виконується шов №1) є критичною операцією, від якої залежить точність геометрії готової конструкції. Двотаврові балки деталей 1 і 2 встановлюються у складально-зварювальний пристрій, де позиціонуються відносно один одного під заданим кутом за допомогою кутових упорів та гвинтових притискачів. Перевіряється правильність взаємного розташування за допомогою шаблону кута та рулетки. Після вивіряння виконуються прихватки довжиною від 40 мм до 50 мм у кількості від 4 до 6 штук рівномірно по периметру з'єднання.

Основне зварювання шва №1 виконується після перевірки геометрії вузла. Зварювання здійснюється за схемою «у човник» (положення РВ за ISO 6947) у 3–4 проходи. Для забезпечення рівномірного тепловкладення і мінімізації деформацій застосовується зворотньо-ступінчастий спосіб виконання швів. Після завершення зварювання шва №1 конструкція витримується у пристрої до охолодження до температури нижче 100 °С, після чого знімається для подальших операцій.

Загальне складання конструкції передбачає приєднання двотавра (деталь 4) та пластин (деталі 3 і 5) до вже зварених основних елементів. Складання виконується на загальному складально-зварювальному стенді. Порядок складання повинен забезпечувати вільний доступ до зон зварювання всіх швів. Зварювання решти швів виконується по можливості симетрично відносно центру ваги конструкції для рівномірного розподілу зварювальних деформацій.

Зачищення швів після зварювання включає видалення бризок металу шліфувальною машиною, зачищення поверхні шва від шлакових включень металевою щіткою, а також видалення нерівностей валика (якщо вони перевищують допустимі значення) шліфуванням. Після зачищення виконується остаточний контроль якості. виправлення деформацій (якщо вони перевищують допустимі за кресленням) здійснюється холодним або гарячим правленням у пресі або за допомогою домкрата.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 29   |

## 2.5 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки

Технологічна оснастка – складально-зварювальний пристрій (СЗП) - є необхідним елементом технологічного оснащення для серійного виготовлення мансардної конструкції. Необхідність її розробки обумовлена рядом технологічних, економічних і якісних чинників.

Перш за все, геометрична складність конструкції. Мансардна конструкція містить елементи, які повинні бути з'єднані під певними просторовими кутами. Забезпечення точного взаємного розташування двотаврових балок в вузлі перелому геометрії вручну, без використання базуючих пристроїв, практично неможливе: навіть незначне відхилення кута (більше  $0,5^\circ$ ) призводить до невідповідності геометрії конструкції вимогам креслення. Складально-зварювальний пристрій забезпечує точне базування і фіксацію деталей у заданому положенні без попередньої ручної вивірки.

Серійний характер виробництва є другим ключовим чинником. При річному обсязі 150 штук переналагодження під кожний виріб є нераціональним. Застосування СЗП дозволяє суттєво скоротити час підготовчо-заклучних робіт при складанні: встановлення і базування деталей у СЗП займає в 3–4 рази менше часу, ніж розмічання і встановлення вручну. Зниження трудомісткості складання при серійному виробництві дозволяє отримати суттєву економію.

Забезпечення стабільності якості є третьою причиною необхідності розробки оснастки. При складанні вручну якість залежить від кваліфікації та уваги складальника і може значно варіювати від виробу до виробу. СЗП виключає суб'єктивний чинник і забезпечує однакові умови складання для кожного виробу, що призводить до стабільного розміщення деталей і відтворюваної якості зварних з'єднань. Зменшення зварювальних деформацій є четвертим чинником. Жорстка фіксація деталей у СЗП під час зварювання обмежує теплові деформації і запобігає коробленню конструкції, що особливо важливо для відповідального з'єднання в вузлі перелому. Без фіксуючого

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 30   |

пристрою теплові деформації при зварюванні можуть призвести до відхилень геометрії, що виходять за межі допусків.

Таким чином, розробка складально-зварювального пристрою є економічно доцільною і технологічно необхідною для забезпечення якісного та ефективного виготовлення мансардної конструкції в умовах серійного виробництва. Окупність витрат на виготовлення СЗП забезпечується вже при виробництві першої партії виробів за рахунок скорочення трудомісткості складання та зменшення браку.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 31   |

## 3 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

### 3.1 Технічні вимоги до оснастки

Складально-зварювальна оснастка (СЗП) для виготовлення мансардної конструкції повинна задовольняти комплекс технічних вимог, що забезпечують точне базування деталей, надійну їх фіксацію в заданому положенні, вільний доступ до зон зварювання та зручність роботи з оснасткою. Технічні вимоги формулюються на основі вимог до геометрії готового виробу, характеристик технологічного процесу зварювання та умов виробництва [10].

Вимоги до точності базування при складанні заготовок у складі зварювально-складального пристрою (СЗП) визначаються необхідністю забезпечення стабільної геометрії мансардної конструкції на всіх етапах її виготовлення та подальшої експлуатації. Оскільки під час зварювання виникають термічні деформації, початкове точне встановлення деталей у пристосуванні є критично важливим фактором, який дозволяє мінімізувати відхилення готового виробу від креслярських розмірів.

СЗП повинен забезпечувати відтворюване та стабільне базування елементів конструкції, насамперед двотаврових балок, які є основними несучими елементами каркаса. Відхилення від заданого кута між такими балками не повинно перевищувати  $\pm 0,3^\circ$ . Такий рівень точності дозволяє зберегти правильну просторову геометрію каркаса, забезпечити рівномірний розподіл навантажень і запобігти перекосам конструкції, які можуть накопичуватися після завершення зварювання.

Не менш важливим є контроль поперечного зміщення деталей. Воно не повинно перевищувати  $\pm 1$  мм. Це забезпечує точне суміщення елементів конструкції по ширині та виключає появу ступінчастих зміщень у з'єднаннях. Навіть невеликі відхилення в цьому параметрі можуть призводити до додаткових внутрішніх напружень у зварних швах, що в подальшому впливає на довговічність і жорсткість конструкції.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 32   |

Окремо регламентується відхилення від площинності, яке не повинно перевищувати 1 мм на 1000 мм довжини. Такий допуск є важливим для забезпечення рівної опорної геометрії елементів конструкції, особливо при складанні великих металевих рам. Дотримання цього параметра дозволяє уникнути викривлень площини, які можуть ускладнювати монтаж виробу та знижувати його експлуатаційні характеристики.

Зазначені вимоги до точності базування враховують також можливі деформації, що виникають у процесі зварювання через локальний нагрів і подальше охолодження металу. Саме тому початкова точність складання задається з урахуванням компенсації цих деформацій, що дозволяє після завершення зварювальних операцій отримати конструкцію, яка повністю відповідає вимогам конструкторської документації.

У підсумку, дотримання встановлених допусків у роботі СЗП є ключовою умовою забезпечення геометричної точності мансардних конструкцій, стабільності їх форми та відповідності технічним вимогам креслень.

Вимоги до жорсткості та міцності: конструкція СЗП повинна мати достатню жорсткість для протидії зварювальним деформаціям при фіксації деталей. Базова плита пристрою виготовляється з листової сталі товщиною не менше 20 мм. Ребра жорсткості встановлюються з кроком не більше 500 мм. Усі зварні з'єднання в конструкції СЗП виконуються з двотавровими і кутовими швами катетом не менше 5 мм. Затискні елементи (гвинтові притискачі) розраховуються на зусилля не менше 5 кН кожний.

Вимоги до доступності зони зварювання: конструкція СЗП не повинна перекривати зони виконання зварних швів. Кут підходу зварювального пальника до шва №1 – не менше 30° від поверхні деталі. У зоні шва №1 повинен бути забезпечений вільний простір шириною не менше 150 мм для переміщення пальника. Розміщення базуючих та затискних елементів не повинно обмежувати можливість ведення пальника по всій довжині шва.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 33   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Вимоги до зручності та продуктивності роботи: завантаження та розвантаження деталей повинно займати не більше 5 хв. Закріплення деталей гвинтовими притискачами – не більше 3 хв. Загальний час підготовчих операцій при складанні одного вузла у СЗП – не більше 15 хв. Маса рухомих частин (якщо такі є) - не більше 10 кг для можливості ручного переміщення. Поверхні СЗП, що контактують з деталями, не повинні мати задирків, гострих кромek та нерівностей висотою більше 0,3 мм, щоб уникнути пошкодження поверхні заготовок.

Вимоги до матеріалу та термообробки: корпус та базові елементи СЗП виготовляються зі сталі Ст3 або 09Г2С. Базуючі поверхні твердих упорів підлягають загартуванню до твердості HRC 40–45. Гвинтові притискачі виготовляються зі сталі 40Х або 45 з термообробкою. Різьбові з'єднання мають клас міцності не нижче 8.8. Всі зовнішні поверхні СЗП покриваються ґрунтом і фарбою для захисту від корозії.

Вимоги до терміну служби та обслуговування: розрахунковий ресурс СЗП - не менше 2000 циклів складання (понад 13 річних програм). Рухомі частини підлягають мащенню технічним мастилом з інтервалом не рідше одного разу на тиждень. Технічний огляд стану базуючих поверхонь і затискних елементів - щомісячно. Перевірка геометрії СЗП контрольним інструментом - не рідше одного разу на квартал.

### 3.1 Вибір технологічних баз та схема базування заготовок

Вибір технологічних баз є основоположним етапом розробки складально-зварювального пристрою, оскільки від правильного вибору баз залежить точність взаємного розташування деталей у конструкції та повторюваність геометрії від виробу до виробу. Базування здійснюється відповідно до теорії базування твердих тіл (правило шести точок) з урахуванням конструктивних особливостей деталей і вимог до точності складання.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 34   |

Для двотаврових балок (деталі 1 і 2) технологічними базами є: установча база - нижня полиця двотавра (опорна площина), яка позбавляє деталь трьох ступенів вільності (три точки опори); напрямна база - бічна поверхня стінки двотавра, яка позбавляє деталь двох ступенів вільності (дві точки); опорна база - торцева поверхня двотавра, яка позбавляє деталь одного ступеня вільності (одна точка). Таким чином, застосовується принцип повного базування (6-точкова схема).

Схема базування деталей у СЗП реалізується за допомогою таких елементів: опорні планки під нижню полицю двотавра - 3 штуки на кожен деталь (із кроком близько 600 мм – 800 мм вздовж довжини балки); бічні упори, що притискають до базової поверхні по стінці двотавра - 2 штуки; торцевий упор, що обмежує переміщення уздовж осі балки - 1 штука. Завдяки такій схемі кожна деталь однозначно позиціонується у тривимірному просторі.

Базова поверхня для визначення взаємного розташування двох двотаврів - загальна горизонтальна площина плити СЗП. Кут між двотаврами в вузлі перелому фіксується за допомогою кутового упору або шаблону, встановленого на плиті пристрою. Упор встановлюється з кутом, що відповідає заданому кресленням куту перелому конструкції. Виставлення кутового упору перевіряється кутником і кутоміром до початку серійного використання СЗП.

Для пластин (деталі 3 і 5) базування здійснюється по торцевій поверхні двотавра (де приварюється пластина) і по упорному штирю, що входить в один з отворів діаметром 22 мм пластини. Такий спосіб базування по отвору забезпечує точне позиціонування пластини відносно деталі, зокрема центр отвору і вісь двотавра збігаються з точністю  $\pm 0,5$  мм. Це необхідно для забезпечення правильного розташування монтажних отворів у готовій конструкції.

Точність базування у СЗП перевіряється за допомогою контрольного шаблону (збірки-імітатора) при налагодженні пристрою. Повторна перевірка точності виконується після кожних 50 циклів складання, а також після будь-

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 35   |

якого механічного впливу на базуючі елементи. Відхилення в базуванні, що перевищують встановлені допуски, є підставою для регулювання або заміни базуючих елементів.

### 3.2 Розробка принципової схеми пристрою

Принципова схема складально-зварювального пристрою розроблена на основі прийнятої схеми базування і вимог до доступності зони зварювання шва №1. Пристрій являє собою горизонтальну плиту-підставу з закріпленими на ній базуючими і затискними елементами, яка встановлюється на виробничому столі або роликів опорах.

