

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Сабан Іван Миколайович

(підпис)

Група ЗТ-21-1

Розроблення технології зварювання ферми

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
“Інжиніринг зварювальних технологій”
спеціальністю 131 “Прикладна механіка”**

Керівник: <u><i>д.т.н., проф.</i></u> <u><i>Шлапак Л.С.</i></u> _____ <i>підпис</i>	Завідувач кафедри будівництва: <u><i>к.т.н., доц.</i></u> <u><i>Андрусяк А.В.</i></u> _____ <i>підпис</i>
---	---

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут

архітектури та будівництва
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

Кафедра будівництва

ОПП

"Інжиніринг зварювальних
технологій"

Спеціальність

131 "Прикладна механіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри БУД
А.В. Андрусак
(ініціали, прізвище)

(підпис)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на випускні кваліфікаційну роботу бакалавра
студента Сабана Івана Миколайовича

1. Тема роботи Розроблення технології зварювання ферми

Затверджена наказом по університету № 283/7 від "07" 05. 2025 р.

2. Термін задачі закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови зварювання ферми, креслення виробу, умови експлуатації зварної ферми,
матеріал виробу сталь СтЗсп.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити:

1. Загальний розділ. 1.1 Загальна характеристика зварної конструкції ферми, та її елементів. 1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу. 1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності. 1.4 Технічні умови на виготовлення ферм 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. 2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування. 2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. 2.2.1 Заготівельні операції. 2.2.2 Розробка технології складання та зварювання. 2.2.3 Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. 3.1 Компонування складальних та зварювальних установок. 3.3 Розробка плану цеху. 4. Безпека праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальний вигляд зварної ферми. 2. Схема технологічного процесу виготовлення зварної ферми. 3. Кондуктор для зварювання діафрагми ферми. 4. Кондуктор для зварювання бокових віток ферми. 5. Кантувач з підйомними центрами. 6. Кантувач з підйомними центрами. 7. План зварювальної дільниці цеху.

6. Дата видачі завдання _____

Керівник

Завдання прийняв до виконання

Шлапак Л.С.

Сабан І.М.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Найменування роботи	Термін виконання	Фактичне виконання
1.	Вибір теми, її затвердження		
2.	Ознайомлення з рекомендованою літературою		
3.	Загальний розділ		
4.	Технологічний розділ		
5.	Конструкторський розділ		
6.	Безпека праці		
7.	Виконання розрахунково-графічної частини, додатків та ілюстрацій до роботи		
8.	Ознайомлення керівника з чорновим варіантом роботи		
9.	Оформлення роботи		
10.	Представлення роботи на кафедрі		
11.	Направлення на рецензування		

Студент _____ Сабан І.М.

Керівник _____ Шлапак Л.С.

РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається із 10 слайдів презентації, пояснювальної записки із 56 аркушів, 25 рисунків, 8 таблиць та 15 посилань на використану літературу.

Об'єкт роботи - технологічний процес зварювання ферми.

Мета роботи - розроблення технології зварювання ферми, вибір раціонального зварювального обладнання, зварювальних матеріалів та технологічної оснастки.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено технологічний процес складання та зварювання ферми. У запропонованій технології виготовлення ферми застосовано спеціалізований кондуктор для складання елементів ферми та двостійковий кантувач для обертання бокових віток та діфрагм ферми.

Для зварювання складових частин ферми обрано напівавтоматичне зварювання в середовищі суміші захисних газів зварювальним напівавтоматом FRONIUS VR3300.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРНА ФЕРМА, НАПІВАВТОМАТ, КОНДУКТОР, КАНТУВАЧ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 10 presentation slides, an explanatory note of 56 sheets, 25 figures, 8 tables and 15 references to the literature used.

The object of the work is the technological process of welding a truss.

The purpose of the work is to develop a truss welding technology, select rational welding equipment, welding materials and technological equipment.

In the bachelor's qualification work, a technological process of assembling and welding a truss has been developed. In the proposed technology for manufacturing a truss, a specialized conductor for assembling truss elements and a two-post tilter for rotating the side branches and diaphragms of the truss have been used.

For welding the components of the truss, semi-automatic welding in a mixture of shielding gases with a FRONIUS VR3300 semi-automatic welding machine has been selected.

Keywords: WELDING, WELDING FARM, SEMI-AUTOMATIC, CONDUCTOR, ANGLE DRIVER.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Загальний розділ.....	8
1.1 Загальна характеристика конструкції зварної ферми.....	8
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу.....	10
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.....	10
1.4 Технічні умови на виготовлення виробу.....	11
1.5 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу.....	11
2 Технологічний розділ.....	13
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	13
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	13
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	14
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	17
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування.....	28
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції.....	30
2.2.1 Заготівельні операції.....	30
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	33
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	38

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ				
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>	Сабан І.М.				Розроблення технології зварювання ферми		<i>Лім.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	Шлапак Л.С.						4		
<i>Реценз.</i>							ІФНТУНГ ЗТ-21-1		
<i>Н. контр.</i>	Матвієнків О.								
<i>Затверд.</i>	Андрусак А.В.								

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.....	38
3 Конструкторський розділ.....	40
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.....	40
3.2 Розробка плану цеху.....	45
4 Безпека праці.....	48
4.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	48
4.2 Захист від випромінювання електричної дуги.....	48
4.3 Захист від ураження електричним струмом.....	50
Висновки.....	53
Список використаних джерел.....	54
Додатки.....	56

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Для перекриття промислової будівлі найчастіше використовуються кроквяні ферми. У зв'язку зі зростанням кількості підприємств, що займаються виготовленням металоконструкцій, спостерігається збільшення конкуренції.

Мета роботи полягає у розробці технології складання та зварювання полігональних кроквяних ферм.

Для вирішення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити перелік операцій необхідних для виробничого циклу;
- здійснити обґрунтований вибір способу зварювання, зварювального обладнання та матеріалів;
- вибрати обладнання, що полегшує складання;
- визначити методи та обсяг контролю якості конструкції, що виготовляється;
- запропонувати план розміщення обладнання у виробничому цеху;
- розглянути вимоги до організації зварювального виробництва;
- виконати аналіз конкурентоспроможності та ресурсоефективності розробленої технології;
- провести аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при впровадженні технології у виробництво запропонувати заходи щодо запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;

У цій роботі пропонується використання механізованого зварювання плавким електродом, в середовищі захисного газу і складально-зварювального пристрою оснащеного фіксаторами та швидкодіючими притискачами. План розміщення обладнання у складально-зварювальних цехах виконується з урахуванням можливості зміни технологічних процесів.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		6

В результаті роботи очікується отримати технологію, яка дозволяє виготовляти якісніші вироби з найменшим часом виготовлення порівняно з конкурентами.

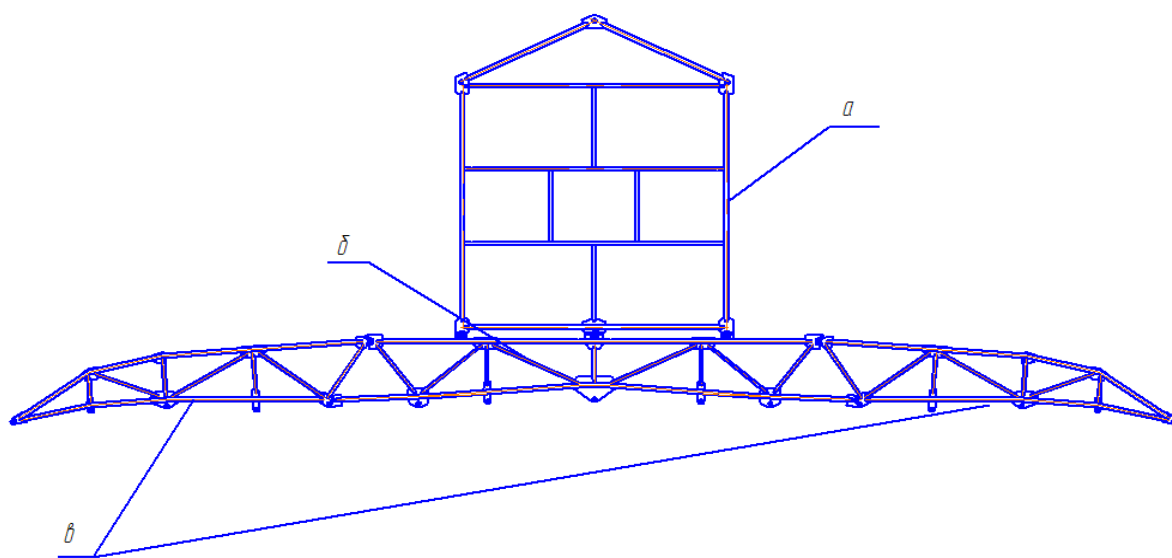
					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		7

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика зварної конструкції зварної ферми, та її елементів

Зварна кроквяна ферма є невід'ємною частиною промислової будівлі. Ферма експлуатується у внутрішньому приміщенні промислової будівлі. Отже, конструкція кроквяної ферми сприймає постійні та тимчасові навантаження та впливи та експлуатується в неагресивному середовищі опалювального приміщення.

Спроектована конструкція ферми складається з діафрагм, бокових віток та надбудови.



а – надбудова; б – діафрагма; в – бокові вітки

Рисунок 1.1 – Схематичне зображення ферми

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		8

Послідовне розміщення зібраних на монтажі частин ферми в ряд з певним кроком, з установленням їх опорних вузлів на колони є планом перекриття промислової будівлі.

Вузол сталеві ферми є місцем з'єднання стрижневих елементів поясів і решітки, що перетинаються, навантажуваних осьовими зусиллями, різними за величиною і за знаком. За умовами роботи такі вузли характеризуються досить складним напруженим станом і, отже, є найслабшими місцями всієї конструкції загалом.

