

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

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

Кафедра зварювального виробництва

«На правах рукопису»
УДК 621.791

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему:
«Технологія складання та зварювання модульної ферми»**

Виконав:

студент II курсу, групи НЗ–41мп
Пюра Максим Сергійович

Керівник:

Старший викладач, PhD
Лисак Володимир Валерійович

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях:
Зав.каф., д.т.н., професор,
Левченко Олег Григорович

Консультант з розроблення стартап-проєкту:
Доцент, к.е.н., доц.,
Нараєвський Сергій Вікторович

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доц.,
Блощинин Михайло Сергійович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

**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 – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Пюрі Максиму Сергійовичу

1. Тема дисертації «Технологія складання та зварювання модульної ферми»

науковий керівник Лисак Володимир Валерійович, старший викладач, PhD,
затверджені наказом по університету від «03» 11 2025 р. № 4748 – с .

2. Термін подання студентом дисертації _____ 15 грудня 2025 р.

3. Об'єкт дослідження – технологічний процес складання та зварювання модульної ферми.

4. Вихідні дані: креслення загального виду захвату підйомника; матеріал зварного виробу – алюмінієвий сплав EN AW-6082 T6 за EN 573-3:2013 та EN 485-2:2013; умови виготовлення – цехові; температура експлуатації – від -30 °C до +50 °C; тип виробництва – дрібносерійне; кількість виготовлення – 100 одиниць на рік.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Виконати конструктивно-технологічний аналіз зварного виробу; охарактеризувати призначення, технічні вимоги, структуру виробу та умови експлуатації; надати характеристику зварних з'єднань і основного матеріалу; врахувати умови виготовлення і обґрунтовано призначити спосіб зварювання плавленням; виконати вибір розкриття крайок зварних з'єднань; розрахувати параметри режиму зварювання; обґрунтувати вибір зварювальних матеріалів; вибрати зварювальне устаткування загального призначення. 2. Розробити технологічний процес виготовлення зварного виробу на основі визначення вихідних даних для проектування технологічних процесів виготовлення зварного виробу: визначити тип зварної конструкції; порівняти базовий із запропонованим власним варіантами розчленування зварної конструкції на складальні одиниці та деталі; розробити технологічні процеси виготовлення заготовок і деталей зварного виробу; визначити базовий і власний варіанти складально-зварювальних технологічних процесів виготовлення зварного виробу; обґрунтувати вибір раціонального варіанту технологічного процесу виготовлення зварного виробу; виконати оформлення документації робочого технологічного процесу складання-зварювання заданого виробу; призначити спосіб контролю якості зварних з'єднань. 3. Розробити засоби технологічного спорядження складально-зварювальних технологічних процесів виготовлення зварного виробу на основі вихідних даних для розроблення засобів технологічного спорядження; спроектувати конструкцію складально-зварювального оснащення. 4. Розробити і спланувати виробничу дільницю складання-зварювання: визначення вихідних даних для розроблення і планування дільниці; Сформулювати загальні висновки до технологічного розділу проекту. 5. Виконати розробку стартап-проекту для впровадження розробленої технології складання-зварювання виробу. 6. Проаналізувати небезпечні фактори і розробити заходи з охорони праці на виробництві.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

1. Креслення модульної ферми (A1x1); 2. Схема технологічного процесу виготовлення модульної ферми (A1x1); 3. Креслення стенду для складання та зварювання підвузла С–1.1 (A1x1); 4. Креслення стенду для складання та зварювання вузла С–2 (A1x1); 5. Креслення пристрою зі спеціалізованою рамою для складання та зварювання модульної ферми (A1x1); 6. Креслення установки для зварювання модульної ферми (A1x1); 7. Схема технологічної послідовності складання-зварювання модульної ферми (A1x1); 8. План виробничої дільниці складання-зварювання модульної ферми (A1x1).

7. Орієнтовний перелік публікацій: Лисак В.В., Пюра М.С. Сучасні методи проектування складально-зварювального оснащення, інструменти та прикладна реалізація // Вісімнадцята міжнародна міжгалузева науково-технічна конференція студентів, аспірантів та наукових співробітників «Зварювання та споріднені процеси і технології», 17 – 18 червня 2025 р. – С.28.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Нараєвський С.В., к.е.н., доц.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., зав. каф.		

9. Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Систематизація і обробка матеріалів	05 листопада 2025 р.	
2	Розробка проектної частини	20 листопада 2025 р.	
3	Збір додаткових матеріалів	26 листопада 2025 р.	
4	Оформлення графічного матеріалу	01 грудня 2025 р.	
5	Літературна обробка і остаточне оформлення пояснювальної записки	15 грудня 2025 р.	

Студент _____

Максим ПЮРА

Науковий керівник _____

Володимир ЛИСАК

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 181 сторінка; 51 таблиця; 52 рисунок; 60 формул; 70 літературних джерел.

МОДУЛЬ, ФЕРМА, EN AW-6082 T6; DP-GMAW, ВУЗОЛ, СКЛАДАННЯ, ЗВАРЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення модульної ферми з алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6.

Предмет дослідження: методи та технологічні параметри зварювання, процеси складання та зварювання, термічної обробки та застосування оснащення при виготовленні модульної ферми, а також їх вплив на якість та геометричну точність конструкції.

Мета роботи: розробити ефективний технологічний процес виготовлення модульної ферми з алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6, який забезпечує високу якість зварних з'єднань, мінімальні деформації, задану геометрію конструкції та часткове відновлення механічних властивостей після зварювання.

Методи дослідження:

- аналіз властивостей матеріалу EN AW-6082 T6 та його поведінки під час зварювання;
- оцінка та порівняння зварювальних процесів, вибір оптимального методу зварювання, аналіз зварних швів конструкції;
- аналіз формоутворення деталей та підготовки їх під зварювання;
- оцінка ієрархічних побудов складання та зварювання модульної ферми;
- визначення необхідного складально – зварювального спорядження;
- аналіз можливостей виходу на ринок;
- визначення небезпечних виробничих факторів.

ABSTRACT

Master's Thesis: 181 pages; 51 tables; 52 figures; 60 formulas; 70 literary sources.

MODULE, TRUSS, EN AW-6082 T6, DP-GMAW, ASSEMBLY UNIT, ASSEMBLY, WELDING, TECHNOLOGY.

Object of the research: the technological process of manufacturing a modular truss made of EN AW-6082 T6 aluminum alloy.

Subject of the research: the welding methods and technological parameters, assembly and welding processes, heat treatment, and the use of tooling during the manufacture of the modular truss, as well as their influence on the quality and geometric accuracy of the structure.

Purpose of the work: to develop an effective technological process for manufacturing a modular truss made of EN AW-6082 T6 aluminum alloy, ensuring high quality of welded joints, minimal deformation, the required geometry of the structure, and partial restoration of mechanical properties after welding.

Research methods:

- analysis of the properties of EN AW-6082 T6 and its behavior during welding;
- evaluation and comparison of welding processes, selection of the optimal welding method, analysis of welds within the structure;
- analysis of the forming of parts and their preparation for welding;
- evaluation of hierarchical assembly and welding sequences of the modular truss;
- determination of the required assembly and welding tooling;
- analysis of market entry opportunities;
- identification of hazardous production factors.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ	12
1.1. Конструкторсько–технологічний аналіз зварного виробу.....	12
1.1.1. Опис конструкції виробу та ТУ на виготовлення.....	12
1.1.2. Характеристика металу зварної конструкції.....	14
1.1.3. Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин.....	18
1.1.4. Загальні складнощі зварювання алюмінієвого сплаву EN AW – 6082 T6.....	19
1.1.5. Складальні одиниці елемента модульної ферми.....	21
1.1.6. Характеристика зварних з'єднань.....	21
1.1.7. Умови виготовлення.....	22
1.2. Вибір типових способів зварювання.....	23
1.3. Вибір швів для зварювання способом 131 MIG (DP – GMAW).....	31
1.4. Вибір зварювальних матеріалів.....	35
1.5. Розрахунок режимів зварювання.....	38
2. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ	46
2.1. Загальний опис базового процесу виготовлення зварного виробу.....	46
2.2. Варіанти інженерних рішень стосовно технології складання та зварювання виробу.....	49

					<i>НЗ–11мп.08.00.000пз</i>		
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Технологія складання та зварювання модульної ферми</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Піра М.С.</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Лисак В.В.</i>						
<i>Н. контр.</i>	<i>Лисак В.В.</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Квасницький В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> <i>НН ІМЗ ім. Є.О. Патона</i>		
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						6	171

2.2.1.	Варіанти розчленування зварної конструкції виробу на складальні одиниці та деталі. Технологічні блок схеми розчленувань та оцінка технологічності складально–зварювального виробництва за кожним із наведених варіантів.....	49
2.2.2.	Визначення остаточного варіанту технологічного процесу складального виробництва.....	53
2.2.3.	Детальний опис операцій складання та зварювання конструкції модульної ферми.....	53
2.3.	Вибір конструктивних матеріалів.....	64
2.4.	Вибір виробничих технологій та визначення характеристик виробничого устаткування заготівельного виробництва.....	65
2.5.	Призначення методів та засобів обробки для деталей перед зварюванням та після зварювальної обробки.....	66
2.6.	Розробка управління якості виготовлення конструкції та призначення способів контролю якості зварних з'єднань модульної ферми.....	73
2.7.	Розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок і деталей зварного виробу.....	78
2.8.	Схеми технологічних процесів формоутворення деталей конструкції.....	79
2.9.	Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки.....	80
3.	РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ.....	82
3.1.	Технічні вимоги щодо оснастки.....	82
3.2.	Вибір технологічних баз та схема базування деталей та вузлів.....	84
3.3.	Розробка принципової схеми пристрою.....	87
3.4.	Розрахунок складально зварювального оснащення.....	90

3.4.1. Розрахунок сил притиску для закріплення деталей підвузла С – 1.1. та вузла С – 1.....	90
3.4.2. Розрахунок сил притиску для закріплення деталей вузла С – 2..	92
3.4.3. Розрахунок сил притиску для закріплення вузлів С – 1 та С – 2.	93
3.5. Проектний розрахунок притискачів.....	95
3.6. Проектний розрахунок упорів.....	101
3.7. Розрахунок двостоякового кантувача.....	103
3.8. Компонування складально–зварювального пристрою.....	111
3.9. Опис роботи складально–зварювального пристрою.....	112
3.10. Вибір зварювального устаткування для виготовлення виробу....	113
4. ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ.....	117
4.1. Визначення типу виробництва.....	117
4.2. Визначення кількості обладнання.....	118
4.3. Розрахунок чисельності працюючих складально–зварювального цеху.....	122
4.4. Основні вимоги для планування цеху.....	125
4.5. Визначення запасу матеріалів.....	127
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП–ПРОЕКТУ.....	128
5.1. Опис ідеї проекту.....	128
5.1.1. Аналіз потенційних техніко–економічних переваг.....	129
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	131
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту.....	131
5.3.1. Аналіз попиту.....	132
5.3.2. Визначення потенційних груп клієнтів.....	132
5.3.3. Аналіз ринкового середовища.....	133
5.3.4. Аналіз пропозиції.....	134
5.3.5. Детальний аналіз умов конкуренції.....	136
5.3.6. Перелік факторів конкурентоспроможності.....	137
5.3.7. Аналіз сильних та слабких сторін стартап–проекту.....	138
5.3.8. Складання SWOT – аналізу.....	138

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

5.4.	Розроблення ринкової стратегії проекту.....	140
5.4.1.	Розроблення ринкової стратегії.....	140
5.4.2.	Базова стратегія розвитку.....	141
5.4.3.	Вибір стратегії конкурентної поведінки.....	141
5.4.4.	Стратегія позиціонування.....	142
5.5.	Розроблення маркетингової програми стартап–проекту.....	143
5.5.1.	Формування маркетингової концепції товару.....	143
5.5.2.	Трирівнева маркетингова модель товару.....	144
5.5.3.	Визначення цінових меж.....	144
5.5.4.	Визначення найпривабливішої системи збуту.....	145
5.5.5.	Розроблення концепції маркетингової комунікації.....	146
6.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	147
6.1.	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	148
6.1.1.	Шкідливі виробничі фактори.....	149
6.1.2.	Небезпечні фактори.....	151
6.2.	Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання.....	153
6.3.	Розрахунок інженерного рішення.....	158
6.3.1.	Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією.....	158
6.4.	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	160
6.4.1.	Пожежна безпека.....	160
6.4.2.	Надзвичайні ситуації.....	161
	ВИСНОВКИ.....	163
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	165
	ДОДАТКИ.....	176

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

РА – нижнє положення;

РВ – горизонтально–вертикальне положення;

РС – горизонтальне положення;

РD – горизонтально–стельове положення;

РЕ – стельове положення;

РF – вертикальне положення знизу до верху;

РG – вертикальне положення знизу до верху;

111 – ручне дугове зварювання покритим електродом;

121 – дугове зварювання під флюсом дротяним електродом;

125 – дугове зварювання під флюсом порошковим дротом;

131 – дугове зварювання металевим електродом в інертних газах;

135 – дугове зварювання металевим електродом в активних газах;

141 – дугове зварювання вольфрамовим електродом в інертних газах

присадним дротом/прутком суцільного перетину;

142 – дугове зварювання вольфрамовим електродом, що не плавиться (без присадного матеріалу), в інертних газах;

15 – плазмове зварювання;

311 – газове зварювання;

ЗТВ – зона термічного впливу;

ТР – тепловий імпульс;

ТВ – теплова база;

УФ – ультрафіолетове випромінювання.

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

ВСТУП

Сучасне будівництво та машинобудування характеризуються пошуком інноваційних, ефективних та екологічно стійких рішень. Однією з таких тенденцій є широке використання модульних конструкцій, зокрема просторових ферм, які поєднують у собі високу питому міцність, конструктивну універсальність та економічність. Вони знаходять застосування в різних галузях: від будівництва спортивних комплексів, торгових центрів і виставкових павільйонів до авіабудування, суднобудування, ремонтно–відновлювальних робіт та створення каркасів спеціалізованого обладнання.

Важливим етапом виробництва таких конструкцій є технологія їх складання та зварювання, де зварювання відіграє ключову роль. Зварювання – це економічно вигідний, високопродуктивний і надійний технологічний процес, що дозволяє створювати легкі та міцні нероз'ємні з'єднання.

Метою даної дипломної роботи є розробка прогресивної технології складання та зварювання модульної ферми, яка виготовляється з алюмінієвого сплаву EN AW – 6082 T6. Відповідно необхідно провести забезпечення високої якості зварних з'єднань, мінімізації деформацій, досягнення максимальної економічної ефективності та підвищення продуктивності виробництва при дотриманні всіх технічних умов.

Для досягнення поставленої мети в роботі було виконано комплексне дослідження, яке включає аналіз властивостей матеріалу, вибір та обґрунтування оптимального методу зварювання, розробку технологічного процесу складання та зварювання, а також розрахунок та проектування складально зварювального оснащення. Результатом проведеної роботи є повна технологічна документація, що забезпечує виготовлення заданого елемента конструкції з мінімальними витратами ресурсів та високими експлуатаційними характеристиками.

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

1 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

1.1 Конструкторсько – технологічний аналіз зварного виробу

1.1.1 Опис конструкції виробу та ТУ на виготовлення

Розроблювана модульна ферма є базовим та водночас складовим елементом просторової модульної ферми [3]. Зварний виріб формує собою такі складові елементи ферми, які безпосередньо сприймають навантаження (колони, балки перекриття, розкоси). Загалом виріб призначений для забезпечення жорсткого та надійного з'єднання двох і більше елементів між собою. Його конструкція дозволяє формувати стабільну тривимірну каркасну систему, що сприймає значні статичні та динамічні навантаження. Також вузол часто виконує функцію опорного елементу (башмака) для кріплення всієї фермової конструкції до фундаменту.

Модульна ферма являє собою зварну конструкцію, яка складається з наступних складових елементів які з'єднанні між собою за допомогою зварювання: стійка, стрижень, фланець, розкос.

Загальний вигляд модульної ферми представлено на (рис. 1).

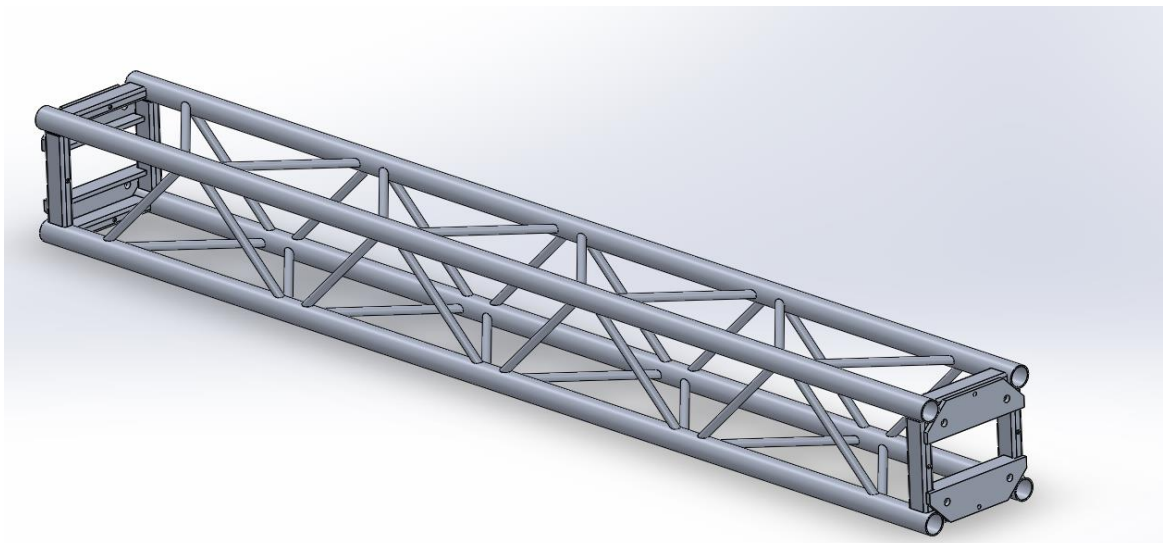


Рисунок 1 – Загальний вигляд модульної ферми

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

Матеріалом для виготовлення конструкції є алюмінієвий сплав EN AW-6082 T6 [1] аналогом якого є за ISO 6361 AlSi1MgMn [2].

Габаритні розміри виробу: довжина – 2500 мм; ширина – 300 мм; висота – 300 мм; маса виробу 19,9 кг.

Зварна конструкція складається з наступних позицій (рис. 2):

1. Стійка – 4шт;
2. Стрижень – 8 шт;
3. Фланець – 4 шт;
4. Розкос – 32 шт.

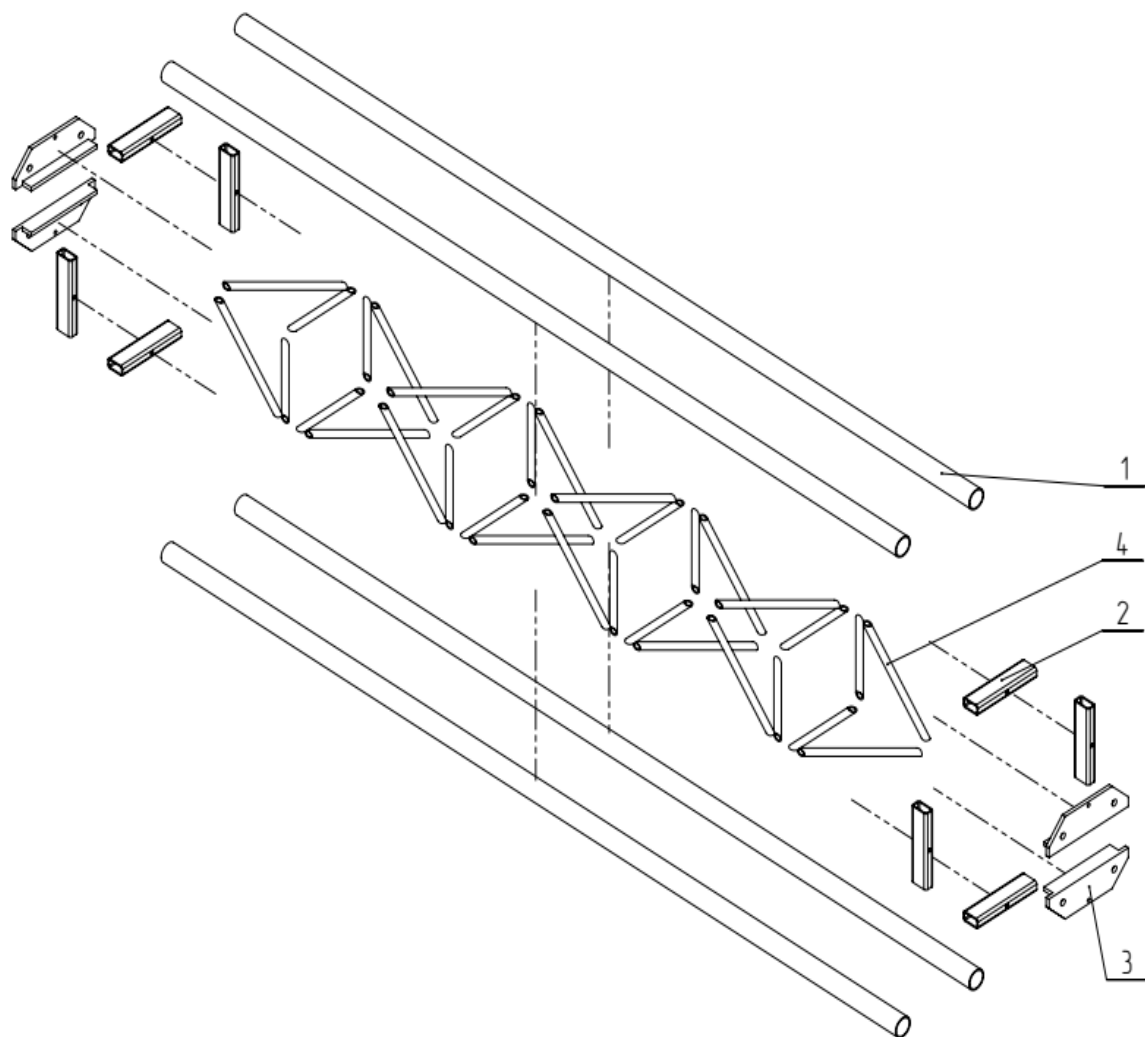


Рисунок 2 – Склад зварного виробу

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

Загалом виріб експлуатується в умовах відкритого повітря з тривалим впливом атмосферних опадів, коливань температури та постійного впливу сонячних променів, в залежності від виду та призначення просторової ферми.

Фермові конструкції, на базі таких вузлів, використовуються для спорудження перекриттів, навісів, оглядових майданчиків, сценічних конструкцій та інших об'єктів цивільного та промислового призначення в районах з помірним кліматом.

Температура експлуатації виробу коливається в межах від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Основним видом навантаження є знакозмінне статичне і динамічне навантаження на зріз і розтяг у площині кріплення болтів, а також згинальні моменти які утворюються в результаті кріплення до колон та балок перекриття.

Отже висновок наступний, розроблювана зварна конструкція, являє собою об'ємний каркас прямокутної форми, із набором елементів які формують необхідну жорсткість. Велика кількість зварних швів, невеликими за довжиною, потребують застосувати для її виготовлення наступне зварювальне оснащення: кантувачі, обертачі, позиціонери, зварювальні столи, підйомні пристрої (крани, лебідки, домкрати, маніпулятори), фіксуючі пристрої (притискачі, упори, призми).

1.1.2 Характеристика металу зварної конструкції

Матеріалом для виготовлення виробу є алюмінієвий сплав EN AW-6082 T6 [1] це деформівний алюмінієвий сплав системи Al-Mg-Si з марганцем.

Сплав EN AW-6082 – це високоміцний алюмінієвий сплав серії 6000 (AlSi1MgMn) з підвищеною міцністю та гарною корозійною стійкістю. Він відзначається дрібнозернистою структурою та високою динамічною міцністю під навантаженням [5]. Сплав 6082 має найвищу міцність серед алюмінієвих сплавів бxxx серії [6] і часто використовується у відповідальних конструкціях – від балок і риштувань до частин транспортних засобів і морських конструкцій.

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

Наприклад, стандартні області застосування включають риштування, несучі балки, салазки сидінь, рами та кузовні елементи авто та залізничних вагонів [7]. Завдяки легуванню марганцем сплав має поліпшену в'язкість, але поверхня екструзії може бути трохи грубішою, ніж у інших сплавів подібної міцності [6]. EN AW-6082 сертифікований для морського застосування та добре витримує вплив морської атмосфери [5]. Сплав EN AW-6082 піддається термічному загартуванню.