Основою конструкції є зварна рама або литий корпус із листової сталі товщиною 20 мм–25 мм, підсилений ребрами жорсткості. Розміри плити визначаються габаритами складуваного вузла: для вузла перелому мансардної конструкції розміри плити орієнтовно становлять 1500 мм × 800 мм. Плита має рівну, механічно оброблену верхню поверхню з відхиленням від площинності не більше 0,3 мм на всій площі.

На плиті встановлені такі базуючі та затискні елементи: нерухомі опорні планки (4 штуки) для базування по нижній полиці нижнього двотавра (деталь 2); нерухомі опорні планки (3 штуки) для базування по нижній полиці верхнього двотавра (деталь 1); бічні упори (по 2 штуки на кожен деталь) для базування по стінці двотавра; кутовий упор для фіксації взаємного кута між двотаврами; гвинтові притискачі - по 2 штуки на кожен деталь для затискання зверху і збоку; упорний штир для базування пластин.

Принципова схема роботи пристрою передбачає таку послідовність: встановлення деталі 2 (нижній двотавр) на опорні планки з позиціонуванням по торцевому упору; затиснення деталі 2 гвинтовими притискачами; встановлення деталі 1 (верхній двотавр) з позиціонуванням по кутовому упору і суміщенням кромок в зоні шва №1; затиснення деталі 1; перевірка взаємного розташування деталей; виконання прихваток і подальшого зварювання. Після

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 36   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

виконання зварювання і охолодження притискачі послаблюються і зварений вузол знімається з пристрою.

Кутовий упор є ключовим елементом пристрою, що визначає кут перелому мансардної конструкції. Він виконується у вигляді жорсткої фасонної деталі, привареної до плити або закріпленої болтами для можливості регулювання. Робоча поверхня кутового упору, що контактує з полицею двотавра, оброблена з точністю Ra 1,6 мкм і загартована до HRC 40–45. Кут виконання упору перевіряється кутоміром із ціною поділки 1' і повинен відповідати заданому куту перелому конструкції з відхиленням не більше  $\pm 5'$ .

Гвинтові притискачі забезпечують зусилля затиснення, достатнє для протидії силам теплового розширення при зварюванні. Розрахункове зусилля від теплового розширення при зварюванні на режимі  $I = 220$  А на довжині 500 мм становить орієнтовно від 15 до 20 кН. При встановленні двох притискачів на кожну деталь, кожен має розвивати зусилля не менше 10 кН. Гвинт притискача виготовляється зі сталі 40Х, різьба М24, матеріал рукоятки - сталь 45.

### 3.3 Компонування складально-зварювального пристрою

Компонування складально-зварювального пристрою виконується з урахуванням забезпечення оптимального доступу до зони шва №1, зручності встановлення і зняття деталей, а також мінімальних розмірів пристрою при виконанні всіх функціональних вимог. Компонування враховує ергономічні вимоги до робочого місця зварника.

Пристрій компонується таким чином, що нижній двотавр (деталь 2) розташовується горизонтально на плиті пристрою в лівій частині зони складання. Верхній двотавр (деталь 1) встановлюється під кутом відносно нижнього, причому вузол перелому (зона шва №1) знаходиться приблизно в центрі плити. Таке розміщення забезпечує рівноважний розподіл навантажень від деталей на плиту і зручний доступ зварника до шва №1 з обох боків.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 37   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Висота робочої поверхні пристрою від рівня підлоги становить 800 мм–900 мм, що відповідає ергономічним нормам для виконання зварювальних робіт стоячи або з невеликим нахилом. Для виконання зварювання в положенні РВ (ISO 6947) - «в човник» - зона шва №1 повинна бути орієнтована таким чином, щоб пальник міг підходити до шва під кутом 45° до вертикалі з обох боків стику. Кантувач (або похилий домкрат), на якому встановлюється пристрій, дозволяє нахилити всю конструкцію СЗП разом з виробом на кут до  $\pm 45^\circ$  для досягнення потрібного просторового положення шва.

Розміщення гвинтових притискачів: по два на кожну деталь, симетрично відносно зони шва. Притискачі з боку верхнього двотавра (деталь 1) встановлюються на відстані 200 мм і 600 мм від зони шва вздовж осі балки. Притискачі з боку нижнього двотавра - на відстані 200 мм і 700 мм від шва. Таке розміщення забезпечує рівномірне притискання деталей і не перекриває зону виконання шва. Матеріал опорних планок і бічних упорів - Ст3. Поверхні, що контактують з деталями, виготовляються з прокладками з міді або алюмінію для запобігання залишення слідів на поверхні заготовок.

Загальна маса СЗП орієнтовно становить від 150 кг до 200 кг. Для встановлення на стіл або кантувач передбачені чотири рим-болти М20 у верхніх кутах плити. Переміщення СЗП виконується краном вантажопідйомністю не менше 500 кг. Сторони плити маркуються для уникнення помилкового встановлення СЗП на кантувач.

### 3.4 Опис роботи складально-зварювального пристрою

Робота складально-зварювального пристрою здійснюється у визначеній технологічній послідовності, що забезпечує точне базування, фіксацію і підготовку до зварювання елементів мансардної конструкції. Конструкція пристрою забезпечує стабільність положення деталей протягом усього процесу складання і зварювання.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 38   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

На першому етапі виконується підготовка пристрою до роботи: перевіряється чистота базових поверхонь (очищення від бризок металу, залишків флюсу, стружки), перевіряється справність гвинтових притискачів і правильність встановлення упорів. Базові поверхні протираються, гвинтові різьби змащуються технічним мастилом.

На другому етапі встановлюється і базується деталь 2 (нижній двотавр): деталь краном або вручну подається на опорні планки плити, орієнтується по торцевому упору. Перевіряється щільне прилягання нижньої полиці до опорних планок (за допомогою щупа - зазор не повинен перевищувати 0,2 мм). Деталь затискається двома гвинтовими притискачами зверху і одним - збоку (по стінці).

На третьому етапі встановлюється і базується деталь 1 (верхній двотавр): деталь подається на опорні планки і орієнтується за допомогою кутового упору в зоні вузла перелому. Кромки деталей 1 і 2 в зоні шва №1 зводяться до встановленого зазору від 2 мм до 1 мм за допомогою гвинтового механізму подачі або вручну. Перевіряється правильність стику кромки: зміщення кромки не повинно перевищувати 1,5 мм, зазор - рівномірний по всій довжині. Деталь 1 затискається притискачами.

На четвертому етапі виконуються прихватки. Зварник виконує прихватки довжиною від 40 мм до 50 мм з кроком від 200 мм до 300 мм у 5–6 місцях по периметру з'єднання. Прихватки виконуються на режимі основного зварювання ( $I = \text{від } 200\text{А до } 220\text{ А}$ ) для забезпечення якісного проплавлення. Кожна прихватка після охолодження перевіряється на наявність тріщин. Дефектні прихватки видаляються і виконуються знову.

На п'ятому етапі, після виконання прихваток по всьому периметру, притискачі можуть бути частково послаблені (не повністю зняті) для зменшення жорсткого защемлення при основному зварюванні. Виконується основне зварювання шва №1 відповідно до технологічного процесу. Після завершення зварювання і охолодження вузла до температури нижче 100 °С (орієнтовно від 20 до 30 хв) притискачі повністю послаблюються і зварений

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 39   |

вузол знімається з пристрою краном або вручну. Пристрій очищається від бризок металу і готується до наступного циклу складання.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 40   |

## 4 КОМПОНУВАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

### 4.1 Обґрунтування вибору основного зварювального устаткування

Вибір основного зварювального устаткування для виготовлення мансардної конструкції здійснюється виходячи з прийнятого способу зварювання (MAG, процес 135 за ISO 4063), матеріалу виробу (S355J2), товщини елементів (14 мм для основного шва №1), умов виробництва (серійне, цехові умови) та вимог до якості (ISO 5817, рівень C). Сукупність зазначених чинників визначає необхідність використання сучасного високопродуктивного обладнання, здатного забезпечити стабільність параметрів процесу, якісне формування шва та достатню продуктивність при виготовленні серії однотипних виробів.

Для виконання MAG-зварювання необхідне джерело живлення постійного струму зі зростаючою або жорсткою вольт-амперною характеристикою (ВАХ), механізм подачі дроту з можливістю регулювання швидкості, зварювальний пальник та система подачі захисного газу. З урахуванням необхідних режимів зварювання ( $I = \text{від } 200 \text{ до } 240 \text{ А}$ ,  $U = \text{від } 24 \text{ до } 28 \text{ В}$ ) і потреби у стабільності параметрів при серійному виробництві, оптимальним є застосування інверторного зварювального напівавтомата.

Інверторний зварювальний напівавтомат FroniusTransSteel 3500 [12] обраний як основне джерело живлення для виготовлення мансардної конструкції з урахуванням особливостей технологічного процесу, вимог до якості зварних з'єднань, характеристик основного металу та умов серійного виробництва. Виготовлення даної конструкції передбачає виконання великої кількості зварних швів на низьколегованій конструкційній сталі S355J2 із застосуванням механізованого дугового зварювання плавким електродом у середовищі активного захисного газу. Для забезпечення стабільності параметрів процесу, повторюваності якості та достатньої продуктивності необхідне сучасне інверторне обладнання, здатне підтримувати точні параметри зварювального струму й напруги впродовж усього циклу роботи.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 41   |

Fronius TransSteel 3500 належить до професійного класу зварювального обладнання і призначений для виконання процесів MIG/MAG, MMA та TIG Lift. Основним режимом роботи в умовах даного проєкту є саме MAG-зварювання, яке відповідає процесу 135 за ISO 4063. Апарат забезпечує максимальний зварювальний струм до 350 А, що повністю покриває потреби технологічного процесу при зварюванні елементів товщиною 14 мм. Робочі режими, визначені для виготовлення мансардної конструкції, знаходяться в межах 200–240 А при напрузі 24–28 В, тому джерело живлення працює не на граничних параметрах, а із суттєвим запасом потужності. Це позитивно впливає на стабільність процесу, знижує теплове навантаження на електронні компоненти апарата та забезпечує високу надійність обладнання при тривалій роботі у виробничих умовах.

Однією з головних причин вибору саме інверторного джерела живлення є принцип його роботи. На відміну від традиційних трансформаторних напівавтоматів, інверторне обладнання працює за схемою високочастотного перетворення струму. Спочатку змінний струм мережі випрямляється, після чого за допомогою транзисторних модулів перетворюється у високочастотний сигнал. Далі струм проходить через компактний трансформатор і знову випрямляється до параметрів, необхідних для зварювання. Така схема дозволяє отримати дуже стабільну вольт-амперну характеристику та швидке реагування системи на зміну параметрів дуги. У результаті забезпечується стійке горіння дуги навіть при коливаннях довжини дугового проміжку, що особливо важливо при виконанні довгих швів у просторовому положенні РВ.

Висока стабільність дуги є критично важливою при зварюванні відповідальних металоконструкцій. Мансардна конструкція працює під дією складних експлуатаційних навантажень - власної ваги, снігових та вітрових впливів, тому будь-які дефекти зварного шва можуть призвести до зниження несучої здатності виробу. Використання Fronius TransSteel 3500 дозволяє мінімізувати ризик виникнення дефектів типу непровару, пористості чи нестабільного формування валика. Цифрова система керування забезпечує

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 42   |

постійний контроль параметрів процесу та автоматичне коригування режиму у разі зміни умов зварювання. Це особливо важливо при багат шаровому зварюванні стикових швів, де необхідно забезпечити рівномірне проплавлення по всій товщині металу.

Ще однією важливою перевагою апарата є низький рівень розбризкування металу під час зварювання. При MAG-зварюванні утворення бризок є природним явищем, однак їх надлишкова кількість призводить до збільшення витрат металу, погіршення зовнішнього вигляду шва та необхідності додаткового зачищення поверхні після зварювання. Завдяки точному електронному регулюванню параметрів дуги Fronius TransSteel 3500 забезпечує стабільне перенесення електродного металу в зварювальну ванну. Це дозволяє зменшити втрати металу на розбризкування, скоротити час післязварювальної обробки та підвищити загальну продуктивність виготовлення конструкції.