Існує ряд вимог, що висуваються до вузла ферми [1], [2] (рис. 1.2):

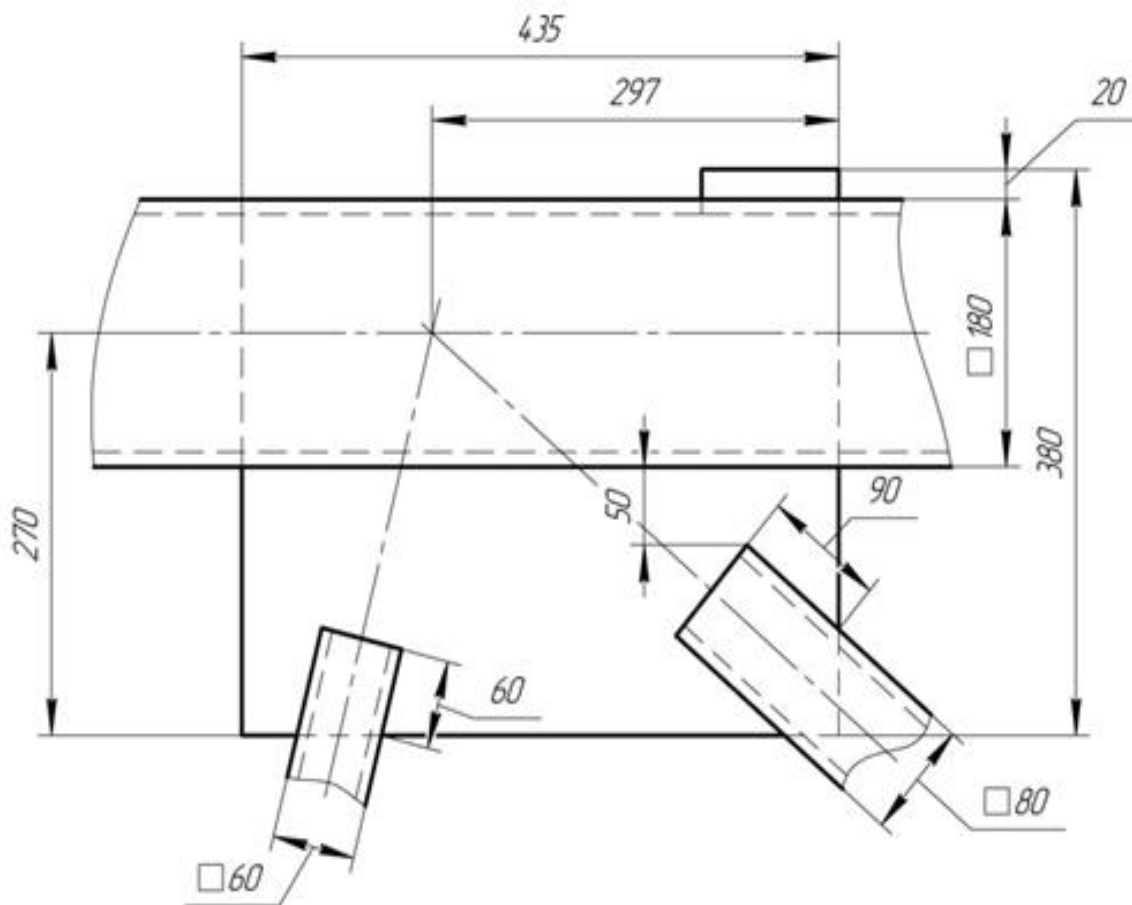


Рисунок 1.2 – Ескіз зварного вузла ферми

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		9

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції виробу

Технологічність зварної ферми - це здатність виготовляти зварну ферму з високою якістю та мінімальними витратами, використовуючи відповідні матеріали, конструкцію та технологію виробництва. Важливо, щоб обрані методи та процеси забезпечували ефективне та надійне з'єднання елементів ферми, а також максимально зменшували трудомісткість та витрати [1].

Технологічність зварної ферми досягається шляхом раціонального поєднання матеріалів, конструкції та технології виробництва, а також застосуванням сучасних методів автоматизації та контролю якості [1].

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Найбільш поширеною класифікацією сталей для будівельних конструкцій є класифікація за рівнем основних механічних властивостей у готовому прокаті, головним чином межі плинності. У будівельній сфері виробництва металоконструкцій застосовується сталевий прокат зі значенням межі плинності рівним $\sigma_T = 220 \dots 900 \text{ Н/мм}^2$.

Вимоги до сталі, з якої проектується будівельна конструкція, обумовлені необхідністю підвищеної експлуатаційної надійності та довговічності в умовах статичного, динамічного та знакозмінного зовнішнього навантаження. Виконання цих вимог стає можливим при використанні сталей із високими механічними властивостями.

У зв'язку з цим, матеріалом конструкції обирається сталь Ст3сп (рис.1.1). Дана марка сталі застосовується і використовується в промисловості в несучих елементах зварних та зварних конструкцій та деталей, які працюють при

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		10

позитивних температурах, і має межу міцності при розтягуванні $\sigma_B = 380 - 390$ МПа.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад конструкційної вуглецевої сталі звичайної якості Ст3сп % [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
0,13-022	0,15-0,3	0,4-0,65	до 0,3	до 0,05	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08	~97

Контролюючим документом обраного основного матеріалу конструкції є ГОСТ 380-2005 «Сталь вуглецева звичайної якості. Марки» [3].

Оцінка зварюваності металевого матеріалу визначається відповідно до ГОСТ 29273-92 «Зварюваність. Визначення» [4].

При правильному виборі зварювальних матеріалів низьковуглецеві сталі (зокрема сталь Ст3сп) практично нечутливі до термічного циклу та при зварюванні не потрібно застосування спеціальних технологічних прийомів. Дана сталь добре зварюються в широкому діапазоні режимів і забезпечується рівна міцність металу шва і основного металу [5].

1.4 Технічні умови на виготовлення виробу

Спеціальні вимоги, що пред'являються до зварних з'єднань, описані в документах, таких як СП 53-101-98 «Виготовлення та контроль якості сталевих будівельних конструкцій» [6], РД 34.15.132-96 «Зварювання та контроль якості зварних з'єднань металів 007 "Вимоги до якості виконання зварювання плавленням металевих матеріалів" [7].

1.5 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

У базовому варіанті виготовлення зварної ферми використовується метод копіювання.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		11

Спочатку за розміткою складається напівферма. Потім використовуючи її як копій, проводиться складання деталей наступної півферми з фасонками. До них приварюються пояси, стійки та розкоси. Напівферму кантують і переносять на сусідній стелаж, де встановлюють і приварюють елементи, що відсутні. Щоб виключити похибку під час складання, необхідно використовувати один копій для всіх ферм.

Складання по копій продуктивне і просте. Разом з цим такий метод не забезпечує точності габаритів та правильного розташування монтажних отворів для кріплення ферми через можливу неточну розкладку суміжних елементів розкосів, стійок, поясів.

У запропонованому методі виготовлення ферми будуть застосовуватися кондуктор для складання та двостійковий контувач для обертання бокових віток та діфрагм ферми.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		12

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Для вибору способу зварювання необхідно зробити порівняльний аналіз найбільш поширених і часто застосовуваних у машинобудівної промисловості способів зварювання і виділити один, найбільш переважаючий в контексті виготовлення конструкції зварної кроквяної ферми. Для цієї мети складається таблиця переваг та недоліків того чи іншого способу зварювання, проводиться порівняльний аналіз та виявляється найбільш характерний спосіб зварювання.

Таблиця 2.1 - Методи зварювання. Переваги та недоліки [9]

	Переваги	Недоліки
Ручне дугове зварювання плавкими електродами, з основним видом покриття.	<ul style="list-style-type: none">– Високий показник пластичності шва;– Забезпечення рівної міцності шва без ризику появи гарячих тріщин;– Низький вміст домішок у металі шва;– Отримання швів будь-якого просторового положення;– Маневреність при виконанні зварювальних операцій.	<ul style="list-style-type: none">– Підвищена чутливість електродів до вологи;– Чутливість до утворення пор у шві при подовженні дуги;– Необхідність у попередньому загартуванні електродів;– Низька продуктивність та ККД зварювання;– Залежність якості зварного з'єднання від кваліфікації зварника.
Дугове зварювання під шаром флюсу.	<ul style="list-style-type: none">– Висока продуктивність зварювання;– Висока якість зварювання; Кращі умови праці.	<ul style="list-style-type: none">– Зварювання в єдиному положенні (нижнє положення);– Зварювання протяжних прямолінійних швів;- Відсутність універсальності.

Механізоване зварювання плавким електродом в середовищі захисного газу	<ul style="list-style-type: none"> – Висока якість зварних з'єднань; – Можливість виконання зварювання у різних просторових положеннях; – Можливість візуального спостереження за формуванням шва; – Висока продуктивність та легкість механізації; – Низька вартість при використанні активних захисних газів. 	- Високий показник розбризкування металу.
--	--	---

Згідно з проведеним аналізом переваг і недоліків способів зварювання за таблицею 2.1, механізоване зварювання в середовищі захисного газу є найбільш продуктивним способом зварювання кроквяної ферми з урахуванням особливостей конструкції, хімічного складу основного матеріалу, габаритних розмірів, розташування швів і кількості виробів, що виготовляються, необхідних для здійснення перекриття.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Марка зварювального дроту вибирається в залежності від хімічного складу металу зварної конструкції.

При механізованому зварюванні вуглецевої сталі в середовищі вуглекислого газу зі збільшенням сили струму відбувається більш інтенсивне вигорання легуючих елементів в металі шва. Для запобігання шкідливій складовій цього процесу у зварювальну ванну вводять додаткові елементи розкислювачі, які добре взаємодіють з киснем. Цими розкислювачами є марганець та кремній. Вони виводять у шлак надлишок кисню та на ділянках зварювальної ванни, що мають знижену температуру, відновлюють залізо з оксидів [8].

Зварювальний дріт є джерелом розкислювачів. Тому при зварюванні в CO_2 використовується зварювальний дріт, легований марганцем і кремнієм.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		14

В якості зварювального плавкого електрода, вибирається зварювальний дріт суцільного перерізу Св-08Г2С.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад дроту Св-08Г2С [19], %

Марка зварювального дроту	С	Mn	Si	Cr	Ni	S, не більше	P, не більше
Св-08Г2С	0,08	1,4...1,7	0,6...0,85	0,2	0,25	0,025	0,03

Керівним документом зварювального матеріалу є ГОСТ 2246-70 «Дріт сталевий зварювальний. Технічні умови Міждержавний стандарт» [8].

Як захист дуги від шкідливого впливу навколишнього середовища застосовуються гази та їх суміші. Відповідно до [9], газова суміш на основі аргону з процентним вмістом вуглекислого газу в межах 18-20 % є найкращим газовим захисним середовищем для механізованого зварювання. Наявність у суміші аргону забезпечує найбільш стабільне перенесення електродного металу у зварювальну ванну. Наявність у суміші окисного потенціалу (вуглекислого газу) зменшує розчинність водню в металі зварювальної ванни та зменшує розбрикування електродного металу.

При цьому реакція окиснення вуглецю при високих температурах призводить до інтенсивного виділення СО з розплавленого металу. В результаті кипіння зварювальної ванни з неї краще видаляються водень та азот, що призводить до зниження пористості металу шва, ніж при зварюванні в середовищі чистого аргону. Показник пластичності шва при зварюванні в суміші $Ar + CO_2$ вищий, ніж при зварюванні в чистому CO_2 , проте показник міцності не змінюється.

Визначальним чинником вибору зварювального захисного газу є цінова складова. Для визначення найбільш вигідного захисного газу для напівавтоматичного зварювання з позиції ціна/якість складається таблиця 2.3.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		15

Таблиця 2.3 – Співвідношення ціни та якості захисного газу

	Газова суміш на основі Ar та компоненту CO ₂ 80%/20% ISO 14175 – M21 [15]	Двоокис вуглецю газоподібний CO ₂ , 100% ISO 14175 – C1 [15]
Коефіцієнт розбризування ψ [13], %	1,8-4	6,8-8,5
Ціна [16, 17], грн/балон	1200	1000

Виходячи з даних, наданих у таблиці 2.3 робиться висновок про те, що при великих обсягах зварювального виробництва найдешевшим захисним газом є вуглекислий газ, проте, враховуючи наведені переваги оберемо газову суміш на основі Ar та компоненту CO₂ (80%/20%).

Класифікація газової суміші здійснюється за ГОСТ ISO 14175-2010 «Матеріали зварювальні. Гази та газові суміші для зварювання плавленням та споріднених процесів» [10].

Чистота вуглекислого газу та вміст домішок регламентується ГОСТ 8050-85 «Двоокис вуглецю газоподібний та рідкий. Технічні умови» [11].