Хімічний склад сплаву наведено в таблиці 1. Механічні властивості наведено в таблиці 2. Фізичні властивості наведено в таблиці 3. Найближчі аналоги сплаву наведено в таблиці 4.

Таблиця 1 – Хімічний склад сплаву EN AW-6082 T6 [4]

Хімічний склад у %, алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6									
Mg	Mn	Fe, max	Cr, max	Cu, max	Si	Ti, max	Zn, max	Інші елементи	Al
0.60 – 1.20	0.40 – 1.00	0,5	0,25	0,10	0.70 – 1.30	0,10	0,2	0,0002 – 0,005	Решта

Таблиця 2 – Механічні властивості сплаву EN AW-6082 T6 [4]

Межа міцності (тимчасовий опір розриву), мін., σ_b , МПа	310
Межа текучості, мін., $\sigma_{0,2}$, МПа	260
Відносне подовження, мін., %	6
Твердість по Бринеллю, HB макс.	90

Таблиця 3 – Фізичні властивості алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6 [4]

Теплове розширення (20–100 градус) мкм/м·К	Діапазон температур плавлення (градус)	Електропровідність, 20 градусів (68°F) (відсоток IACS)	Питомий електричний опір, 20 градусів (68°F) $\Omega\text{mm}^2/\text{м}$	Щільність, (20 градусів) (г/см ³)
23.5	621–654	57	0.0302	2.8

Таблиця 4 – Найближчі аналоги сплаву EN AW-6082 T6 [2]

Міжнародний стандарт (ISO)	Америка (ASTM) (UNS)	Англія (BS) (HS)	Німеччина (WNR)	Канада (CSA)	Італія (UNI)
AlSi1MgMn	B209; A96082	L 115; 30	3.2315	GR50R	P-AG5

Також слід відзначити про термічну обробку сплаву, бо саме вона є найголовнішою особливістю. Головні умовні позначення термальних станів для EN AW-6082 включають:

- T6 – це розчинне відпалювання і штучне старіння [8]. Це стандартний стан підвищеної міцності, після нагріву до температури близько від 530 °C до 540 °C і швидкого гартування. Після чого сплав відпрацьовується при температурі ~175 °C протягом кількох годин [9];
- T66 – це також розчинне відпалювання і штучне старіння, але з особливим контролем режиму старіння, що забезпечує ще вищий рівень механічних властивостей порівняно з T6 [8, 7]. Фактично T66 досягається додатковим режимом старіння, тому для сплавів бxxx він забезпечує максимальну твердість і стабільність;

- T4 – це розчинне відпалювання з природним старінням [8]. Має проміжні властивості (нижчі за T6);
- T5 – це загартування від температури гарячого деформування та штучне старіння [8] (застосовують, наприклад, до витягнутих профілів);
- T61 (або T651) – розчинне відпалювання, контрольована механічна деформація та штучне старіння [8]. Використовується для зменшення залишкових напружень після екструзії;
- T7 – це перевитримування для підвищення стійкості до корозійного розтріскування. EN515 також зазначає стани T7, T73, T76 (перевитримування до оптимальної стійкості проти міжкристалітної або ексfolіаційної корозії) [8].

Таким чином, EN AW–6082 T6 означає, що сплав піддали розчинному відпалу з наступним штучним старінням [8]; варіант T66 – це посилений режим старіння для вищої міцності [8]. Інші стани (наприклад, T4, T5, T61/T651, T7) застосовують у залежності від потреби форми, точності та стійкості до корозії. Усі ці позначення описані у стандартах [7, 8].

Також слід зауважити, що після холодної пластичної деформації, такої як прокат або витяжка, пластичність 6082 знижується. У разі зварювання чи локального перегріву зона термічного впливу втрачає напрацьовану міцність, до меж рівня T4, що ускладнює збереження властивостей зварного з'єднання [5]. Для відновлення властивостей сплав потребує післязварювального старіння.

Сплав 6082 має добру загальну корозійну стійкість. Коефіцієнти атмосферної та морської корозії оцінені як клас 2 (1 – дуже добре, 6 – непридатне) [5]. Це означає, що сплав добре протистоїть проникненню води та солі. Високий вміст Cr і Mn покращує стійкість до загальної корозії. Проте при наявності діючих напружень і агресивного середовища можливі прояви розтріскування під напругою, як і у багатьох бxxx–сплавах. Сплав EN AW–6082

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

також добре піддається анодуванню: тверде (жорстке) анодування оцінюється як клас 2 (добре), а кольорове чи яскраве – клас 3 [5].

1.1.3 Оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин

Сплав 6082 містить кремній і залізо, які при неправильному співвідношенні можуть створювати на границях зерен низькотемпературну евтектику. Це може призводити до появи гарячих тріщин у зоні наплав. Щоб запобігти цьому, до складу наплавленого металу часто вводять залізовмісні легувальні елементи (наприклад, дріт AlMg5Cr), щоб пов'язати кремній у стійку структуру (Fe–Si–Al) і запобігти його вільному розчиненню у рідкому металі. Тому для зварювання 6082 рекомендують застосовувати присадочні дроти на основі Al–Mg (наприклад, AlMg5Cr) або Al–Si (наприклад, AlSi5) [5]. Вибір дроту впливає на міцність шва – підбір дроту AlMg5 (тип ER5356) дозволяє отримати шов з міцністю, близькою до базового металу [5].

Оскільки після зварювання твердість і міцність шва та ЗТВ суттєво знижуються, для відновлення властивостей потрібне повторне термічне зміцнення (розчинне відпалювання + старіння). До цього вибір присадкового дроту забезпечує наближення міцності шва до міцності основного металу [5]. Холодні тріщини та розкрихчування зварного шва для 6082 не є типовими дефектами (основною проблемою є перегрів і надлишок водню, а не раптове охолодження).

Сплав EN AW–6082 демонструє гарну стійкість до корозії. Завдяки хімічному складу і пасивній оксидній плівці сплав витримує вплив атмосфери та морського клімату (рейтинг Marine: 2 за класифікацією якості корозійної стійкості [5]). При нормальному використанні міжкристалітна корозія не є критичною проблемою для 6082, однак у деяких випадках, висока температура зварювання, неправильно проведене старіння, наявність легкоплавких фаз, може спостерігатися поява мікротріщин. Для збільшення корозійної стійкості

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

сплав Т6 можна обробляти перевитримуванням Т7, що зменшує напругу в середині зразка або додатковим стрейчингом при виготовленні (стани Т73, Т76 тощо) [8]. Крім того, алюміній 6082 добре піддається анодуванню: наприклад, покриття твердим анодом захищає поверхню краще (якість 2), а яскраве анодування дає гарний естетичний вигляд (якість 3) [5].

EN AW–6082 Т6 застосовується у випадках, коли потрібен високий відносний запас міцності при невеликій вазі. Основні галузі використання: будівельні конструкції (риштування, підмостки), автомобільна та залізнична промисловість (кузовні та шасі–елементи, кріплення, салазки сидінь), суднобудування, авіоніка (легкі несучі конструкції), а також приладобудування і виробництво тари (наприклад, пивні бочки) [6, 7].

1.1.4 Загальні складнощі зварювання алюмінієвого сплаву EN AW–6082 Т6

Сплав EN AW–6082 досить добре піддається зварюванню (зокрема, MIG/GMAW та TIG/GTAW), але при цьому характерні стандартні складнощі зварювання як і для всіх сплавів алюмінію.

Алюміній миттєво покривається тонкою плівкою Al_2O_3 , що має дуже високу температуру плавлення ($\sim 2050^\circ C$) і велику щільність. Ця плівка перешкоджає злиттю металів на шві. Тому перед зварюванням кромки треба ретельно зачищати (піскоструменем, наждачкою чи хімічним травленням) й використовувати флюси, що руйнують або розчиняють оксид [5]. У процесі зварювання з'являється нова оксидна плівка, яку також видаляють дуговим розпиленням або спеціальними флюсами.

При високому нагріванні сплав різко втрачає міцність, і як наслідок може відбуватися провалювання під дією ваги шва. Наприклад, під час зварювання однорідного шва без підкладки розплавлений метал може провалюватися через рідкотекучість розплаву. Крім того, через нагрів міцність у зоні термічного впливу знижується до рівня, близького до відпаленого (Т4). Згідно з даними

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

виробника, після зварювання міцність в зоні шва зменшується приблизно на 50 % від вихідної [5, 6, 7]. Тому для збереження міцності рекомендується використання формувальних підкладок (графітові або сталеві стільники) під шов при одношаровому зварюванні.

Алюміній має вищий коефіцієнт розширення ($\approx 23 \cdot 10^{-6}/K$) і низький модуль пружності, тому після нагрівання й охолодження легко відбувається вигинання й короблення тонких деталей. Для цього використовують жорстке фіксування деталей (затискачі, упори) та повільне охолодження. Висока теплопровідність алюмінію також забирає тепло з місця зварювання, тому джерело тепла повинно бути потужним.

У розплаві алюмінію легко розчиняється водень, який при охолодженні утворює пори. Хоча оксидна плівка перешкоджає виходу водню, його залишкова присутність може спричинити інтенсивну пористість у шві. Щоб мінімізувати пори, дріт для зварювання і основний метал потрібно ретельно знежирювати та очищати перед зварюванням. Ускладнює процес також і те, що зварювальна ванна майже не змінює кольору, тож контролювати тепло під час зварювання складно.

Алюміній швидко відводить тепло, тому часто потрібні підсилені джерела тепла. Іноді перед зварюванням рекомендується попередній підігрів кромки від 120 °C до 150 °C, аби уникнути тріщин і перепадів температур. Після зварювання бажано повільне охолодження, щоб зменшити теплові напруження.

						Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.5 Складальні одиниці елементу модульної ферми

Модульна ферма, складається з наступних деталей (рисунок 2):

- стійка (4 шт.), загальною масою 11,738 кг, поз. 1;
- стрижень (8 шт.), загальною масою 2,134 кг, поз. 2;
- фланець (4 шт.), загальною масою 2,631 кг, поз. 3;
- розкос (32 шт.), загальною масою 3,401 кг, поз. 4.

У наведеній конструкції слід застосувати декомпозицію на декілька вузлів, із послідовним приєднанням до них з'єднувальних деталей.

1.1.6 Характеристика зварних з'єднань

У виробі представлені зварні з'єднання трьох типів: стикове, кутове та таврове. Зварні з'єднання зазнають як статичні так і динамічні навантаження від зовнішніх сил, які діють на виріб. Всі з'єднання слід віднести до відповідальних. За конфігурацією з'єднання відносяться як до прямолінійних так і в переважній більшості до криволінійних (кільцевих). За протяжністю з'єднання, відносяться до коротких ($l < 500$ мм). Доступність до зварювання складових вузлів зварної конструкції обмежена. Так як в ході виконання складання та з'єднання вузлів модульної ферми, необхідне кантування конструкції для виконання повного зварювання деталей та виконання монтажних швів. На етапі збирання та зварювання вузлів, також є обмеження в доступності швів. Вказані обмеження ґрунтуються на особливості зварної конструкції. Саме через її відносно невеликий поперечний переріз та великої кількості деталей розкоси – поз. 4 (32 шт.) які і формують об'ємну конструкцію та є головними елементами у розподіленні навантаження яке сприймає модульна ферма.

Зважаючи на велику кількість зварних з'єднань відомості про них надано у таблиці 5.

						Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5 – Загальні відомості про зварні шви

№ з'єднання	Вид з'єднання	Товщина металу, мм	Протяжність з'єднання, м	Кількість з'єднань	Конфігурація з'єднання	Доступність
1	Кутове	10;3	0,160	4	прямолінійне	Без обмежень
2	Кутове	10;3	0,025	8	прямолінійне	Без обмежень
3	Кутове	10;3	0,03	8	прямолінійне	Без обмежень
4	Таврове	10;3	0,03	8	прямолінійне	Без обмежень
5	Таврове	3;3	0,069	64	криволінійне	Обмежено
6	Кутове	3;3	0,05	24	прямолінійне	Обмежено
7	Таврове	3;3	0,04	16	криволінійне	Без обмежень

1.1.7 Умови виготовлення

Зварний виріб виготовляється серійно в заводських умовах. Кількість – 100 одиниць на рік. Невеликий об'єм виробництва і наявність у конструкції великої кількості коротких та водночас важкодоступних швів, застосування та впровадження автоматизації є нераціональним способом вирішення завдання. Із врахуванням відомості про шви таблиця 5 та габарити конструкції ДхШхВ 2500 мм х 300 мм х 300 мм, а також із врахуванням ваги виробу 19,9 кг, Конструкція потребує використання складально-зварювального оснащення у вигляді зварювальних столів, кантувачів, підйомних пристроїв, а також використання різних за конфігурацією притискачів та упорів.

1.2 Вибір типових способів зварювання

Модульна ферма, виготовлена із алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 [1] аналогом якого є за ISO AlSi1MgMn [2]. Сплав відноситься до групи деформівних алюмінієвих сплавів системи Al–Mg–Si з марганцем. Зварювання наведеного сплаву проходить із певними обмеженнями, які переважно стосуються до підготовки перед зварюванням, та в процесі зварювання. Для цього сплаву на основі алюмінію (Al), згідно з таблицею 6, пропонуються наступні типові способи зварювання:

Таблиця 6 – Вибір способу зварювання [10]

№	Група матеріалів	Типові способи зварювання									
		Плавким електродом					Неплавким електродом				
		111 MMA	135 MAG	131 MIG	121 SAW	ESW	311 OFW	141 TIG	PAW	EBW	LBW
6	Al	(+)		+	(+)	(+)	(+)	++	+	+	+

Примітка. “++” - рекомендуються переважно, “+” - рекомендуються, “(+)” - рекомендуються обмежено, “-” - не рекомендуються.

Відомо, що алюміній є хімічно активним матеріалом, тому застосування такого способу зварювання як 135 MAG є недоречним. При кімнатній температурі алюміній не взаємодіє із вуглекислим газом, оскільки має на поверхні захисну оксидну плівку, яка є стійкою до зовнішніх чинників. Але під час нагріву від 600 °C до 800 °C, оксидна плівка починає руйнуватись, а під впливом активного захисного газу CO₂, захисна оксидна плівка алюмінію самооновлюється. Враховуючи ці умови, недоречним буде також застосування газового зварювання 311 OFW.

Також слід зауважити, що сплав EN AW–6082 T6 не відноситься за своїми властивостями до тугоплавких матеріалів і тому такі способи зварювання із високовартісним обладнанням та великою густиною енергії: плазмове (PAW), електронно–променеве (EBW) та лазерне (LBW), застосовувати недоречно, а подекуди небезпечно через здатність алюмінію до відбивання електронних хвиль.

Для подальшого аналізу, під питанням залишаються наступні способи зварювання, а саме: ручне дугове (111 MMA), в сумішах газів (131 MIG), під флюсом (121 SAW), електрошлакове (ESW) та аргонодугове (141 TIG).

Оцінимо наступну можливість застосування вище перерахованих способів зварювання, за їх глибиною проплавлення (таблиця 7), спираючись на товщину деталей (таблиця 5).

Таблиця 7 – Вибір способу зварювання за товщиною зварюваного металу [10]

Кількість проходів	Діапазон товщин металу, зварюваного типовим способом зварювання, мм									
	Плавким електродом					Неплавким електродом				
	111 MMA	135 MAG	131 MIG	121 SAW	ESW	311 OFW	141 TIG	PAW	EBW	LBW
Один	1..4	0.8..8	0.8..8	2..20	16..500	0.2..8	0.5..4	0.1..12	0.01..300	0.001..3(60)
Два	6	14	12	40	-	15	6	20	-	-
Багато	175	120	120	160	-	-	20	-	-	-

Із упевненістю можна зауважити, що електрошлакове зварювання (ESW), не буде застосовуватись через мінімальну товщину зварювання деталей (16 мм). Також застосування зварювання способом 121 SAW, буде нераціональним через те, що наведений спосіб застосовується лише для швів

які мають протяжність від 300 мм до 400 мм, та є лінійними, або криволінійними у вигляді труб які мають діаметр не менше від 300 мм до 350 мм.

В ході аналізу отримали наступні способи зварювання: зварювання плавким електродом (111 ММА) (однопрохідне зварювання). Зварювання плавким дротяним електродом в середовищі сумішей інертних газів (131 MIG) (однопрохідне зварювання), та зварювання неплавким електродом в середовищі інертних газів (141 TIG) (однопрохідне зварювання). Зважаючи на те, що кількість проходів є рівною між способами, слід зважати в отриманій ситуації на якість отримання зварного з'єднання. Зварювання алюмінію та його сплавів способом (111 ММА), застосовують переважно тоді, коли немає доступу до аргонодугового обладнання. Застосовують наведений спосіб в переважній більшості для усунення тріщин у відливах (корпуси насосів, двигунів, редукторів), а також відновлення товстих деталей, де не так критична рівномірність шва.

Із попередніх висновків було визначено наступні способи зварювання, це зварювання плавким дротяним електродом в середовищі сумішей інертних газів (131 MIG) та зварювання неплавким електродом в середовищі інертних газів (141 TIG).

Оглянемо наведені способи за продуктивністю зварювання. Спосіб (131 MIG) має більшу продуктивність ніж у спосіб (141 TIG). Це зумовлено особливістю виконання зварювального процесу.

У способі (131 MIG) в якості електроду використовується дріт, який подається автоматично з котушки. Між дротом і деталлю горить дуга, що розплавляє і дріт, і основний метал. Зона зварювання захищається інертним газом (аргон, гелій або їх суміш), щоб уникнути окиснення. Спосіб зварювання (131 MIG) є механізованим та легко піддається автоматизації процесу, що значно збільшує продуктивність.

У способі (141 TIG) в якості електроду використовується неплавкий вольфрамовий електрод, який створює дугу між собою та деталлю.

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

Метал зварюється за рахунок тепла дуги, а додатковий присадний матеріал (дріт) може подаватися вручну або автоматично. В разі автоматичного подавання дроту слід відзначити, що використовується наведений варіант переважно для зварювання великогабаритних конструкцій. Тобто де є зварні шви більше ніж 1000 мм. Зона зварювання захищається інертним газом (переважно чистим аргоном, іноді з домішками гелію), що повністю ізолює розплав від окиснення. Процес відрізняється високою стабільністю дуги та чистотою шва, що робить його найбільш привабливим для застосування в процесі виготовлення високо відповідальних конструкцій.

Продовжуючи аналіз, враховуємо наступний фактор – положення при зварюванні. Для переважної більшості зварних з'єднань конструкції, характерне положення за ISO 6947–PB, як для труб так і для пластин. Загалом наведені способи зварювання не мають просторових обмежень у виконанні зварних швів.

Розглянемо можливість застосування обраних способів, спираючись на довжину шва. Для зварних з'єднань конструкції № 1; 2; 3; 4; 5; 6, 7, протяжність шва складає від 25 мм до 160 мм, що характерно для коротких швів (< 500 мм.). Із наведених розмірів видно, що способи зварювання MIG та TIG можуть застосовуватись, але слід відзначити деякі особливості. Зварна конструкція має велику кількість зварних швів, для яких постійно потрібно кантувати конструкцію у більш вигідне для зварювання положення. Враховуючи, що зварювання MIG має значно більшу продуктивність ніж в TIG, застосування цього способу є більш раціональним. Так як не потребує високої кваліфікації робочого персоналу, зменшує час на виготовлення, а також є можливість автоматизації процесу.

Для підвищення якості зварювання, що було описано раніше про спосіб зварювання MIG, слід підібрати якісні зварювальні матеріали, газ або суміш газів, проводити очищення оксидної плівки перед зварюванням, проводити підігрів перед зварюванням та застосовувати після зварювальну обробку.

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

Також для підвищення якості зварних швів методом MIG, слід застосувати пульсовий (GMAW–P) або подвійний пульсовий режим зварювання (DP–GMAW).

Пульсове MIG зварювання (GMAW–P) – це режим переносу металу, коли джерело струму регулярно перемикається між високим імпульсом та низьким фоновим струмом [11, 12]. При кожному високому імпульсі струму виникає сильний електромагнітний «pinch–ефект», який стискає розплавлену краплю на кінці дроту і виштовхує її у ванну зварювання [11]. Після імпульсу високого струму дуга підтримується низьким фоновим струмом, котрий занижений для подачі розплавленого присадного металу, тому зварювальна ванна частково застигає між імпульсами [11]. Завдяки цьому дуга є майже не короткозамкненою, що зводить до мінімуму такі дефекти, які притаманні традиційному зварюванню MIG: бризки; пори; подрізи; нерівномірності. Сам процес забезпечує плавний, контрольований перенос зварювального матеріалу до шву (рис. 3), що є раціональним рішенням застосування наведеної технології у виготовленні фермових конструкцій із алюмінію та його сплавів.

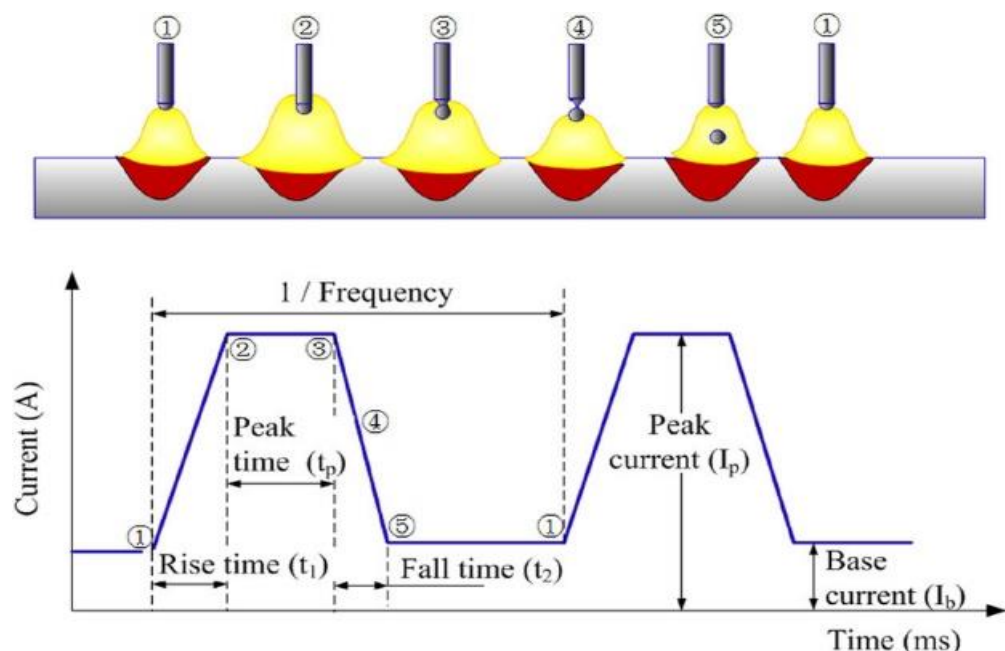
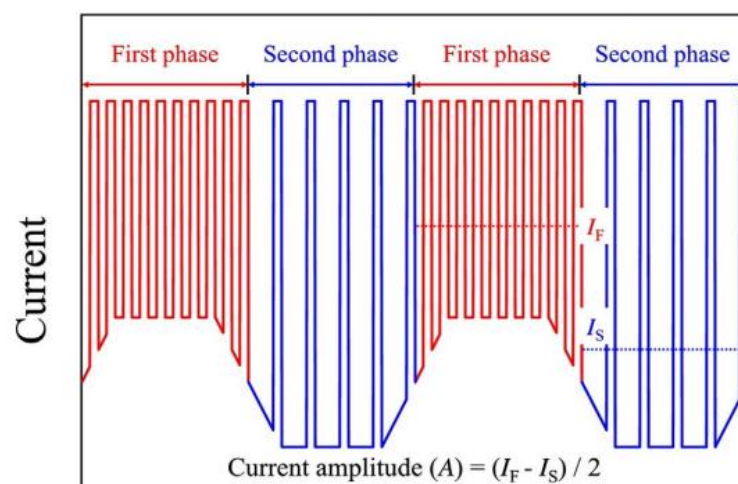


Рисунок 3 – Пульсове MIG зварювання (GMAW–P) [13]

Для алюмінію та його сплавів наведений процес особливо корисний через його фізико–хімічні властивості. Сам метал має низьку температуру плавлення і високу теплопровідність, через що легко перегорає та деформується під дією тепла [12]. Пульсове MIG зварювання дозволяє значно знизити середній тепловий внесок у виріб. Висока частина циклу імпульсного режиму забезпечує проплавлення та очистку оксиду, а низька дає ванні можливість охолонути [11]. Ця особливість доречно застосовується для конструкцій із невеликими товщинами. Дуга зменшує ризик прогару й деформацій, що дозволяє також використовувати товстіший дріт для підвищення продуктивності без надлишкової теплової напруги [11]. Окрім цього, як і було сказано раніше, пульсова MIG дає стабільніший дуговий розряд, полегшує його керування, особливо на початку та в кінці виконання зварного шву. Також покращує зчеплення металу з кромками з'єднання, що сприяє більш рівному профілю валика шва [11].