Для серійного виробництва важливе значення має також зручність налаштування режимів роботи. Fronius TransSteel 3500 обладнаний сучасною цифровою панеллю керування, що дозволяє точно встановлювати параметри зварювання: силу струму, напругу дуги, швидкість подачі дроту, індуктивність та інші характеристики процесу. Оператор може швидко змінювати параметри залежно від товщини металу, просторового положення шва чи типу з'єднання. Це значно скорочує час переналагодження обладнання та дозволяє підтримувати стабільну якість при виготовленні великої кількості однотипних виробів.

Особливу роль у забезпеченні якості шва відіграють спеціальні функції апарата. Однією з таких функцій є SynchroPuls. Вона забезпечує синхронізовану імпульсну зміну параметрів дуги, завдяки чому покращується формування валика шва та зменшується тепловкладення в метал. Це особливо важливо при зварюванні елементів складної геометрії, де необхідно мінімізувати деформації конструкції. Зменшення тепловкладення дозволяє знизити ризик короблення елементів і появи залишкових напружень у зоні

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 43   |

шва. Для мансардної конструкції це має принципове значення, оскільки геометрична точність вузла перелому безпосередньо впливає на правильність складання всієї покрівельної системи.

Іншою корисною функцією є Comfort Stop. Вона забезпечує плавне завершення процесу зварювання без утворення кратера в кінці шва. Кратер є потенційною зоною виникнення тріщин, особливо при роботі конструкції під циклічними навантаженнями. Автоматичне зниження струму наприкінці проходу дозволяє рівномірно заповнити завершальну ділянку шва і покращити його механічні характеристики. Це підвищує довговічність зварного з'єднання та сприяє відповідності вимогам ISO 5817 щодо якості швів.

Важливою характеристикою Fronius TransSteel 3500 є висока тривалість включення. Апарат здатний працювати при струмі 250 А зі 100% тривалістю включення, тобто безперервно протягом усього робочого циклу без перегріву. Це особливо важливо для серійного виробництва, де зварювання виконується тривалий час і простої обладнання негативно впливають на продуктивність. Навіть при максимальному струмі 350 А тривалість включення становить 40%, що є високим показником для обладнання такого класу. Завдяки цьому апарат може ефективно використовуватися не лише для даного виробу, а й для інших металоконструкцій зі значною товщиною металу.

Компактність і відносно невелика маса обладнання також є суттєвими перевагами. Маса Fronius TransSteel 3500 становить приблизно 26,45 кг, що значно менше порівняно з традиційними трансформаторними джерелами живлення аналогічної потужності. Це полегшує транспортування обладнання в межах цеху, спрощує монтаж зварювального поста та дозволяє більш раціонально організувати робоче місце. Компактні габарити особливо важливі при компонуванні автоматизованих або напівавтоматичних зварювальних установок, де кожен елемент обладнання повинен розміщуватися максимально ефективно.

Окремо слід відзначити енергоефективність інверторного джерела живлення. Завдяки високочастотному принципу роботи Fronius TransSteel

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 44   |

3500 має значно вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з класичними трансформаторними апаратами. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії та знизити експлуатаційні витрати підприємства. Для серійного виробництва, де обладнання працює щоденно протягом тривалого часу, економія електроенергії має суттєве економічне значення.

Система захисту обладнання також відповідає сучасним вимогам промислової безпеки. Апарат обладнаний захистом від перегріву, короткого замикання та перепадів напруги. Клас захисту IP23 дозволяє використовувати обладнання у виробничих приміщеннях із підвищеною запиленістю та ризиком потрапляння вологи. Це підвищує надійність роботи обладнання та зменшує ймовірність аварійних ситуацій під час експлуатації.

Використання Fronius TransSteel 3500 також позитивно впливає на умови праці зварника. Стабільна дуга, мале розбризкування та плавне регулювання режимів зменшують втому оператора і полегшують виконання швів у складних просторових положеннях. Зварник може більше концентруватися на веденні шва та контролі формування зварювальної ванни, а не на постійному коригуванні режимів роботи обладнання. Це сприяє підвищенню якості виготовлення конструкції та зниженню ймовірності браку.

Таким чином, вибір інверторного зварювального напівавтомата Fronius TransSteel 3500 є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для виготовлення мансардної конструкції.

Апарат забезпечує необхідні параметри зварювання, високу стабільність дуги, мінімальний рівень розбризкування, точне цифрове керування режимами та високу продуктивність процесу. Сукупність цих характеристик дозволяє забезпечити стабільну якість зварних з'єднань, відповідність вимогам нормативної документації та ефективність виробництва в умовах серійного випуску виробів.

Технічні характеристики обраного джерела живлення Fronius TransSteel 3500 наведено в таблиці 5.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 45   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Таблиця 5 – Технічні характеристики Fronius TransSteel 3500

| Параметр                               | Значення                 |
|----------------------------------------|--------------------------|
| Напруга живлення                       | 3×380 / 400 / 460 В      |
| Частота мережі                         | від 50 до 60 Гц          |
| Струм зварювання (min/max)             | 10 / 350 А               |
| Тривалість включення при 350 А / 40 °С | 40 %                     |
| Тривалість включення при 250 А / 40 °С | 100 %                    |
| Напруга холостого ходу                 | 60 В                     |
| Клас захисту                           | IP23                     |
| Габарити (Д×Ш×В), мм                   | 747 мм × 300 мм × 497 мм |
| Маса                                   | 26,45 кг                 |

Перевірка відповідності обраного апарата необхідним режимам зварювання: для режиму шва №1 ( $I = 220$  А, ПВ = 100 %) апарат забезпечує 250 А при ПВ = 100 %, тобто з запасом 14% по струму. Це підтверджує повну відповідність апарата вимогам технологічного процесу і свідчить про надійну роботу обладнання без теплових перевантажень.

Для подачі дроту використовується вбудований механізм подачі дроту з 4-роликівим приводом, що забезпечує стабільну подачу дроту діаметром 1,2 мм зі швидкістю від 7 до 9 м/хв. 4 – роликів система є більш надійною порівняно з 2-роликівовою при зварюванні суцільним дротом і забезпечує рівномірний рух дроту навіть при значній довжині кабель-пакета (до 5 м).

Зварювальний пальник обирається з максимальним струмом 350 А (з рідинним охолодженням) для тривалої роботи на режимах до 240 А. Довжина кабель-пакета – 3,5 м, що забезпечує необхідну маневреність при зварюванні великогабаритних конструкцій. Система подачі захисного газу: балон об'ємом 40 л з газовою сумішшю M21 ( $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$ ), редуктор з витратоміром, газовий шланг діаметром 8 мм. Витрата газу регулюється на рівні від 15 до 18 л/хв відповідно до режимів зварювання.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 46   |

#### 4.1 Обґрунтування вибору засобів технологічного спорядження (ЗТС)

Засоби технологічного спорядження (ЗТС) забезпечують механізацію і автоматизацію допоміжних операцій при зварюванні, дозволяють підвищити якість і стабільність зварних з'єднань, скоротити час на виконання зварювальних робіт і зменшити вплив людського чинника. Для виготовлення мансардної конструкції застосовуються ЗТС чотирьох основних груп: для позиціонування виробу, для переміщення зварювального обладнання, для ущільнення стиків перед зварюванням та допоміжні.

#### 4.2 Позиціонування виробу у просторі

Для забезпечення оптимального просторового положення мансардної конструкції при виконанні зварювання шва №1 застосовується кантувач з похилим домкратом. Цей ЗТС дозволяє нахилити виріб у будь-яке кутове положення в межах  $\pm 45^\circ$  від горизонталі, що забезпечує можливість виконання зварювання шва №1 у положенні РВ (ISO 6947) - «в човник» - як найбільш сприятливому для формування кутового шва.

Маса мансардної конструкції, що складається з двотаврів і пластин зі сталі S355J2, орієнтовно становить від 80 кг до 120 кг (розрахунок по об'єму металу). З урахуванням маси СЗП (~180 кг) загальна вантажопідйомність кантувача повинна бути не менше 350 кг. Приймається кантувач з похилим домкратом вантажопідйомністю 500 кг - з запасом по вантажопідйомності 43%.

Перевірочний розрахунок максимального перекидального моменту: визначимо максимальний момент, що діє на кантувач при ексцентричному розташуванні виробу. Плече прикладання сили від центру тяжіння виробу до осі обертання кантувача - орієнтовно 0,6 м.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 47   |

Вага виробу разом з СЗП:

$$G = (120 + 180) \times 9,81 = 2943 \text{ Н.}$$

Перекидальний момент:

$$M = G \times e = 2943 \times 0,6 = 1766 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Обраний кантувач розрахований на перекидальний момент 2500 Н·м, що забезпечує запас 41%, тобто умова міцності виконується.

Розрахунок потужності приводного електродвигуна механізму нахилу кантувача: потужність визначається з умови забезпечення кутової швидкості нахилу 0,5 рад/хв (орієнтовно 3 °/с) при максимальному перекидальному моменті  $M = 1766 \text{ Н} \cdot \text{м}$  з урахуванням ККД механізму  $\eta = 0,7$ .

Потужність двигуна:

$$P = M \times \frac{\omega}{\eta} = 1766 \times (0,5/60) / 0,7 = 21 \text{ Вт.}$$

З урахуванням ударних навантажень при запуску збільшуємо розрахункову потужність в 2,5 рази:

$$P = 21 \times 2,5 = 52,5 \text{ Вт.}$$

Приймається асинхронний електродвигун АІМ56В4 потужністю 180 Вт, що забезпечує значний запас потужності для надійної роботи.

#### 4.3 Переміщення зварювального обладнання

Для механізованого переміщення зварювального пальника вздовж шва №1 застосовується зварювальний «глагольний» (консольний) візок, встановлений на рейковому шляху. Консоль візка з закріпленням на ній зварювальним пальником переміщується зі сталою швидкістю вздовж осі шва, забезпечуючи рівномірне зварювання по всій довжині. Застосування зварювального візка суттєво підвищує стабільність швидкості зварювання і, відповідно, рівномірність теплового вкладення.

Ширина рейкового шляху приймається  $L = 1200 \text{ мм}$ . Відстань від рейки до центру ваги консолі з пальником:  $L_1 = 1026 \text{ мм}$ . Колісна база ходових коліс:

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 48   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

$L_3 = 1800$  мм. Відстань від рейки до точки розташування колони:  $L_4 = 1000$  мм.  
Маса конструкції консолі з пальником і кабель-пакетом:  $m_k = 45$  кг, вага  $G_k = 441$  Н. Маса всього візка з колоною:  $m = 445$  кг, вага  $G = 4363$  Н.

Визначення вертикальних реакцій ходових коліс за формулами (3) і (4):

$$Q_1 = G \times (L + L_1) / L = \frac{4363 \times (1200 + 1026)}{1200} = 8090 \text{ Н} \quad (3)$$

$$Q^2 = G \times \frac{L^1}{L} = \frac{4363 \times 1026}{1200} = 3731 \text{ Н} \quad (4)$$

Реакції на приводних колесах:

$$Q_3 = Q_1 \times (L_3 - L_4) / L_3 = \frac{8090 \times 800}{1800} = 3596 \text{ Н} \quad (5)$$

$$Q^4 = Q^1 \times \frac{L^4}{L^3} = 8090 \times \frac{1000}{1800} = 4494 \text{ Н} \quad (6)$$

Сумарне зусилля супротиву пересування візка (формула 7) при коефіцієнтах:  $f_p = 0,015$  (тертя у підшипниках кочення),  $\mu_k = 0,3$  (тертя кочення),  $K_p = 2,5$  (тертя у ребордах), радіус колеса  $R_1 = 150$  мм, діаметр вала  $d_v = 75$  мм:

$$\begin{aligned} WT &= K_p \times (Q_3 + Q_4) \times (d_v \times f_p + 2\mu_k) / (2 \times R_1) \\ &= 2,5 \times 8090 \times (0,075 \times 0,015 + 2 \times 0,3) / (2 \times 0,15) = 4083 \text{ Н} \end{aligned} \quad (7)$$

Потужність приводного двигуна механізму переміщення візка розраховується за формулою (8) при швидкості переміщення  $v = 0,3$  м/хв =  $0,005$  м/с і ККД передачі  $\eta = 0,57$ :

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 49   |

$$N = WT \times v / \eta = 4083 \times 0,005 / 0,57 = 35,8 \text{ Вт} \quad (8)$$

З урахуванням пускових навантажень та запасу потужності приймається асинхронний електродвигун АІР71А1 потужністю 370 Вт, 1500 об/хв - з достатнім запасом для забезпечення надійного пуску і роботи в усіх режимах переміщення зварювальної головки.