Приміщення складу, в яких зберігається електродний дріт, обов'язково повинні бути сухими, опалюваними у холодну пору року. Вони повинні підтримувати такі умови:

- температура повітря повинна бути більшою або відповідати 14 градусам Цельсія $T \geq 14 \text{ }^\circ\text{C}$;
- постійна відносна вологість повітря має становити від 50 і більше відсотків $\varphi \leq 50 \%$.

Відповідно до [8] зварювальний дріт суцільного перерізу повинен зберігатися в умовах, що виключають його забруднення або корозію. Перед використанням дріт має бути проконтрольований шляхом зовнішнього огляду щодо визначення чистоти поверхні.

Дозволяється також очищати дріт наждачною шкіркою або будь-якими іншими способами до металевого блиску. При очищенні дроту не можна допускати різких перегинів (переломів), що може порушити нормальний процес подачі дроту в зону зварювання.

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

У теорії механізованого зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів основними параметрами режиму є: діаметр електродного дроту d_e , сила зварювального струму $I_{зв}$, напруга на дузі U_d .

Для проведення розрахунків за знаходженням вище перерахованих та інших необхідних параметрів режиму зварювання необхідно скористатися методичними вказівками та рекомендаціями, які приймаються з літературних джерел [1] та [2].

Визначення площі поперечного перерізу шва.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу кутового шва визначається за такою формулою:

$$F_{Hi} = \frac{k_i^2}{2},$$

де k_i - катет i -того кутового шва

$$F_{H1} = \frac{(4 \text{ мм})^2}{2} = 8 \text{ мм}^2;$$

$$F_{H2} = \frac{(8 \text{ мм})^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Визначення величини зварювального струму

Для того щоб виконати розрахунок режимів зварювання та необхідного діапазону зварювального струму необхідно виділити всі типи зварних з'єднань, присутні в конструкції, їх розміри, розташування та конструктивні особливості.

На рисунку 2.1 можна побачити, які типи зварних з'єднань за ГОСТ 14771-76 [13] є у вузлі.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		17

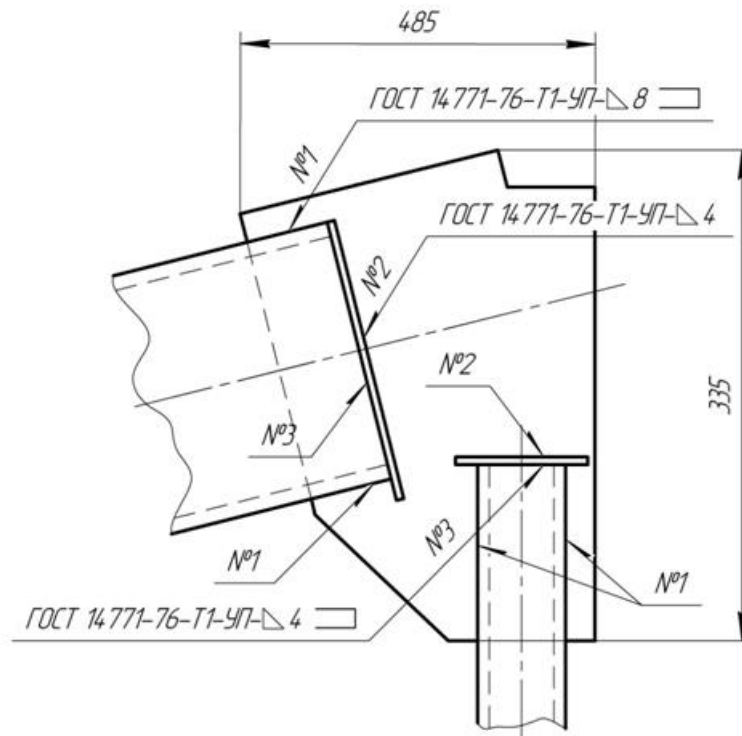


Рисунок 2.1 – Коньковий вузол ферми

Крім даного вузла, зазначені типові з'єднання поширюються на всю конструкцію. Ними є:

1. Кутові шви таврового з'єднання №1 з катетом 8 мм, що з'єднують стрижні верхнього пояса, розкоси та стійки із фасонкою.
2. Кутові шви таврового з'єднання №3 з катетом шва 4 мм, що з'єднують заглушки з торцями стрижнів (профільних труб квадратного перерізу).

Мінімальне значення катета шва набувають за рекомендаціями, прийнятими з нормативного документа [12].

Для подальшого розрахунку параметрів режиму зварювання необхідно заздалегідь визначити необхідний діаметр електродного дроту. При його виборі слід враховувати, що кутові шви з малим катетом можна отримати лише при використанні електродного дроту малого діаметру.

Згідно з рекомендаціями [13], для швів №3 і №2 (рис. 2.1) з розміром катета рівним 4 мм слід застосувати зварювальний дріт з діаметром перерізу 2 мм.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		18

Для прийнятого діаметру перерізу електродного дроту за рекомендаціями [14] підбирається густина струму:

Таблиця 2.4 – Допустима густина струму при механізованому зварюванні кутових швів

Діаметр електроду, мм	Допустима густина струму, j_e , А/мм ²
2,0	60...150

Сила струму обчислюється за такою формулою:

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j,$$

де d_e – діаметр електроду, мм;

j_e – густина струму, А/мм².

$$I_{\min} = \frac{\pi \cdot (2 \text{ мм})^2}{4} \cdot 60 \text{ А/мм}^2 = 188 \text{ А.}$$

$$I_{\max} = \frac{\pi \cdot (2 \text{ мм})^2}{4} \cdot 150 \text{ А/мм}^2 = 471 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{\pi \cdot (2 \text{ мм})^2}{4} \cdot 105 \text{ А/мм}^2 = 329 \text{ А.}$$

Згідно з розрахунками, необхідний зварювальний струм знаходиться в діапазоні допустимих значень від 188 до 271 А. Даний діапазон зварювального струму застосовується для отримання зварних з'єднань всіх типових швів конструкції, що розглядається, отриманих механізованим зварюванням.

Визначення напруги дуги

Для прийнятого діаметра електродного дроту та сили зварювального струму визначається оптимальна напруга:

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		19

$$U_d = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} \cdot I$$

$$U_{d,\min} = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2 \text{ мм}}} \cdot 188 \text{ А} = 24,64 \text{ В.}$$

$$U_{d,\max} = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2 \text{ мм}}} \cdot 471 \text{ А} = 34,65 \text{ В.}$$

$$U_{d,\text{cp}} = 17 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2 \text{ мм}}} \cdot 329 \text{ А} = 28,63 \text{ В.}$$

Визначення коефіцієнта форми провару.

Після знаходження значень зварювального струму, діаметра електроду та напруги дуги коефіцієнт форми провару визначається за формулою:

$$\Psi_{\text{пр}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I) \cdot \frac{d \cdot U_d}{I},$$

де K' – коефіцієнт, величина якого залежить від роду струму та полярності.

Коефіцієнт K' при зварюванні на зворотній полярності при густині струму не більше $j < 120 \text{ А/мм}^2$ обчислюється за формулою:

$$K' = 0,367 \cdot j^{0,1925}$$

$$K'_1 = 0,367 \cdot (60 \text{ А/мм}^2)^{0,1925} = 0,807.$$

Коефіцієнт K' для густини струму більшого або рівного значення.

$j \geq 120 \text{ А/мм}^2$ для постійного струму зворотної полярності є постійною величиною, що дорівнює $K' = 0,92$.

$$\Psi_{\text{пр},\min} = 0,807 \cdot (19 - 0,01 \cdot 188 \text{ А}) \cdot \frac{2 \text{ мм} \cdot 24,64 \text{ В}}{188 \text{ А}} = 3,62.$$

$$\Psi_{\text{пр},\max} = 0,92 \cdot (19 - 0,01 \cdot 471 \text{ А}) \cdot \frac{2 \text{ мм} \cdot 34,65 \text{ В}}{471 \text{ А}} = 1,93.$$

$$\Psi_{\text{пр},\text{cp}} = 0,807 \cdot (19 - 0,01 \cdot 329 \text{ А}) \cdot \frac{2 \text{ мм} \cdot 28,63 \text{ В}}{329 \text{ А}} = 2,20.$$

Значення коефіцієнта провару задовольняють умови, зазначені у рекомендаціях [12]. Отримані значення коефіцієнта перебувають у діапазоні від 0,8 до 4,0. Дані попередніх розрахунків говорять про те, що шви, що формуються, будуть мати низьку схильність до утворення гарячих тріщин, а також ширина швів і глибина провару будуть оптимальні при заданих параметрах режиму зварювання.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		20

Визначення швидкості переміщення зварювальної дуги

$$v = \frac{\alpha_n \cdot I}{3600 \cdot \gamma_m \cdot F_n},$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення, г/(А · год);

$I_{зв}$ – сила зварювального струму;

γ_m – густина наплавленого металу. Для сталі $\gamma_m = 7,8$ г/см³.

F_n – площа поперечного перерізу наплавленого металу за один прохід.

При зварюванні в середовищі вуглекислого газу величина коефіцієнта наплавлення може істотно відрізнитися від величини коефіцієнта розплавлення дроту у зв'язку із втратами електродного металу:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_n),$$

де ψ_n – коефіцієнт втрат, у %.

$$\psi_n = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2.$$

$$\psi_{n.min} = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 60 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot (60)^2 = 4,22 \text{ \%}.$$

$$\psi_{n.max} = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 150 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot (150)^2 = 11,60 \text{ \%}.$$

$$\psi_{n.cp} = -4,72 + 17,6 \cdot 10^{-2} \cdot 105 - 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot (105)^2 = 8,80 \text{ \%}.$$

Визначення швидкості подачі електродного дроту

Необхідне значення швидкості подачі зварювального дроту $v_{п.п.}$ при заданій швидкості зварювання забезпечить заповнення зазору та оброблення між деталями, а також утворення валика шва. Швидкість подачі дроту визначається за такою формулою:

$$v_{п.п.} = \frac{\alpha_p \cdot I}{3600 \cdot \gamma \cdot F},$$

де $F_{ел}$ – площа поперечного перерізу електроду, см².

γ – густина електродного металу, дроту, г/см².

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		21

$$v_{п.п.мин} = \frac{9,05 \text{ г/(А·)} \cdot 188 \text{ А}}{3600 \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2} = 3,02 \text{ см/с.}$$

$$v_{п.п.маx} = \frac{9,05 \text{ г/(А·)} \cdot 471 \text{ А}}{3600 \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2} = 7,59 \text{ см/с.}$$

$$v_{п.п.ср} = \frac{9,05 \text{ г/(А·)} \cdot 329 \text{ А}}{3600 \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2} = 5,30 \text{ см/с.}$$

Визначення геометричних параметрів шва

На рисунку 2.2 зображені геометричні параметри зварного шва, такі як ширина шва, глибина проплавлення, висота шва та глибина проплавлення вертикальної стінки.