У режимі Double Pulse GMAW (DP–GMAW), до звичайних високочастотних змін струму накладається також повільна низькочастотна модуляція (рис. 4).



Амплітуда струму (A) визначається як половина різниці між середнім струмом першої фази (I_F) та середнім струмом другої фази (I_S)

Рисунок 4 – Принципова діаграма форми сигналу струму для DP–GMAW [14]

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

Це означає, що цикл пульсу ділиться на дві фази. Перша фаза вищого середнього струму (тепловий імпульс, ТР) і фазу низького (теплова база, ТВ) [15]. Кожна фаза складається із багатьох коротких імпульсів, пікових та фонових, подібно до звичайної пульсової MIG (GMAW-P), але з різним базовим рівнем. Під час ТР-фази середній струм вищий, де інтенсивніше плавиться дріт та глибше проникає у метал. У ТВ-фазі струм нижчий, де нагрів значно нижчий, що характерно як і для способу MIG (GMAW-P) де зварювальна ванна частково перебуває у застиглому стані [15].

Наведений розподіл струму призводить до відповідних ефектів у ванні та на шві. Зварювальна ванна синхронно розширюється в кінці кожної ТР-фази і звужується під час ТВ-фази [15]. У момент потужного імпульсу (ТР) зростає проникання й глибина проплавлення, після закінчення ТР-фази, струм переходить до низьких значень (ТВ), відповідно проникаюча здатність падає [15]. На поверхні валика, як результат, це утворює поперечні напливи. Тобто на кожному кінці ТР-фази, формується випуклий гребінь, а в кінці ТВ-фази, умовна канавка [15]. Завдяки цьому, шов візуально шарується, надаючи йому гладкого, блискучого вигляду.

Також слід відзначити, що процес DP-GMAW суттєво змінює внутрішню циркуляцію розплавленого металу. При періодичному чергуванні ТР-пульсів ванна розширюється, створюючи конвективну течію металу вперед і в сторони [15]. Потім, під час ТВ-пульсу вона стискається, викликаючи перемішування раніше затверділого металу. Такий перемішуючий ефект, сприяє інтенсивнішому видаленню газових домішків, найголовнішим з них є водень [15]. Це суттєво зменшує пористість шва і знижує ймовірність міжкристалічних тріщин. Також в результаті такого процесу, через періодичне розплавлення та застигання зварної ванни, середня швидкість охолодження зростає [15], що суттєво дрібнить зерно структури металу у зоні зварювання і покращує механічні властивості.

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

Додатково також слід відзначити про можливість DP–MIG процесу заповнювати зазори у стиках. Експерименти показали, що при зварюванні накладних швів алюмінію товщиною 3 мм, подвійною модуляцією, дозволила без проблем заповнювати зазор у 2 мм при високій швидкості, тоді як звичайний пульс (GMAW–P) у такій ситуації вже давав не провар [15]. Тобто подвійний пульс дає кращу заповнюючу здатність шву, при невисокій якості підгонки деталей.

В результаті аналізу наведених способів зварювання для виготовлення зварної конструкції «модульної ферми», було обрано зварювання плавким дротяним електродом в середовищі сумішей інертних газів (131 MIG) із застосуванням технології Double Pulse GMAW.

Отже запишемо в ієрархічному порядку зварні шви конструкції (таблиця 8).

Таблиця 8 – Типові способи зварювання за номером з'єднання

Номер зварного з'єднання	Положення при зварюванні	Товщина, мм	Варіанти типових способів зварювання
1	ISO 6947–PB	10;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
2	ISO 6947–PB	10;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
3	ISO 6947–PB	10;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
4	ISO 6947–PF	10;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
5	ISO 6947–PB	3;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
6	ISO 6947–PA	3;3	(131 MIG) (DP–GMAW)
7	ISO 6947–PB	3;3	(131 MIG) (DP–GMAW)

1.3 Вибір швів для зварювання способом

Для виконання зварювання швів № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, доцільно обрати шви з числа односторонніх, зважаючи на товщину металу з'єднань конструкції. Також слід зауважити, що розробку кромek при заданих товщинах проводити не раціонально. У з'єднаннях № 1, 2, 3, 4, є деталі товщиною 10 мм, які з'єднуються до деталей товщиною 3 мм. Наведена різниця, вказує на те, що розробку кромek для деталей із товщиною 10 мм, проводити нераціонально через те, що в разі збільшення режимів зварювання, а в результаті збільшення наплавлення для заповнення катету шва, може відбутися перегрів та навіть проплав деталі товщиною 3 мм. Відповідно для з'єднань № 5, 6, 7, також не буде застосовуватись розробка кромek. Слід зауважити, що для алюмінію та його сплавів необхідно провести процес підготовки кромek перед зварюванням за ДСТУ EN ISO 9692–3:2014. Тобто очистити, знежирити та зняти поверхневий шар оксидної плівки, яка перешкоджає виконанню якісного зварного з'єднання. Але беручи до уваги те, що за ДСТУ EN ISO 9692–3:2014 є невелика база швів за типом та загалом наведені типи не відповідають до швів конструкції, було прийнято рішення, що підготовку геометрії кромek слід проводити за ISO 9692–1:2014 [26].

Тому за ISO 9692–1:2014 [26] за типом односторонніх кутових швів без скосу кромek, оберемо шви які відповідають за типом, для зварних з'єднань №1, 2, 3, 4, зварної конструкції.

Зварний шов №1 конструкції, відповідає за типом до напусткового зварного з'єднання. Зважаючи на товщину деталей та виду з'єднання (кутовий шов), за ISO 9692–1:2014 [26], відповідає вид з'єднання № 3.1.2 (рис. 5).

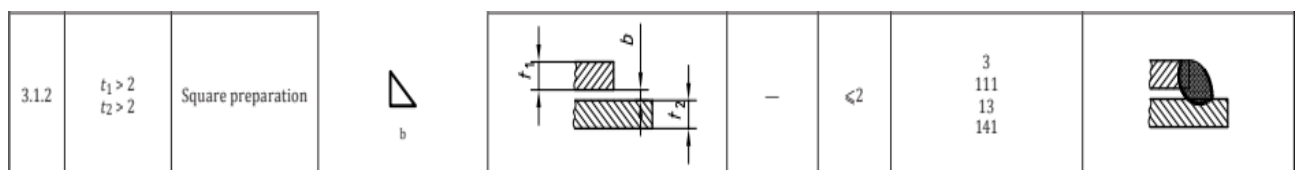


Рисунок 5 – Вид з'єднання № 3.1.2 за ISO 9692–1:2014 [26]

Зварний шов № 2 та № 3 конструкції, відповідають також за типом до напусткового зварного з'єднання. Зважаючи на товщину деталей та виду з'єднання (кутовий шов), за ISO 9692–1:2014 [26], відповідає вид з'єднання № 3.1.2 (рисунок 5).

Зварний шов № 4 конструкції, відповідає за типом до таврового зварного з'єднання. Зважаючи на товщину деталей та виду з'єднання (кутовий шов), за ISO 9692–1:2014 [26], відповідає вид з'єднання № 4.1.3 (рис. 6). Так як наведений вид з'єднання відноситься до двостороннього шву, застосування наведеного виду з'єднання не обмежується виконанням зварювання з однієї сторони. Тому приймемо наведене зварне з'єднання для однопрохідного, одностороннього зварювання шву №4.

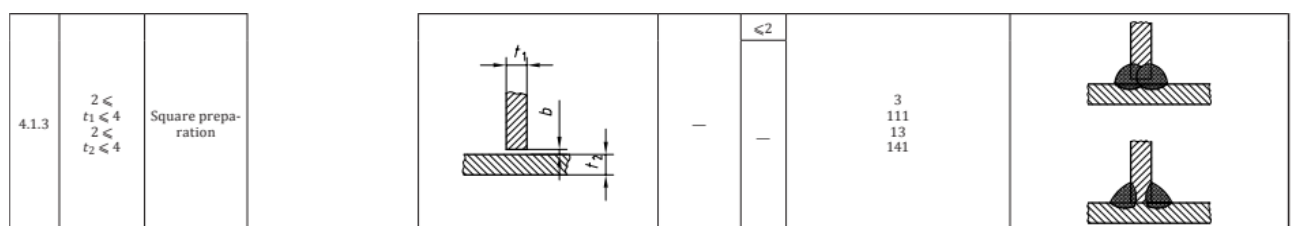


Рисунок 6 – Вид з'єднання № 4.1.3 за ISO 9692–1:2014 [26]

Зварний шов №5 та №7 конструкції, відповідає за типом до кутового зварного з'єднання. Зважаючи на товщину деталей та виду з'єднання (кутовий шов), за ISO 9692–1:2014 [26], відповідає вид з'єднання № 3.1.1 (рис. 7).

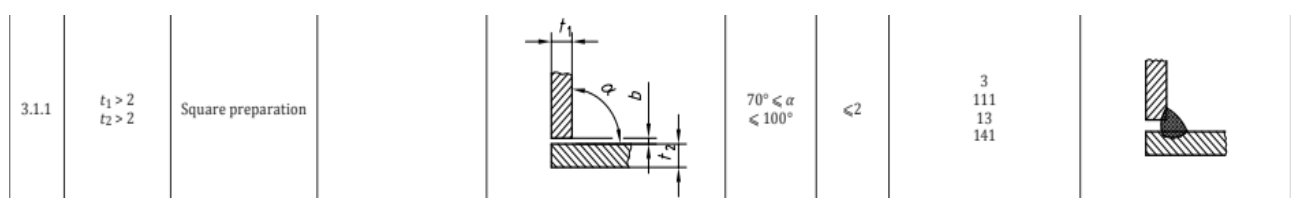


Рисунок 7 – Вид з'єднання № 3.1.1 за ISO 9692–1:2014 [26]

Зварний шов №6 конструкції, відповідає за типом до кутового зварного з'єднання. Зважаючи на товщину деталей та виду з'єднання (кутовий шов), за ISO 9692–1:2014 [26], відповідає вид з'єднання № 3.1.3 (рис. 8).

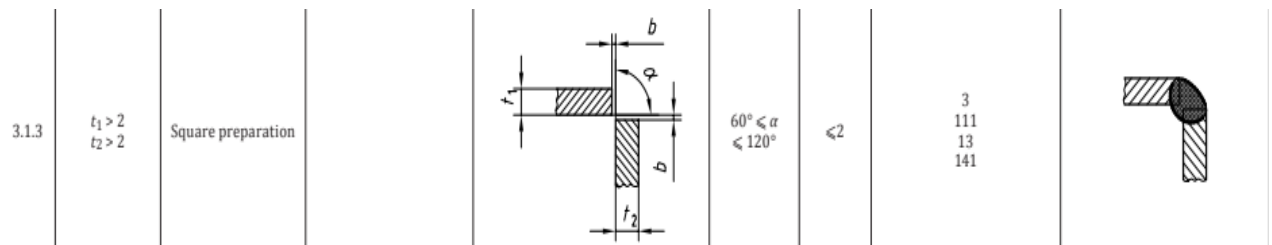


Рисунок 8 – Вид з'єднання № 3.1.3 за ISO 9692–1:2014 [26]

Також слід віднести всі зварні шви конструкції, за якістю виконання до ISO–5817–С. Але із певними обмеженнями, так як зварні шви виконуються механізованим способом, необхідно враховувати людський фактор. Оскільки, обраний рівень якості відповідає для виконання зварних з'єднань конструкцій які підлягають середній важливості, та сприймають в переважній більшості статичні навантаження, слід врахувати, що модульна ферма може також сприймати і динамічні навантаження, тому слід застосувати наступні обмеження та допуски для геометрії зварних швів відповідно спираючись на рівні якості як В та С за ISO–5817–С [27, 28]. Тоді отримаємо наступні допуски для зварних з'єднань конструкції, які наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Допуски на зварні з'єднання конструкції [28, 29]

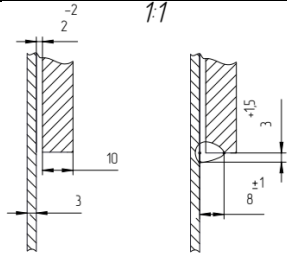
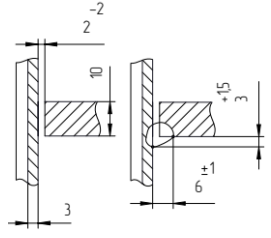
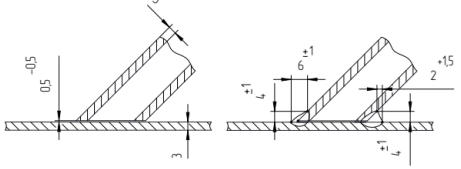
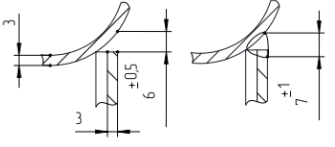
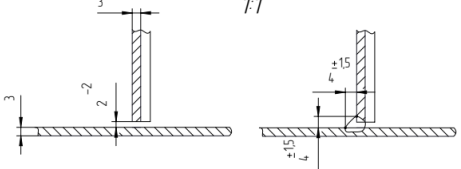
Тип дефекту	Опис	Допуск	Відповідність рівню якості
Пори	Діаметр порів або їх скупчення	$\leq 3\%$ площі шва, макс. діаметр окремої пори < 1 мм	В
Тріщини	Будь-які тріщини (гарячі, холодні, у зоні термічного впливу)	Не допускаються	В, С
Не провар	Відсутність проплавлення в корені шва	Макс. глибина $\leq 0,4$ мм, сумарна довжина $\leq 20\%$ шва	С
Підрізи	Зниження товщини металу біля шва	Глибина $\leq 0,5$ мм, довжина $\leq 20\%$ шва	С
Асиметрія кутового шву	Різниця між катетами шва	Макс. відхилення $\leq 2,5$ мм	С

Тоді складемо таблицю зварних швів конструкції таблиці 10.

Таблиця 10 – Зварні шви конструкції

№ шва	Тип шва	№ шва за ISO 9692–1:2014	Ескіз розробки крайок
1	Кутове	3.1.2	
2	Кутове	3.1.2	

Продовження таблиці 10

№ шва	Тип шва	№ шва за ISO 9692–1:2014	Ескіз розробки крайок
3	Кутове	3.1.2	
4	Кутове	4.1.3	
5	Кутове	3.1.1	
6	Кутове	3.1.3	
7	Кутове	3.1.1	

1.4 Вибір зварювальних матеріалів

В якості зварювальних матеріалів, оберемо зварювальний дріт та газ. В якості дроту, слід обирати дріт який за вмістом легуючих компонентів відповідає основному матеріалу, або із суттєвим збільшеним вмістом відповідних легуючих елементів, в залежності яке за властивостями нам необхідне з'єднання.

Відповідно за літературними джерелами [20,21,22], для зварювання алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6, пропонуються наступні дроти.

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

Дріт ER4043 має широке застосування у харчовій промисловості, суднобудуванні, а також промисловості, пов'язаної з виробництвом транспортних засобів. Використовується для спорудження різних ємнісних резервуарів, цистерн та інших об'ємно–просторових конструкцій [20, 23].

Хімічний склад дроту наведений у таблиці 11 [23].

Таблиця 11 – Хімічний склад дроту ER4043 [23]

Хімічний склад у %, дроту ER4043								
Mg	Mn	Fe, max	Cu, max	Si	Ti, max	Zn, max	Інші елементи	Al
0.05	0.05	0,8	0,3	4,5 – 5,5	0,2	0,1	0,0002 – 0,005	Решта

В результаті зварювання наведеним дротом, надається висока плинність шву. Такий дріт часто рекомендують для зварювання сплавів алюмінію серії 6xxx, та як стандартний дріт при зварюванні самого сплаву EN AW–6082 T6 [20].

Дріт ER5356 – це алюмінієвий дріт рядного намотування, який застосовується для зварювання конструкцій з алюмінієво–магнієвих (Al–Mg) сплавів, що містять в складі більше 3 % магнію (Mg). Підійде для зварювання таких сплавів як AlMg 3, AlMg 4, AlMg 5 або AlMg 6 з матеріалами аналогічного складу. Широко застосовується в будівництві, медицині, суднобудуванні, атомній електроенергетиці [21, 24]. Хімічний склад дроту наведений у таблиці 12 [24].

Таблиця 12 – Хімічний склад дроту ER5356 [24]

Хімічний склад у %, дроту ER5356								
Mg	Mn	Fe, max	Cu, max	Si	Ti, max	Zn, max	Інші елементи	Al
4,5 – 5,5	0.05 – 0.2	0,4	0,1	0,25	0,06 – 0,2	0,1	0,0002 – 0,05	Решта

Наведений дріт дає вищу міцність шва, кращу стійкість з конструкційними навантаженнями, кращу корозійну стійкість, що широко застосовується у суднобудуванні де матеріал контактує із солоною водою та морською атмосферою. Наведений дріт рекомендують тоді, коли потрібно забезпечити якнайбільшу механічну міцність для сплавів серії 5xxx або 6xxx.

Дріт ER4047 – призначений для зварювання сплавів на основі алюмінію групи 6xxx з вмістом легуючих компонентів до 2 %, а також для зварювання литих сплавів на основі алюмінію з кремнієм та міддю (Al–Si–Cu). Вона також підходить для усунення дефектів в виробах з литих сплавів на основі алюмінію та кремнію, група 4xxx з вмістом кремнію до 12 % [25]. Хімічний склад дроту наведений у таблиці 13 [25].

Таблиця 13 – Хімічний склад дроту ER4047 [25]

Хімічний склад у %, дроту ER4047								
Mg	Mn	Fe, max	Cu, max	Si	Ti, max	Zn, max	Інші елементи	Al
0,1	0.01 – 0.15	0,2 – 0,6	0,1	11 – 13	0,15	0,02	0,0002 – 0,05	Решта

Наведений зварювальний дріт дає ще більшу плинність, сприяє мінімізації гарячих тріщин. У деяких випадках застосовується де потрібно дуже текучий шов.

Із наведених марок дротів для зварювання алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 обрано за своїми властивостями та характеристиками дріт ER4043, так як більшість джерел вказують на високу якість формування шву, високі механічні властивості та на пряму вказують про застосування його в якості основного зварювального матеріалу для алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 [20].

В якості захисного газу обрано Аргон вищого сорту з вмістом 99,993 Ar, який відповідає вимогам за ДСТУ EN ISO 14175:2014. Обраний газ є базовим та найпоширенішим вибором для зварювання способами MIG та TIG алюмінію. Аргон забезпечує стабільну дугу, хороший перенос крапель розплавленого присадного дроту, а також забезпечує мінімальне окислення металу ванни та знижує можливість утворення пор, що є критичним для алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6, так як вміст магнію (Mg) у складі підсилює ризик окислення та утворення пор. Аргон як правило рекомендується для тонких листів і для більшості ручних та механізованих робіт. Суміш газів Ar + He не застосовується для виготовлення конструкції модульної ферми, так як суміш використовуються для збільшення тепловкладення і відповідно для збільшення глибини проплавлення.

1.5 Розрахунок режиму зварювання способом 131 MIG (DP–GMAW)

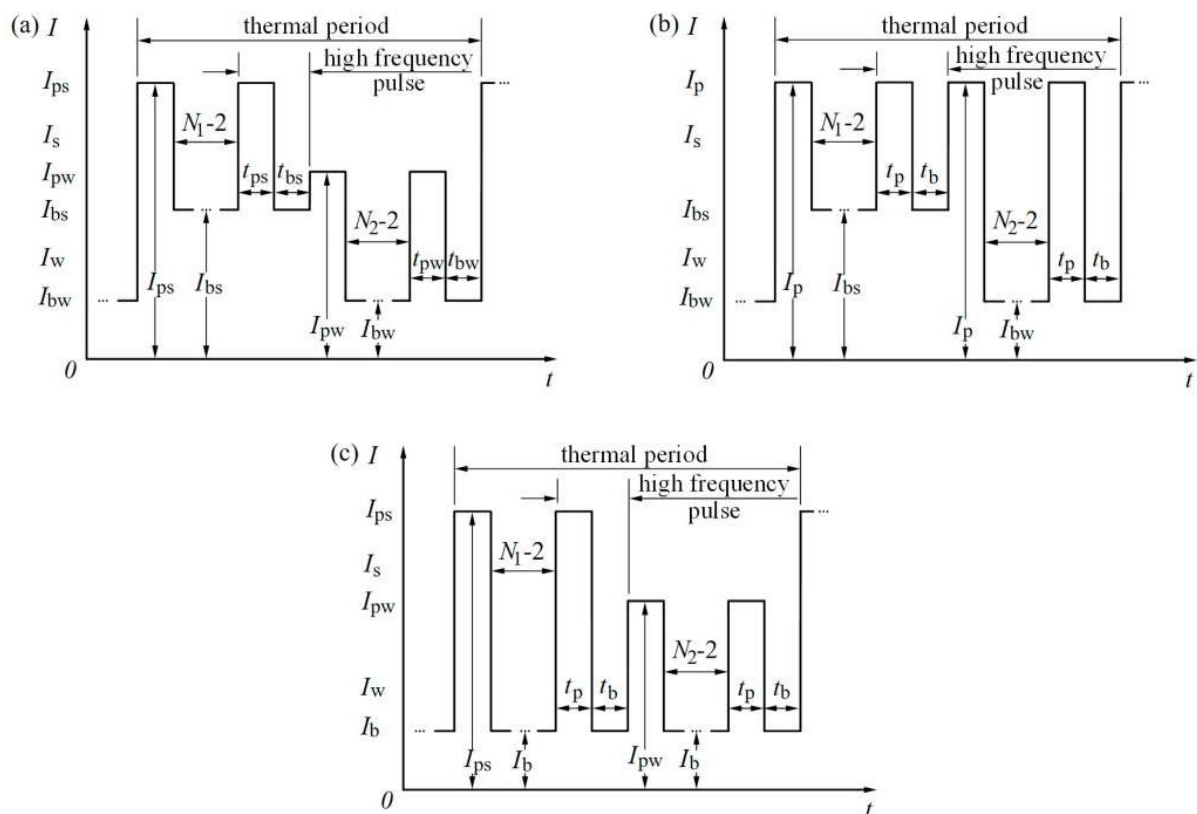
Подвійно імпульсне зварювання в середовищі інертних газів (DP–GMAW) – це ефективна та нова технологія зварювання, яка розроблена на основі звичайного імпульсного зварювання (P–GMAW) для алюмінієвого сплаву [16, 17]. Технологія DP–GMAW має широке застосування у автомобілебудуванні, суднобудуванні, використовується для будування та ремонту високошвидкісних потягів залізниць, літаках та інших галузях промисловості. Таке широке застосування виникло завдяки його унікальним особливостям, а саме красива поверхня зварного шва, низька пористість,

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

дрібнозерниста структура, нижче тепловкладення що суттєво дає перевагу у будівництві рамних та просторових конструкцій.

Тому якщо параметри зварювання встановлені належним чином, досягти високої ефективності зварювання технологією DP-GMAW не є великою проблемою. Отже таким чином, DP-GMAW є одним із найпривабливіших рішень для зварювання алюмінієвого сплаву, і він поступово став найбільш застосованим в галузі зварювання [18].

Отже DP-GMAW – це процес зварювання, яке відбувається шляхом вибору відповідної теплової частоти, для модуляції високої частоти зварювального струму. Форма зварювального струму для DP-GMAW показана на (рис. 9 (а)), яка містить 10 базових параметрів зварювання в одному циклі хвилі струму.



(а) – реальна хвильова форма зварювального струму DP-GMAW;

(б) – Спрощена хвильова форма зварювального струму 1;

(с) – Спрощена хвильова форма зварювального струму 2.

Рисунок 9 – Форма зварювального струму для DP-GMAW [18]

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

Для розрахунку режимів зварювання для алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 товщиною деталей 3 мм, використаємо розрахункову схему яка представлена на (рис. 9(а)).

Необхідні параметри:

- пікове значення струму та часу для сильного імпульсу (I_{ps} ; t_{ps});
- базове значення струму та часу для сильного імпульсу (I_{bs} ; t_{bs});
- пікове значення струму та часу для слабкого імпульсу (I_{pw} ; t_{pw});
- базове значення струму та часу для слабкого імпульсу (I_{bw} ; t_{bw}).