#### 4.4 Ущільнення стиків перед зварюванням

Для забезпечення щільного прилягання кромки деталей і стабільного зазору у зоні шва №1 перед зварюванням застосовуються стандартні ЗТС для ущільнення стиків. Якість підготовки стику безпосередньо впливає на якість зварного з'єднання: нерівномірний або занадто великий зазор призводить до неспроможності проварити і прожогів, взаємне зміщення кромки - до ексцентрично-вигнутого шва та концентраторів напружень.

Для ущільнення стику шва №1 застосовуються гвинтові стяжки-струбцини, які забезпечують точне взаємне притискання кромки деталей перед виконанням прихватки і основного зварювання. Використання таких пристроїв є необхідним у зв'язку з особливостями конструкції вузла перелому мансардної рами, де стикуються двотаврові елементи значної довжини та маси. У процесі складання навіть незначне зміщення кромки або нерівномірність зазору можуть призвести до порушення геометрії шва, нестабільного проплавлення та виникнення дефектів у зварному з'єднанні. Саме тому застосування спеціальних засобів ущільнення стику є обов'язковою умовою забезпечення необхідної якості виготовлення конструкції.

Гвинтові стяжки-струбцини дозволяють плавно і дозовано підтягувати кромки деталей одна до одної та надійно утримувати їх у заданому положенні протягом усього процесу прихоплення і зварювання. Основною перевагою гвинтового механізму є можливість точного регулювання зусилля затискання. На відміну від ударних або швидкодіючих затискачів, гвинтові струбцини створюють рівномірний тиск на деталі без різких навантажень, що особливо

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 50   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

важливо при роботі з довгомірними металевими елементами. Поступове підтягування кромek дозволяє уникнути перекосів, локальних деформацій та нерівномірного розподілу напружень у зоні стику.

У процесі складання шва №1 струбцини встановлюються перпендикулярно площині стику. Таке розташування забезпечує найбільш ефективне прикладання стискаючого зусилля та рівномірне зближення кромek по всій товщині металу. Після встановлення двотаврових елементів у складально-зварювальному пристрої виконується попереднє суміщення кромek, після чого послідовно затягуються гвинтові струбцини. Регулювання виконується поступово, з контролем положення деталей після кожного етапу підтягування. Це дозволяє забезпечити рівний монтажний зазор та правильне взаємне розташування елементів перед виконанням прихваток.

Кількість струбцин визначається довжиною стику та жорсткістю деталей, що з'єднуються. Для шва №1 застосовується від 4 струбцин, які розташовуються рівномірно по довжині стику з кроком приблизно від 200 до 250 мм. Таке розташування забезпечує достатню жорсткість фіксації та запобігає локальному розкриттю зазору між кромками. Якщо кількість затискачів буде недостатньою, можливе викривлення деталей або утворення нерівномірного зазору в окремих ділянках стику. Надмірна кількість струбцин також є недоцільною, оскільки ускладнює доступ до зони зварювання та збільшує тривалість складальних операцій.

Особливе значення при складанні має контроль величини монтажного зазору між кромками. Для забезпечення якісного проплавлення та формування кореня шва необхідно підтримувати стабільний зазор по всій довжині стику. Нерівномірність зазору може призвести до появи непроварів, прожогів або нестабільного формування зварювальної ванни. Для контролю величини зазору застосовуються щупи з набору №2 відповідно до ГОСТ 882-75. Даний комплект щупів дозволяє виконувати вимірювання зазорів у межах від 0,05 до 1,0 мм з кроком 0,05 мм, що забезпечує достатню точність контролю складального зазору.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 51   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Контроль зазору виконується після остаточного підтягування струбцин та перед виконанням прихваток. Вимірювання проводяться у кількох точках по довжині стику - орієнтовно через кожні 100 мм. Така схема контролю дозволяє своєчасно виявити локальні відхилення геометрії та усунути їх до початку зварювання. Якщо у певній ділянці зазор відрізняється від встановленого значення, положення деталей коригується шляхом додаткового підтягування або послаблення відповідної струбцини.

Номінальний зазор для шва №1 приймається рівним 2 мм. Це значення вибране з урахуванням товщини металу, способу зварювання та необхідності забезпечення повного проплавлення кореня шва при багат шаровому MAG-зварюванні. Допустиме відхилення від номінального значення становить не більше  $\pm 0,5$  мм. Дотримання цього допуску є важливим для забезпечення стабільного теплового режиму зварювання та рівномірного формування шва по всій його довжині.

Після завершення контролю зазору виконуються прихватки, які фіксують взаємне положення деталей перед основним зварюванням. Прихватки виконуються без зняття струбцин, оскільки саме в цей момент існує найбільша ймовірність зміщення деталей під дією локального нагрівання. Лише після формування достатньої кількості прихваток частина струбцин може бути ослаблена або переміщена для забезпечення доступу до окремих ділянок шва.

Таким чином, застосування гвинтових стяжок-струбцин і контрольних щупів є важливим елементом технологічного процесу складання мансардної конструкції. Вони забезпечують точне взаємне розташування деталей, стабільність монтажного зазору та зменшення ймовірності виникнення дефектів у зварному з'єднанні. Це безпосередньо впливає на якість шва №1, геометричну точність конструкції та надійність готового виробу в експлуатації.

Після виконання прихваток щільність стику забезпечується самою конструкцією прихваток: вони утримують кромки у фіксованому положенні і

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 52   |

запобігають їх зміщенню при тепловому розширенні в ході основного зварювання. Струбцини при цьому можуть бути зняті для забезпечення вільного доступу пальника до шва. Ексцентрикові затискачі можуть застосовуватися як додатковий засіб ущільнення стику в точках між прихватками для забезпечення рівномірного зазору по всій довжині шва.

#### 4.5 Допоміжні засоби технологічного спорядження

Допоміжні ЗТС забезпечують виконання підготовчих і завершальних операцій при зварюванні, покращують умови праці зварника та підвищують якість готового виробу. До застосованих допоміжних ЗТС відносяться такі засоби та пристрої.

Кутова шліфувальна машина (КШМ) з різними насадками (відрізний, зачисний, шліфувальний диски) застосовується для: зачищення кромки після різання; зачищення прихваток перед основним зварюванням; видалення дефектних прихваток; зачищення зварних швів від бризок після зварювання; доведення поверхні шва до необхідного рівня рівності. Потужність КШМ - 1,0 кВт–1,5 кВт, діаметр диску – 125 мм або 150 мм.

Металева щітка (ручна та встановлена на КШМ) застосовується для очищення кромки деталей від іржі, окалини і бруду перед складанням, а також для очищення зварного шва між проходами. Застосування металевої щітки між проходами є обов'язковим - вона видаляє тонкий шар шлаку і бризок, що залишаються після MAG-зварювання, запобігаючи включенню шлаку в наступний шар шва.

Вимірювальний інструмент включає: рулетку 5 м (контроль лінійних розмірів); штангенциркуль ШЦ-II 0–200 мм (контроль товщин і дрібних розмірів); кутник 500 мм (контроль прямих кутів); шаблони для контролю катета і форми шва відповідно до ISO 5817; щупи для контролю зазору в стику. Вимірювальний інструмент повинен мати чинні свідоцтва про повірку.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 53   |

Засоби освітлення робочої зони включають переносний світильник на гнучкій підвісці з захисним плафоном (ступінь захисту IP44, потужність 60 Вт). Достатнє освітлення зони зварювання (не менше 500 лк відповідно до ДБН В.2.5-28-2006) є необхідною умовою якісного контролю шва в процесі зварювання. Засоби для заземлення виробу включають мідний кабель перерізом не менше 50 мм<sup>2</sup> з зажимом «крокодил» для з'єднання виробу з клемою «маса» джерела живлення. Надійне заземлення забезпечує стабільне горіння дуги і захист від блукаючих струмів.

#### 4.6 Адаптація ЗТС до особливостей мансардної конструкції

Незважаючи на те, що основна частина застосовуваних ЗТС є стандартними, їх використання в контексті мансардної конструкції потребує певної адаптації з урахуванням особливостей геометрії виробу, характеристик матеріалу та вимог до якості зварних з'єднань.

Перша особливість, що потребує адаптації складально-зварювального обладнання, - це ламана геометрія мансардної конструкції. На відміну від типових рамних або балкових виробів із симетричною формою, дана конструкція характеризується наявністю вираженого перелому профілю та нерівномірного розподілу маси відносно осі симетрії. Основні елементи виробу мають різну довжину та розташовані під різними кутами, унаслідок чого центр мас конструкції зміщується відносно геометричної осі обертання. Це створює додаткові труднощі під час позиціювання виробу, його фіксації та повороту в процесі складання і зварювання.

Стандартні кантувачі здебільшого призначені для роботи з виробами правильної геометричної форми, у яких центр мас знаходиться поблизу осі обертання. Такі конструкції забезпечують рівномірне навантаження на опори та стабільний поворот виробу без значних перекосів або ударних навантажень. У випадку мансардної конструкції ситуація є значно складнішою, оскільки одна частина виробу має більшу довжину та масу, ніж інша. У процесі

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 54   |

повороту це призводить до виникнення додаткового крутного моменту, який може спричиняти нерівномірне навантаження на механізми кантувача, ускладнювати керування обертанням та знижувати точність позиціонування виробу.

Нерівномірний розподіл маси особливо небезпечний у момент проходження конструкцією вертикального положення під час кантовки. Якщо центр ваги зміщений відносно осі обертання, виникає тенденція до самовільного прискорення руху конструкції під дією сили тяжіння. Це може призвести до ривків, ударних навантажень на привід кантувача, деформації елементів конструкції або навіть створення небезпечної ситуації для обслуговуючого персоналу. Тому при роботі з асиметричними виробами необхідно забезпечити додаткове врівноваження системи та стабілізацію положення конструкції в процесі обертання.

Одним із можливих способів адаптації кантувача є коригування положення осі обертання відповідно до фактичного розташування центра мас виробу. Для цього конструкція встановлюється не строго по геометричній осі, а зі зміщенням у бік легшої частини. У результаті центр ваги наближається до осі обертання, а навантаження на привід та опорні вузли розподіляється більш рівномірно. Такий підхід дозволяє зменшити необхідний крутний момент для повороту виробу та забезпечити більш плавну роботу механізму.

Проте через складну ламану геометрію мансардної конструкції повністю компенсувати зміщення центра мас лише зміною положення осі обертання не завжди можливо. У зв'язку з цим доцільним є застосування додаткових елементів врівноваження, зокрема противаг або допоміжних опор. Використання противаг дозволяє частково компенсувати масу більш важкого плеча конструкції та зменшити навантаження на механізм повороту. Однак встановлення противаг у виробничих умовах ускладнює переналагодження обладнання при зміні типорозміру виробу та збільшує загальну масу системи.

З огляду на це більш раціональним рішенням для даної конструкції є застосування допоміжного підпорного ролика з боку більш важкого плеча

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 55   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

виробу. Підпорний ролик виконує функцію додаткової опори та сприймає частину навантаження від зміщеного центра мас. Це дозволяє знизити навантаження на основні опори кантувача та забезпечити стабільніше положення конструкції під час обертання. Ролик встановлюється таким чином, щоб підтримувати довший двотавровий елемент у процесі повороту та запобігати його провисанню або виникненню перекосу.

Важливою перевагою використання підпорного ролика є також підвищення точності позиціонування виробу. При відсутності додаткової опори асиметрична конструкція може зміщуватися або коливатися під час зупинки кантувача, що ускладнює встановлення виробу у необхідне технологічне положення для виконання зварювальних операцій. Додаткова підтримка забезпечує більш жорстку фіксацію виробу та дозволяє точніше орієнтувати шов у зручне для зварювання положення.