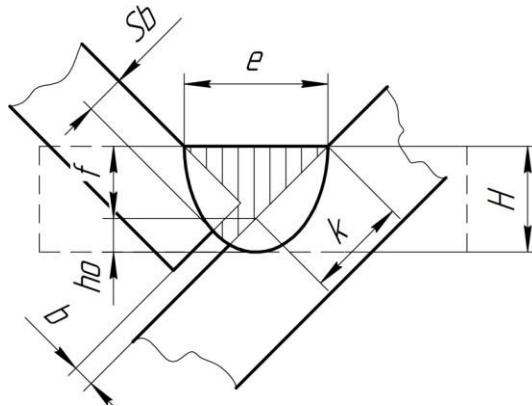


Рисунок 2.2 – Геометричні розміри кутових швів

Використовуючи теорему Піфагора, можна визначити значення висоти шва f , без урахування глибини проплавлення h_0 :

$$f_1 = \sqrt{(4 \text{ мм})^2 - \left[\frac{\sqrt{(4 \text{ мм})^2 + (4 \text{ мм})^2}}{2} \right]^2} = 2,82 \text{ мм.}$$

$$f_2 = \sqrt{(8 \text{ мм})^2 - \left[\frac{\sqrt{(8 \text{ мм})^2 + (8 \text{ мм})^2}}{2} \right]^2} = 5,65 \text{ мм.}$$

Розрахунок глибини проплавлення виконується за формулою:

$$h_0 = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{q_{п}}{\psi_{пр}}},$$

де $q_{п}$ – погонна енергія;

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		22

$$q_{\text{п}} = \frac{\eta \cdot I \cdot U_{\text{д}}}{v},$$

де η – ефективний коефіцієнт корисної дії нагріву виробу дугою. Для НЗ $\eta \approx 0,80 \dots 0,84$.

$$q_{\text{п.min1}} = \frac{0,82 \cdot 188 \text{ А} \cdot 24,64 \text{ В}}{0,72 \text{ см/с}} = 5275,70 \text{ Дж/см.}$$

$$q_{\text{п.max1}} = \frac{0,82 \cdot 471 \text{ А} \cdot 34,65 \text{ В}}{1,67 \text{ см/с}} = 8013,40 \text{ Дж/см.}$$

$$q_{\text{п.ср1}} = \frac{0,82 \cdot 329 \text{ А} \cdot 28,63 \text{ В}}{1,2 \text{ см/с}} = 6436,50 \text{ Дж/см.}$$

$$h_{0\text{min1}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{5275,7 \text{ кДж/см}}{3,62}} = 0,30 \text{ см.}$$

$$h_{0\text{max1}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{8013,4 \text{ кДж/см}}{1,93}} = 0,52 \text{ см.}$$

$$h_{0\text{ср1}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{6436,5 \text{ кДж/см}}{2,2}} = 0,43 \text{ см.}$$

$$h_{0\text{min2}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{21,1 \text{ кДж/см}}{3,62}} = 0,61 \text{ см.}$$

$$h_{0\text{max2}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{32,6 \text{ кДж/см}}{1,93}} = 1,05 \text{ см.}$$

$$h_{0\text{ср2}} = 0,0081 \cdot \sqrt{\frac{25,7 \text{ кДж/см}}{2,2}} = 0,87 \text{ см.}$$

Необхідна ширина шва визначається за такою формулою:

$$e = \Psi_{\text{пр}} \cdot h.$$

$$e_{\text{min1}} = 3,62 \cdot 0,3 = 1,08 \text{ см.}$$

$$e_{\text{min2}} = 3,62 \cdot 0,61 = 2,2 \text{ см.}$$

$$e_{\text{max1}} = 1,93 \cdot 0,52 = 1,00 \text{ см.}$$

$$e_{\text{max2}} = 1,93 \cdot 1,05 = 2,02 \text{ см}$$

$$e_{\text{ср1}} = 2,2 \cdot 0,43 = 0,94 \text{ см.}$$

$$e_{\text{ср2}} = 2,2 \cdot 0,87 = 1,90 \text{ см.}$$

Розрахунок витрати основного матеріалу

За кресленням загального виду відправної марки кроквяної ферми було проведено аналіз та подальший розрахунок сумарної довжини елементів

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

конструкції ферми у одиничній кількості. Знайдені значення заносяться до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Сумарна довжина та фактична маса стрижнів ферми

Найменування елементів ферми	Номер профілю [4]	Погонна маса [4], кг/м	Сумарна довжина елементів, м	Маса групи елементів ферми, кг
Верхній пояс	№180	52,03	24,560	1277,85
Нижній пояс	№150	42,61	22,740	968,95
Розкоси	№80	18,97	15,970	302,95
Стійки	№60	12,20	12,210	148,96
Загалом: $m_{\text{ф}} = 2698,70$ кг				

Як було зазначено раніше, кількість ферм, необхідних для здійснення перекриття промислової будівлі, що проектується, становить 17 штук. Отже, на основі цих відомостей складається таблиця витрати основного матеріалу конструкції ферми.

Таблиця 2.6 – Сумарна довжина та фактична маса прокату, що витрачається на перекриття промислової будівлі

Найменування елементів ферми	Номер профілю [4]	Погонна маса [4], кг/м	Сумарна довжина елементів в перекритті, м	Маса групи елементів перекриття, кг
Верхній пояс	№180	52,03	417,520	21723,56
Нижній пояс	№150	42,61	386,580	16472,95
Розкоси	№80	18,97	271,490	5150,16
Стійки	№60	12,20	207,570	2532,35
Загалом: $m_{\text{ф}} = 45879$ кг				

В результаті аналізу креслення загального вигляду кроквяної ферми було здійснено якісний розрахунок суми габаритних розмірів елементів вузлів ферми, таких як пластин фасонки та заглушок. Дані аналізу та розрахунків були внесені як ескізи розкрою до карти ескізів комплексу технологічної документації, що розроблялася. Згідно карти ескізів для виготовлення заглушок і пластин,

присутніх як елементи вузлів ферми 10 мм та 710x600x5 мм за ГОСТ 19903-2015 «Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент» [14].

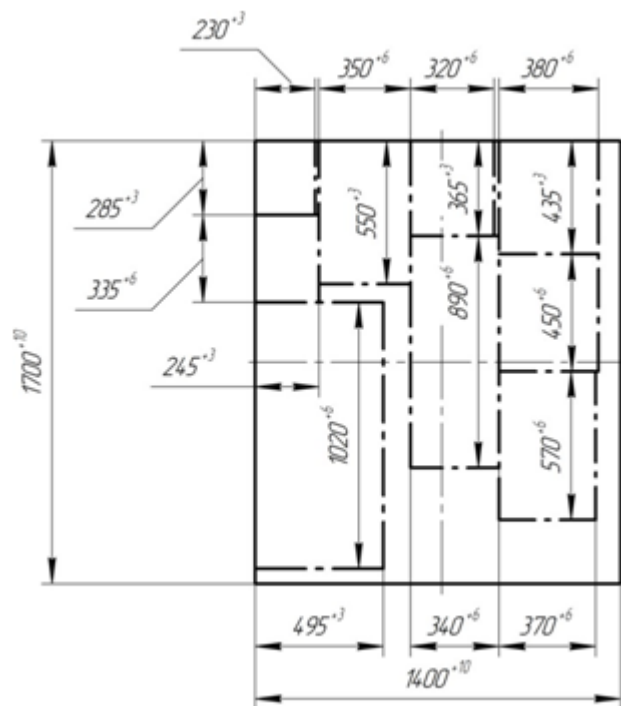


Рисунок 2.3 – Листовий розкрій

Дані про витрати на основний матеріал листового прокату заносяться до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Кількість листів металу, що витрачається на перекриття промислової будівлі

Прокат гарячекатаний листовий ГОСТ 19903-2015 [23]	Розміри прокату, мм	
		6000x1500x10
Кількість листів, шт	6	1

Розрахунок витрати зварювального дроту

Витрата зварювального дроту в процесі зварювання залежить від коефіцієнту втрат, а також кількості наплавленого металу:

$$G_e = G_n \cdot (1 + \Psi_n), \quad (22)$$

де G_n – маса наплавленого металу, г.

$$l_{ш1} = l_{ш1.1} + l_{ш1.2} + l_{ш1.3} + l_{ш1.4}, \quad (25)$$

де $l_{ш1.1}$ – довжина зварних швів, що з'єднують торці стрижнів верхнього поясу із заглушками;

$l_{ш1.2}$ – довжина зварних швів, що з'єднують торці стрижнів нижнього поясу із заглушками;

$l_{ш1.3}$ – довжина зварних швів, що з'єднують торці розкосів із заглушками;

$l_{ш1.4}$ – довжина зварних швів, що з'єднують торці стійок із заглушками.

$$l_{ш1.1} = 2864 \text{ мм.}$$

$$l_{ш1.2} = 5140 \text{ мм.}$$

$$l_{ш1.3} = 5904 \text{ мм.}$$

$$l_{ш1.4} = 5952 \text{ мм.}$$

$$l_{ш1} = 2864 \text{ мм} + 5140 \text{ мм} + 5904 \text{ мм} + 5952 \text{ мм} = 19860 \text{ мм.}$$

Існує особливість, яку необхідно врахувати при виконанні зварних швів, що з'єднують труби з фасонками. Щоб уникнути утворення вологи, окислень та корозії на поверхні внутрішньої стінки труби, потрібно забезпечити герметизацію її порожнини. Цього можна досягти шляхом заплавлення всіх зазорів у місцях сполучення фасонки та труби, утворених з метою отримання наскрізного отвору в трубі, ширина та довжина якого відповідає товщині та ширині фасонки.

Дотримуючись цієї умови, визначаємо формулу знаходження загальної довжини зварних швів з катетом 8 мм:

$$l_{ш2} = \sum n l_{ш2i}, \quad (26)$$

де $l_{ш2i}$ – загальна довжина зварних швів з катетом 8 мм у i -му вузлі.

Відповідно до креслення загального вигляду ферми значення довжин зварних швів з катетом 8 мм у кожному вузлі ферми рівні:

$$l_{ш2.1} = 9990 \text{ мм} + 120 \text{ мм} – \text{довжина швів в опорних вузлах ферми};$$

$$l_{ш2.2} = 3200 \text{ мм} + 120 \text{ мм} – \text{довжина швів у вузлах №2 та №2'};$$

$$l_{ш2.3} = 3947 \text{ мм} + 160 \text{ мм} – \text{довжина швів у вузлах №3 та №3'};$$

$$l_{ш2.4} = 9206 \text{ мм} + 160 \text{ мм} – \text{довжина швів у вузлах №4 та №4'};$$

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		27

$l_{ш2.5} = 3437 \text{ мм} + 160 \text{ мм}$ – довжина швів у вузлах №5 та №5';

$l_{ш2.6} = 5620 \text{ мм} + 160 \text{ мм}$ – довжина швів у вузлах №6 та №6';

$l_{ш2.7} = 3805 \text{ мм} + 160 \text{ мм}$ – довжина швів у вузлах №7 та №7';

$l_{ш2.8} = 4000 \text{ мм} + 100 \text{ мм}$ – довжина швів у вузлі №8;

$l_{ш2.9} = 1440 \text{ мм} + 80 \text{ мм}$ – довжина швів у вузлі №9.

$l_{ш2} = 45865 \text{ мм}$.

Отже, загальна довжина зварних швів ферми становить:

$l_{ш} = l_{ш1} + l_{ш2} = 19860 \text{ мм} + 45865 \text{ мм} = 65725 \text{ мм}$.

Маючи відомості про загальну довжину зварних швів, проводиться розрахунок витрати зварювального дроту, що витрачається на виготовлення ферми:

$G_{ш1} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2 \cdot 1986 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 = 1239,20 \text{ г}$.