А також кількість сильних та слабких імпульсів N_1 та N_2 , так званих теплових піків та теплових основ.

Ці базові параметри можуть бути об'єднані у кілька похідних параметрів, таких як:

- теплова частота $f_{thermal}$, також має назву – низька частота f_{low} ;
- висока частота f_{high} ;
- середній струм I , а також середні струми сильних та слабких імпульсів I_s та I_w .

Різниця між базовими струмами імпульсів та різниця між піковими струмами імпульсів будуть визначатися як ΔI_b та ΔI_p . Визначення таких параметрів, як $f_{thermal}$, f_{high} та інших, наведені у наступних формулах (1–7) [18].

$$f_{thermal} = \frac{1}{(t_{ps} + t_{bs})N_1 + (t_{pw} + t_{bw})N_2} \quad (1)$$

$$f_{high} = \frac{1}{t_p + t_b} \quad (2)$$

$$I = \frac{(I_{ps}t_{ps} + I_{bs}t_{bs})N_1 + (I_{pw}t_{pw} + I_{bw}t_{bw})N_2}{(t_{ps} + t_{bs})N_1 + (t_{pw} + t_{bw})N_2} \quad (3)$$

$$I_s = \frac{I_{ps}t_{ps} + I_{bs}t_{bs}}{t_{ps} + t_{bs}} \quad (4)$$

$$I_w = \frac{I_{pw}t_{pw} + I_{bw}t_{bw}}{t_{pw} + t_{bw}} \quad (5)$$

$$\Delta I_b = I_{bs} - I_{bw} \quad (6)$$

$$\Delta I_p = I_{ps} - I_{pw} \quad (7)$$

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

Для того, щоб досягти найвищої якості зварювання, наведені параметри для DP–GMAW загалом повинні відповідати наступним правилам [19].

- $I_{ps} \geq I_{pw}; I_{bs} \geq I_{bw}; I_s \geq I_w$;
- точка $(I_{ps}; t_{ps})$ та точка $(I_{pw}; t_{pw})$ розташовані в зоні переносу – одна крапля на імпульс;
- базовий струм імпульсу I_b , використовується для підтримки горіння дуги, а піковий струм імпульсу I_p , використовується для плавлення присадного дроту.

У процесі зварювання технологією DP–GMAW як і для P–GMAW алюмінієвого сплаву, існує загалом три види перенесення крапель. Одна крапля на декілька імпульсів, одна крапля на імпульс та кілька крапель на імпульс. Із експериментальних дослідів, які представлені у літературному джерелі [18], можна спостерігати, що одна крапля на імпульс, визнається найідеальнішим режимом перенесення крапель, що є найбільшою гарантією того, що зварне з’єднання має гарне формування зварного шву та має хороші механічні властивості. Таким чином, відповідно до попередньо наведених правил для отримання якісного з’єднання технологією DP–GMAW, одна крапля на імпульс, відбувається тоді, коли середній зварювальний струм становить 100 А, а частота зварювання становить 83,3 Гц, як показано на (рис. 10). Також слід відзначити, що наведені параметри стосуються саме для забезпечення переносу однієї краплі на один імпульс як для технології DP–GMAW так і для технології P–GMAW. Тому застосування наступних схем та рисунків які описують протікання імпульсів є рівнозначними. Основною відмінністю як було описано раніше, є унікальність технології DP–GMAW, де йде чергування низької та високої фази імпульсів зварювального струму низькочастотною модуляцією, остання ж фаза протікання високочастотних імпульсів, цілком відповідає розрахункам та наведеним схемам для визначення необхідних параметрів виконання якісного з’єднання технологією P–GMAW.

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

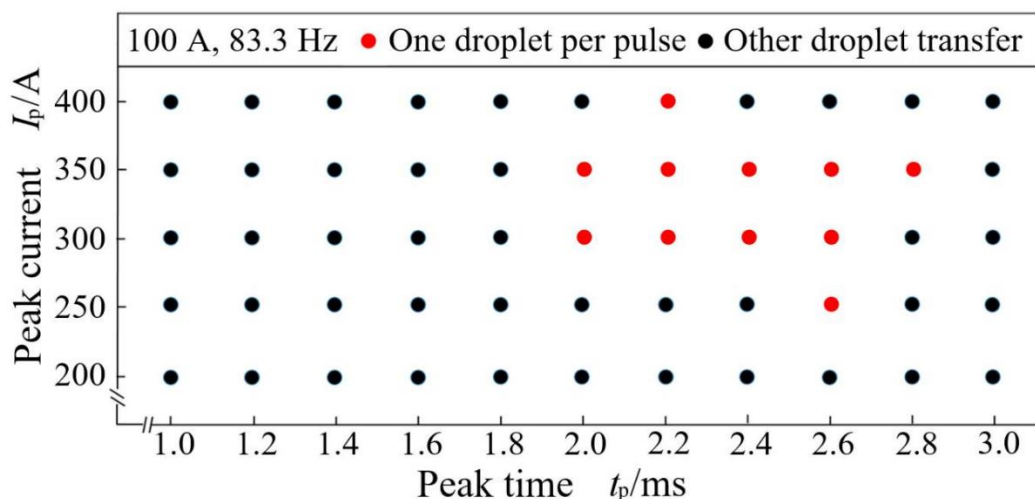


Рисунок 10 – Інтервал передачі крапель Р–GMAW одна крапля на імпульс при 100 А і 83,3 Гц [18]

Отже відомо, що найбільша якість зварювання досягається шляхом введення наступних параметрів режиму зварювання:

- частота пульсу MIG зварювання, яка і керує переносом крапель металу становить 83.3 Hz;
- модуляція високочастотного сигналу теплових імпульсів, який регулює тепловкладення становить 3 Hz.

Приймемо за рекомендаціями [18], наступні параметри.

Отже, за модуляцією високочастотних імпульсів (яке регулює тепловкладення), та частотою пульсу MIG зварювання, можна дізнатися кількість N_1 та N_2 імпульсів та відповідно t_{ps} та t_{bs} – час для сильного пікового значення та базового імпульсу, а також t_{pw} та t_{bw} – час для слабого пікового значення та базового імпульсу.

Визначимо час протікання 1–го періоду модуляції високочастотних імпульсів.

$$T = \frac{c}{Hz} = \frac{1}{3} = 0,3333 \text{ с.}$$

Тоді час для високої фази приймемо за співвідношенням до низької фази, згідно літературним джерелам [18] – 30 % (значення зменшенні, оскільки товщина зварюваних деталей становить 3 мм), що дає менше тепловкладення та відповідно зменшує короблення конструкції.

Час високої фази: $T_B = T \cdot 30 \% = 0,3333 \cdot 30 \% = 0,09999 \text{ с.}$

Час низької фази: $T_H = T \cdot 70 \% = 0,3333 \cdot 70 \% = 0,23331 \text{ с.}$

Згідно досліджень [18], приймемо рекомендовану частоту імпульсів високої фази 83.3 Hz.

Значення N1 набуде вигляду:

$$N1 = T_B \cdot 83,3 = 0,09999 \cdot 83,3 = 8,32 = 8 \text{ імпульсів.}$$

Значення N2 набуде вигляду:

$$N2 = T_H \cdot 83,3 = 0,23331 \cdot 83,3 = 19,43 = 19 \text{ імпульсів.}$$

Розглянемо яке є співвідношення між часом перебування високого пікового імпульсу між імпульсом високої бази.

З досліджень встановлено, що для t_{ps} оптимальним значенням є від 2.2 мс до 2.6 мс. Оберемо середнє значення $t_{ps} = 2.4 \text{ мс.}$ Відповідно для дроту 1,2 мм та середнього струму 100 А.

Тоді: $t_{bs} = \frac{T_B}{N1} - t_{ps} = \frac{0,09999}{8} - 0,0024 = 0,01 \text{ с.}$ Що становить 80 % від одного циклу імпульсу. Інші 20 % відповідають за іншу високу частину часу пікового імпульсу.

Відповідно цьому, за (1) [18] $t_{bs} = t_{bw}; t_{ps} = t_{pw}.$

Тоді f_{thermal} буде дорівнювати:

$$f_{\text{thermal}} = \frac{1}{(0,0024+0,01)8+(0,0024+0,01)19} = 2,98 \text{ Hz.}$$

Відповідно (2) f_{high} :

$$f_{\text{high}} = \frac{1}{0,0024+0,01} = 80,64 \text{ Hz.}$$

Розрахункові значення співпадають із експериментальними які наведені в статті [19].

Для розрахунку середнього струму I, задаймося значеннями I_{ps} , I_{pw} , I_{bs} та I_{bw} відповідно за рекомендаціями літературних джерел [18].

Приймемо для $I_{ps} = 290 \text{ А; } I_{pw} = 240 \text{ А.}$

Приймемо для $I_{bs} = 68 \text{ А; } I_{bw} = 28 \text{ А.}$

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

Тоді середній зварювальний струм набуде вигляду (3):

$$I = \frac{(290 \cdot 0,0024 + 68 \cdot 0,01)8 + (240 \cdot 0,0024 + 28 \cdot 0,01) \cdot 19}{(0,0024 + 0,01)8 + (0,0024 + 0,01)19} = 82 \text{ A.}$$

Середній струм високої фази імпульсів (4):

$$I_s = \frac{290 \cdot 0,0024 + 68 \cdot 0,01}{0,0024 + 0,01} = 111 \text{ A.}$$

Середній струм низької фази імпульсів (5):

$$I_w = \frac{240 \cdot 0,0024 + 28 \cdot 0,01}{0,0024 + 0,01} = 69 \text{ A.}$$

Різниця між базовими імпульсами двох фаз (6):

$$\Delta I_b = 68 - 28 = 40 \text{ A.}$$

Різниця між піковими імпульсами двох фаз (7):

$$\Delta I_p = 290 - 240 = 50 \text{ A.}$$

Умови виконуються: $I_{ps} \geq I_{pw}$; $I_{bs} \geq I_{bw}$; $I_s \geq I_w$.

Загалом зварювальник налагоджує зварювальний апарат, із функцією MIG DP–GMAW за наступними параметрами: швидкість подавання дроту; вона і задає середній струм; напругу; баланс TP до ТВ у % – співвідношення часу протікання сильних і слабких фаз; частоту теплового пульсу (Hz) – як було сказано раніше, це модуляція високочастотного сигналу теплових імпульсів, яка регулює тепловкладення. Також іноді задається різниця ΔI між TP і ТВ – це різниця амплітуд пікових струмів та базових. Швидкість зварювання в разі ручного зварювання зварювальник визначає сам, у автоматичних системах, налагодження здійснюється окремо.

В більшості випадків, режими зварювання підбираються емпірично в залежності від особливостей конструкцій, спираючись на розрахункові дані, або літературні джерела. У наведених розрахунках представленні орієнтовні значення лише декількох основних параметрів для зварювання конструкції товщиною деталей в переважній більшості 3 мм. Також більш детально розглянуто як саме протікає зварювання, технологією зварювання MIG DP–GMAW.

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

Тому спираючись на отримані розрахункові дані та літературні джерела [18, 19], отримаємо наступні режими зварювання таблиця 14.

Таблиця 14 – Режими зварювання для 131 MIG DP–GMAW

$V_{\text{под.дроту}}$ ($I_{\text{сер.}}$, А) м/хв	U, В	TP/TB, %	f_{thermal} , Hz	ΔI TP/TB, А	I сер.	Діаметр дроту, Ø мм.	Витрат а газу, л/хв	Полярність
5.5–7.5 (82)	17 ± 2	30/70	3	21	82	1.2	12	Зворотна. Анод – пальник; Катод – виріб

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

2 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНОГО ВИРОБУ

2.1 Загальний опис базового процесу виготовлення зварного виробу

Загалом технологічний процес виготовлення модульної ферми може бути сформованим у вигляді 8–ми етапів проектування виготовлення виробу, а саме: проектування, закупівля матеріалів, обробка матеріалів, складання та зварювання, обробка поверхні, контроль якості, випробування, завершальні роботи.

На етапі проектування, робота спрямована на розробку конструкції модульної ферми відповідно до державних будівних норм, а саме ДБН В.2.6–165:2011 [30], вимог замовника і стандартів безпеки та якості. Саме на цьому етапі інженери–конструктори проводять розрахунки навантажень, визначають потрібні матеріали та розміри конструкції, які наведені в технічному завданні.

Наступним етапом виготовлення модульної ферми є закупівля матеріалів. На основі розробленого проекту, проводиться закупівля необхідних напівфабрикатів (зазвичай для модульної ферми яка виготовляється з алюмінію, використовуються кутики, профільні труби та труби циліндричного перерізу), які використовуються для виготовлення деталей, вузлів та формування ними зварного виробу.

На етапі формування заготовок, наведені напівфабрикати піддаються обробці згідно з потрібними розмірами та формою деталей, за допомогою різальних машин.

На етапі складання та зварювання, готові деталі монтуються та фіксуються в спеціальний зварювальний кондуктор та з'єднуються послідовно між собою, або з формуванням окремих складальних одиниць з послідовним монтуванням їх та з'єднувальних деталей у складально зварювальному кондукторі.

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

Після етапу складання та зварювання конструкції, оброблюють зварні шви та проводять в разі необхідності термічну обробку для відновлення властивостей або в більшості випадків зняття внутрішніх зварювальних напружень які деформують зварний виріб. Також після зварювання проводять контроль якості зварних швів. Для запобігання руйнуванню конструкції проводять контроль якості формування шва на наявність пор, тріщин (холодних, гарячих), підрізів, невідповідність шва заданим геометричним розмірам, напливи, незаповнені кратери, бугристість, пропали. Перераховані дефекти знижують міцність та несучі властивості конструкції.

На завершальних роботах, модульну ферму пакують, та надають карту технологічних властивостей. В залежності від сфери застосування, модульну ферму можуть піддати анодуванню та послідовному фарбуванню, або окремо як фарбуванню та анодуванню. Наносять необхідне маркування в разі необхідності в передбачених місцях, сертифікують та відправляють на склад готової продукції, звідки потім відправляють замовнику.

Отже враховуючи вище перераховані етапи, можна створити загальну маршрутну технологічну блок схему операцій виготовлення модульної ферми (рис. 11).

Складально–зварювальний етап виготовлення модульної ферми, детально описаний на маршрутно–технологічній блок схемі операцій складання та зварювання модульної ферми.

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



Рисунок 11 – Загальна маршрутна технологічна блок схема операцій виготовлення модульної ферми

2.2 Варіанти інженерних рішень стосовно технології складання та зварювання виробу

2.2.1 Варіанти розчленування зварної конструкції виробу на складальні одиниці та деталі. Технологічні блок схеми розчленувань та оцінка технологічності складально-зварювального виробництва за кожним із наведеним варіантів

Для розробки побудови ієрархічної структури виготовлення модульної ферми, було розроблено чотири варіанти.

Перший варіант побудови (рис. 12 – А) ґрунтується на повному послідовному складанні та зварюванні деталей модульної ферми, яка збирається на прихопленнях із подальшим зварюванням всіх швів елементів конструкції.

В цьому варіанті базовими деталями є стійки до яких послідовно приєднуються такі деталі як розкоси, фланці та стрижні. Вище наведені деталі, складаються в такій послідовності. У кондуктор встановлюють та фіксують базові деталі стійки в кількості 4 шт. Вони задають одразу габарити конструкції. Після того в кондуктор із спеціальним оснащенням монтуються та фіксуються деталі розкоси в кількості 32 шт. Наступним кроком монтуються та фіксуються стрижні в кількості 8 шт. На останок у кондуктор до інших деталей, монтуються та фіксуються деталі фланець в кількості 4 шт. Після повного складання деталей в спеціальних просторовий кондуктор, між всіма деталями виконуються по 2–3 прихоплення із послідовним виконанням почергового зварювання елементів конструкції в тій же послідовності що і складання.

Наслідком побудови такої не зовсім раціональної структури стане занадто складна та громістка конструкція складально-зварювального кондуктора, підвищена громісткість складально зварювальних операцій, ускладнене кантування та повторне фіксування зварником, а також важкодоступність до виконання швів конструкції через велику кількість складально-зварювального оснащення.

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

Другий варіант побудови (рис. 12 – Б) ґрунтується на послідовному складанні та зварюванні в кількості 2–ох складальних одиниць. Перша складальна одиниця (надалі вузол) складається з 4 базових деталей стійка, які фіксуються в спеціальний кондуктор, до яких монтуються, фіксуються, прихоплюються та обварюються деталі розкоси в кількості 32 шт.

Другий вузол складається з деталей стрижні та фланці, які також монтуються та фіксуються на прихопленнях та зварюються між собою в спеціальному кондукторі. Наступним кроком, вузол №2 монтується та фіксується до вузла № 1 та приварюється монтажними швами.

Наслідком побудови такої структури, як і при першому варіанті, стане занадто складна та громізка конструкція складально–зварювального кондуктора та важкодоступність для виконання зварних швів при виготовленні складально зварювальної одиниці вузол №1. Але є дещо знижена громісткість складально зварювальних операцій та полегшене кантування конструкції для виконання зварювання монтажних швів.

Третій варіант побудови (рис. 12 – В) ґрунтується на тому ж принципі, що і описаний в варіанті №2, але вузол №1 передбачено розкладається на два підвузла. Тобто на кожен підвузол припадає $\frac{1}{2}$ всіх деталей стійка, та $\frac{1}{4}$ всіх деталей розкоси. А вузол №2 залишається незмінним як у варіанті № 2. Підвузол №1 та №2 вузла №1 складаються з вище перерахованих деталей, у спеціальному кондукторі. Деталі монтуються, фіксуються та обварюються. Наступною операцією, у спеціальному кондукторі (для формування кінцевого зварного виробу), виконують з'єднання підвузлів монтажними швами, з деталями розкоси, чим і формують вузол №1. Після чого монтують та фіксують вузол №2 або додають його перед формоутворенням вузла № 1, що є більш раціональним для надання вузлу № 1 правильної геометричної форми та спрощує складально – зварювальні операції в майбутньому. Тобто після формування вузла №1 відразу виконують зварювання монтажних швів вузла № 2 і в результаті чого маємо готовий зварний виріб.

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

Наслідком побудови такої структури, слід відзначити спрощену та водночас раціональну побудову конструкції за рахунок послідовного розміщення та виготовлення елементів як описано раніше. Але є складність виконання безперервного зварного шву в підвузлах та монтажних швах для формування вузла №1 та його підвузлів. Так як інша сторона стику деталей буде спрямована до низу (тобто положення РЕ для зварювання), коли як верхня (тобто лише половина протяжності стику в положенні РА – РВ для зварювання) буде звареною. В такому випадку слід застосувати шахматне розміщення швів (для зменшення короблення конструкції в наслідок залишкових зварювальних деформацій), із послідовним кантуванням та відповідним виконанням тих же швів у шахматному порядку не зварених стиків з іншої сторони в найбільш зручному положенні для зварювання (РА – РВ). Тобто для зварювання стиків труб необхідно підвузол вузла №1 так і вузол №1 кантувати 4 рази для заповнення всіх стиків між деталями. Технологія виготовлення вузла №2 як і при варіанті №2 не змінюється.

Четвертий варіант побудови (рис. 12 – Г) ґрунтується на тому ж принципі побудови, що і описаний в варіанті №3, але вузол №1 передбачено також розкладається на два підвузла, але із іншим розміщенням деталей розкоси.

Тобто підвузол виглядає наступним чином. У кондуктор монтують та фіксують 1 – ну стійку, до якої монтують та фіксують деталі розкоси в двох площинках, тобто між розкосами створюється кут 90°. Після чого деталі підвузла прихоплюють та обварюють на одній частині повноцінним однопрохідним швом, з іншої виконують кантування в те положення де були зваренні минулі шви конструкції, та повторюють операцію зварювання. Після формування відповідного підвузла №2 вузла №1, підвузли розміщують у складально зварювальний стенд для складання та зварювання вузла №1. Тобто наведені підвузли, вже формують собою конструкцію яка відповідає по поперечному перерізу виробу, але для виконання монтажних швів підвузлів, необхідно розмістити на кожних кінцях деталей розкоси та зафіксувати стійки,

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

прихопити та виконати монтажні шви між наведеними складальними одиницями та деталями.

Наслідком побудови такої структури, слід відзначити ускладнену технологію складання та зварювання, яка не передбачає відповідності та симетричності з'єднання між підвузлами та деталями стійки, а також є ймовірність короблення конструкції за рахунок ненадійного кріплення деталей розкоси під час виготовлення складальних одиниць підвузол №1 та №2. Також є ускладнені операції кантування через вільно розміщенні кінці деталей розкоси, в випадку перекочування конструкції на інший бік. Ряд розкосів можуть погнутись, здеформувати конструкцію і як наслідок виникне невідповідність стикування деталей до підвузлів.

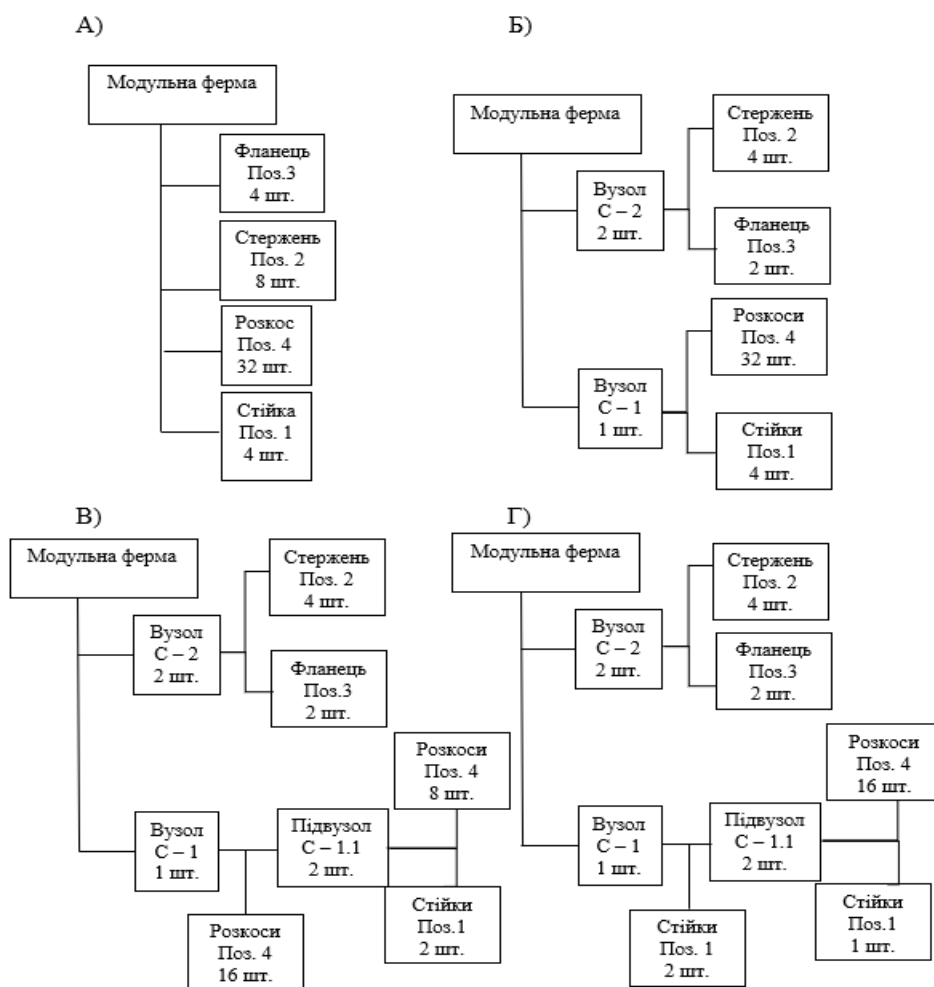


Рисунок 12 – Варіанти ієрархічної структури складання та зварювання модульної ферми

2.2.2 Визначення остаточного варіанту технологічного процесу складально–зварювального виробництва

В результаті аналізу можливих варіантів, зважаючи на розглянуту технологічність, переваги та недоліки кожного з варіантів (рисунок 12 А, Б, В, Г), було прийнято рішення, що варіант (В) з поміж інших є раціональним рішенням для застосування у складально зварювальному виробництві модульної ферми, так як має спрощену послідовність складально зварювальних процесів, є найбільш доречним у застосуванні для виконання комплексу складально зварювальних операцій, зі зменшення деформації конструкції, внаслідок залишкових зварювальних напружень. Саме цей спосіб є найбільш релевантним із всіх наведених рішень для його застосування у складально зварювальному виробництві за рахунок збільшення продуктивності та якості виготовлення модульної ферми.

2.2.3 Детальний опис операцій складання та зварювання модульної ферми.