Крім того, застосування підпорного ролика позитивно впливає на довговічність обладнання. Зменшення нерівномірних навантажень на механізм обертання знижує зношування підшипникових вузлів, редуктора та приводу кантувача. Це особливо важливо в умовах серійного виробництва, де обладнання працює інтенсивно та виконує велику кількість циклів повороту виробів.

Ще одним важливим аспектом є забезпечення безпеки праці. Під час роботи з великогабаритними асиметричними конструкціями ризик неконтрольованого зміщення або перекидання виробу значно зростає. Наявність допоміжної опори дозволяє стабілізувати положення конструкції та мінімізувати ймовірність аварійної ситуації. Це створює більш безпечні умови роботи для зварника та обслуговуючого персоналу.

Таким чином, ламана геометрія мансардної конструкції вимагає адаптації стандартного кантуючого обладнання до особливостей виробу. Нерівномірний розподіл маси та зміщення центра ваги створюють додаткові навантаження на механізми кантувача і можуть негативно впливати на точність позиціонування та безпеку роботи. Найбільш доцільним рішенням у

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 56   |

даному випадку є застосування допоміжного підпорного ролика з боку більш важкого плеча конструкції, що забезпечує стабілізацію виробу, рівномірніший розподіл навантаження та підвищення надійності роботи обладнання.

Друга особливість - наявність вузла перелому з кутовим стиковим швом (шов №1) у важкодоступному місці. Стандартний прямий зварювальний пальник може не забезпечити потрібний кут підходу до шва. Для забезпечення кута підходу пальника не менше  $30^\circ$  до поверхні виробу застосовується пальник зі зігнутим (вигнутим) мундштуком («лебедина шия»). Кут вигину мундштука підбирається відповідно до конкретного кута між двотаврами у вузлі перелому.

Третя особливість - необхідність виконання шва №1 у декількох просторових положеннях внаслідок ламаної форми стику в вузлі перелому. При стандартному положенні конструкції різні ділянки шва можуть знаходитися в положеннях PA, PB, PC (ISO 6947). Для забезпечення всіх ділянок шва у положенні PB кантувач повинен дозволяти повертати конструкцію на кут, що відповідає куту перелому мансардної конструкції. Для цього кантувач комплектується додатковими фіксаторами кутового положення через кожні  $15^\circ$ .

Четверта особливість - необхідність базування порівняно тонких (14 мм) полиць двотаврів у зоні шва при їх кутовому з'єднанні. Стандартні опорні планки СЗП не завжди забезпечують необхідну площу контакту з полицями при нестандартних кутах між деталями. Для цього в СЗП передбачаються фасонні опорні елементи, виготовлені індивідуально під конкретний кут перелому конструкції. Ці елементи замінюють стандартні плоскі опорні планки в зоні вузла перелому.

П'ята особливість - вимога до точності положення з'єднання монтажних отворів в пластинах. Стандартні базуючі упори СЗП не забезпечують необхідну точність позиціювання пластин ( $\pm 0,5$  мм від центру отвору до заданої осі). Для цього в СЗП включається базуючий штир точного виготовлення (допуск h6) діаметром 22 мм (рівним діаметру отвору пластини).

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 57   |

Штир виготовляється зі сталі 40Х з загартуванням до HRC 50–55 для забезпечення зносостійкості при багаторазовому використанні.

#### 4.7 Опис роботи зварювальної установки

Зварювальна установка для виготовлення мансардної конструкції являє собою сукупність взаємопов'язаного обладнання та ЗТС, що забезпечують виконання зварювання шва №1 і решти швів конструкції відповідно до технологічного процесу. Установка включає: джерело живлення Fronius TransSteel 3500 з механізмом подачі дроту; зварювальний пальник з кабель-пакетом; систему подачі захисного газу; консольний зварювальний візок на рейковому шляху; кантувач з похилим домкратом; складально-зварювальний пристрій.

Підготовка установки до роботи включає такі операції: перевірка справності всіх компонентів установки (візуальний огляд, перевірка з'єднань); заправка зварювальним дротом G4Si1 діаметром 1,2 мм; підключення балона із захисним газом M21, перевірка герметичності газової системи; встановлення параметрів режиму зварювання на джерелі живлення ( $I = 220$  А,  $U = 26$  В, швидкість подачі дроту 8 м/хв); встановлення швидкості переміщення зварювального візка (0,3 м/хв); перевірка і встановлення витрати газу (16 л/хв).

Встановлення і закріплення виробу є важливим етапом технологічного процесу складання та зварювання мансардної конструкції, оскільки саме на цій стадії забезпечується правильне базування виробу, точність його просторового положення та створюються умови для якісного виконання зварного шва №1. Через значні габарити, масу та складну ламану геометрію конструкції ручне встановлення виробу є неможливим, тому транспортування

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 58   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

та монтаж у складально-зварювальний пристрій здійснюються за допомогою мостового крана.

Після завершення попередніх складально-зварювальних операцій зварений вузол або складена заготовка подається до робочої зони складально-зварювального пристрою. Піднімання виробу виконується краном із застосуванням спеціальних вантажозахоплювальних пристроїв, які забезпечують рівномірний розподіл навантаження та запобігають деформації елементів конструкції під час транспортування. Особливу увагу приділяють правильному розташуванню стропів, оскільки через асиметричну форму виробу центр мас зміщений відносно геометричної осі конструкції. Неправильне стропування може спричинити перекіс виробу під час підймання або створити небезпечну ситуацію при переміщенні.

Після подачі виробу до складально-зварювального пристрою виконується його базування. Базування полягає у точному встановленні конструкції відносно опорних і напрямних елементів СЗП, що забезпечують необхідне положення виробу у просторі. Для мансардної конструкції особливо важливим є забезпечення правильного положення вузла перелому, оскільки саме в цій зоні виконується основний шов №1. Від точності базування залежить не лише якість зварювання, але й геометрична точність усієї конструкції після завершення складання.

Після встановлення виробу на базові елементи виконується його закріплення. Закріплення здійснюється за допомогою механічних притискачів, струбцин або інших фіксувальних елементів, передбачених конструкцією складально-зварювального пристрою. Основною метою закріплення є запобігання зміщенню виробу під час кантовки та зварювання. Через значну масу конструкції та можливі термічні деформації в процесі зварювання фіксація повинна бути достатньо жорсткою, але при цьому не створювати надмірних локальних напружень у деталях.

Після завершення операції закріплення складально-зварювальний пристрій разом із виробом встановлюється на кантувач. Кантувач забезпечує

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 59   |

поворот конструкції у необхідне технологічне положення для виконання зварювальних робіт. Використання кантувача є необхідним, оскільки зварювання шва №1 повинно виконуватися у положенні РВ, яке забезпечує найбільш сприятливі умови формування шва та стабільного горіння дуги. У положенні РВ площа шва розташовується вертикально, а сам шов виконується у горизонтальному напрямку. Таке положення дозволяє отримати якісне формування валика шва, забезпечити необхідне проплавлення та знизити ймовірність стікання рідкого металу зі зварювальної ванни.

Кантовка виробу виконується плавно та без ривків, що особливо важливо для мансардної конструкції зі зміщеним центром мас. Під час нахилу виробу контролюється рівномірність навантаження на опори та стійкість положення конструкції. Завдяки застосуванню допоміжного підпорного ролика з боку більш важкого плеча виробу забезпечується додаткова стабілізація конструкції під час повороту та зменшується навантаження на механізм кантувача.

Після досягнення необхідного положення виконується контроль просторової орієнтації шва №1. Для цього застосовуються вимірювальні інструменти - будівельний рівень та кутомір. Рівень використовується для перевірки горизонтальності напрямку шва, а кутомір - для контролю кута нахилу конструкції відносно базової площини. Такий контроль необхідний для забезпечення відповідності положення виробу вимогам технологічного процесу та умовам виконання зварювання у положенні РВ.

Точність встановлення положення виробу має суттєве значення для якості зварного з'єднання. Якщо шов буде розташований під неправильним кутом, це може призвести до погіршення формування зварювальної ванни, нестабільного проплавлення або збільшення ймовірності утворення дефектів. Крім того, неправильне положення виробу ускладнює роботу зварника та знижує продуктивність виконання операції.

Після завершення контролю положення кантувач фіксується, а виріб остаточно закріплюється у робочому положенні. Лише після цього

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 60   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

дозволяється виконання прихваток або основного зварювання шва №1. Така послідовність операцій забезпечує стабільність геометрії конструкції, безпечні умови роботи та високу якість виконання зварного з'єднання.

Таким чином, операція встановлення і закріплення виробу включає комплекс взаємопов'язаних дій: транспортування конструкції краном, базування у складально-зварювальному пристрої, фіксацію виробу, кантовку до необхідного положення та контроль просторової орієнтації шва. Правильне виконання цих операцій забезпечує точність складання, зручність виконання зварювальних робіт і відповідність готового виробу вимогам до якості та геометрії конструкції.

Виконання зварювання шва №1 є основною технологічною операцією виготовлення мансардної конструкції, оскільки саме цей шов забезпечує з'єднання елементів у вузлі перелому рами та сприймає значну частину експлуатаційних навантажень. Зварювання виконується механізованим способом у середовищі захисного газу за процесом MAG (135 за ISO 4063) із застосуванням зварювального візка та інверторного напівавтомата. Використання механізованого способу дозволяє забезпечити стабільність режимів, рівномірне формування шва та високу повторюваність якості при серійному виробництві конструкцій.

Перед початком зварювання консоль зварювального візка встановлюється у вихідне положення, яке відповідає початку шва. Правильне позиціонування візка має важливе значення для забезпечення рівномірного проходження пальника вздовж усього стику. Після встановлення візка виконується орієнтація пальника відносно шва. Пальник встановлюється таким чином, щоб відстань між соплом і поверхнею виробу становила від 15 до 18 мм. Дотримання цієї відстані є необхідним для стабільного формування захисної газової атмосфери навколо дуги та зварювальної ванни. Якщо відстань буде занадто малою, можливе перегрівання сопла та накопичення бризок металу. Надмірне збільшення відстані призводить до погіршення газового захисту і зростання ймовірності утворення пористості в шві.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 61   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Кут нахилу пальника вздовж шва встановлюється у межах від 70 – 80°. Таке положення забезпечує оптимальний напрямок перенесення електродного металу у зварювальну ванну та стабільне формування валика шва. Невелике відхилення пальника у напрямку руху дозволяє покращити огляд зони зварювання та забезпечити рівномірне проплавлення кромки. Поперечний кут нахилу пальника становить приблизно 45°, що відповідає умовам виконання шва у положенні РВ. Такий кут сприяє утриманню розплавленого металу у зоні зварювання та запобігає його стіканню під дією сили тяжіння.

Після встановлення пальника виконується підпал дуги. На початковому етапі процесу особливо важливим є забезпечення стабільного горіння дуги та формування початкової зварювальної ванни. Тому після запалювання дуги витримується пауза тривалістю 2–3 секунди, протягом якої відбувається стабілізація параметрів процесу. У цей час формується стійка дуга, встановлюється необхідний тепловий режим та забезпечується рівномірне розплавлення кромки і електродного дроту. Лише після стабілізації процесу включається механізм переміщення зварювального візка.

Перший прохід виконується як корінний шов. Його основним призначенням є забезпечення повного проплавлення кореня стику та формування основи для наступних шарів. Корінний прохід є найбільш відповідальним етапом багатошарового зварювання, оскільки саме на цьому етапі формується початкове з'єднання кромки. Недостатнє проплавлення або нестабільне формування кореня можуть призвести до виникнення непроварів, які суттєво знижують міцність зварного з'єднання. Для забезпечення якісного проплавлення особлива увага приділяється стабільності швидкості переміщення пальника та підтриманню постійної довжини дуги.