$G_{ш2} = 32 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2 \cdot 4586,5 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/см}^3 = 11447,90 \text{ г}$

$G_e = (1239,20 \text{ г} + 11447,9 \text{ г}) \cdot (1 + 0,088) = 13800,00 \text{ г}$.

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

Вибір зварювального обладнання та матеріалів, що відповідають необхідним для даного способу зварювання вимогам, здійснюється з урахуванням умов забезпечення бездефектності зварного шва, рівномірності зварного з'єднання з основним металом, оптимального хімічного складу металу шва та стійкості зварних з'єднань до навантажень.

Вибір джерела живлення зварювальної дуги

Розробка технології зварювання та подальше виконання зварювальних операцій при виробництві металоконструкції передбачає використання зварювального обладнання та пристроїв. Для виконання зварювальних операцій механізованим способом може застосовуватися як автомати, так напівавтомати.

Джерела живлення зварювальної дуги повинні відповідати різним критеріям, таким як можливість підтримки стабільного горіння електричної дуги в межах необхідного діапазону зварювального струму, забезпечення

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		28

заданої швидкості подачі зварювального дроту, можливість подачі електродного дроту заданого діаметру, економічність, надійність та інше.

Дотримуючись цих умов, проводиться вибір джерел живлення з потрібними характеристиками. Таким джерел живлення є зварювальний напівавтомат Fronius VR3300 (рис.2.5). Вибраний напівавтомат включає: зварювальне джерело живлення, пристрій подачі електродного дроту, а також кабель-пакет 1,5 м.



Рисунок 2.5 – Зварювальний напівавтомат FRONIUS VR3300

Дане багатофункціональне та сучасне джерело живлення має ряд характерних переваг, що дозволяють виконувати зварні з'єднання дуже високої якості [14].

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		29

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

2.2.1 Заготівельні операції

Основні та допоміжні операції технологічного процесу зварювання елементів ферми виконуються у цеху виробництва металоконструкцій. Технологічний процес виготовлення включає послідовне виконання наступних операцій: очищення поверхні прокату, правлення прокату, розмічування, механічне різання, транспортування, складання з прихопленням, зварювання, контроль якості.

При надходженні прокату у склад необхідно виконати його приймання зі складанням акту. Після приймання прокату та заповнення акту необхідно нанести відповідне маркування на його торці. При зберіганні прокату ширина штабеля не повинна перевищувати 2,5 метра. Відходи прокату, які були отримані при вирізання з прокату заготовок, слід повернути на склад, нанісши на них відповідне маркування.

Перед початком виготовлення конструкції слід очистити поверхню прокату від окалини та іржі. Для цього застосовується переносна піскоструменева установка DBS-100 (або DBS-200), представлені на рисунку 2.6. Параметри піскоструменевого очищення: робочий тиск повітря – 10 бар, діаметр сопла – 11 мм, витрата повітря – 11,6 м³/хв, витрата абразиву – 50 кг/м², абразив.

Якщо кривизна прокату становить понад 5 мм на 1000 мм, необхідно виконати його правлення. Правлення сортового прокату виконують на машині JZJ20-40, представленій на рисунку 2.7. Параметри правлення: швидкість правлення – 0,25...0,5 м/с, момент правлення – 600 кгс·м, вхідний кут – 20-90. Правлення на сортоправильній машині дозволяє усунути загальну хвилястість прокату та його місцеві деформації вздовж осі.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30



Рисунок 2.6 – Переносна піскоструменева установка DBS-100 та DBS-200



Рисунок 2.7 – Правлення сортового прокату на машині JZJ20-40

Розмічування прокату перед різанням здійснюють за допомогою металевих рулеток зі шкалою точності не нижче 2-го класу ГОСТ 7520, лінійок довжиною 1000 мм, кутомірів з ноніусом, косинців та штангенрейсмусів. Граничні відхилення розмітки повинні становити не більше ніж 1,0 мм. Механічне різання прокату виконується на стрічково-пильному верстаті. JET HVBS-56M 414458M представлений на рисунку 2.8.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		31

Матеріал полотна – сталь 25Х6ВФ, розведення зубів – стандартне, крок зуба – постійний 14 мм, швидкість різання – 40 м/хв, натяг - 300 Н/мм.

Транспортування заготовок виконується однобалочним краном вантажопідйомністю 2 т, зовнішній вигляд якого показаний на рисунку 2.9.

Швидкість руху під час транспортування – 40 м/хв, швидкість переміщення талі – 25 м/хв.



Рисунок 2.8 – Стрічковопилний верстат JET HVBS-56M 414458M



Рисунок 2.9 – Однобалочний кран вантажопідйомністю 2 т

Складання заготовок виконуємо на стенді, , що дозволяє здійснювати розміщення та фіксування заготовок. Складальне оснащення повинно забезпечувати задання геометрії та конструкції, жорсткість закріплення, щільність притискання деталей одна до одної. Переміщення елементів

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		32

конструкції не повинне призводити до порушення складання. У процесі збирання величина зазору між деталями не повинна перевищувати 2 мм.

Перед проведенням зварювальних операцій кромки заготовок, що зварюються, які підлягають складанню та зварюванню, необхідно зачистити від забруднень і включень до появи характерного металевих блиску на відстань не менше 20 мм (рисунок 2.10).

Для того щоб провести знежирення зачищених кромки, що зварюються, використовується гарячий лужний склад, який наноситься на поверхню металу різними способами.

Залишки лужного розчину необхідно видаляти з поверхні за допомогою бавовняної тканини, яка не залишає ворсу. Цією ж тканиною необхідно насухо протерти метал для видалення вологи з його поверхні.

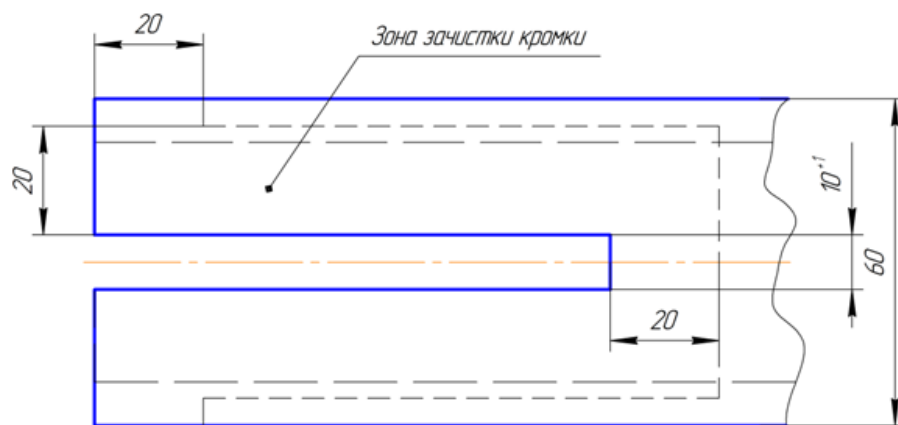


Рисунок 2.10 – Зона зачищення крайок

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Технологія збирання та зварювання металоконструкції регулюється документами РД 34.15.132-96 «Зварювання та контроль якості зварних з'єднань металоконструкцій будівель при спорудженні промислових об'єктів» [8], а також СП 53-101-98 «Виготовлення та контроль якості сталевих будівельних конструкцій» [10]

Зварювання кутових швів у нижньому положенні можна виконувати двома способами: при повороті виробу на 45° та похилим електродом.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		33

Зварювання «в човник» краще, оскільки при зварюванні похилим електродом через збільшення об'єму розплавленого металу важко попередити підріз по вертикальній площині і забезпечити провар по нижній площині. Такий спосіб зварювання (нахил заготовки під кутом 45°) надає можливість повністю проплавити переріз без утворення пропалів. Даний спосіб застосовується для отримання довгих поздовжніх (відносно виробу) зварних швів, наприклад, швів, що з'єднують полицю і стінку двотаврової балки. У контексті виробництва металоконструкції, що розглядається в цій роботі, даний спосіб не є можливим через великі габаритні розміри, зокрема висоти ферми. Отже, як застосовувана техніка зварювання, слід розглянути варіант, при якому заготовки, що зварюються, розміщуються на горизонтальній площині спеціального пристосування, що містить способи фіксації заготовок.

Основними конструктивними завданнями при складанні та зварюванні конструкції, що розглядається в даній роботі, є:

1. Необхідність отримання кутових зварних з'єднань з можливістю подачі електроду в процесі зварювання під кутом 45° до стінки заготовки.

Як можна помітити на рисунку 2.11, необхідний кут розташування електрода позначений А. Але так як у необхідному місці розташування електрода знаходиться частина конструкції (на рисунку пряма А перетинає металеву пластину), конструктивний кут розташування електрода зменшиться і становитиме приблизно від 15 до 25 градуса.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		34

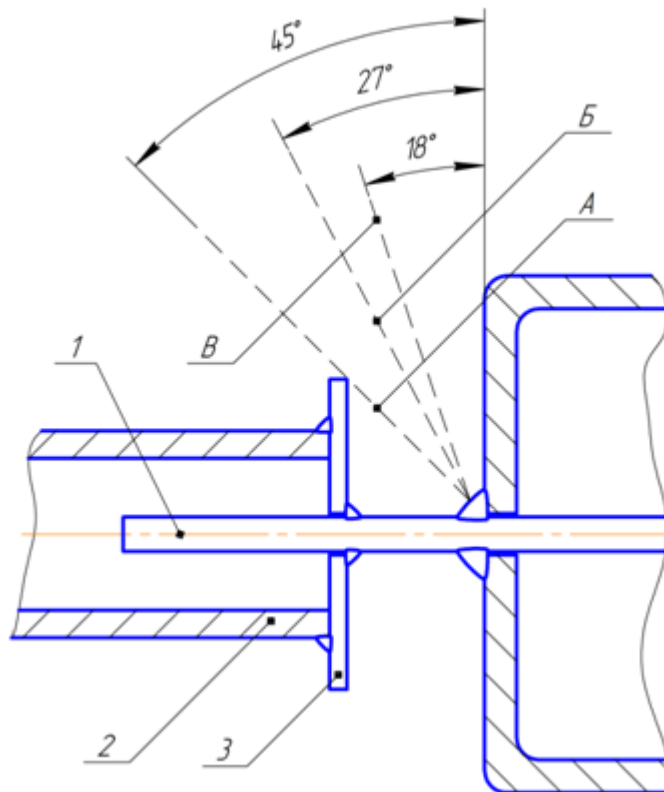


Рисунок 2.11 – Конструктивні кути нахилу електроду

Очевидно, це призведе до нерівномірного проплавлення стінок, що зварюються, залишкових деформацій і в загальному випадку це буде недотриманням технології зварювання. Отже, одержання зазначеного зварного шва, і йому подібних типових відповідальних швів необхідно здійснити насамперед, до приварювання заглушки до торця труби.

2. Визначення послідовності накладання зварних швів. Послідовність виконання зварних швів має бути такою, щоб забезпечувалися мінімальні деформації конструкції та запобігали появі тріщин у зварних з'єднаннях.

Послідовність виконання зварних швів вузла ферми відображена на рисунку 2.12.