Розглянемо процес складання та зварювання модульної ферми за обраним варіантом (В) процесу складання та зварювання. Як розглянуто раніше, варіант (В) представляє собою процес де конструкція передбачено розкладається на два вузла та два підвузла (вузла №1). Отже розглянемо наведений процес.

Першим кроком, деталі які є складовими елементами двох підвузлів вузла №1 та пройшли процес механічної обробки перед зварювання, прибувають на місце складання та зварювання підвузлів, де їх розміщують у складально зварювальний кондуктор. Деталі фіксують необхідними упорами, притискачами, які унеможливлують переміщення деталей під час зварювання і виконують прихоплення між всіма деталями підвузла в кількості від 2–ох до 3–ох прихоплень на 1 стик деталей. Після прихоплення, виконують одностороннє зварювання в шахматному порядку стиків деталей (рис. 13).

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

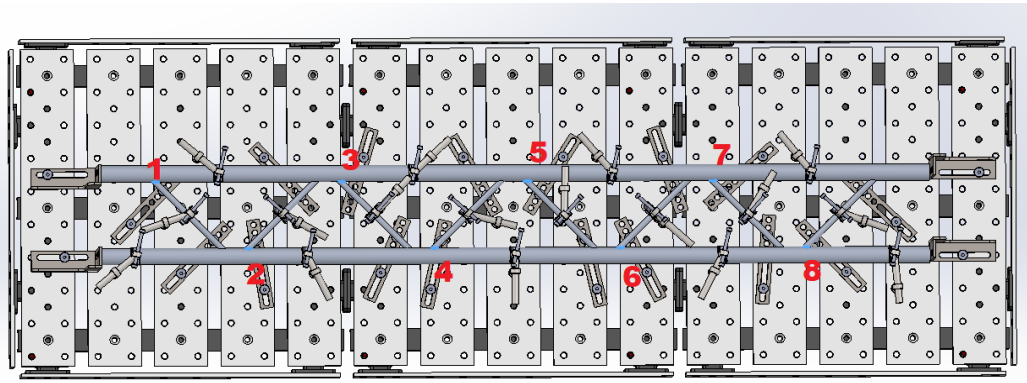


Рисунок 13 – Порядок виконання шву № 5 стиків 1 – 8 деталей «Розкос» та «Стійка»

Далі підвузол кантують, тобто обертають на протилежний бік, та виконують зварювання на тих стиках деталей де на іншій стороні не проводилось зварювання (рис. 14).

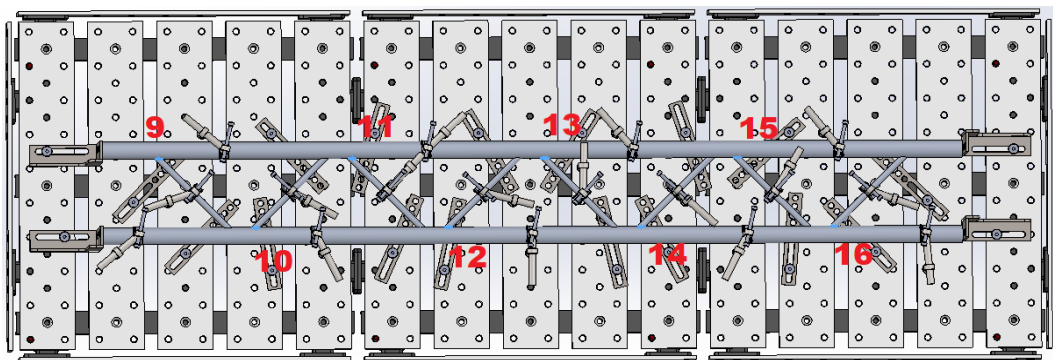


Рисунок 14 – Порядок виконання шву № 5 стиків 9 – 16 деталей «Розкос» та «Стійка»

Після виконання зварювальної операції, конструкцію повторно кантують на протилежний бік та виконують зварювання на тих стиках де з протилежного боку у минулій операції проводилось зварювання (рис. 15).

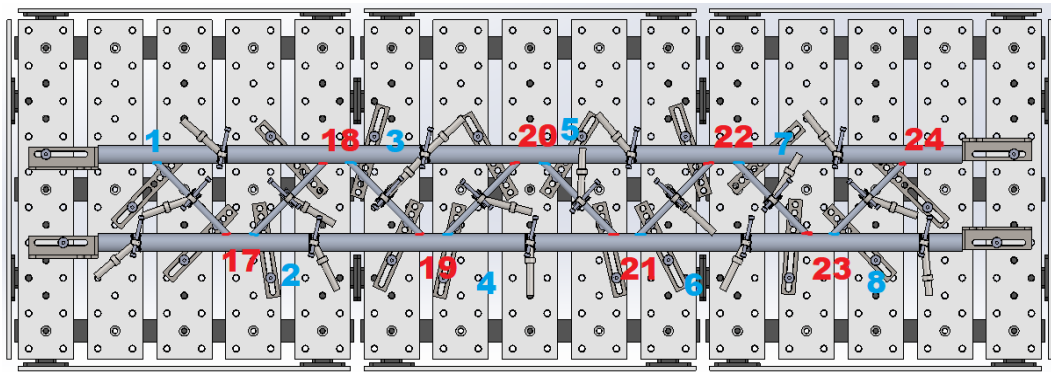


Рисунок 15 – Порядок виконання шву № 5 стиків 17 – 24 деталей
«Розкос» та «Стійка»

Останнім кроком, підвузол кантують на протилежний бік та виконують зварювання стиків деталей, над якими проводили процес зварювання з протилежного боку в другій операції зварювання (рис. 16).

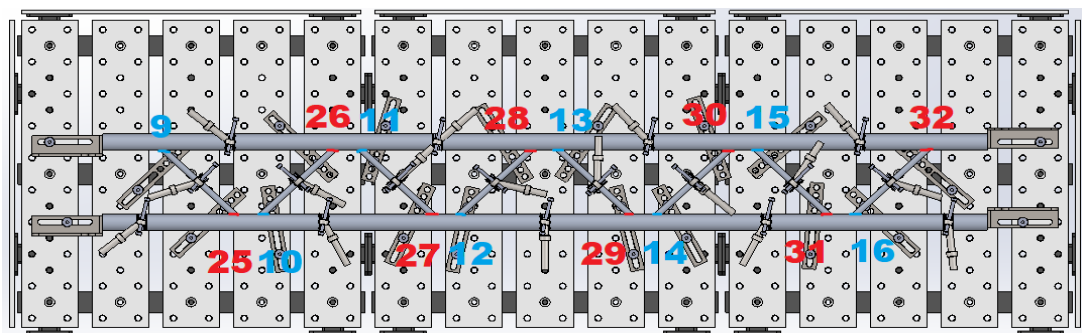


Рисунок 16 – Порядок виконання шву № 5 стиків 25 – 32 деталей
«Розкос» та «Стійка»

В результаті такої маніпуляції ми отримуємо підвузол, який не є деформованим в результаті нерівномірного тепловкладення з однієї із сторін. Також слід зауважити, що зворотній шов який сполучний з протилежної сторони, повинен налягати на перший шов на обидва кінці не менше ніж на 5 мм.

В результаті отримання двох підвузлів вузла №1, підвузли відправляють на місце складання та зварювання вузла №1. Підвузли, на місці складання та зварювання вузла №1, розміщують у складально зварювальний стенд, який є одночасно кінцевоформуючим кондуктором для виготовлення повноцінного

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

виробу. Підвузли розміщують у горизонті один відносно одного, тобто над підвузлом який розміщений більшою площиною до складально–зварювального столу, розміщений ще один на відповідну висоту, якою є габаритний розмір конструкції. Підвузли фіксують упорами та притискачами. Наступним кроком до кондуктора додаються, фіксуються та прихоплюються вузли № 2 які надають конструкції стійкості та необхідних розмірів. Потім встановлюються монтажні деталі (інша половина деталей розкоси в кількості 16 шт.), які монтуються та фіксуються у відповідних положеннях згідно кресленням. Потім проводять прихоплення деталей, та відповідно як описано в минулих операціях, виконують одностороннє зварювання швів між деталями та вузлами. Це виглядає наступним чином, конструкцію кантують на 90° ліворуч та виконують одностороннє зварювання стиків деталей «Розкос» та підвузлів С – 1.1 (рис.17).

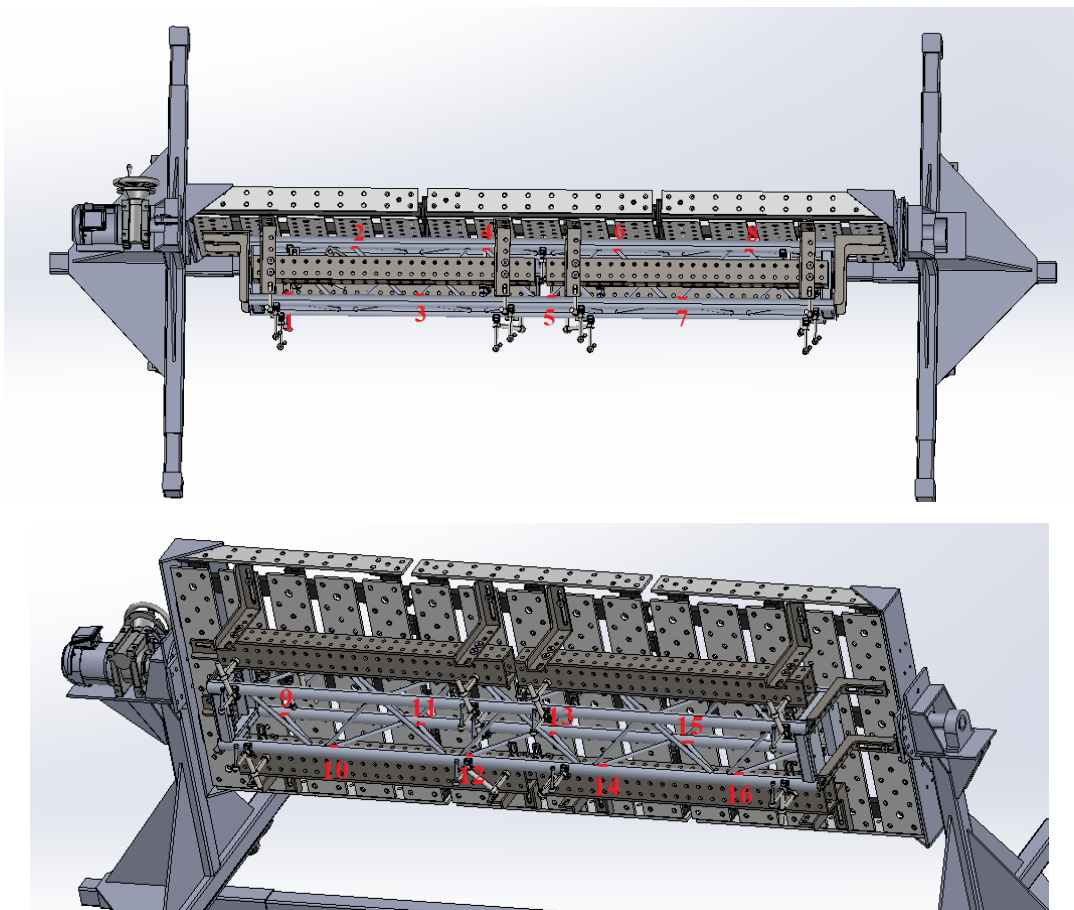


Рисунок 17 – Порядок виконання шву № 5 стиків 1 – 16 деталей
«Розкос» та підвузлів С – 1.1

Наступним кроком конструкцію кантують на 180° праворуч та виконують одностороннє зварювання стиків деталей «Розкос» та підвузлів С – 1.1 (рис.18).

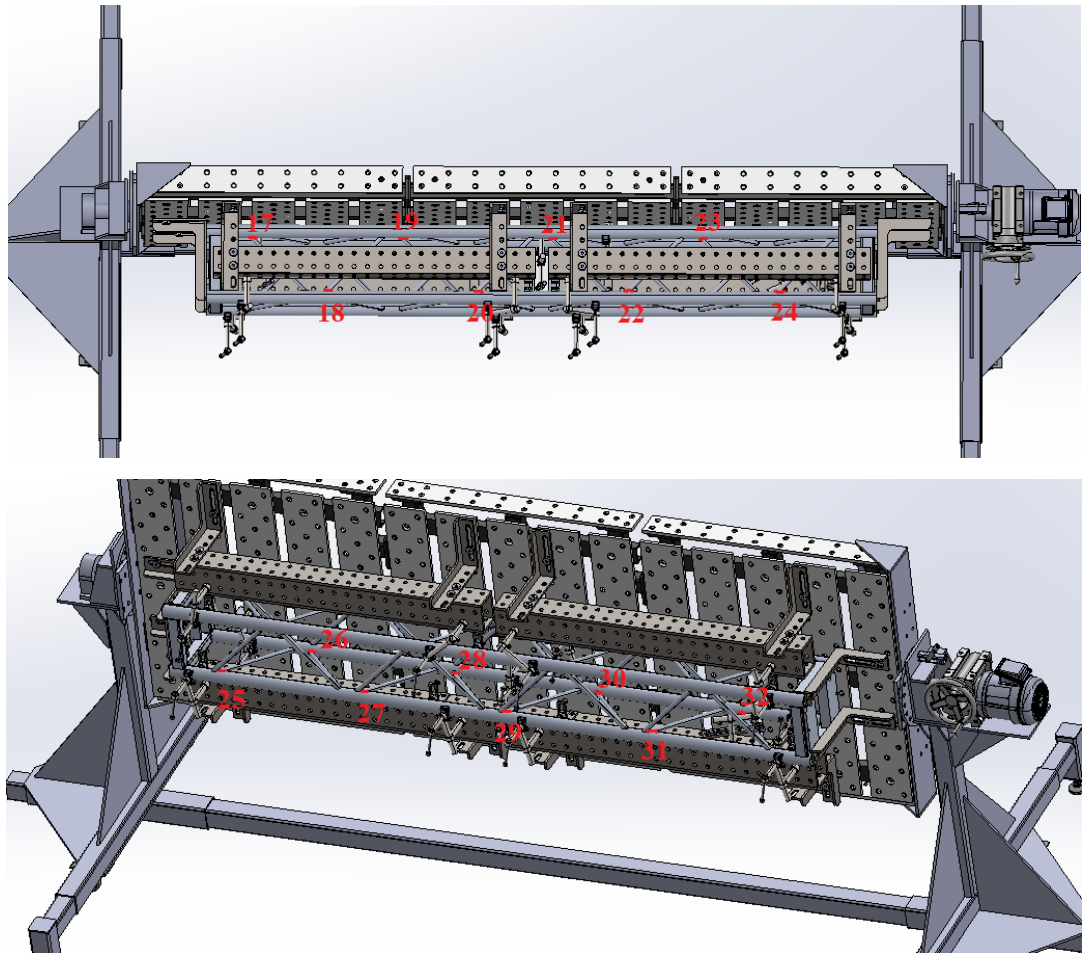


Рисунок 18 – Порядок виконання шву № 5 стиків 17 – 32 деталей
«Розкос» та підвузлів С – 1.1

Потім конструкцію повторно кантують на 180° ліворуч, де проводилась першочергова операція зварювання та виконують одностороннє зварювання стиків деталей «Розкос» та підвузлів С – 1.1 (рис.19).

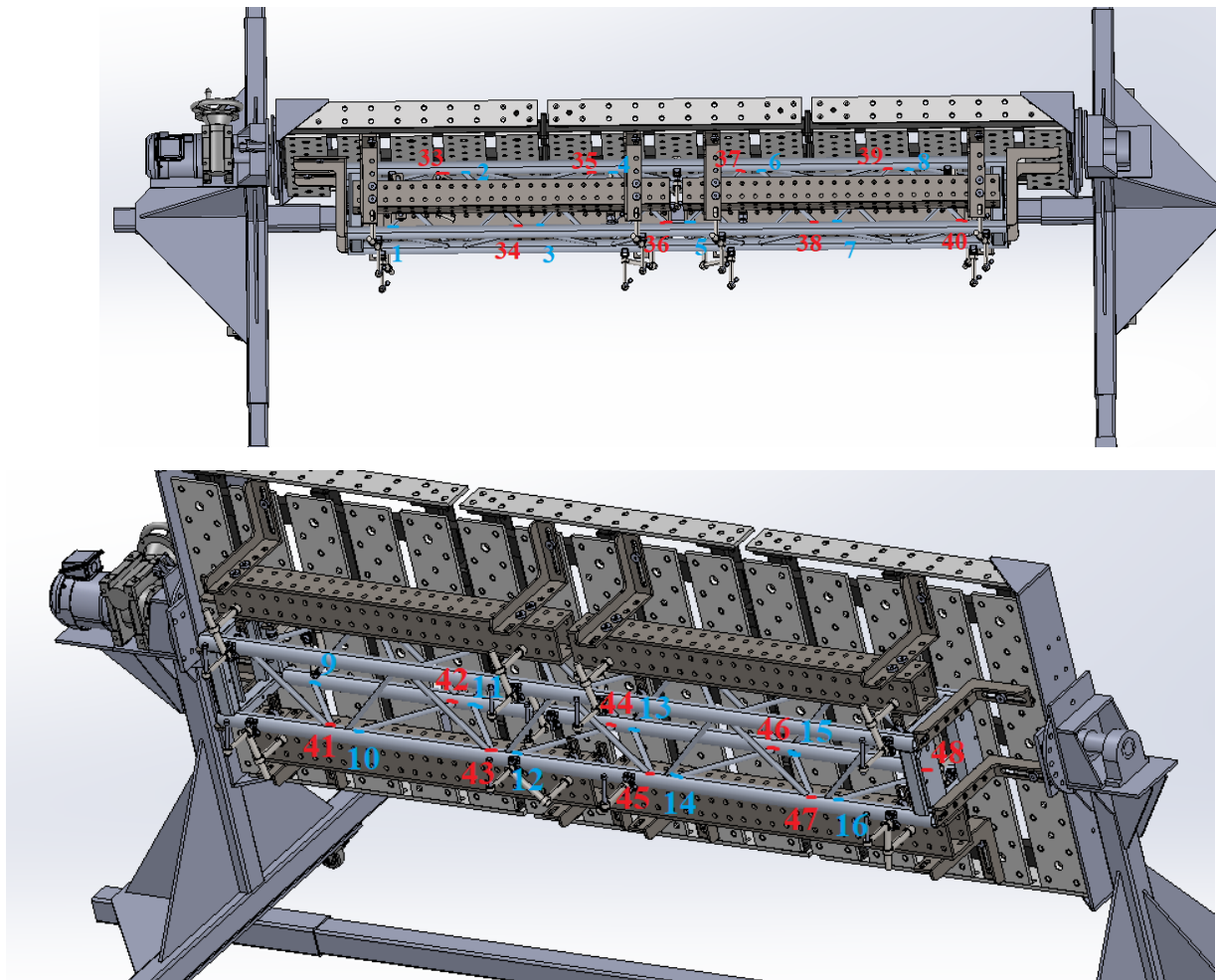


Рисунок 19 – Порядок виконання шву № 5 стиків 33 – 48 деталей
«Розкос» та підвузлів С – 1.1

Останнім кроком конструкцію кантують на 180° праворуч, де проводилась другорядна операція зварювання та виконують одностороннє зварювання стиків деталей «Розкос» та підвузлів С – 1.1 (рис.20).

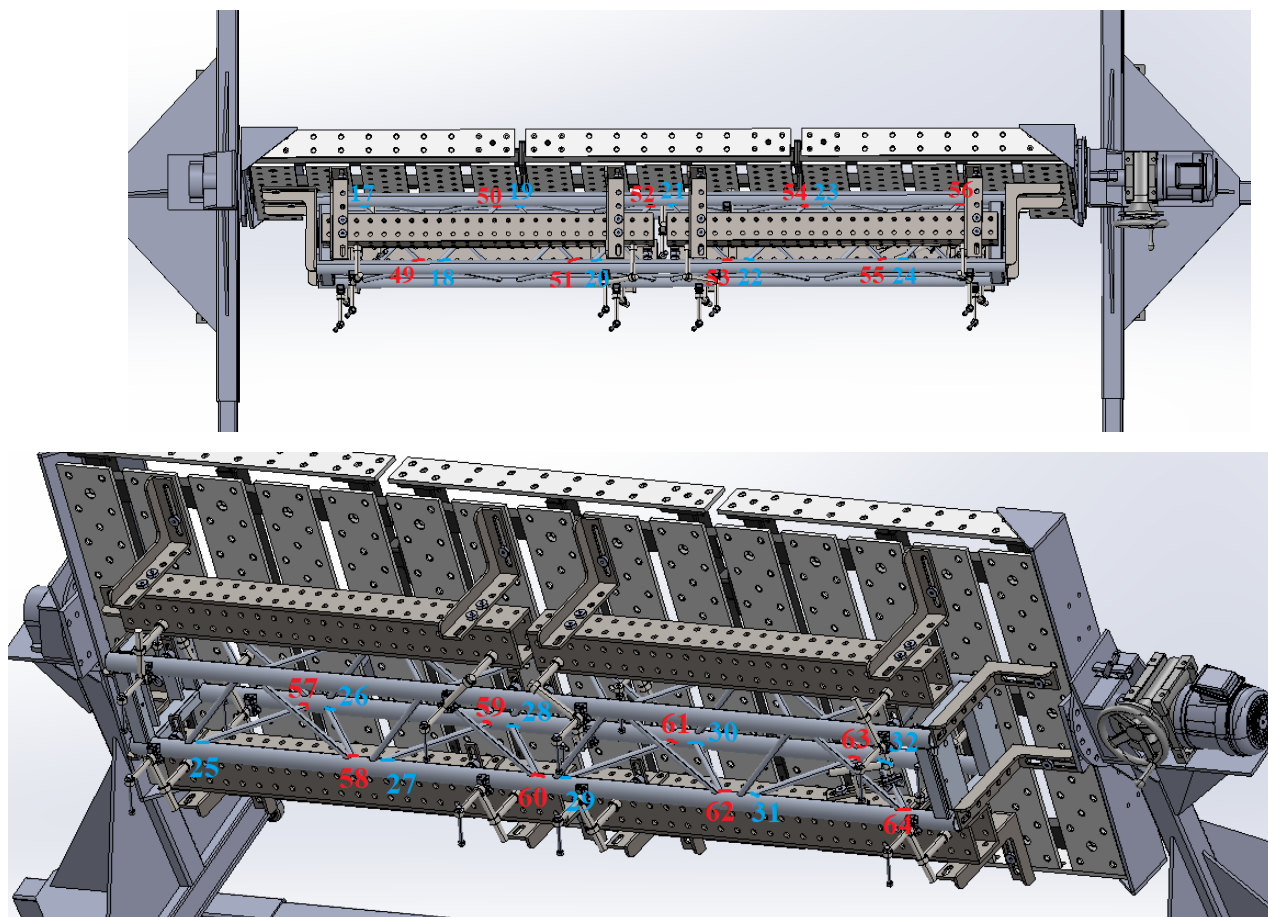


Рисунок 20 – Порядок виконання шву № 5 стиків 49 – 64 деталей
«Розкос» та підвузлів С – 1.1

Відмінністю в порівнянні з минулими подібними операціями для складання та зварювання підвузла С – 1.1, так це те, що вузол С – 1 конструкції не потребує звільнення із складально зварювальної оснастки для виконання зварних з'єднань між деталями розкоси та підвузлами С – 1.1.

Таким чином маємо у складально – зварювальному обертовому позиціонері готовий вузол С – 1 із прихопленими вузлами С – 2. Для кінцевого формування виробу, необхідно виконати зварювання монтажних швів між вузлом С – 1 та вузлами С – 2. Для формування всіх монтажних швів необхідно конструкцію, в ході виконання монтажних швів другого порядку, звільнити зі складально – зварювального кондуктора та обернути на зворотній бік, так як при виконанні монтажних швів першого порядку, зварювальник не має вільного доступу до швів другого порядку через прилягання їх до площини зварювального столу, а також із міркувань забезпечення якості, виконання

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

зварних швів у складних положеннях є недопустимим. Отже виконання монтажних зварних швів першого порядку наведено на рисунку 21.