Після завершення першого проходу шов повинен охолонути до температури нижче 150 °С. Контроль міжпрохідної температури є необхідним для запобігання надмірному тепловкладенню та погіршенню механічних властивостей металу шва і зони термічного впливу. Надмірне накопичення тепла може спричинити збільшення зерна металу, зростання залишкових

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 62   |

напружень та деформацію конструкції. Охолодження до встановленої температури дозволяє стабілізувати структуру металу та забезпечити оптимальні умови для нанесення наступного шару.

Після охолодження виконується очищення поверхні шва металевою щіткою. Ця операція необхідна для видалення оксидів, бризок металу та інших забруднень, що можуть утворитися на поверхні після зварювання. Наявність сторонніх включень між шарами може призвести до утворення шлакових включень, пористості або погіршення зчеплення між окремими проходами. Очищення виконується ретельно по всій довжині шва з особливою увагою до крайових зон та місць можливого накопичення бризок.

Другий і третій проходи виконуються аналогічно та є заповнювальними шарами. Їх призначення полягає у поступовому заповненні об'єму розробки шва та формуванні необхідного поперечного перерізу зварного з'єднання. При виконанні заповнювальних проходів особливу увагу приділяють рівномірності наплавлення металу та уникненню утворення локальних перегрівів. Кожний наступний шар повинен забезпечувати надійне сплавлення з попереднім проходом та основним металом.

Четвертий прохід є лицьовим і виконується на дещо зменшеному струмі - приблизно 200 А. Зниження сили струму дозволяє зменшити глибину проплавлення та забезпечити більш плавне формування зовнішньої поверхні шва. Основним завданням лицьового проходу є отримання рівномірного валика з плавним переходом до основного металу без підрізів, напливів або надмірного підсилення. Якісне виконання лицьового шару має важливе значення не лише для зовнішнього вигляду виробу, але й для зменшення концентрації напружень у зоні шва.

Під час виконання всіх проходів контролюється стабільність режимів зварювання, швидкість переміщення візка та стан захисного газового середовища. Особливу увагу приділяють рівномірності подачі дроту та відсутності коливань дуги, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 63   |

якість формування шва. У разі виникнення нестабільності процесу зварювання виконання проходу припиняється до усунення причини відхилення.

Після завершення всіх проходів шов підлягає візуальному контролю та перевірці геометричних параметрів. Оцінюється рівномірність ширини валика, висота підсилення, відсутність підрізів, тріщин, пористості та інших поверхневих дефектів. Отримане зварне з'єднання повинно відповідати вимогам ISO 5817 для рівня якості C.

Таким чином, технологія виконання шва №1 передбачає поетапне багатошарове MAG-зварювання з контролем положення пальника, параметрів процесу, міжпрохідної температури та якості очищення між шарами. Дотримання встановленої послідовності операцій забезпечує отримання якісного зварного з'єднання з необхідними механічними характеристиками та високою експлуатаційною надійністю.

Після завершення зварювання шва №1 кантувачем виріб переводиться у положення, зручне для зварювання наступних швів. Решта швів (кріплення пластин та з'єднання третього двотавра) виконується напівавтоматом Fronius TransSteel 3500 вручну (без зварювального візка) через складніший просторовий доступ до цих швів. Після завершення всього зварювання виріб знімається з установки, виконується зачищення швів і контроль якості.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 64   |

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці при виконанні зварювальних робіт є невід'ємною складовою технологічного процесу виготовлення мансардної конструкції. Зварювальне виробництво характеризується рядом специфічних шкідливих і небезпечних виробничих чинників, дія яких може призвести до нещасних випадків, професійних захворювань або погіршення стану здоров'я працівників. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці, а працівники - дотримуватися встановлених правил і норм [13].

Основними небезпечними і шкідливими виробничими чинниками при виконанні МАГ-зварювання є: ураження електричним струмом; випромінювання зварювальної дуги (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне); зварювальний дим і аерозоль; розбризкування розплавленого металу; пожежна і вибухова небезпека; шум від зварювального обладнання і допоміжних машин; фізичне перевантаження при роботі з важкими заготовками.

Захист від ураження електричним струмом забезпечується комплексом заходів. Джерело живлення Fronix TransSteel 3500 має клас захисту IP23, що захищає від твердих частинок і краплин води. Усі електричні з'єднання виконуються ізольованими кабелями без пошкоджень ізоляції. Обладнання надійно заземлюється відповідно до ПУЕ (опір заземлення - не більше 4 Ом). Виріб підключається до клеми «маса» джерела живлення мідним кабелем перерізом 50 мм<sup>2</sup>. Напруга холостого ходу апарата (60 В) є безпечною в нормальних умовах, однак при підвищеній вологості або контакті з токострумоведучими частинами може становити небезпеку. Зварник повинен мати захисні рукавиці (СІЗ), захисний одяг (не містить синтетики), а при роботі у замкнутих просторах - захисний шолом з ізолюючою підкладкою.

Захист від випромінювання зварювальної дуги базується на поєднанні індивідуальних і колективних засобів, оскільки сама дуга випромінює

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 65   |

широкий спектр небезпечного світла - від інтенсивного видимого до ультрафіолетового та інфрачервоного, які можуть уражати як очі, так і шкіру.

Основним індивідуальним засобом є зварювальна маска або щиток зі світлофільтром відповідного ступеня затемнення. Для процесів МАG-зварювання при струмах приблизно від 200 А до 240 А застосовують фільтри рівня DIN 10–11 [13], які достатньо послаблюють яскравість дуги, щоб запобігти «зварювальній офтальмії» - болісному запаленню рогівки, спричиненому ультрафіолетом. Важливо, що маска захищає не лише від світла, а й від бризок металу та теплового випромінювання, які супроводжують процес.

Однак навіть при правильному використанні маски ризик для оточення залишається, тому для людей, які працюють поруч, застосовують додатковий захист у вигляді спеціальних екранів або захисних окулярів. Це дозволяє уникнути випадкового впливу відбитого або розсіяного випромінювання, яке може бути не менш шкідливим, ніж пряме.

На рівні організації робочого місця використовують захисні ширми та штори навколо зварювального поста. Вони ізолюють зону зварювання від решти цеху, зменшуючи поширення ультрафіолетового випромінювання та яскравого світла. Це особливо важливо у виробничих приміщеннях, де одночасно працює багато людей, адже навіть короточасний вплив УФ-випромінювання може викликати опіки шкіри та подразнення очей.

Таким чином, ефективний захист досягається тільки тоді, коли одночасно використовується індивідуальний захист зварника і правильно організоване екранування робочої зони для всіх інших працівників.

Контроль зварювального диму та аерозолі під час МАG-зварювання сталі S355J2 є одним із ключових факторів забезпечення безпеки праці, оскільки саме повітряне середовище зварювальної зони найшвидше стає небезпечним для організму людини. У процесі плавлення металу, дроту та захисного газу утворюється складна суміш дрібнодисперсних частинок і газів. До складу таких аерозолів зазвичай входять оксиди заліза, марганцю,

|       |                                                                          |        |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|--------|
|       | кремнію, а також домішки інших легувальних елементів, які можуть містити | Фр.    |
| Змін. | у сталі                                                                  | 66     |
| Арк.  | № докум.                                                                 | Підпис |
|       | Дата                                                                     |        |

або зварювальному дроті. Ці частинки настільки дрібні, що легко проникають у дихальні шляхи та можуть досягати глибоких відділів легень, викликаючи як гострі подразнення, так і хронічні професійні захворювання.

Небезпека зварювального диму полягає не лише в механічному впливі частинок, а й у їх хімічній активності. Наприклад, сполуки марганцю при тривалому вдиханні можуть впливати на нервову систему, а дрібнодисперсні оксиди металів здатні накопичуватися в легеневій тканині. Саме тому контроль концентрації таких домішок у повітрі робочої зони є обов'язковим елементом організації безпечного зварювального процесу. Орієнтовно допустимий рівень забруднення повітря зварювальним аерозолем не повинен перевищувати кількох міліграмів на кубічний метр, оскільки перевищення цього рівня різко підвищує ризик ураження дихальної системи.

Для зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі застосовується система загальнообмінної вентиляції. Її завдання полягає в тому, щоб постійно оновлювати повітря у виробничому приміщенні, розбавляючи і виводячи забруднене повітря назовні. У зварювальних цехах така система повинна забезпечувати значний повітрообмін, оскільки кожен пост зварювання є активним джерелом аерозолю. На практиці це означає, що повітря в приміщенні має оновлюватися багаторазово протягом години, щоб не допустити накопичення шкідливих концентрацій. Для великих виробничих дільниць продуктивність вентиляції може досягати кількох тисяч кубічних метрів на годину на один зварювальний пост, що дозволяє підтримувати відносно стабільний стан повітряного середовища навіть при інтенсивній роботі.

Однак загальнообмінної вентиляції зазвичай недостатньо для повного контролю зварювального диму, оскільки аерозоль утворюється локально і має високу концентрацію безпосередньо біля дуги. Саме тому обов'язковим є застосування місцевого відсмоктування. Воно працює значно ефективніше, оскільки видаляє шкідливі речовини безпосередньо в точці їх утворення, не дозволяючи їм поширюватися по приміщенню.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 67   |

Місцеві витяжні системи можуть мати різну конструкцію. Найпоширенішими є витяжні парасолі, які розташовуються над зоною зварювання та створюють спрямований потік повітря, що захоплює дим і відводить його у фільтрувальну систему. Іншим варіантом є вбудовані відсмоктувачі, інтегровані безпосередньо в зварювальний пальник. Такий підхід є більш ефективним, оскільки дозволяє видаляти аерозоль ще до його розповсюдження в повітрі робочої зони. Продуктивність місцевого відсмоктування зазвичай становить сотні кубічних метрів повітря за годину, чого достатньо для локального захоплення диму без створення дискомфорту для зварника.

Важливим елементом захисту є також використання засобів індивідуального захисту органів дихання. У випадках, коли місцева вентиляція відсутня або недостатня, зварник повинен застосовувати напівмаски або респіратори з високим ступенем фільтрації, здатні затримувати дрібнодисперсні частинки. Фільтри класу Р3 забезпечують ефективний захист від більшості зварювальних аерозолів, включаючи найдрібніші фракції, які становлять найбільшу небезпеку для легень. Використання таких засобів особливо важливе при тривалих роботах або у замкнених просторах, де вентиляція може бути обмеженою.

Окрему групу небезпек під час зварювання становить розбризкування розплавленого металу. Під дією високої температури частина металу переходить у рідкий стан і може розлітатися у вигляді дрібних крапель. Ці краплі мають температуру, достатню для спричинення опіків шкіри або займання горючих матеріалів. Саме тому захист від бризок є не менш важливим, ніж захист від диму.

Основою такого захисту є спеціальний одяг зварника, виготовлений із матеріалів, стійких до високих температур і відкритого полум'я. Найчастіше використовують щільне вогнетривке сукно або шкіряні матеріали, які не плавляться і не загоряються при контакті з іскрами та бризками. Такий одяг

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 68   |

закриває більшу частину тіла і запобігає потраплянню гарячих частинок на шкіру.

Не менш важливим елементом є захисні рукавиці. Вони виконують подвійну функцію: захищають руки від теплового впливу та від механічних ушкоджень, а також забезпечують достатню гнучкість для роботи зі зварювальним обладнанням. Матеріал рукавиць повинен витримувати контакт з гарячим металом і при цьому не втрачати своїх властивостей при тривалому використанні.

Для додаткового захисту тіла застосовують спилкові або шкіряні фартухи. Вони особливо важливі при зварюванні у вертикальному положенні або над головою, коли ризик попадання бризок на тулуб значно зростає. Фартух приймає на себе основний удар гарячих частинок і запобігає пошкодженню основного робочого одягу.

У випадках виконання зварювальних робіт у незручних позах або в умовах обмеженого простору додатково використовують захисні гамаші. Вони закривають нижню частину ніг і запобігають потраплянню металевих бризок у взуття або на шкіру. Це особливо актуально при роботі на висоті або в положеннях, де ноги знаходяться близько до зони зварювання.

Окрему увагу приділяють організації простору навколо зварювального поста. Для запобігання поширенню іскор і бризок встановлюються спеціальні вогнетривкі ширми. Вони виконують функцію фізичного бар'єра, який ізолює робочу зону від решти приміщення. Такі ширми не лише захищають інших працівників, а й зменшують ризик виникнення пожежі у випадку потрапляння гарячих частинок на сторонні об'єкти.