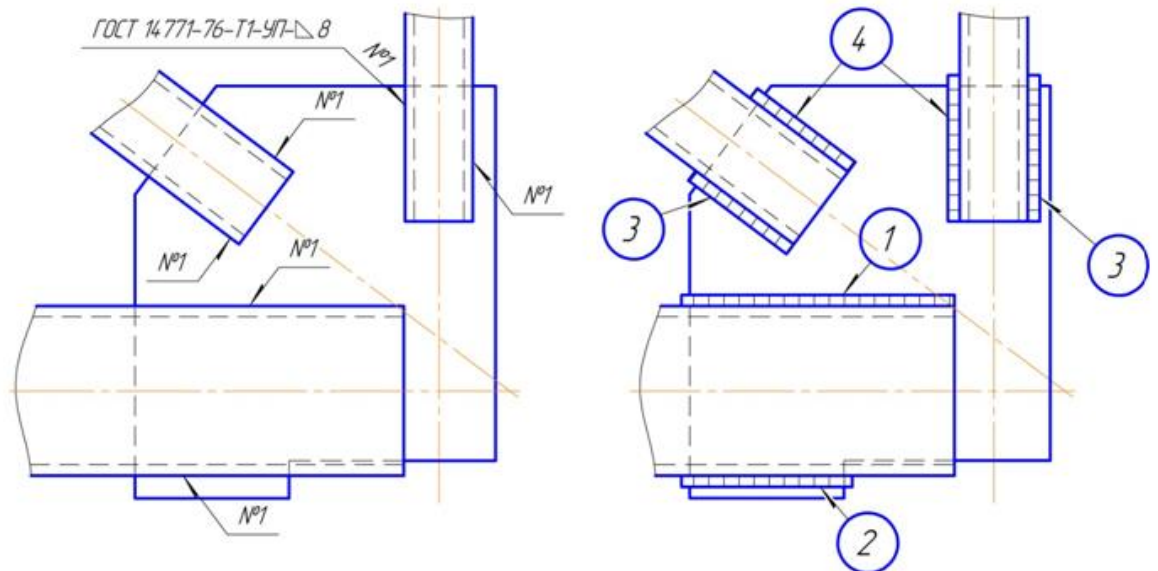


Рисунок 2.12 – Послідовність виконання зварних швів вузла нижнього поясу ферми

Спочатку приварюється нижній пояс ферми до пластини швами 1 а потім 2. Далі обварюються елементи решітки із зовнішнього боку їхнього взаєморозташування швами 3. Виконання швів 4 завершує операцію зі зварювання вузла. Виконання зварних швів 3 та 4 рекомендується виконувати двома зварниками одночасно. Шви довжиною понад 1000 мм, що виконуються механізованим зварюванням, слід зварювати зворотноступінчастим способом. При цьому необхідно зміщувати замки шва на відстань не менше ніж 20 мм. Зварювання рекомендується виконувати «кутом назад». [10]

На рисунку 2.13 наводиться приклад послідовності накладання швів вузла верхнього поясу ферми. Згідно з рисунком 2.13 послідовність виконання зварних швів верхнього поясу аналогічна як для вузлів нижнього поясу.

Зварювання вузлів ферми здійснюється одночасно чотирма зварювальниками в наступній послідовності (рисунок 2.14) – 1□(4□5)□(6□7)

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Весь комплекс заходів щодо боротьби з деформаціями та напруженнями можна розділити на три групи: заходи, що реалізуються до зварювання; заходи у процесі зварювання; заходи, які виконуються після зварювання. Заходи боротьби з деформаціями, що застосовуються до зварювання, реалізуються на стадії розробки проекту зварної конструкції та повинні відповідати таким вимогам: [9]

1. Зварна конструкція повинна мати мінімальний об'єм наплавленого металу. Катети не повинні перевищувати розрахункові значення. Кількість та довжина швів повинні бути мінімально допустимими.

2. Зварні шви повинні бути, по можливості, симетрично розташовані на зварній конструкції. Не рекомендується розташовувати шви поблизу один одного, мати велику кількість швів, що перетинаються, без необхідності застосовувати несиметричну обробку кромки.

Заходи, що застосовуються у процесі зварювання, повинні відповідати таким вимогам: [10]

1. Раціональна послідовність виконання зварних швів на конструкції та за її довжиною. Це дозволить зменшити вигин за рахунок повнішої компенсації деформацій від одного шва деформаціями від іншого.

2. Зварювання доцільно виконувати у спеціальних пристосуваннях, що забезпечують жорстке закріплення деталей, які зварюються. Це запобігає або значно знижує деформації вигину та кутові деформації.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Відповідно до РД 03-606-03 «Інструкція з візуального та вимірювального контролю» [11] перевіряється постачання матеріалу на вхідному контролі. Перевіряється сертифікат, який містить інформацію про марку сталі, габаритні розміри виробу, хімічний склад та вміст шкідливих домішок. Перед складанням перевіряється фактичний стан виробів, визначається наявність недопустимих

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		38

пошкоджень та подряпин. Також перевіряється стан виробів після збирання та після зварювання.

Відповідно до ГОСТ 13663-86 «Труби сталеві профільні. Технічні вимоги» [18] на поверхні гарячедеформованих, електрозварних, електрозварних гарячекаліброваних і труб пічного зварювання, а також холоднодеформованих труб не допускаються тріщини, розшарування. Допускаються окремі незначні вибоїни, вм'ятини, подряпини, тонкий шар окалини, сліди зачищення дефектів і дрібні відхилення, що не виводять товщину стінки за межі мінусових відхилень. Окремі незначні вибоїни, окалина, сліди окалини, що відшаровуються, не перешкоджають огляду, вм'ятини, сліди правлення, подряпини і сліди зачищення дефектів допускаються, якщо вони не виводять розміри труб за граничні відхилення.

Подряпини та інші пошкодження механічного походження, шар окалини та сліди зачищення дефектів допускаються за умови, якщо вони не виводять розміри труб за граничні відхилення. [11]

На внутрішній поверхні труб допускається залишок ґрату, зумовлений способом виробництва. Зовнішній ґрат на трубах повинен бути видалений. У місці зняття ґрату допускається утоншення стінки до 0,1 мм у мінусовий допуск.

Методом, що застосовується для виявлення поверхневих дефектів зварних швів вузлів конструкції ферми є капілярний метод контролю. Він дає змогу виявити дефекти зварного шва при односторонньому доступі до поверхні шва. Кольоровий капілярний метод проводиться згідно з ГОСТ 18442-80 «Контроль неруйнівний. Капілярні методи. Загальні вимоги» [11], який містить загальні відомості та сферу застосування, перелік застосовуваних дефектоскопічних матеріалів, опис етапів проведення контролю, а також поріг чутливості методу. Клас чутливості обсяг, періодичність та норми оцінки якості, згідно з цим стандартом, встановлює розробник об'єкта контролю або матеріалу, що підлягає контролю. [11]

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		39

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

При виробництві у заводських умовах частіше використовують такі способи:

Спосіб копіювання широко застосовується при виготовленні ферм, які складаються з парних елементів.

Спочатку за розміткою складається напівферма. Потім використовуючи її як копір, проводиться складання деталей наступної півферми з фасонками. До них приварюються пояси, стійки та розкоси. Напівферму кантують і переносять на сусідній стелаж, де встановлюють і приварюють елементи, що відсутні. Щоб виключити похибку під час складання, необхідно використовувати один копір для всіх ферм [12].

Складання по копіру продуктивне, просте і застосовується при серійному виробництві. Разом з цим такий метод не забезпечує точності габаритів та правильного розташування монтажних отворів для кріплення ферми через можливу неточну розкладку суміжних елементів розкосів, стійок, поясів. [2].

Для складання елементів вузлів ферми будемо використовувати кондуктор, який виготовляється на базі плити з Т-подібними пазами, що складається з окремих секцій. Регульовані опори забезпечують фіксацію деталей у горизонтальній площині; регулювання по висоті здійснюється за допомогою різьби; фіксація - за допомогою упорів через отвори в деталі. Деталі, що не мають отворів, встановлюють за упорами, кутники закріплюють затискачами. [2].

При складанні деталі послідовно встановлюються у кондуктор і з'єднуються на прихопленнях. Перед прихопленням деталі підискаються за допомогою універсальних складально-зварювальних пристроїв [9].

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		40

У рамній основі пристосування містяться базуючі поверхні, опорні і направляючі деталі, упори та опори, які визначають положення деталей виробу, кронштейни та фіксатори (рисунок 3.2).

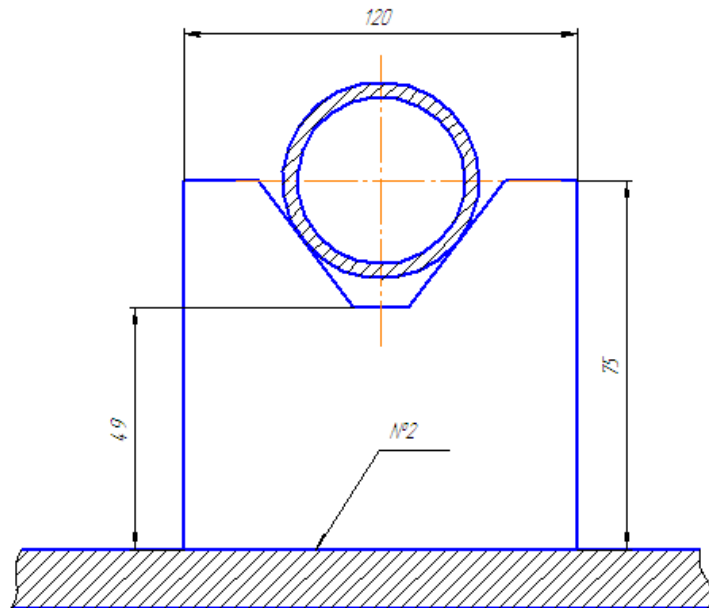


Рисунок 3.2 – Базуюча площа трубчатого елемента зварної ферми

Опорні елементи оснастки виконують позиціонування деталей ферми за правилом шести точок. Елементи ферми розташовуються у пристосуванні, виставляються по упорах та фіксаторах, а потім затискаються (рисунок 3.3).

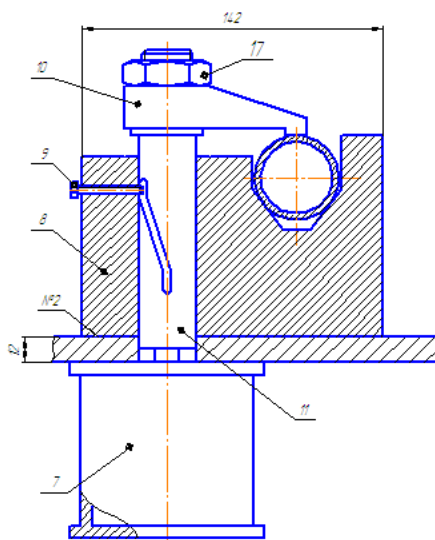


Рисунок 3.3 – Затискання елементів бокових віток ферми

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		42

Пристосування складається з рами, механізму кантування ферми, затискного механізму, правої та лівої кареток, механізму регулювання по висоті (рисунок 3.6). За допомогою кареток відбувається піднімання і обертання частин ферми.