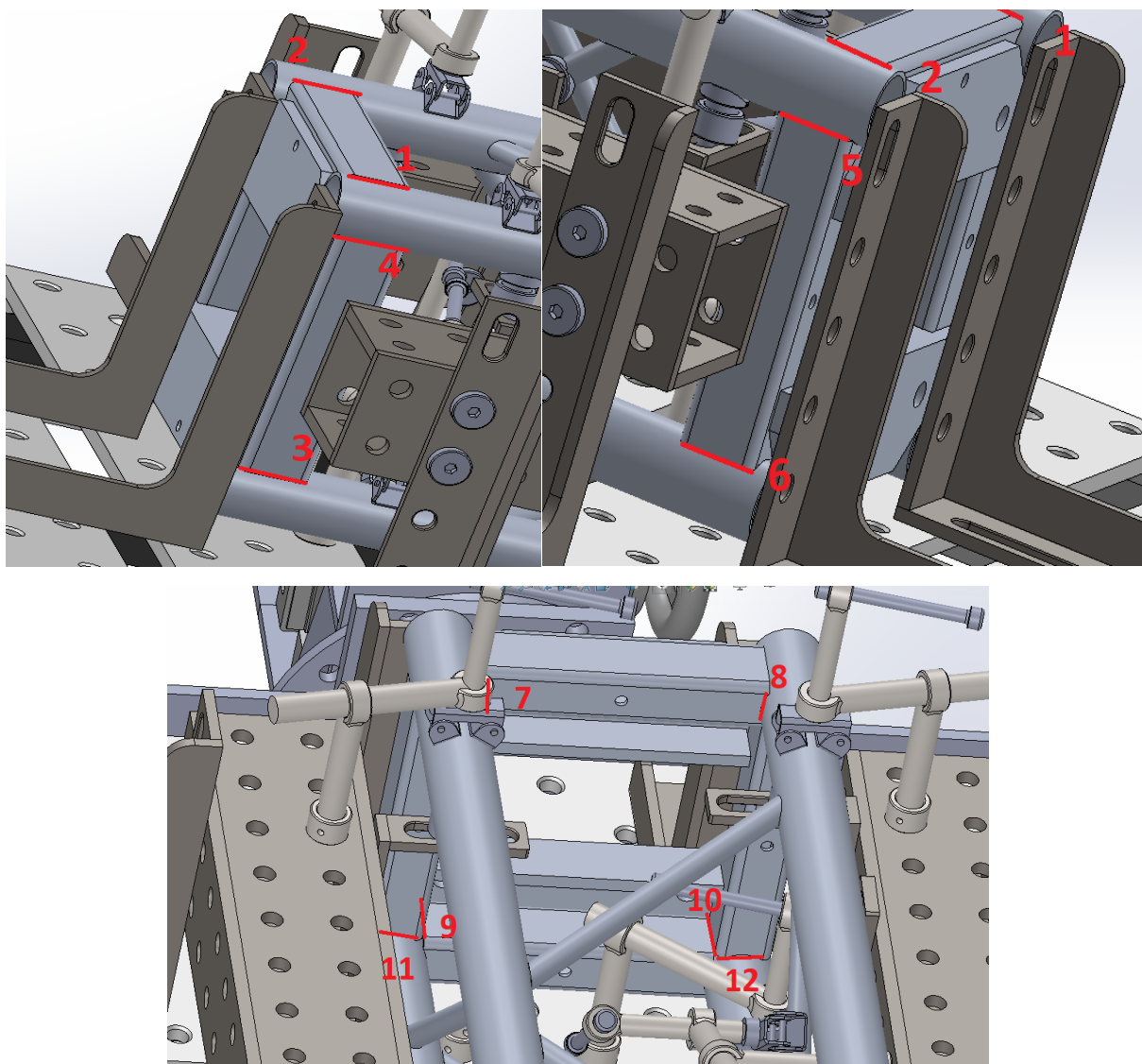


Рисунок 21 – Порядок виконання монтажних зварних швів 1 – 12 першого порядку для одної зі сторін конструкції

Із рисунку видно, що монтажні шви виконані лише в тих положеннях, які гарантують високу якість (РА та РВ). Для виконання швів другого порядку, як було вказано раніше, потрібно звільнити конструкцію та кантувати конструкцію на зворотній бік. Виконання монтажних зварних швів другого порядку наведено на рисунку 22.

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

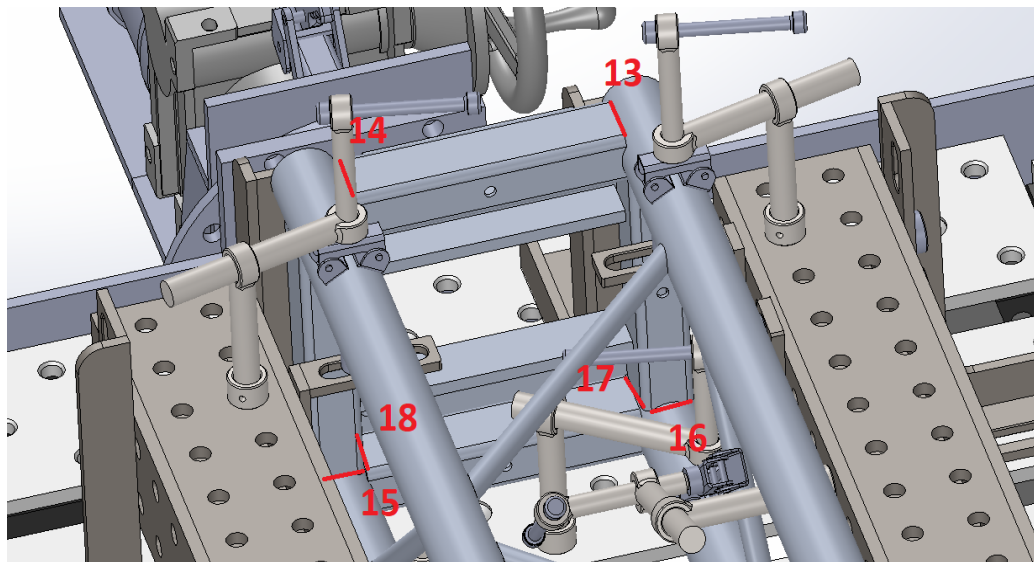


Рисунок 22 – Порядок виконання монтажних зварних швів 13 – 16
другого порядку для одної зі сторін конструкції

Загалом слід відзначити, що для виконання зварювання стиків деталей, вузлів та підвузлів є невеликий недолік, який відповідає за доступність до зварних швів. Але конструкція має відносно невеликі розміри, а також зважаючи на особливості конструкції, доступність до зварювання не є складною проблемою, так як руки зварювальника та пальник можуть легко розміститись в середині конструкції для формування швів у зручних положеннях. Для полегшення роботи персоналу, а тим самим зменшення ризиків травмування, вузол С – 1 та виготовлення виробу в цілому буде проводитись (як наведено раніше) у складально зварювальному кондукторі який являє собою двостійковий кантувач – позиціонер з поворотними центрами.

Отже конструкцію потрібно кантувати, що суттєво спрощує складально–зварювальні операції, та суттєво підвищує продуктивність та якість виконання швів у найбільш вигідному для їх виконання положенні.

Розглянемо як сформувався вузол С – 2. Деталі які пройшли перед зварювальну обробку прибувають на діляницю складання та зварювання. На ділянці складання та зварювання, деталі відправляють на ділянку виготовлення вузла С – 2 конструкції. На ділянці формування вузла №2, деталі стрижні та фланці монтують та фіксують у складально–зварювальний стенд,

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

відповідно кресленням, для формування вузла С – 2. Компоновка та розміщення деталей у складально-зварювальному стенді вузла С – 2, виглядає наступним чином. Деталі стрижні, монтуються до складально-зварювального столу, розміщуючись меншою шириною профілю до робочої площини столу. Після чого вони фіксуються необхідними затискачами, упорами та навіть оправковими елементами які повторюють профіль модульної ферми. Після цього додаються такі деталі як фланець, які також фіксуються за подібним принципом. Наступним кроком деталі з'єднуються між собою прихватками, а потім виконують процес зварювання у відповідності за технічною документацією на зварний виріб.

Після виконання монтажних швів конструкції, готовий виріб, звільняють з складально-зварювального кондуктора та відправляють на іншу ділянку, а саме на ділянку технічного контролю та сертифікації. Далі виріб після перевірки швів на дефекти, пакують та відправляють на ділянку зберігання готової продукції.

Загальна технологія складання та зварювання виробу, виглядає наступним чином (рис. 23).

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

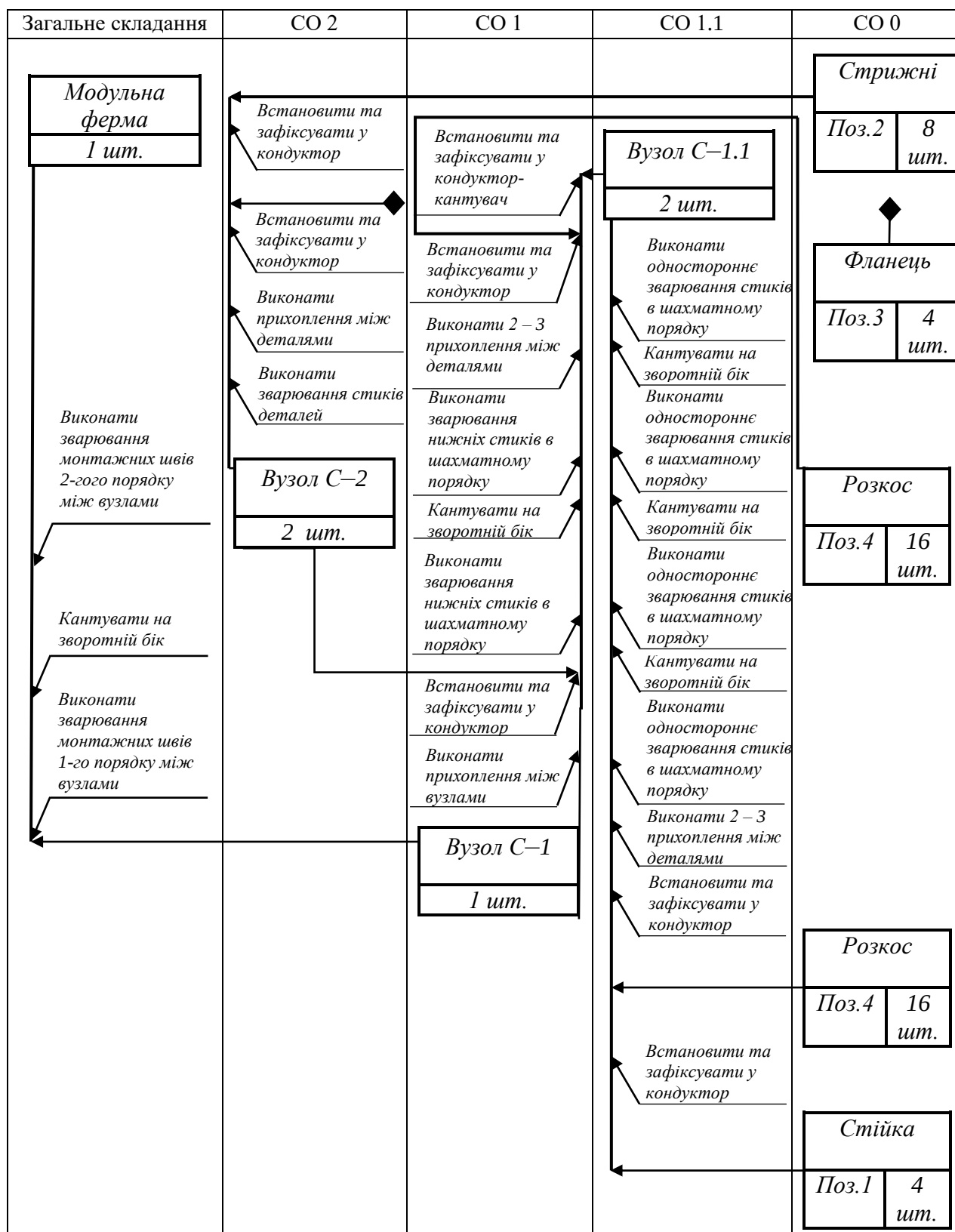


Рисунок 23 – Технологічна схема складання–зварювання модульної ферми

2.3 Вибір конструктивних матеріалів

Для виготовлення заготовок деталей стійка, необхідно обрати напівфабрикат зважаючи з якого матеріалу виготовляються деталі та товщину деталей, згідно необхідних масогабаритних параметрів конструкції. Для виготовлення наведених заготовок та перетворення їх на деталі, обрано напівфабрикат – Труба $\frac{50 \times 3 \text{ ДСТУ EN 755-2:2022}}{\text{EN AW-6082 T6}}$. Розміри: зовнішній діаметр 50 мм, товщина стінки 3 мм, прокатною довжиною 6 м.

Для виготовлення заготовок деталей розкоси, необхідно також обрати напівфабрикат зважаючи з якого матеріалу виготовляються деталі та товщину деталей, згідно необхідних масогабаритних параметрів конструкції. Для виготовлення наведених заготовок та перетворення їх на деталі, обрано напівфабрикат – Труба $\frac{18 \times 3 \text{ ДСТУ EN 755-2:2022}}{\text{EN AW-6082 T6}}$. Розміри: зовнішній діаметр 18 мм, товщина стінки 3 мм, прокатною довжиною 6 м.

Для виготовлення заготовок деталей стрижні, необхідно також обрати напівфабрикат зважаючи з якого матеріалу виготовляються деталі та товщину деталей, згідно необхідних масогабаритних параметрів конструкції. Для виготовлення наведених заготовок та перетворення їх на деталі, обрано напівфабрикат – Проф. труба $\frac{40 \times 50 \times 3 \text{ ДСТУ EN 755-2:2022}}{\text{EN AW-6082 T6}}$. Розміри: перша полиця 50 мм, друга полиця 40 мм, товщина стінки 3 мм, прокатна довжина 6 м.

Для виготовлення заготовок деталей фланці, необхідно також обрати напівфабрикат зважаючи з якого матеріалу виготовляються деталі та товщину деталей, згідно необхідних масогабаритних параметрів конструкції. Для виготовлення наведених заготовок та перетворення їх на деталі, обрано напівфабрикат – Кутик $\frac{40 \times 80 \times 10 \text{ ДСТУ EN 755-2:2022}}{\text{EN AW-6082 T6}}$. Розміри: перша полиця 40 мм, друга полиця 80 мм, товщина стінки 10 мм, прокатна довжина 6 м.

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

2.4 Вибір виробничих технологій та визначення характеристик виробничого устаткування заготівельного виробництва

Для забезпечення формоутворення деталі стійки із заготовки необхідно, перш за все використати технологію різання заготовки на мірні відрізки, щоб надати деталі необхідної довжини. Для цього обрано стрічковий верстат для різання металу STILER G5027 (рис. 24) [31], характеристики якого наведені в (таблиця 15).



Рисунок 24 – Стрічковий верстат для різання металу STILER G5027 [31]

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

Таблиця 15 – Технологічні характеристики стрікопильний верстат для різання металу STILER G5027 [31]

Модель	Потужність, кВт	Живлення, В	Розмір ріжучої стрічки, мм	Опускання голови	Швидкість стрічки, м/хв	Висота лещат від підлоги мм	Вага (кг)
G5027	1,1 / 2,2	400, 3 фази	2950 × 27 × 0,9	Гідроциліндр	36 / 72	940	480

Також для формування деталей розкоси необхідно виконати процес різання заготовок на мірні відрізки стрікопильним верстатом для різання металу STILER G5027 [31]. Також для кінцевого формування деталей, необхідно сформувати посадкове стикування до деталей стійки. Для цього обрано верстат для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76 [32] (рис. 25) [32]. Технічні характеристики якого наведені в (таблиці 16).



Рисунок 25 – Верстат для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76 [32]

Таблиця 16 – Характеристика верстату для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76 [32]

Діаметр фіксуєної заготовки, мм	Макс. діаметр оброблювальної труби, мм	Потужність двигуна, кВт	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота мм	Вага верстату, кг
Ø17–90	114,3	2,2	1150	600	1000	175

Для формування заготовок стрижні та фланці, також необхідно виконати процес різання напівфабрикатів на мірні відрізки стрічкопильним верстатом для різання металу STILER G5027 [31]. Для заготовки стрижні, як і для деталей розкоси, необхідно провести обробку та формування посадкової площини до деталей які виготовлені з труб, а саме до деталей стійки. Для цього використовується попередньо обране технологічне спорядження у вигляді верстату для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76 [32]. Для кінцевого формування, заготовку стрижень, відправляють на ділянку механічної обробки у вигляді свердління. Для виконання наведеної операції, використовується свердлильний верстат колонного типу STILER WS32A (рис. 26) [37]. Технічні характеристики якого наведені в (таблиці 17).



Рисунок 26 – Свердлильний верстат колонного типу STILER WS32A [37]

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

Для формування деталей фланець, заготовка після різання на мірний відрізок напівфабриката та надання йому необхідної форми у вигляду фасок, відправляють також на ділянку механічної обробки у вигляді свердління.

Таблиця 17 – Характеристика свердлильного верстату колонного типу STILER WS32A [37]

Макс. діаметр свердління, мм	32
Макс. діаметр різблення, мм	M24
Діаметр колони, мм	100
Хід шпинделя, мм	150
Відстань шпиндель — колона, мм	265
Макс. відстань шпиндель — стіл, мм	390
Макс. відстань шпиндель — основа, мм	745
Розміри столу, мм	380 × 400
Розміри основи, мм	645 × 470
Висота верстата, мм	1370
Потужність двигуна, кВт	1,5

2.5 Призначення методів та засобів обробки для деталей перед зварюванням та після зварювальної обробки

Алюмінію та його сплавам, а також загалом для всіх матеріалів перед зварюванням необхідно проводити обробку стиків деталей, для формування якісного зварного шву, саме підготовка має суттєвий вплив на якість формування зварного з'єднання.

Першим кроком, потрібно переконатися, що стики деталей, які підлягають під зварювання, не мають забруднень у вигляді мастил, бруду та фарби. У зв'язку із тим, що напівфабрикати поставляються зі складів металу, є ймовірність того, що напівфабрикат перебуває в маслянистій плівці, яка консервує основний матеріал від навколишнього середовища.

Тому загалом необхідно провести візуальний огляд напівфабрикату на наявність забруднень та мастил. В разі виявлення, слід застосувати первинне очищення металу за допомогою щітки по металу, стиснутого повітря та технічного спирту (розчинник 647).

Наступним кроком і найголовнішим, який притаманний саме для алюмінію та його сплавів, це очищення оксидної плівки перед зварюванням. Очищення оксидної плівки слід проводити безпосередньо перед зварюванням, оскільки від 2-ох год до 4-ох год, оксидний шар набуває початкових значень, що і перед очищенням. Для цього обрано циліндричну шліфувальну машинку Proxxon CAS/E (28560) (рис. 27) [33].



Рисунок 27 – Циліндрична шліфувальна машинка Proxxon CAS/E [33]

Обраний засіб дозволяє знімати поверхневий шар оксидної плівки з алюмінію без суттєвих проблем, а також за свої відносно невеликі габаритні розміри, може легко дістатися важкодоступних місць для очищення перед зварюванням. Технічні характеристики наведені в (таблиці 18) [33].

Таблиця 18 – Циліндрична шліфувальна машинка Proxxon CAS/E [33]

Напруга, Гц.	Потужність, Вт	Швидкість шпинделя, об/хв	Довжина, мм	Вага, г	Ізоляція класу
230. 50/60	100	від 800 до 2800	270	900	2

Також для запобігання утворення пор, та для запобігання утворенню гарячих тріщин, слід провести попередній підігрів стику деталей перед зварюванням. За рекомендаціями літературних джерел, попередній підігрів не повинен перевищувати більше ніж 120 °С [34]. Так як із досліджень встановлено, що при перебуванні алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 в межах температур від 200 °С до 300 °С, призводить до характерних значних змін механічних властивостей, а саме знижується міцність (таблиці 19) [35].

Таблиця 19 – Залежність механічних властивостей сплаву EN AW–6082 T6 від температури [35]

Температура (°С)	Модуль пружності E (ГПа)	Межа плинності $f_{0.20}$ (МПа)	Гранична міцність f_u (МПа)	Відносне подовження ϵ_t (%)
20	71.0	288.0	306.2	7.1
100	70.0	278.4	290.8	9.7
150	65.0	243.3	246.9	12.3
200	65.0	190.4	191.3	3.1
250	63.4	107.5	109.4	2.8
300	48.0	58.2	59.4	1.7
350	24.0	19.5	20.7	19.3

Також слід врахувати, що після зварювання сплав EN AW–6082 T6, має послабленні властивості в місцях зоні зварювання. Тому для модульної ферми, слід провести після зварювальну термообробку.

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

Найкращим варіантом в разі після зварювальної термообробки конструкції є термообробка Т6, як вказано раніше. Термообробка у вигляді Т6, яка застосовується для виготовлення напівфабрикатів, полягає в наступній технології виконання.

По перше, для деталі проводять нагрів до температури розчинення в межах від 530 °С до 550 °С. Далі проводять швидке охолодження, в переважній більшості це гартування у воді. Потім проводять штучне старіння при температурі в межах від 170 °С до 180 °С (кілька годин). У результаті такої технології формується дрібнодисперсна структура, яка дає високу міцність [8].

При зварюванні, зона термічного впливу (ЗТВ) нагрівається до температур в межах від 200 °С до 500 °С і втрачає штучне старіння. Тобто в зоні термічного впливу сплав уже не має стану Т6, а переходить ближче до відпаленого стану або до проміжного Т4. Через що міцність у зоні шва падає від 30 % до 50 % [8].

Тобто термообробка Т6 полягає в повному нагріванні конструкції до температур в межах від 530 °С до 550 °С. Із швидким гартуванням та штучним старінням в межах температур від 170 °С до 180 °С кілька годин. Така термічна обробка є найкращим рішенням для забезпечення рівномірного розподілення міцності у зварній конструкції. Але через складну та високовартісну наведену технологію, та складність обрання необхідного обладнання через габарити конструкції, застосування її у багатосерійному виробництві є нераціональним рішенням вирішення проблеми з міркувань економіки. Тому для забезпечення необхідної міцності конструкції, слід застосувати термообробку Т5 [8].

Суть її технології полягає в наступному. Термічна обробка Т5 – це штучне старіння після охолодження з робочої температури зварювання. Тобто після зварювання, коли конструкція опустила свою температуру в місцях зварювання до значень кімнатної температури, проводять нагрів до температури в межах від 170 °С до 180 °С та витримують кілька годин. Після цього в місцях зварювання та ЗТВ, починають знову виділятися дрібнодисперсні частинки, які покращують міцність на 10 – 20 % від

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

відпаленого стану до початкового значення. Для тих ділянок де не дуло застосовано зварювання та термічний вплив від зварювання, термообробка Т6 під час проведення термообробки Т5 суттєвих змін не дає.

Отже в якості попередньої термообробку перед зварюванням слід застосувати підігрів до температури в межах від 100 °С до 120 °С для формування якісного з'єднання. В якості після зварювальної термообробки слід застосувати штучне старіння Т5, нагрів в межах температур від 170 °С до 180 °С з витримкою кілька годин, що дає ліпші механічні властивості, та знімає залишкові зварювальні деформації.

В якості обладнання для штучного старіння, обрано полімеризаційну піч ППЗ–М (рис. 28) [36], яка відповідає робочій температурі, та враховує габарити конструкції. Технічні характеристики наведені в (таблиці 20) [36].



Рисунок 28 – Полімеризаційна піч ППЗ–М [36]

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

Таблиця 20 – Технологічні характеристики полімеризаційної печі
ППЗ–М [33]

Ширина, мм	Висота, мм	Довжина, мм	Потужність, кВт	Максимальна температура, °C
1300	1940	3000	30	220

2.6 Розробка управління якості виготовлення конструкції та призначення способів контролю якості зварних з'єднань модульної ферми

При виготовленні модульної ферми зі сплаву EN AW–6082 T6, як і для інших відповідальних конструкцій, проводять наступні види контролю:

- вхідний контроль матеріалів;
- операційний контроль (підготовка, складання, зварювання);
- приймальний контроль (візуальний та геометричний);
- контроль після зварювальної обробки (штучне старіння T5).

Під час вхідного контролю здійснюють перевірку якості матеріалів, що застосовуються при виготовленні ферми. Основними завданнями вхідного контролю є:

- а) Перевірка наявності супровідної документації (сертифікатів якості) на продукцію, що засвідчує її якість:
 - 1) перевіряється відповідність хімічного складу та механічних властивостей (стану термообробки T6) вимогам EN 573–3:2013 та EN 485–2:2013;
 - 2) проводиться контроль зварювального дроту марки ER4043 (AlSi5) діаметру (1.2 мм) на відсутність пошкоджень, окислення та перевіряють якість рядного намотування на котушці;

3) Перевіряється відповідність сертифікату ДСТУ ГОСТ 10157:2019 на захисний газ аргон (Ar) вищого сорту.