Підлога в зоні зварювання також повинна відповідати вимогам пожежної безпеки. Використовуються тільки негорючі матеріали, які не підтримують горіння і легко витримують вплив високих температур. Найчастіше це бетонні або металеві покриття, які не деформуються під дією тепла і не виділяють шкідливих речовин.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 69   |

Важливим організаційним заходом є контроль розміщення матеріалів у робочій зоні. Усі легкозаймисті речовини повинні знаходитися на безпечній відстані від місця зварювання, щоб навіть випадкові іскри не могли спричинити займання. Така відстань зазвичай становить кілька метрів і залежить від інтенсивності зварювальних робіт та умов вентиляції.

Комплексний підхід до захисту від зварювального диму та бризок дозволяє значно знизити професійні ризики та забезпечити безпечні умови праці. Поєднання ефективної вентиляції, індивідуальних засобів захисту та правильного облаштування робочого місця створює систему, яка мінімізує вплив шкідливих факторів і дозволяє виконувати зварювальні роботи з високою продуктивністю та без шкоди для здоров'я працівників.

Пожежна безпека зварювального поста забезпечується наявністю: вогнегасника ОП-5 (порошковий) або ОУ-5 (вуглекислотний) безпосередньо на зварювальному посту; ящика з піском об'ємом 0,5 м<sup>3</sup>; відра з водою; засобів для укриття готових виробів і конструкцій вогнетривким покриттям при виконанні зварювання поруч. Після закінчення зварювальних робіт зварник зобов'язаний перевірити зону роботи на відсутність тліючих матеріалів.

Організація робочого місця зварника є важливим фактором, що безпосередньо впливає на безпеку, продуктивність праці та якість виконання зварювальних з'єднань. Правильно облаштований зварювальний пост дозволяє мінімізувати ризики ураження електричним струмом, термічних опіків, впливу випромінювання дуги, а також знижує ймовірність виробничого травматизму, пов'язаного з обмеженим простором або недостатньою організацією робочої зони.

Однією з базових вимог є достатня площа зварювального поста. Для одного зварника при виконанні ручного дугового або напівавтоматичного зварювання робоча зона повинна становити не менше 4 м<sup>2</sup>. Така площа необхідна для вільного розміщення обладнання, кабелів, зварювального апарата, газових балонів (у випадку МАГ-зварювання), а також забезпечення можливості безпечного переміщення зварника під час роботи. Обмежений

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 70   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

простір підвищує ризик контакту з гарячими поверхнями, ускладнює маневрування та може призводити до помилок у технологічному процесі.

Висота виробничого приміщення також має значення для безпеки та ефективності вентиляції. Мінімальна висота повинна становити не менше 3,5 м. Це забезпечує нормальну циркуляцію повітря, ефективне видалення зварювальних аерозолів і газів, а також зменшує концентрацію шкідливих речовин у зоні дихання працівника. Крім того, достатня висота приміщення дозволяє правильно встановлювати вентиляційні системи та захисні екрани.

Важливим параметром є організація проходів між зварювальними постами. Ширина проходів повинна становити не менше 1 метра, що забезпечує вільне переміщення працівників, транспортування заготовок і обладнання, а також дозволяє швидко евакуюватися у разі аварійної ситуації. Недостатня ширина проходів може створювати небезпеку зіткнення з гарячими елементами або електричними кабелями, що особливо критично під час інтенсивної роботи цеху.

Освітлення робочої зони є ще одним ключовим фактором безпеки. Рівень освітленості на зварювальному посту повинен бути не менше 500 лк. Такий рівень забезпечує достатню видимість зони зварювання, дозволяє контролювати якість шва, правильно позиціонувати деталі та своєчасно виявляти дефекти. Недостатнє освітлення може призводити до зорової втоми, помилок у виконанні шва та підвищення ризику травматизму. Водночас важливо, щоб освітлення було рівномірним і не створювало різких тіней або відблисків, які можуть заважати роботі.

Температурний режим у зварювальному приміщенні також має бути контрольованим. Оптимальна температура повітря повинна знаходитися в межах від +16 °C до +28 °C. Занадто низька температура може знижувати працездатність працівника, ускладнювати роботу обладнання та впливати на стабільність зварювального процесу. Надмірно висока температура, навпаки, призводить до перегріву організму, швидкої втоми та підвищення ризику помилок під час виконання зварювання. Стабільний мікроклімат у цеху сприяє

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 71   |

підтриманню нормального фізіологічного стану працівника протягом робочої зміни.

Окрему роль у забезпеченні безпеки відіграє інформаційне забезпечення робочого місця. На кожному зварювальному посту обов'язково повинна бути вивішена інструкція з охорони праці для зварника. У ній зазначаються основні правила безпечного виконання робіт, вимоги до використання засобів індивідуального захисту, порядок підготовки робочого місця, а також дії у разі виникнення аварійних ситуацій. Наявність такої інструкції дозволяє працівнику швидко нагадати ключові вимоги безпеки та знижує ймовірність порушення технологічної дисципліни.

У сукупності ці вимоги формують комплексну систему організації робочого місця зварника, яка забезпечує не лише безпеку праці, але й стабільну якість зварювальних робіт. Правильне планування простору, дотримання санітарно-гігієнічних умов, належне освітлення та інформаційне забезпечення створюють умови, за яких ризики виробничих травм і професійних захворювань зводяться до мінімуму.

Вимоги до персоналу, що виконує зварювання мансардних конструкцій, формуються з урахуванням підвищеної відповідальності таких робіт, адже вони поєднують роботу з металевими несучими елементами, складними просторовими положеннями швів і впливом шкідливих виробничих факторів, характерних для МАГ-зварювання.

Першочерговою умовою допуску до виконання зварювальних робіт є належна професійна кваліфікація. Зварник повинен бути атестований відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 9606-1, який підтверджує його здатність виконувати зварювання сталей у визначених положеннях і технологічних режимах, зокрема методом МАГ. Така атестація засвідчує, що працівник володіє практичними навичками формування якісного зварного шва, розуміє особливості впливу режимів зварювання на метал та здатний дотримуватися технологічної дисципліни. Для мансардних конструкцій це особливо важливо, оскільки з'єднання часто виконуються у незручних

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 72   |

просторових положеннях, де помилки можуть вплинути на міцність усієї конструкції.

Віковий критерій також є обов'язковим. До виконання зварювальних робіт допускаються лише особи, які досягли 18-річного віку. Це пов'язано як із фізичними навантаженнями, так і з підвищеною небезпекою впливу електричного струму, ультрафіолетового випромінювання та зварювальних аерозолів. Особи молодшого віку не можуть бути допущені до таких робіт через недостатній рівень фізичної та професійної зрілості.

Перед початком виконання робіт кожен зварник обов'язково проходить вступний та первинний інструктаж з охорони праці. Вступний інструктаж знайомить працівника з загальними правилами безпеки на підприємстві, потенційними небезпеками виробництва та загальними вимогами до поведінки в цеху. Первинний інструктаж проводиться безпосередньо на робочому місці і охоплює специфіку виконання МАГ-зварювання, правила користування обладнанням, засобами індивідуального захисту та порядок дій у разі аварійних ситуацій. Факт проходження інструктажів обов'язково фіксується в спеціальному журналі, що підтверджує допуск працівника до роботи.

Для підтримання належного рівня знань і навичок передбачено регулярний повторний інструктаж з охорони праці. Він проводиться кожні 3 місяці і має на меті оновлення знань працівника щодо вимог безпеки, аналіз типових порушень та нагадування про потенційні ризики. Така періодичність дозволяє підтримувати високий рівень дисципліни та зменшує ймовірність нещасних випадків, пов'язаних із звиканням до небезпечних умов роботи.

Не менш важливим елементом є медичний контроль. Зварники підлягають обов'язковому періодичному медичному огляду не рідше одного разу на рік. Такий огляд дозволяє оцінити загальний стан здоров'я працівника, зокрема функціонування дихальної системи, серцево-судинної системи та зору, які найбільш піддаються впливу шкідливих факторів зварювального виробництва.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 73   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Окремо слід враховувати довготривалий вплив зварювального диму, який містить дрібнодисперсні частинки металів і може накопичуватися в організмі. У разі тривалого професійного контакту з такими аерозолями передбачено додатковий рентгенологічний контроль стану легень кожні 2 роки. Це дозволяє своєчасно виявляти можливі зміни в легеневій тканині, пов'язані з професійною діяльністю, і запобігати розвитку хронічних захворювань.

У сукупності ці вимоги формують систему професійного відбору, навчання та медичного контролю персоналу, яка забезпечує не лише безпечне виконання зварювальних робіт, але й довгостроковий захист здоров'я працівників. Вони дозволяють підтримувати високий рівень кваліфікації зварників і мінімізувати ризики, пов'язані з впливом небезпечних виробничих факторів.

Безпека при роботі з кантувачем та вантажопідйомними пристроями: кантувач повинен мати чинне свідоцтво про технічне опосвідчення; робота краном або іншим вантажопідйомним засобом виконується особою, що має посвідчення стропальника; маса піднімається вантажу не повинна перевищувати вантажопідйомність засобу; стропування виконується тільки справними стропами з відповідною вантажопідйомністю; при підйомі вантажу забороняється знаходитися в зоні можливого падіння вантажу.

Забезпечення охорони праці при виготовленні мансардної конструкції вимагає системного підходу: технічних заходів (засоби захисту, вентиляція, заземлення), організаційних заходів (інструктажі, медичний контроль, організація робочого місця) та застосування засобів індивідуального захисту. Дотримання всіх зазначених вимог забезпечить безпечні та здорові умови праці при виготовленні мансардної конструкції.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 74   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## 6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап проект передбачає розрахунок собівартості виготовлення одиниці мансардної конструкції та визначення економічного ефекту від впровадження розроблених технологічних рішень у серійне виробництво. Виробнича програма - 150 штук на рік. Розрахунок виконується укрупненим методом для стадії технологічної підготовки виробництва.

Розрахунок трудомісткості виготовлення виробу. Загальна трудомісткість виготовлення однієї мансардної конструкції визначається як сума нормативних часів по всіх операціях технологічного маршруту (таблиця 4). Сумарна трудомісткість:

$$\begin{aligned} T_{\text{заг}} &= 15 + 45 + 30 + 40 + 20 + 60 + 50 + 90 + 25 + 30 + 20 \\ &+ 20 = 445 \text{ хв} = 7,42 \text{ люд} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

Для порівняння: при ручному складанні без застосування СЗП трудомісткість операцій складання і прихватки збільшується в середньому в 2,5 рази, тоді як при зварюванні без зварювального візка трудомісткість зварювальних операцій зростає в 1,4 рази. Загальна трудомісткість без застосування розроблених ЗТС становила б:

$$\begin{aligned} T_{\text{без}} &= 40 \times 2,5 + 20 \times 2,5 + 60 \times 1,4 + 50 + 90 \times 1,4 + \text{решта} \\ &= 100 + 50 + 84 + 50 + 126 + 90 = 500 \text{ хв} \\ &= 8,33 \text{ люд} \cdot \text{год.} \end{aligned}$$

Зниження трудомісткості завдяки розробленій оснастці:

$$\Delta T = 8,33 - 7,42 = 0,91 \text{ люд} \cdot \text{год (або 10,9\%).}$$

Річна економія часу при програмі 150 шт.:

$$\Delta T_{\text{рік}} = 0,91 \times 150 = 136,5 \text{ люд} \cdot \text{год.}$$

Розрахунок собівартості виготовлення одного виробу. Основні статті витрат наведено в таблиці 6.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 75   |

Таблиця 6 – Розрахунок собівартості виготовлення мансардної конструкції

| Стаття витрат                             | Одиниця | Кількість | Сума, грн |
|-------------------------------------------|---------|-----------|-----------|
| Прокатний двотавр S355J2 (деталі 1,2,4)   | кг      | ≈95       | 14 250    |
| Листова сталь S355J2 (пластини 3,5)       | кг      | ≈25       | 3 750     |
| Зварювальний дріт G4Si1, Ø1,2 мм          | кг      | 1,5       | 375       |
| Захисний газ M21 (Ar+18%CO <sub>2</sub> ) | л       | 300       | 420       |
| Електроенергія (зварювання, обладнання)   | кВт·год | 15        | 90        |
| Основна заробітна плата                   | люд·год | 6         | 900       |
| Додаткова ЗП (35% від осн.)               | -       | -         | 315       |
| Соціальні відрахування (22%)              | -       | -         | 266       |
| Загальновиробничі витрати (80% від ОЗП)   | -       | -         | 720       |
| Адмін. витрати (15% від собівартості)     | -       | -         | 3 088     |
| Разом: виробнича собівартість             | -       | -         | 24 174    |

Ціна металопрокату прийнята 150 грн/кг (орієнтовна ціна для сталі S355J2 в Україні станом на 2026 рік). Годинна тарифна ставка зварника 4-го розряду: 150 грн/год. Вартість електроенергії: 6 грн/кВт·год. Повна виробнича собівартість одного виробу становить 24 174 грн.