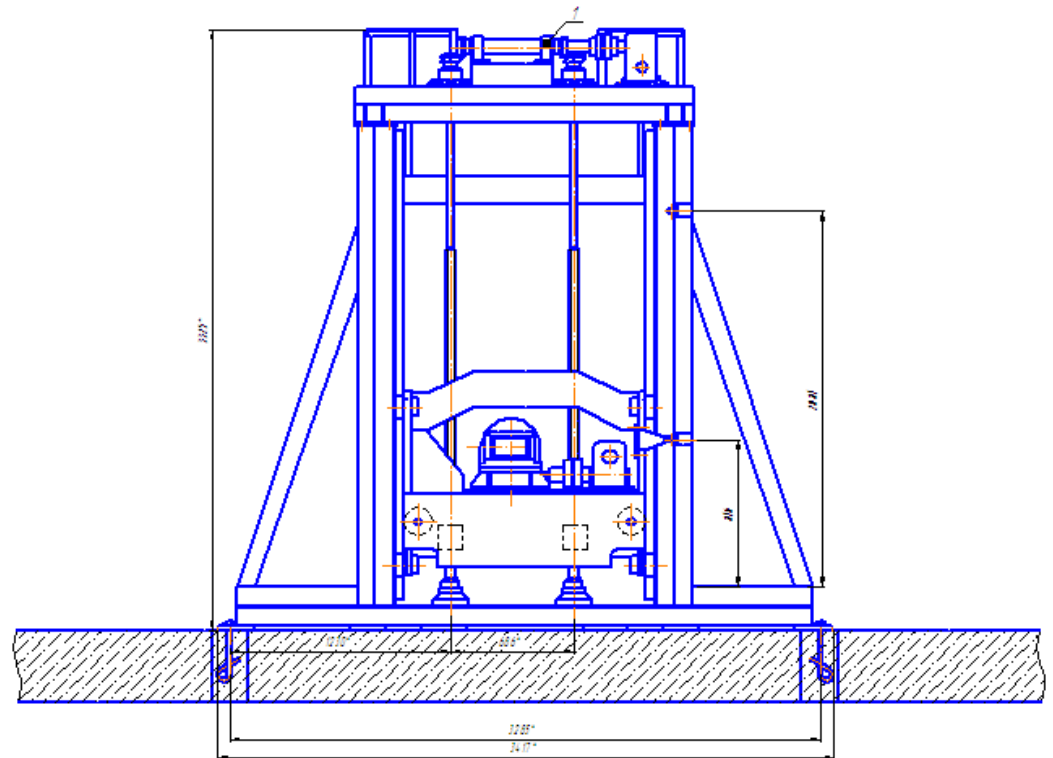


Рисунок 3.6 – Кантувач з підйомними центрами для обертання ферми

Складальні пристосування для виготовлення ферми забезпечують базування складальних деталей відповідно до допустимих зазорів. Після виставлення заготовок, відбувається притискання деталей за допомогою притискачів та пальців для базування, які також центрують деталь за допомогою конусних поверхонь. Потім виконують прихоплення.

Після прихоплення виконують зварювання вузлів ферми з однієї сторони, після чого вузли звільняють від притискання, кантують, знову притискають і зварюють зі зворотнього боку.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		44

3.2 Розробка плану цеху

Виходячи з поставленого завдання: виконати план розміщення обладнання у виробничому цеху, нам необхідно розглянути існуючі схеми руху виробничого процесу.

Компонуванням називають схематичне зображення виробничих, допоміжних, складських, енергетичних та конторсько-побутових приміщень у будівлі. У проектуванні складально-зварювального цеху, відповідно до різних типів зварювальних виробництв та різновидів їх організації встановилися певні типові схеми компонування приміщень.

Типова схема з поздовжнім напрямом виробничого потоку

Напрямок виробничого потоку відбувається прольотами цеху. Поздовжнє переміщення заготовок і деталей, що виготовляються, складальних одиниць і виробів виконується підйомно – транспортним обладнанням. Між прольотами транспортування виконується підлоговим транспортом (автокарами, електрокарами або рейковим шляхом). У заготівельному відділенні спеціалізація прольотів виконується за групами сортаменту металу, що обробляється. Схема з поздовжнім напрямом виробничого процесу застосовується виготовлення нескладних виробів у серійному виробництві. Іноді ця схема використовується в одиничному та масовому виробництві [13]. Схема із поздовжнім напрямом виробничого потоку (рисунок 3.7).

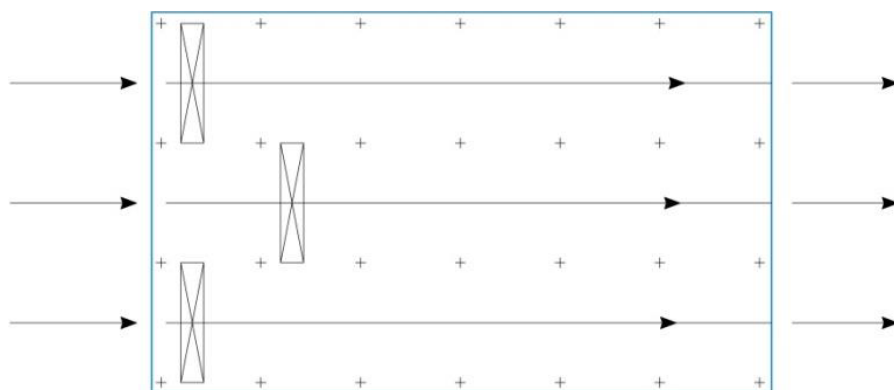


Рисунок 3.7 – Типова схема з поздовжнім напрямом виробничого потоку

Типова схема зі змішаним напрямом виробничого потоку

Напрямок виробничого потоку в прольоті, де відбуваються заготівельні операції та виконується складання та зварювання, збігаються. А проліт загального складання та зварювання розташований поперечно. У заготівельному відділенні спеціалізація прольотів виконується за групами сортаменту металу, що обробляється. Виготовлення складальних одиниць виробу та вузлове складання - зварювання виконується у поздовжніх прольотах. Процес загального складання - зварювання виконується у поперечному прольоті цеху [13]. Схема зі змішаним напрямом виробничого потоку 3.8.

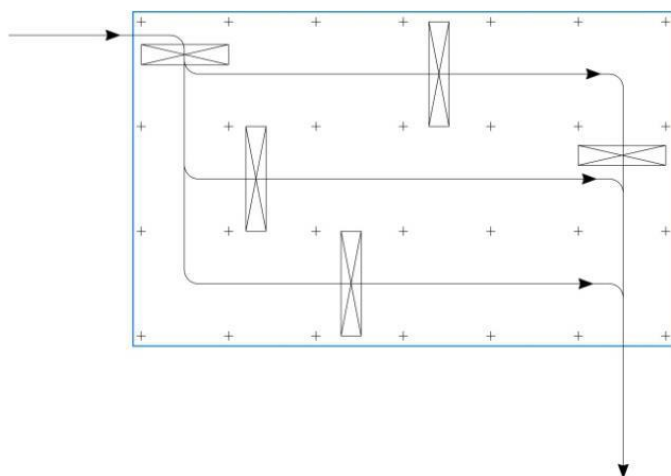


Рисунок 3.8 – Типова схема зі змішаним напрямом виробничого потоку

Обравши основне зварювальне обладнання та складально-зварювальну оснастку, керуючись принципами розміщення обладнання у складально-зварювальному цеху було спроектовано план ділянки цеху з виготовлення зварних ферм (рис. 3.9).

Робочим місцем працівника на зварювальній ділянці є спеціально облаштований зварювальний стіл, площа якого складає. Робочі місця повинні захищатися стаціонарними чи переносними світлонепроникними огорожами з негорючих матеріалів, висота яких має бути не менше 2,5 м. Ширина проходів по периметру зварювального столу має бути не менше 1 м. [13]

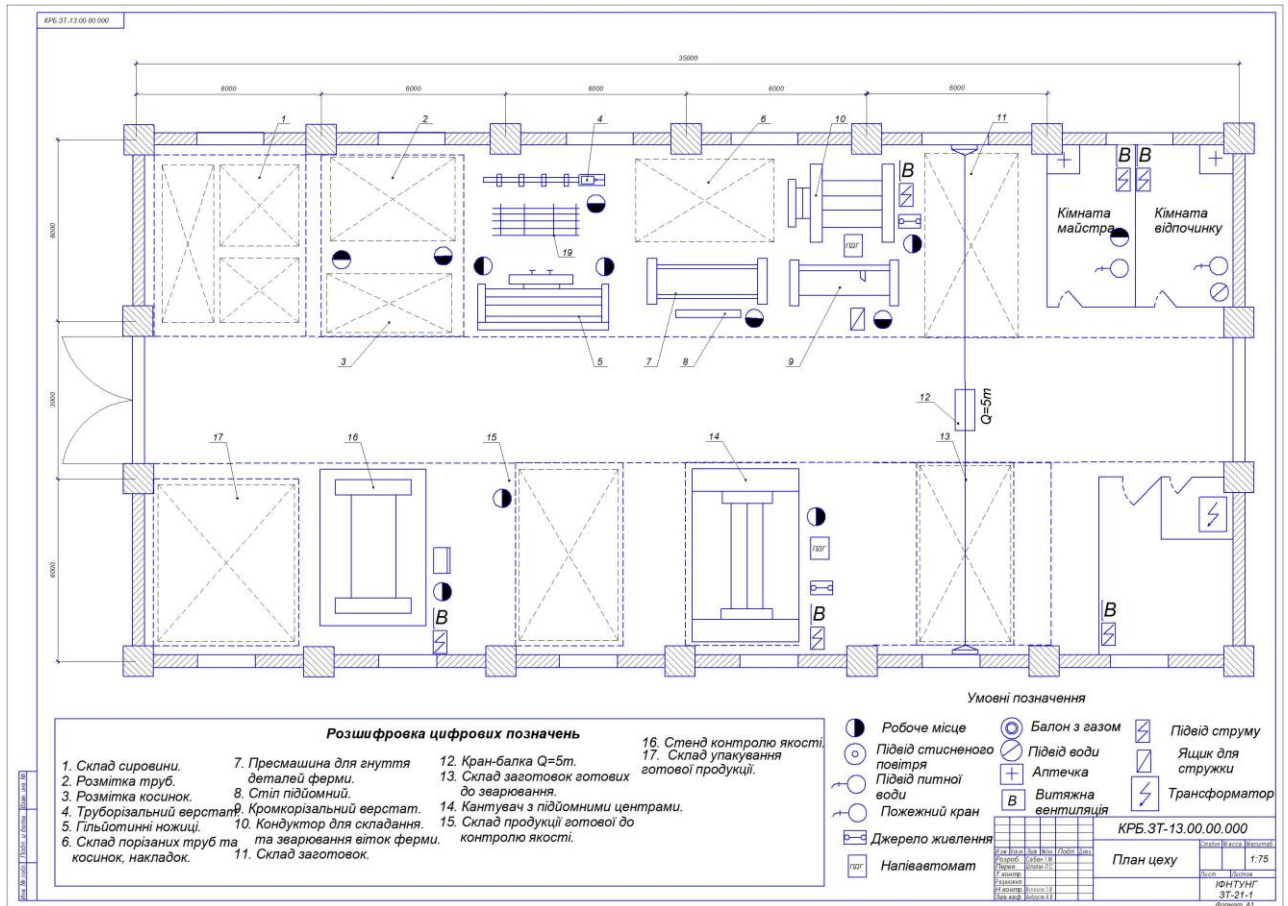


Рисунок 3.9 – План дільниці цеху з виготовлення зварних ферм

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			47

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

4.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Знання правил техніки безпеки та охорони праці абсолютно необхідне при всіх видах електродугового зварювання. Це пояснюється тим, що електродугове зварювання при неправильній організації зварювальних робіт супроводжується низкою явищ, що шкідливо діють на здоров'я зварювальників та навколишніх осіб.