б) Контроль відповідності якості та комплектності продукції вимогам конструкторської документації (візуальний огляд на відсутність механічних пошкоджень, вм'ятин, корозії).

За результатами вхідного контролю складають висновок про відповідність вхідної продукції встановленим вимогам і заповнюють журнал обліку.

Порядок проведення операційного контролю є критично важливим для забезпечення якості зварних з'єднань алюмінієвої ферми та запобігання дефектам (пористості, тріщинам, деформаціям). Контроль викладають у технологічному регламенті, він включає:

- перевірка якості механічної зачистки поверхонь для повного видалення тугоплавкої оксидної плівки Al_2O_3 . Суворий контроль дотримання часового проміжку між зачисткою та зварюванням, не більше 24 годин;
- вибірковий контроль температури підігріву (від 100 °C до 120 °C) безпосередньо перед зварюванням для гарантованого видалення вологи (джерела водню та пористості);
- перевірка правильності базування та послідовності встановлення деталей "Стійка", "Розкос", "Стрижень", "Фланець" для виготовлення складальних одиниць у спеціалізованих складально–зварювальних кондукторах рис. 34, 35, 36;
- перевірка надійності фіксації деталей. Притискачі мають забезпечувати розрахункове зусилля для ефективної протидії тепловим деформаціям (коробленню);
- верифікація параметрів процесу 131 MIG (DP–GMAW) на зварювальному апараті (Jasic MIG–250). Контролюється відповідність середнього струму – 82 А, співвідношення фаз "Нагрів до

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

Охолодження" – 30/70 %, теплової частоти – 3 Гц та витрати аргону 12 л/хв;

- дотримання складання та зварювання модульної ферми за розробленою ієрархічною схемою виготовлення виробу.

Приймальний контроль проводять для 100 % готових модульних ферм за наступними показниками:

- зовнішній огляд: 100 % візуальний контроль всіх зварних швів для виявлення поверхневих дефектів;
- геометричні розміри та форма: контроль габаритних розмірів 2500 мм х 300 мм х 300 мм, прямолінійності, площинності та відсутності загального короблення конструкції. Дотримання допусків форм та розташування поверхонь згідно з ДСТУ 2099–92.

При отриманні незадовільних результатів хоча б за одним з показників, усуваються причини дефектів, а потім проводяться повторні випробування.

В якості контролю після зварювально обробки, для часткового відновлення міцності сплаву EN AW–6082 T6 у зоні термічного впливу (ЗТВ) та зняття залишкових напружень, кожна зварна ферма піддається примусовому штучному старінню (режим T5). Контроль цього технологічного процесу включає:

- перевірка параметрів термообробки: контроль температури нагріву в печі в межах від 170 °C до 180 °C та часу витримки в кілька годин;
- вибірковий контроль твердості: проведення вимірювань твердості (НВ) у зоні ЗТВ та на основному металі для підтвердження успішності процесу старіння та досягнення необхідних механічних властивостей. Для алюмінієвого сплаву в ЗТВ твердість НВ відповідно табл. 2 та п. 2.5 після штучного старіння T5 має становити від 60 НВ. В якості пристрою вимірювання обрано Твердомір Barcol Impressor, який здатен вимірювати твердість від 25 НВ до 150 НВ по Брінелю (рис. 29) [68].

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



Рисунок 29 – Твердомір Barcol Impressor [68]

При виборі способу контролю якості виконання зварних з'єднань модульної ферми враховано наступні фактори:

- хімічний склад: алюмінієвий сплав EN AW-6082 T6, схильний до таких дефектів як пористість та гарячі тріщини;
- конструктивні особливості: просторова ферма з великою кількістю коротких від 25 мм до 160 мм та криволінійних (кільцевих) швів, що ускладнює застосування автоматизованих методів контролю;
- вимоги до виробу: конструкція несе значні знакозмінні статичні та динамічні навантаження, що вимагає відсутності критичних дефектів.

Після виготовлення ферми, обов'язковим чином проводиться візуально-оптичний метод контролю монтажних швів складових елементів конструкції. Передбачено такий же метод застосовується і під час виготовлення підвузлів С – 1.1 та вузла С – 2. Суть методу полягає в огляді з'єднань і виявлення дефектів, виконання замірювань та визначення відповідності з'єднання висунутим йому допускам на зварні з'єднання конструкції відповідно до таблиці 10.

Законодавство України регулює візуальний контроль таким нормативними документом як ДСТУ EN 13018:2017 «Неруйнівний контроль. Контроль візуальний. Загальні вимоги» та ДСТУ EN ISO 17637:2017

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

«Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням».

При контролі перевіряють основний метал, підготовку деталей під зварювання та складання, зовнішній вид на наявність забруднень, розміри, геометрію шва після зварювання, наявність дефектів та їх виправлення. Контроль передбачає підтвердження відсутності бризок металу, відповідності форм та розмірів стандартам.

Найбільш небезпечними дефектами для алюмінієвого сплаву 6082 є тріщини особливо гарячі, що виникають при кристалізації, не провари та поверхнева пористість які спричинені потраплянням водню у зварювальну ванну. Дефекти діляться на дві групи: об'ємні (пори, газові включення, не провари) та тріщиноподібні. Тріщиноподібні дефекти вважаються критичними і є недопустимими для даної конструкції.

Використання інших, більш складних методів неруйнівного контролю, наприклад ультразвукового чи радіографічного не є раціональним застосуванням для виявлення дефектів наведеної конструкції, через велику кількість коротких та криволінійних (кільцевих) швів, так як конструкція виготовляється переважно із труб Ø50 мм та Ø18 мм. А враховуючи, що за ДСТУ EN ISO 17640:2021 встановлено, що для ультразвукового контролю кільцевих зварних швів мінімальний діаметр труби має становити не менше 60 мм, щоб забезпечити правильне введення ультразвукового променя.

Отже, в ході аналізу було встановлено, що візуальний контроль є достатнім, ефективним та більш економнішим методом для виявлення переважної більшості поверхневих дефектів, характерних для зварювання алюмінію. Слід відзначити, що висока якість зварних швів конструкції, та унеможливлення появи небажаних дефектів, можлива лише тоді, коли суворо забезпечуються операційний контроль всіх рекомендації до, під час, та після зварювання модульної ферми.

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

2.7 Розроблення технологічних процесів виготовлення заготовок і деталей зварного виробу

Напівфабрикат, який поставляється до виробника алюмінієвих ферм, прибуває на підприємство та розвантажується на склад металу, де перевіряється відповідність сертифікатів та поставленого металу. Після цього, для виготовлення деталі стійка та заготовки фланець, напівфабрикати відправляють на ділянку різання напівфабрикатів на мірні відрізки згідно кресленням. Після чого отриману деталь стійка, очищують від бруду та мастил, знімають гостру ріжучу кромку та проводять процес очищення від поверхневого шару оксидної плівки, раніше наведеними засобами.

Заготовку фланець відправляють на ділянку механічної обробки, де проводять свердління вище наведеними засобами, згідно кресленням. Після чого готову деталь, так само як і для деталі стійка, проводять очищення від бруду та мастил, знімають гостру ріжучу кромку, проводять процес очищення від поверхневого шару оксидної плівки та відправляють готові деталі фланець та стійка на дільницю складання та зварювання де розміщують їх на ділянках складу деталей в місцях виготовлення підвузлів С–1.1 та вузла С– 2 конструкції.

Відповідні операції відбуваються також для деталей розкоси та стрижні, але перед обробкою заготовок під зварювання, заготовки відправляють на ділянку надання посадкового місця для труб відповідним раніше обраним оснащенням. Після цього, вже готові деталі розкоси очищують від бруду, мастил, знімають ріжучу кромку, знімають поверхневий шар оксидної плівки та відправляють на дільницю складання та зварювання підвузла С–1.1.

Для формоутворення деталей стрижні, заготовки відправляють на ділянку механічної обробки у вигляді свердління вище вказаними засобами, а саме за допомогою свердлильного верстату колонного типу STILER WS32A [37]. Після проведення наведених операцій, деталі стрижні відправляють на місце складання та зварювання вузла С–2 конструкції.

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

2.8 Схеми технологічних процесів формоутворення деталей

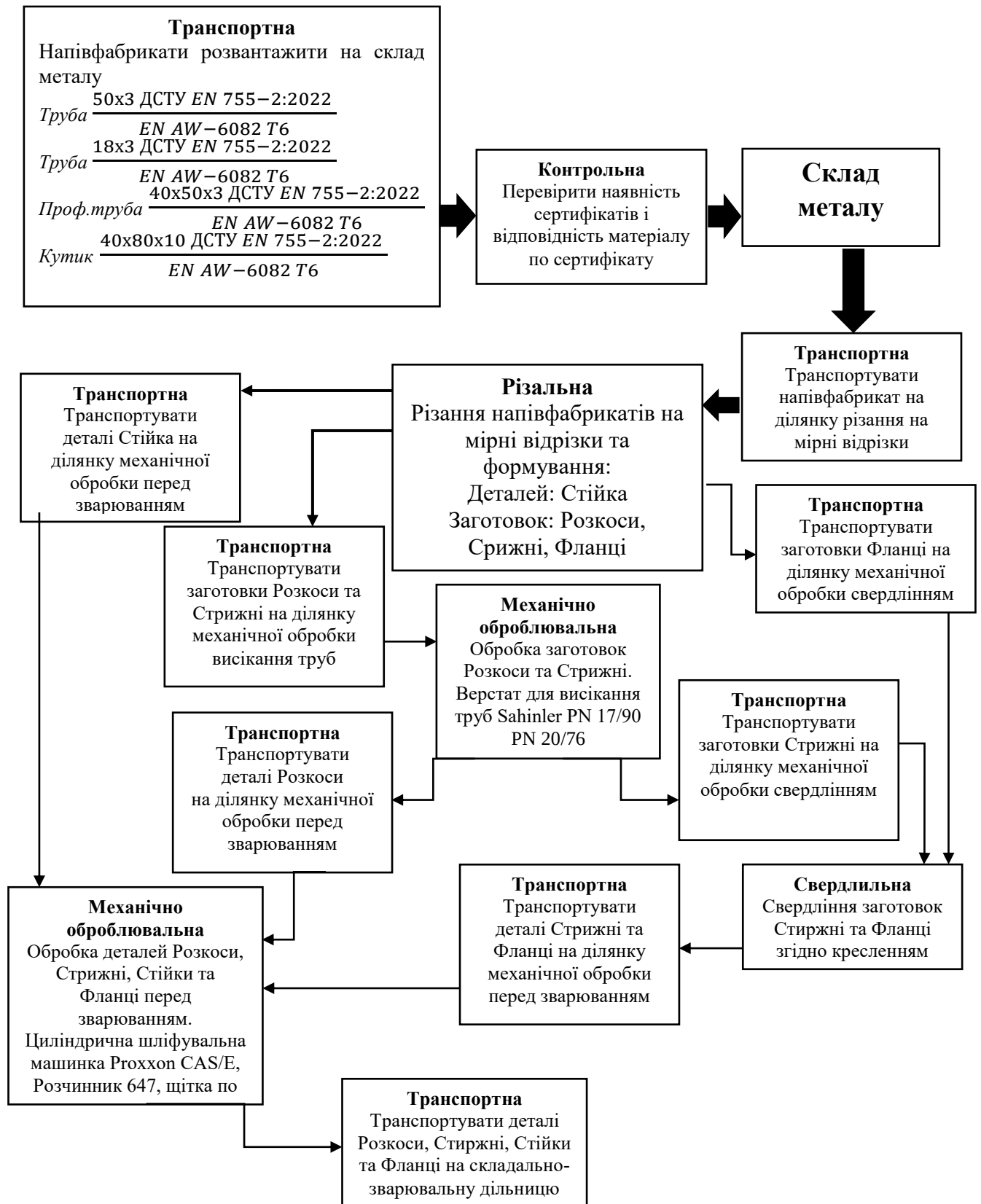


Рисунок 30 – Схема технологічних процесів формоутворення деталей конструкції

2.9 Обґрунтування необхідності розробки технологічної оснастки

Виготовлення балок модульних ферм з алюмінієвого сплаву EN AW–6082 T6 є важливим завданням у сучасному будівництві. Модульні ферми, широко застосовуються для створення легких та водночас міцних, корозійностійких конструкцій, такі як будівельні каркаси, мостові переходи, опорні системи, сценічні конструкції та інші інженерні споруд, де необхідна висока швидкість монтування та водночас висока міцність загальної конструкції. Алюмінієвий сплав EN AW–6082 T6 обраний через свою високу міцність, гарну зварюваність та стійкість до атмосферних впливів, що робить його ідеальним для використання в умовах, що вимагають мінімальної ваги та максимальної довговічності.

Розробка спеціалізованої технологічної оснастки для виготовлення наведених балок є не просто бажаною, а вирішальною необхідністю з наступних причин.

Модульні ферми складаються з однакових елементів, модулів. Будь-яке відхилення в геометрії окремої балки, може призвести до неможливості їх точної сполуки на монтажному майданчику, викликаючи механічні напруження, порушення геометрії всієї конструкції та значне збільшення трудомісткості монтажних робіт. Технологічна оснастка жорстко фіксує всі елементи ферми в необхідному положенні під час складання та зварювання, гарантуючи дотримання всіх необхідних розмірів.

Алюмінієві сплав EN AW–6082 T6, має високий коефіцієнт теплового розширення та велику теплопровідність. Це робить їх дуже схильними до значного короблення та деформацій під впливом зварювання та як результат теплового розширення. Без використання спеціальних пристосувань, що надійно фіксують виріб і забезпечують оптимальний порядок накладання швів, отримати рівну ферму практично неможливо. Оснастка дозволяє вести процес з мінімальним впливом, а інколи унеможливорює короблення конструкції під час зварювання, що зберігає форму виробу.

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

Використання кондукторів та шаблонів, значно скорочує час підготовки на вирівнювання та фіксації деталей перед зварюванням. Це дозволяє перевести складальні операції на потоковий рівень, значно збільшивши кількість готової продукції за одиницю часу.

Хоча розробка та виготовлення самої оснастки вимагає первинних інвестицій, вони швидко окупаються за рахунок скорочення витрат на оправку, усунення або мінімізація деформацій, усуває потребу в дорогій та трудомісткій правці готових балок. Також суттєво зменшує брак, за рахунок надання оснастками необхідної точності та повторюваності, знижують кількість виробів, що не відповідають технічним вимогам. Правильно розроблена оснастка підвищує економію матеріалів, за рахунок точного позиціонування деталей, мінімізуючи при цьому припуски на механічну обробку та витрату матеріалу. Також слід відмітити суттєве скорочення витрат на кваліфіковану працю зі складання та вирівнювання деталей.

Технологічна оснастка є ключовим інструментом для забезпечення стабільної якості всієї партії виробів. Вона гарантує, що кожна модульна ферма буде абсолютно ідентичною, що є головною вимогою для модульних конструкцій. Це дозволяє сертифікувати виріб та гарантувати його відповідність розрахунковим навантаженням.

Спеціальні пристосування забезпечують зручне та безпечне розташування зварювального вузла, усуваючи необхідність тимчасової фіксації деталей небезпечними методами. Вони також дозволяють оптимально організувати робоче місце, зменшуючи ризик травматизму.

Розробка технологічної оснастки для складання та зварювання балок модульних ферм з алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6 є критично важливим і економічно вигідним заходом. Вона не тільки вирішує технологічні проблеми, пов'язані з деформаціями при зварюванні алюмінію, але й забезпечує високу точність, повторюваність, підвищує продуктивність, знижує собівартість та гарантує безпеку виробничого процесу.

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

3 РОЗРОБКА СКЛАДАЛЬНО–ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ОСНАСТКИ

3.1 Технічні вимоги щодо оснастки

Складально–зварювальна оснастка повинна забезпечувати якісне виготовлення вузлів, підвузлів та їх складання в готовий виріб – модульна ферма. Для цього складально–зварювальна оснастка повинна відповідати наступним вимогам:

- оснастка повинна забезпечувати точність складання елементів ферми в межах допусків, встановлених робочим кресленням;
- конструкція повинна забезпечувати установку та фіксацію всіх деталей у проектне положення без додаткових приганяльних операцій;
- повинен бути забезпечений вільний доступ до всіх місць для виконання прихваток та зварювання;
- деталі повинні надійно фіксуватися за допомогою механічних, пневматичних або гідравлічних прижимних пристроїв, що виключають їх зсув під час зварювання;
- базові, установочні та силові елементи оснастки повинні мати захист від прилипання зварювальних бризок для збереження точності та довговічності;
- конструкція затискних механізмів повинна виключати можливість їх заклинювання під дією термічних деформацій, що виникають при зварюванні;
- оснастка повинна бути обладнана самогальмівними механізмами у кантувачах або поворотних пристроях, а також засобами безпеки, що запобігають травмуванню персоналу;
- всі елементи оснастки повинні мати необхідну міцність і жорсткість для сприйняття маси виробу та силових навантажень під час складання, зварювання та кантування без залишкових деформацій;

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

- оснастка повинна витримувати масу готової модульної ферми з коефіцієнтом запасу та забезпечувати її кантування в усіх просторових положеннях для зручного доступу до зварних швів;
- поворотний механізм, кантувач або позиціонер, повинен бути достатньо потужним для плавного обертання виробу навколо своєї осі;
- повинна бути передбачена надійна фіксація виробу в кантувачі з можливістю обертання на 360° з розрахунковою масою виробу та необхідним оснащенням орієнтовну в 300 кг;
- має забезпечуватися широке використання типових, уніфікованих, нормалізованих та стандартних деталей і вузлів, таких як прижими, пальці, хомути, упори, призми, проставки, болти, гайки, що сприяє зменшенню собівартості, строків проектування та виготовлення.

Отже для складання та зварювання модульної ферми, необхідно таке складально–зварювальне оснащення, яке задовольнить наступні технічні вимоги:

- оснащення повинно витримувати масу готового виробу, разом із необхідним оснащенням для складання та зварювання, з можливістю кантування в усіх просторових положеннях;
- оснащення повинно бути достатньо потужним для обертання готового виробу навколо своєї осі;
- оснащення повинно забезпечувати надійне фіксування та притискання деталей конструкції один до одного.

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

3.2 Вибір технологічних баз та схема базування деталей та вузлів

Розглянемо схему базування деталей для виготовлення підвузла С–1.1, за обраною технологією складання та зварювання (В). Із попереднього аналізу встановлено, що підвузол С–1.1 складається із 2–ох паралельно, один відносно одного розміщених деталей стійок та 8–ми деталей розкоси. Схема базування зображена на (рис. 31).

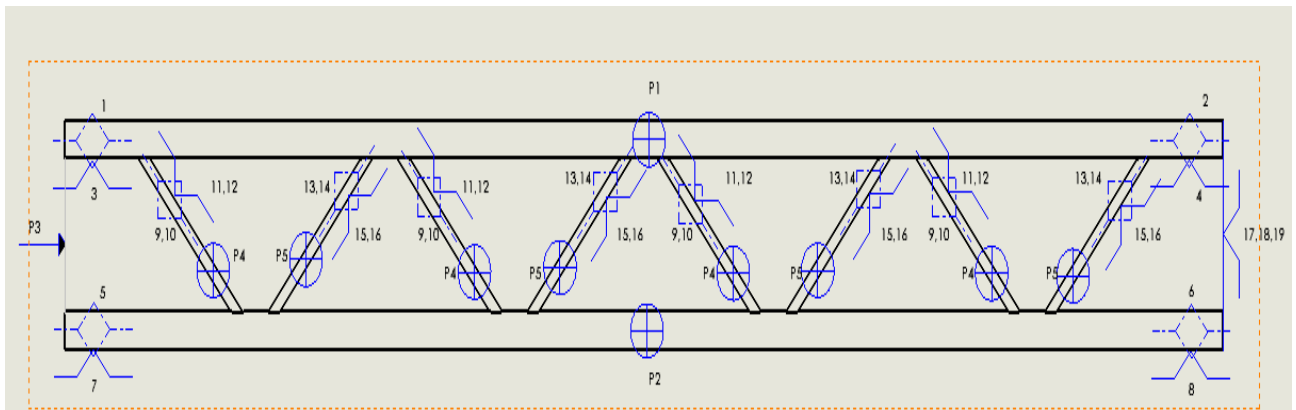


Рисунок 31 – Схема базування для складання та зварювання вузла С–1.1

Зі схеми видно, що стійки монтуються паралельно один відносно одного у горизонтальній площині, на так звані опори призми. Загальна кількість опор призм, залежить від створення в місцях стику деталей зварювальних деформацій. Тому попередньо прийнемо, що для позиціонування однієї деталі стійка, використовується 6 – 7 шт. опор призм. Відповідно для фіксації однієї стійки, використовується 4 – 5 шт. струбцин.

Деталі розкоси також розміщуються в горизонтальній площині але зі зміщенням на кут 45° відносно лінії вісі деталей стійок. Для їх позиціонування використовується 16 шт. опор призм, а також відповідно слід застосувати струбцини в кількості 8 шт.

Також кондуктор передбачає встановлення стійок з упором їх на одній стороні та притискання їх з іншої сторони до того ж упору. Це виключає можливість видовження труби за рахунок теплового розширення основного металу.

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

Розглянемо схему базування деталей для виготовлення вузла С–1, за обраною технологією складання та зварювання (В). Із попереднього аналізу встановлено, що вузол С–1 складається із 2–ох паралельно, один відносно одного розміщених підвузлів С–1.1 в горизонтальних площинах та розкосів кількістю 16 шт. Схема базування зображена на (рис. 32).

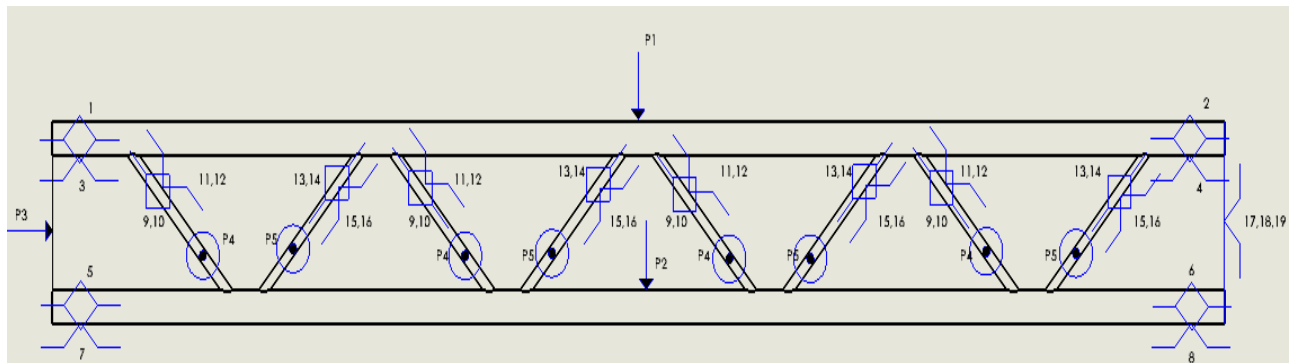


Рисунок 32 – Схема базування для складання та зварювання вузла С–1

Схема базування подібна до минулої схеми базування, яка використовується для складання підвузла С–1.1, але складально зварювальне оснащення розміщується по різному. Зі схеми видно, що підвузли розміщуються паралельно, один відносно одного в горизонтальних площинах, які сідають на опори призми. Деталі розкоси монтуються та фіксуються у вертикальному положенні під кутом 45° відносно вісі деталей стійки двох підвузлів С–1.1. Таке розміщення складально–зварювального оснащення виконується за допомогою двох паралельно розміщених один відносно одного, з двох боків вузла С–1, складально зварювальних модульних балок, за допомогою яких можна розмістити необхідні упори та притискачі для виконання позиціонування та фіксування в складально зварювальному кондукторі. Таке розміщення складально–зварювального оснащення дозволяє забезпечити вірне позиціонування деталей в просторі, та одночасно дозволяє безперешкодно звільняти зварний вузол із складально–зварювального кондуктора.

Також як і в попередній схемі базування, кондуктор передбачає встановлення стійок з упором їх на одній стороні та притискання їх з іншої

						Арк.
						85
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сторони до того ж упору. Це виключає можливість видовження труби за рахунок теплового розширення основного металу.

Розглянемо схему базування деталей для виготовлення вузла С–2, за обраною технологією складання та зварювання (В). Із попереднього аналізу встановлено, що вузол С–2 складається із 4–ох деталей стрижні та 2–ох деталей фланці. Схема базування зображена на рисунку 33.