Розрахунок економічного ефекту від впровадження розроблених технологічних рішень. Економія витрат на заробітну плату внаслідок зниження трудомісткості:

$$E_{\text{ЗП}} = \Delta T \times C_{\text{ЗП}} = 0,91 \times 150 = 136,5 \text{ грн на один виріб.}$$

Річна економія від зниження трудомісткості при програмі 150 шт.:

$$E_{\text{рік\_ЗП}} = 136,5 \times 150 = 20\,475 \text{ грн.}$$

Зниження витрат на виправлення браку: застосування СЗП і регламентованих режимів зварювання дозволяє знизити рівень браку з орієнтовних 8% (без оснастки) до 2% (з оснасткою). Витрати на виправлення одного дефектного виробу:

$$C_{\text{бр}} = 0,3 \times 24\,174 = 7\,252 \text{ грн.}$$

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 76   |

Річна економія від зниження браку:

$$E_{\text{рік\_бр}} = (0,08 - 0,02) \times 150 \times 7\,252 = 65\,268 \text{ грн.}$$

Витрати на виготовлення і впровадження СЗП та зварювального візка орієнтовно становлять:  $C_{\text{оснастки}} = 120\,000$  грн (одноразові).

Загальна річна економія:

$$E_{\text{рік}} = 20\,475 + 65\,268 = 85\,743 \text{ грн.}$$

Термін окупності оснастки:

$$T_{\text{окуп}} = C_{\text{оснастки}} / E_{\text{рік}} = 120\,000 / 85\,743 \approx 1,4 \text{ року.}$$

Таким чином, розроблені технологічні рішення окупуються менше ніж за 1,5 року, що є прийнятним для серійного виробництва.

Підвищення ефективності виробництва оцінюється також через зростання продуктивності праці. Продуктивність праці зварника при застосуванні розробленої оснастки зростає приблизно на 12% порівняно з ручним складанням. У натуральному виразі це означає, що один зварник може виготовити за рік на 18 виробів більше при тій самій плановій завантаженості.

Рентабельність виробництва мансардних конструкцій. Відпускна ціна виробу при рентабельності 25%:

$$Ц = C \times (1 + R/100) = 24\,174 \times 1,25 = 30\,218 \text{ грн.}$$

Річний обсяг виробництва у вартісному виразі:

$$V_{\text{рік}} = 30\,218 \times 150 = 4\,532\,700 \text{ грн.}$$

Річний прибуток:

$$П_{\text{рік}} = (30\,218 - 24\,174) \times 150 = 906\,600 \text{ грн.}$$

Отже, розроблена технологія виробництва мансардних конструкцій демонструє економічну ефективність і практичну доцільність її впровадження у виробничий процес. За умов прийнятої собівартості та ринкової ціни виробів підприємство забезпечує стабільний рівень рентабельності на рівні близько 25%, що свідчить про збалансованість витрат і доходів.

Досягнення такого показника означає, що виробництво не лише покриває всі витрати на матеріали, оплату праці, енергоресурси та організацію процесу, але й формує достатній рівень прибутку для розвитку підприємства.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 77   |

При цьому річний фінансовий результат у розмірі 906,6 тис. грн підтверджує, що запропонована технологічна схема є прибутковою та здатною забезпечити економічну стійкість виробництва.

Важливо також, що досягнення такої рентабельності відбувається за умови встановлення прийнятної для ринку ціни виробу, що підвищує конкурентоспроможність продукції та сприяє її реалізації без втрати попиту. Таким чином, поєднання економічної ефективності та ринкової доступності робить впроваджену технологію доцільною як з виробничої, так і з комерційної точки зору.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 78   |

## ВИСНОВКИ

У ході виконання курсового проєкту розроблено технологічний процес виготовлення мансардної конструкції зі сталі S355J2 в умовах серійного виробництва (150 штук на рік) в цехових умовах. Виконані розробки охоплюють усі основні аспекти технологічної підготовки виробництва: від аналізу призначення і конструкції виробу до компонування зварювальної установки та техніко-економічного обґрунтування прийнятих рішень.

В результаті аналізу конструкції виробу встановлено, що мансардна конструкція є відповідальним зварним виробом будівельного призначення з ламаною геометрією, що складається з двотаврових прокатних профілів і з'єднувальних пластин. Виріб працює в умовах складного напруженого стану, що включає згин, стиск і динамічні впливи, що обумовлює підвищені вимоги до якості зварних з'єднань, зокрема шва №1 у вузлі перелому геометрії.

Виконаний аналіз матеріалу S355J2 показав, що сталь характеризується задовільною зварюваністю ( $\text{Секв} = 0,447$ ), відсутністю схильності до гарячих тріщин ( $\text{HCS} = 0,0016 < 0,004$ ), що підтверджує придатність матеріалу для виготовлення конструкції із застосуванням механізованого MAG-зварювання. Попередній підігрів для товщин від 14 до 20 мм не потрібний при температурі навколишнього середовища вище  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Обґрунтовано вибір механізованого дугового зварювання в середовищі активного захисного газу (MAG, процес 135 за ISO 4063) з дротом G4Si1 діаметром 1,2 мм та захисним газом M21 ( $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$ ). Розроблені режими зварювання шва №1: струм 200–240 А, напруга 24–28 В, швидкість подачі дроту від 7 до 9 м/хв, швидкість зварювання від 25 до 35 см/хв, витрата газу від 15 до 18 л/хв. Розрахована погонна енергія 9,7 кДж/мм є допустимою для матеріалу S355J2.

Розроблена складально-зварювальна оснастка забезпечує точне базування двотаврових балок і пластин (відхилення кута - не більше  $\pm 0,3^{\circ}$ , зміщення деталей - не більше  $\pm 1$  мм), надійну фіксацію в заданому положенні

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 79   |

при зварюванні і вільний доступ до всіх зон зварювання. Схема базування реалізована за принципом шеститочкового контакту з використанням опорних планок, бічних упорів, кутового упору і гвинтових притискачів.

Компонування зварювальної установки включає джерело живлення Fronius TransSteel 3500, консольний зварювальний візок на рейковому шляху для механізованого переміщення пальника, кантувач з похилим домкратом для позиціонування виробу у положенні РВ та складально-зварювальний пристрій. Розрахункові перевірки підтвердили правильність вибору електродвигунів механізмів кантувача (AIM56B4, 180 Вт) і зварювального візка (AIP71A1, 370 Вт).

Узагальнюючи результати, можна зробити висновок, що комплекс розроблених заходів з охорони праці забезпечує безпечні умови виконання зварювальних робіт на всіх етапах технологічного процесу. Передбачені рішення охоплюють основні виробничі ризики, зокрема ураження електричним струмом, вплив інтенсивного випромінювання зварювальної дуги, виділення шкідливих зварювальних аерозолів, а також небезпеку розбризкування розплавленого металу і можливі пожежні ризики. Сукупне застосування технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів дозволяє значно знизити рівень професійної небезпеки та забезпечити стабільні умови праці для зварника.

Окрему увагу приділено вимогам до персоналу, які передбачають наявність підтвердженої кваліфікації відповідно до ISO 9606-1, що гарантує здатність виконавців якісно та безпечно виконувати MAG-зварювання. Важливим елементом є також дотримання вимог до організації робочого місця, які включають достатню площу, належні умови освітлення, вентиляції та температурного режиму, а також наявність нормативної документації безпосередньо на посту. Обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, що доповнює колективні заходи безпеки і створює багаторівневу систему захисту працівника.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 80   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

Техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології та оснастки у виробництво. Встановлено, що виробнича собівартість одного виробу становить 24 174 грн, що є прийнятним показником для даного типу продукції. Впровадження технологічних рішень і спеціальної оснастки забезпечує річну економію на рівні 85 743 грн, що свідчить про зниження витрат на виробництво та підвищення його ефективності.

Економічна ефективність також підтверджується показником окупності капітальних вкладень. За умови вартості оснастки 120 000 грн термін її окупності становить 1,4 року, що є позитивним результатом і відповідає вимогам до серійного виробництва, де важливо швидке повернення інвестицій у технологічне оснащення.

Крім того, при встановленій відпускній ціні 30 218 грн за виріб забезпечується рентабельність виробництва на рівні 25%, що свідчить про достатній рівень прибутковості та конкурентоспроможності продукції на ринку. У результаті річний прибуток підприємства становить 906 600 грн, що підтверджує економічну ефективність запропонованого виробничого рішення.

Таким чином, розроблений технологічний процес забезпечує якісне виготовлення мансардної конструкції відповідно до вимог ISO 5817 (рівень C), підвищення продуктивності праці на 12% порівняно з ручним складанням, зниження рівня браку з 8% до 2% і економічно ефективне серійне виробництво. Всі поставлені завдання курсового проєкту виконані в повному обсязі.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 81   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ EN ISO 4063:2022. Зварювання та споріднені процеси. Номенклатура процесів та номери позначень. — Чинний від 2023-12-31. — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
2. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT). — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. — 40 с.
3. ДСТУ EN ISO 6947:2022. Зварювання та споріднені процеси. Позиції зварювання (EN ISO 6947:2019, IDT; ISO 6947:2019, IDT). — Чинний від 2023-12-31. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. — 24 с.
4. ISO 9692-1:2013. Welding and allied processes — Types of joint preparation — Part 1: Manual metal arc welding, gas-shielded metal arc welding, gas welding, TIG welding and beam welding of steels. — [Чинний від 2013-10-01]. — Женева : ISO, 2013. — 21 с.
5. ДСТУ EN 10025-2:2022. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. — Чинний. — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. — Чинний від 2014-11-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014.
7. ДСТУ EN ISO 14341:2022. Витратні матеріали для зварювання. Дротяні електроди та зварні наплавлення для дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей у захисному газі. Класифікація. Чинний від 2023-12-31. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ EN ISO 9606-1:2022. Кваліфікаційні іспити зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Чинний від 2023-12-31. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 82   |

9. Сливінський, О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів : навч. посіб. / О. А. Сливінський. — К. : НТУУ «КПІ», 2010. — 260 с.
10. Лисак, В. В. Виробництво зварних конструкцій – 3. Засоби механізації зварювального виробництва : метод. вказівки до практ. занять / В. В. Лисак. — К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 110 с.
11. Сагань, В. Я. Технологія і устаткування для зварювання : підручник / В. Я. Сагань. — К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. — 280 с.
12. TransSteel 3500 / 5000: Operating Instructions [Електронний ресурс] / Fronius International GmbH. — Wels : Fronius, 2023. — Режим доступу : <https://www.fronius.com>. — Назва з екрана.
13. Про охорону праці [Електронний ресурс] : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (із змінами) / Верховна Рада України. — Чинний від 14.10.1992. — Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. — Назва з екрана.
14. ISO/TR 15608:2017. Welding — Guidelines for a metallic material grouping system. — Чинний від 01.11.2019. — Geneva : ISO, 2017.

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  | 83   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |      |

ДОДАТКИ

|       |      |          |        |      |  |      |
|-------|------|----------|--------|------|--|------|
|       |      |          |        |      |  | Арк. |
|       |      |          |        |      |  |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  | 84   |