До цих явищ належать: [14]

а) випромінювання електричної дуги, що викликають опіки шкіри та захворювання очей;

б) ураження електричним струмом, що призводить до нервового розладу, а в деяких випадках до смерті;

в) вимушене незручне положення тіла зварювальника;

г) забруднення повітря пилом та шкідливими газами, результатом чого може бути ураження легень та отруєння організму;

д) розбризкування розплавленого металу, нагрівання електродів та основного металу, що призводить до опіків.

Дія всіх перерахованих вище факторів може бути повністю ліквідовано. Це можливе за дотримання правил з охорони праці та техніки безпеки.

4.2 Захист від випромінювання електричної дуги

Електрична дуга випромінює невидимі інфрачервоні, видимі світлові та невидимі ультрафіолетові промені. Будучи складовими частинами одного променевого потоку, ці промені викликають різні захворювання.

Невидимі інфрачервоні промені, особливо при довжині хвилі від 0,00076 до 0,0015 мм та тривалому опроміненні, викликають загальну втрату зору. Це

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		48

захворювання називається катаракта кришталика. При правильному доборі захисного скла інфрачервоні промені повністю поглинаються.

Видимі світлові промені, маючи довжину хвилі від 0,00076 до 0,0004, при короткочасному опроміненні діють засліплююче, а при тривалій дії викликають ослаблення зору. Це пояснюється тим, що яскравість видимих променів електричної дуги більша приблизно у 10000 разів яскравості променів, які можна переносити без напруження незахищеним оком. [14].

Ультрафіолетові промені, маючи довжину хвилі від 0,0004 до 0,00022 мм, навіть за порівняно короткочасного опромінення (протягом кількох хвилин) викликають захворювання очей. Це захворювання носить назву світлобоязнь і супроводжується гострим болем та сльозотечею. Світлобоязнь при нормальному результаті проходить через 2-3 дні, не викликаючи жодних наслідків. Опромінення ультрафіолетовими променями протягом 1-3 годин спричиняє опіки шкіри. Опік шкіри спостерігається, головним чином, у складальників і у місцях зварювання, що працюють поблизу. У зварювальників тіло захищається під час роботи одягом, обличчя та шия щитком, а руки рукавицями. Дія ультрафіолетових променів зменшується зі збільшенням відстані і на відстані більше 10 м сильно слабшає. [14].

Для захисту очей при зварювальних роботах на вітчизняних підприємствах застосовується темне скло марки ЕС. Ці скла знижують яскравість видимої частини світлового потоку електричної дуги, а також поглинають інфрачервоні та ультрафіолетові промені. Скло ЕС випускається трьох номерів: ЕС-100 (найсвітліше), що застосовується при зварюванні на струмі до 100 А, ЕС-300, що застосовується при зварюванні на струмі 100-300 А та ЕС-500, що застосовується при зварюванні на струмі понад 300 А. Скло ЕС має розмір 115X52 мм і вставляється в щитки та маски електрозварювальників. Скло ЕС захищається від бризок розплавленого металу звичайним прозорим склом, яке змінюється в міру забруднення. Замінювати скло ЕС будь-яким іншим склом або

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		49

набором кольорового скла забороняється, оскільки це може призвести до захворювання очей.

Для запобігання опікам шкіри та захворюванню очей під дією променів електричної дуги необхідно передбачати, крім індивідуальних засобів захисту, загальні засоби.

Ці загальні засоби повинні надійно оберігати від променів осіб, що оточують зварювальника.

До них відносяться: [14]

1) кабінки з дверима, закритими брезентовими шторами, у разі коли зварювальні роботи виконуються на одному місці;

2) переносні щити та ширми, якщо зварювальні роботи носять тимчасовий характер.

Крім того, всі працівники зварювальних цехів і працівники, що мають відношення до цих цехів, повинні проходити спеціальний інструктаж, оскільки захворювання очей через ураження променями дуги спостерігається частіше у щойноприйнятих на роботу.

На видних місцях у зварювальних цехах та відділеннях необхідно мати плакати з написами: «Бережи очі від світла електричної дуги», «Не дивись на електричну дугу, це призводить до захворювання очей», «Дивися на електричну дугу через захисне скло марки ЕС». [15].

4.3 Захист від ураження електричним струмом

Незважаючи на порівняно низьку напругу джерел зварювального струму при електродуговому зварюванні, можливе ураження працюючих електричним струмом. При цьому ураження може бути навіть смертельним. У зв'язку з цим при електродуговому зварюванні необхідно суворо дотримуватися правил техніки безпеки щодо захисту від ураження електричним струмом.

Основні пункти цих правил такі: [15]

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		50

1. Зварювальні дроти на всій довжині повинні мати надійну ізоляцію. Їхнє приєднання до контактних болтів клемних дощок джерел зварювального струму необхідно проводити за допомогою наконечників.

2. Електродотримач має бути забезпечений ізолюваною рукояткою. Місце кріплення зварювального дроту до тримача також має бути надійно ізолюваним. Особливо ретельно слід ізолювати частини електродотримача під час роботи у важкодоступних, а також у сирих місцях та при підвищеній температурі навколишнього повітря.

3. Корпус зварювальної машини та кожух зварювального джерела живлення повинні бути підключені до загальної мережі заземлення мідним дротом перерізом не менше 6 мм² або сталевую шиною перерізом не менше 12 мм². Крім того, у зварювального трансформатора кожух повинен бути з'єднаний з магнітопроводом мідною шиною перерізом не менше 6 мм². Мідна шина до магнітопроводу кріпиться паянням м'яким припоєм. До кожуха трансформатора шина кріпиться болтом для заземлення.

4. Електрозварювальник не повинен самостійно проводити приєднання зварювальної установки до силової мережі, встановлення плавких вставок на щиті силової мережі, відключати зварювальну установку від мережі, а також проводити ремонт підключеної до мережі установки. Всі ці роботи повинні виконуватись електриками з дотриманням загальних електротехнічних правил для силових установок.

5. Спецодяг електрозварювальника повинен бути сухим та справним. Куртка, штани, фартух та рукавиці повинні бути з брезенту або сукна. Черевики чи шкіряні чоботи повинні мати шкіряну підошву, прикріплену дерев'яними цвяхами. Гумові підошви черевиків та чобіт мають бути приклеєні шляхом гарячої вулканізації або клеєм.

6. Під час роботи електрозварювальник повинен знаходитися на гумовому килимку, сухих дерев'яних дошках, сухому азбесті або іншій ізоляційній підкладці.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		51

7. При роботі в сухих приміщеннях лампи місцевого електричного освітлення повинні живитися струмом з напругою не вище 36 В, а в сирих приміщеннях і закритих посудинах не вище 12 В.

8. При роботах в резервуарах, штольнях, коробках та інших важкодоступних місцях електрозварювальник повинен мати помічника. Помічник у разі ураження електрозварювальника струмом вимикає зварювальну установку та надає постраждалому першу допомогу.

9. При сильному ураженні електричним струмом, коли потерпілий не подає ознак життя, необхідно до приходу лікаря робити штучне дихання доти, доки постраждалий не прийде до тями. Для цього потерпілого укладають на спину, під лопатки підкладають м'яку підкладку так, щоб голова була трохи нижчою за тулуб. Комір, пояс мають бути розстебнуті, рота розкрито, язик витягнутий. При цьому щелепи необхідно розтиснути шматком дерева, дерев'яною рукояткою інструменту, шматком текстоліту. Після цього надаючи допомогу стає з боку голови потерпілого, бере руки поблизу ліктів, відводить їх назад і в цьому положенні утримує 2-3 секунди (вдих). Потім руки відводять до грудей, притискають до них, витримують у цьому положенні 2-3 секунди (видих), знову відводять назад, повторюючи ритмічно вказані рухи. Виконання зазначених вище пунктів правил техніки безпеки дозволяє захистити працюючих від ураження електричним струмом. При зварювальних роботах необхідно завжди пам'ятати, що напруга зварювального кола (особливо при холостому ході) небезпечна для життя людини. Ця небезпека зростає у рази, коли шкіра людини волога чи пошкоджена. [15]

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес складання та зварювання ферми. У запропонованій технології виготовлення ферми застосовано спеціалізований кондуктор для складання елементів ферми та двостійковий кантувач для обертання бокових віток та діфрагм ферми.

Для зварювання складових частин ферми обрано напівавтоматичне зварювання в середовищі суміші захисних газів зварювальним напівавтоматом FRONIUS VR3300.

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи було вирішено такі завдання:

- обґрунтовано зварюваність матеріалу та технологічність конструкції зварної ферми;
- обраний спосіб зварювання;
- виконано обґрунтований підбір зварювальних матеріалів та обладнання;
- здійснено розрахунок кількості основного та зварювальних матеріалів, необхідних для виготовлення ферми;
- визначено послідовність виконання зварних швів ферми;
- розроблено план ділянки цеху для виготовлення ферми.

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробництво зварних конструкцій: Практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,59 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 114 с.
2. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник / Г.О.Кривов, К.О.Зворикін. - К.: КВІЦ, 2012. - 896 с.
3. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва: Практичні заняття [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,27 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 87 с.
4. Матвієнків О. М. Виробництво зварних конструкцій: лаб. практикум / О.М. Матвієнків, Р.Т. Біщак. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024. - 60 с.
5. Матвієнків О.М. Виробництво зварних конструкцій: курсове проектування / О.М. Матвієнків, Р.Т. Біщак. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. - 24 с.
6. Біщак Р.Т. Виробництво зварних конструкцій: методичні вказівки для самостійної роботи / Р.Т. Біщак. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 33 с.
Матвієнків О.М. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва [Текст]: практикум / О. М. Матвієнків. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. – 58 с.
7. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014 (EN ISO 9692-1:2013, IDT) Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей. [Чинний від 2015-07-01].

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		54

Вид. офіц. Київ : ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2014. 15 с.

8. Зворикін, К. О. Виробництво зварних конструкцій. Модуль 2. Курсова робота: рекомендації до виконання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ.

спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні» / К. О. Зворикін, В. О. Гаєвський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 66 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51231>.

9. Хвалько О. Електрозварювання. - Львів, Видавництво "Світ", 2019. - 288 с.

Величко Г. Технологія зварювання. - Київ, Видавництво "Видавничий дім "Університетська книга", 2016. - 352 с.

10. Ігнатенко І. Зварювальні роботи: технологія і організація. - Харків, Видавництво "Основа", 2018. - 416 с.

11. Марчук В. Зварювання металоконструкцій. - Київ, Видавництво "Техніка", 2013. - 288 с.

12. Жуков О. Зварювання та контроль якості зварювання. - Київ, Видавництво "Логос", 2011. - 352 с.

13. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст]: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.

14. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240 с.

15. Охорона праці та цивільний захист: Курс лекцій для студентів зварювальних спеціалізацій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій: «Технології та інжиніринг у зварюванні», «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні», «Споріднені технології зварювання та ресурсозбереження»/ О. Г. Левченко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,84 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 370 с.

					КРБ.ЗТ-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		55

ДОДАТКИ

					КРБ.3Т-58.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		56