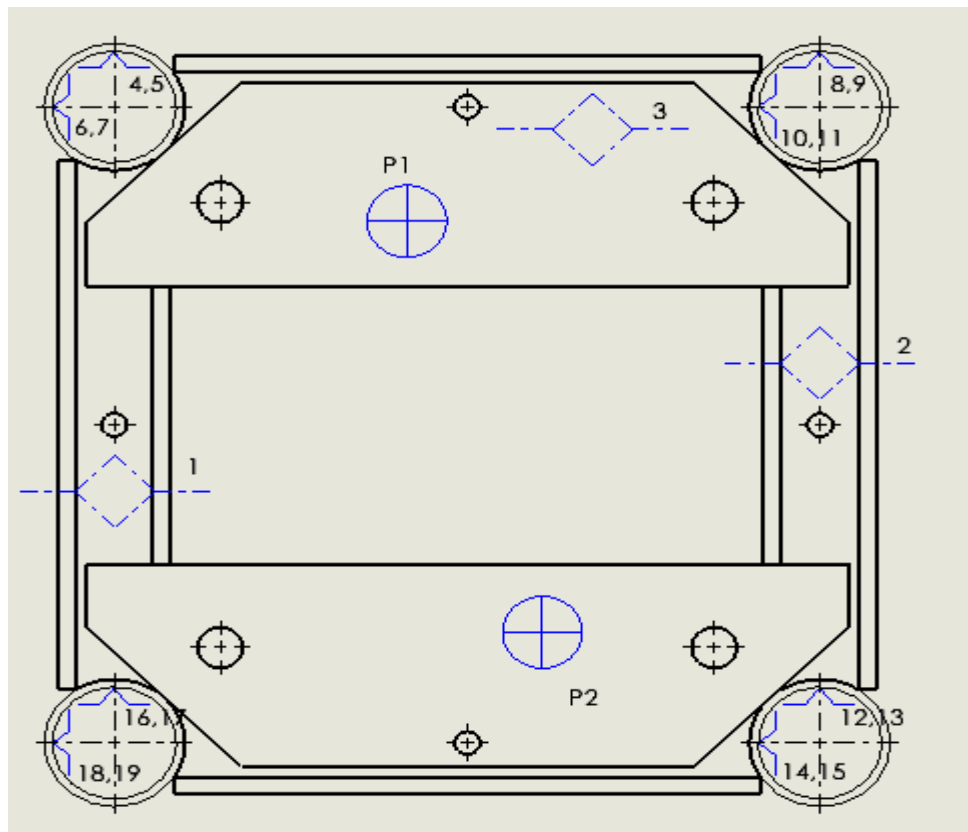


Рисунок 33 – Схема базування для складання та зварювання вузла С–2

Зі схеми видно, що стрижні монтуються та встановлюються у попередньо вмонтовані оправки, які задають точне позиціонування деталей, та повторюють форму розміщення деталей стійок вузла С–1. Деталі фланці розміщуються на деталях стрижні та впираються двома косими площинами (фасками) до бічних поверхонь оправкових труб. Потім деталі притягуються одна до одної струбцинами. Таке розміщення оснащення, є найкращим рішенням для складально-зварювального виробництва вузла С–2.

3.3 Розробка принципової схеми пристрою

Розглянемо принципову схему пристрою для складання та зварювання підвузла С–1.1. Схема засобів притискання та фіксації конструкції виглядає наступним чином. При поєднанні вище наведених засобів, упорів, призм (регульованих та незмінних), притискачів та модульного столу з його складально–зварювальним оснащенням для позиціонування конструкції у просторі та з врахуванням схеми базування для зварювання вузла С–1.1, ми отримаємо складально–зварювальне спорядження (кондуктор) яке зображено на (рис. 34).

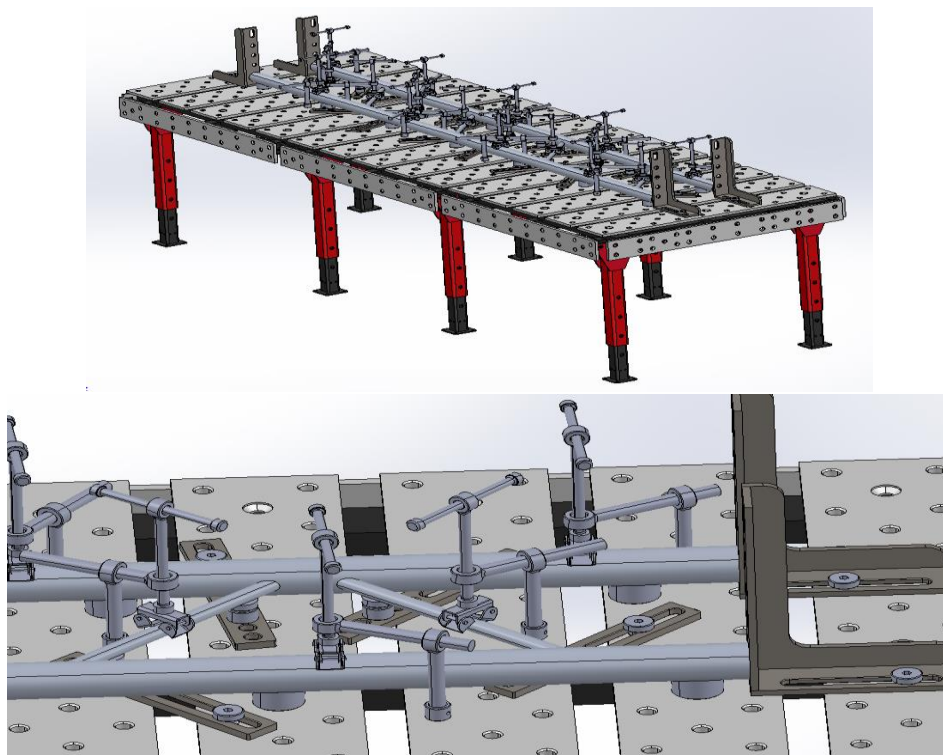


Рисунок 34 – Кондуктор для складання та зварювання вузла С–1.1

Розглянемо принципову схему пристрою для складання та зварювання підвузла С–1. Схема засобів притискання та фіксації конструкції виглядає наступним чином. При поєднанні вище наведених засобів, упорів, модульних балок, призм (регульованих та незмінних), притискачів, модульного столу та двохстоякового кантувача з його складально – зварювальним оснащенням для

						Арк.
						87
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

позиціонування конструкції у просторі та з врахуванням схеми базування для зварювання вузла С–1, ми отримаємо складально–зварювальне спорядження (кондуктор) яке зображено на (рис. 35).

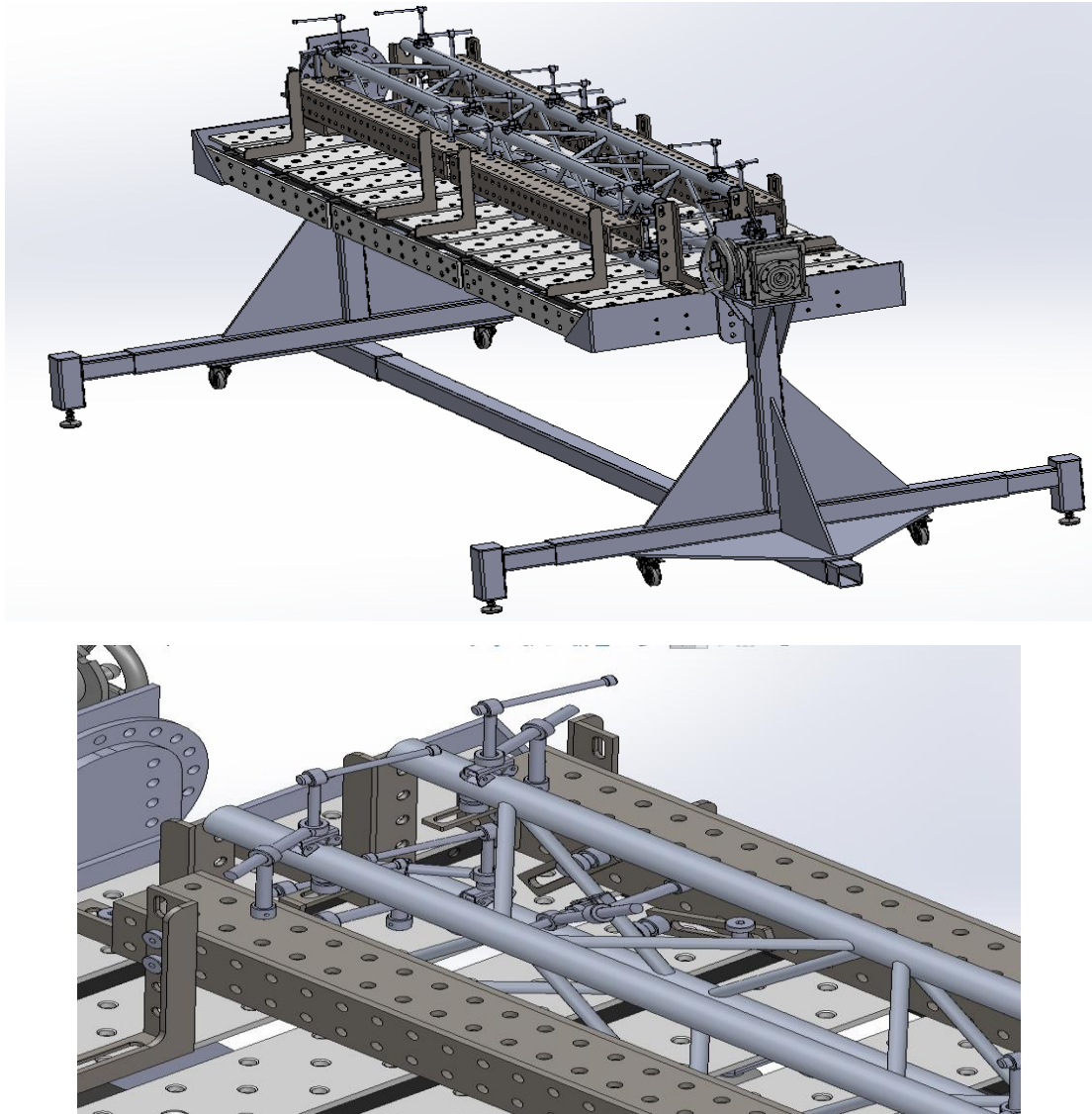


Рисунок 35 – Кондуктор для складання та зварювання вузла С–1

Розглянемо принципову схему пристрою для складання та зварювання вузла С–2. Схема засобів притискання та фіксації конструкції виглядає наступним чином. При поєднанні вище наведених засобів, упорів, притискачів, модульного столу з його складально – зварювальним оснащенням та з врахуванням схеми базування для зварювання вузла С–2, ми отримаємо складально–зварювальне спорядження яке зображено на (рис. 36).

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

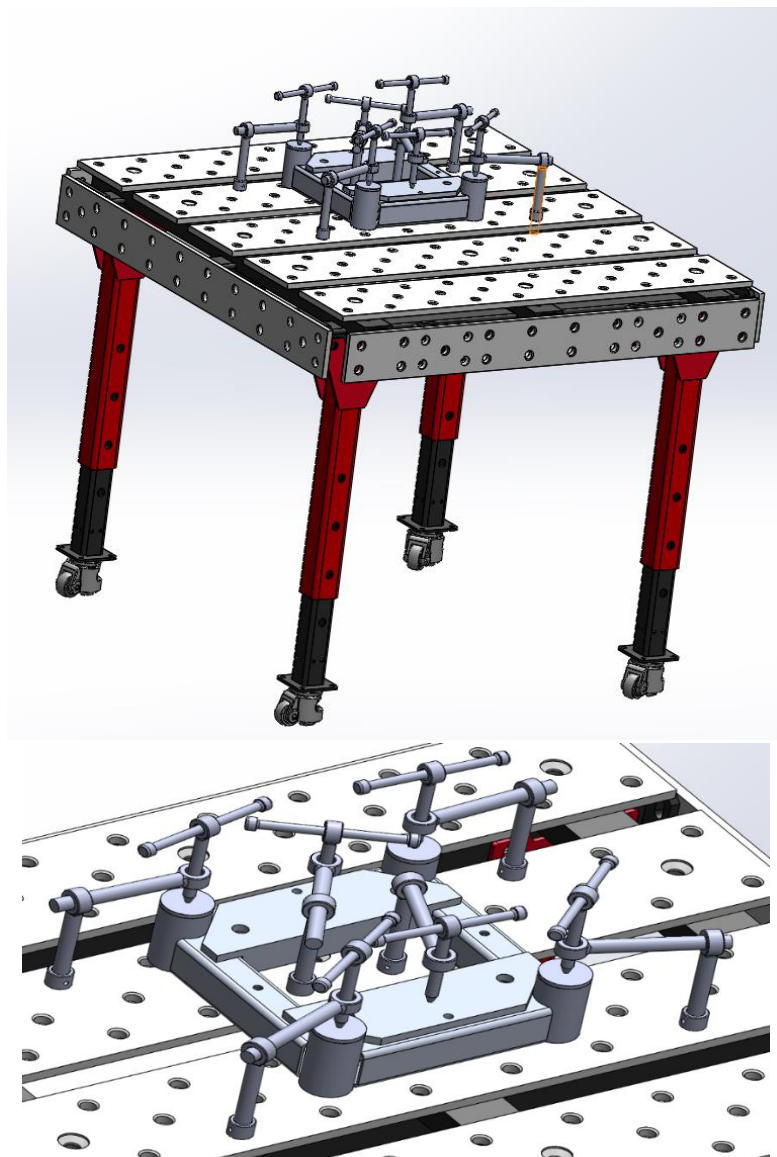


Рисунок 36 – Кондуктор для складання та зварювання вузла С – 2

У випадку складання та зварювання вузлів С–1 та С–2, які собою формують готовий виріб, використовується той же наведений кондуктор який зображений на рис. 35. Для кінцевого формування виробу, як описано раніше, вузол С–2 фіксується з двох кінців перед формуванням вузла С–1, і в ході формування вузла С–1, виконують зварювання вузла С–2 до вузла С–1.

Зображене оснащення, так само із способом та місцем його розміщення наведено як орієнтовне. Для більш точніших характеристик, а саме місцем кріплення притискного оснащення, з якою силою потрібно притискати деталі, а також визначення міцності упорів та міцності кантувача, слід провести розрахунки.

						Арк.
						89
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Розрахунок складально зварювального оснащення

3.4.1 Розрахунок сил притиску для закріплення деталей підвузла С – 1.1

Для визначення сили притиску деталей підвузла С–1.1, а саме стійка та розкос, буде використовуватись схема розрахунку яка відповідає до кожного зі швів підвузла С–1.1. Розрахункова схема наведена на (рис. 37).

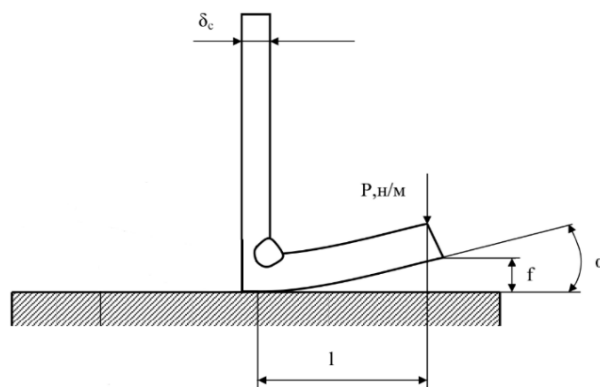


Рисунок 37 – Розрахункова схема визначення сил притиску вузла С–1.1

По наведеній схемі, умовно приймемо, що нижня полиця відповідає деталі розкос із товщиною стінки $\delta - 6$ мм (сума двох товщин труби), відповідно $\delta_c - 6$ мм, залишкова кутова деформація tga від 45° розміщення деталі розкос відносно осі деталі стійка, становитиме -0.01 , відтань від шву до сили притиску приймемо як середину довжини деталі Розкос $-\frac{282}{2} = 141$ мм.

Приймемо 140 мм.

Так як деталь розкос приварюється з двох кінців, і у разі розміщення притискача по середині деталі, ми отримаємо розподілення притискного зусилля на два кінця деталі.

Наведений варіант розрахункової схеми, відповідає зварювальним швам №5 підвузла С–1.1.

Виконаємо розрахунок сил притиску для шва № 5.

						Арк.
						90
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані: матеріал – EN AW–6082 T6; товщина стінок δ_c – 6 мм; δ – 6 мм; межа текучості σ_T – 260 МПа; модуль пружності $E = 7 \cdot 10^4$ МПа; залишкова кутова деформація $tga = 0.01$; $l = 140$ мм.

Визначимо критичне значення кутової деформації:

$$tg\alpha_{кр} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{доп}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 10^6}{3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,006} = 0,057$$

Для визначення погонної сили притиску однієї полиці, порівняємо критичне значення кутової деформації з залишковою кутовою деформацією.

В нашому випадку $\alpha_{кр} > \alpha$ тому розрахунок здійснюємо за формулою для визначення сили притиску однієї кромки:

$$P = \frac{\delta^3 \cdot tga \cdot E}{4 \cdot l^2} = \frac{0,006^3 \cdot 0,01 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{4 \cdot 0,140^2} = 1928 \text{ Н/м.}$$

Переведемо значення 1928 Н/м у концентровану силу яка діє на відстані 0,140 м.

$$F = P \cdot l = 1928 \cdot 0,140 = 269,92 \text{ Н.}$$

Враховуючи те, що при зварюванні шву №5 є дві полиці під зварювання на деталі Розкоси, розміщення одного притискача по середині деталі, як і було описано раніше, забезпечить непорушність деталі під впливом зварювальних деформацій. Але із міркувань забезпечення непорушності, приймемо силу притиску $F \cdot 2$ – тобто сила притиску відповідає кількості кромки під зварювання.

$$\text{Тоді } F = 269,92 \cdot 2 = 539,84 \text{ Н.}$$

В технології складання та зварювання підвузла С–1.1, деталі розкоси, монтуються на упори у вигляді призм, які позиціонують деталь та надають їй чотирьох опорних точок. Також після позиціонування та фіксації, деталь розкос прихоплюють до деталі стійка, яка також фіксується на упорах у вигляді призм.

Також приймемо силу притиску для фіксування деталі стійка рівною силі притиску деталей розкоси – $F = 539,84$ Н.

Зі схеми базування та врахування технології складання та зварювання вузла С–1 видно, що технологія складання та зварювання подібна до виготовлення підвузла С–1.1, так як розміщення деталей відповідне, а отже

						Арк.
						91
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сили притиску для фіксування деталей у складально зварювальному кондукторі відповідають значенням які розраховані раніше, та будуть становити $F = 539,84 \text{ Н}$.

3.4.2 Розрахунок сил притиску для закріплення деталей вузла С – 2

Для визначення сили притиску деталей вузла С – 2 (фланець та стрижні), буде використовуватись наступна схема розрахунку яка зображена на (рис. 38).

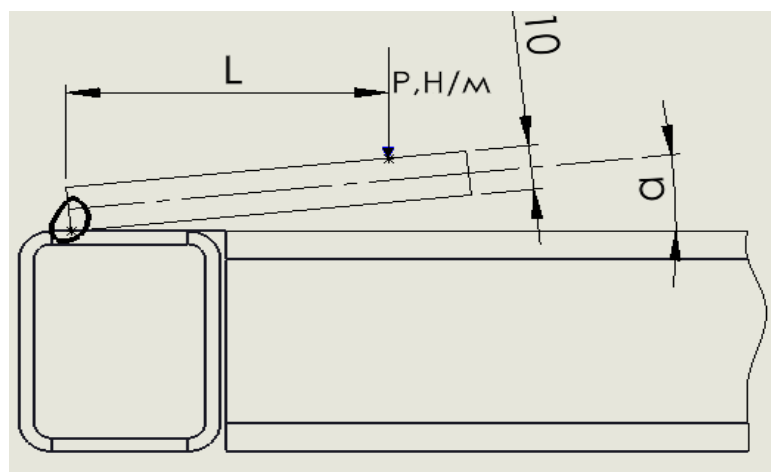


Рисунок 38 – Розрахункова схема визначення сил притиску вузла С – 2

Вихідні дані: матеріал – EN AW-6082 Т6; товщина стінок $\delta_c - 10 \text{ мм}$; $\delta - 3 \text{ мм}$; межа текучості $\sigma_t - 260 \text{ МПа}$; модуль пружності $E = 7 \cdot 10^4 \text{ МПа}$; залишкова кутова деформація $\text{tg}\alpha = 0.008$; Значення довжини від шву до сили притиску, приймемо $l = 60 \text{ мм}$.

Визначимо критичне значення кутової деформації:

$$\text{tg}\alpha_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{\text{доп}}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 10^6}{3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,010} = 0,0148.$$

Для визначення погонної сили притиску однієї полиці, порівняємо критичне значення кутової деформації з залишковою кутовою деформацією.

В нашому випадку $\alpha_{\text{кр}} > \alpha$ тому розрахунок здійснюємо за формулою для визначення сили притиску однієї кромки:

$$P = \frac{\delta^3 \cdot \text{tg}\alpha \cdot E}{4 \cdot l^2} = \frac{0,010^3 \cdot 0,01 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{4 \cdot 0.060^2} = 48611 \text{ Н/м}.$$

						Арк.
						92
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переведемо значення 48611 Н/м у концентровану силу яка діє на відстані 0,060 м.

$$F = P \cdot l = 48611 \cdot 0.060 = 2916 \text{ Н.}$$

Також слід врахувати, що розрахункове значення сили притиску полиці для виконання зварювання шву №1, відповідає також силі притиску для швів №3 та №4.

3.4.3 Розрахунок сил притиску для закріплення вузів С – 1 та С – 2

Для визначення сили притиску вузлів С–1 та С–2, буде використовуватись вже наведена раніше схема розрахунку яка зображена на рисунку 37.

Вихідні дані: матеріал – EN AW–6082 Т6; товщина стінок δ_c – 6 мм; δ – 6 мм; межа текучості σ_t – 260 МПа; модуль пружності $E = 7 \cdot 10^4$ МПа; залишкова кутова деформація $\text{tga} = 0.01$; $l = 145$ мм.

Визначимо критичне значення кутової деформації

$$\text{tga}_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{\text{доп}}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 145 \cdot 10^{-3} \cdot 260 \cdot 10^6}{3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \cdot 0,006} = 0,06.$$

Для визначення погонної сили притиску однієї полиці, порівняємо критичне значення кутової деформації з залишковою кутовою деформацією.

В нашому випадку $\alpha_{\text{кр}} > \alpha$ тому розрахунок здійснюємо за формулою для визначення сили притиску однієї кромки:

$$P = \frac{\delta^3 \cdot \text{tga} \cdot E}{4 \cdot l^2} = \frac{0,006^3 \cdot 0,01 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{4 \cdot 0.145^2} = 1798 \text{ Н/м.}$$

Переведемо значення 1798 Н/м у концентровану силу яка діє на відстані 0,145 м.

$$F = P \cdot l = 1798 \cdot 0.145 = 260,71 \text{ Н.}$$

Враховуючи те, що з'єднання вузла С–2 з вузлом С–1 буде відбуватись на двох кінцях однієї деталі стрижень вузла С–2, яка попередньо зварена та виключає можливість деформації, сам вузол С–2, за рахунок того, що він попередньо монтується у вузол С–1 на попередньо підготовленні кромки під

						Арк.
						93
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювання, та вони водночас задають позицію розміщення вузла С–2, слід враховувати, що вузол С–2 під час встановлення у вузол С–1 має 8 точок опор, які були створені за рахунок стикування кромки деталей стрижнів вузла С–2 до деталей стійки вузла С–1. Таким чином, створенні деформації під час зварювання не мають впливу на вузол С–2, так як за рахунок цих 8–ми точок – опор, вузол С–2 не має вільності переміщення відносно деталей стійки у перпендикулярному положенні. У складально зварювальному пристосуванні, достатньо розмістити вузол С–2 згідно кресленню, та виконати декілька прихоплень, без попереднього притискання вузла С–2 до вузла С–1.

В такому разі приймаємо остаточне рішення. Для подальшого проектування складально – зварювального оснащення, буде використовуватись найбільше притискне зусилля серед розрахованих значень. Це зумовлено тим, що для фіксування елементів конструкції, буде використовуватись однотипна струбцина з притискним зусиллям $P = 2916 \text{ Н}$.

3.5 Проектний розрахунок притискачів

Перед проектуванням притискачів приймемо, що пристосування та конструкція буде розміщуватись на складально–зварювальному перфорованому модульному столі зі системою отворів $\varnothing 20 \text{ мм}$ та розміщенням $100 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$ та центральним отвором по діагоналі. Перфорований модульний стіл, зображений на (рис. 39).

						Арк.
						94
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

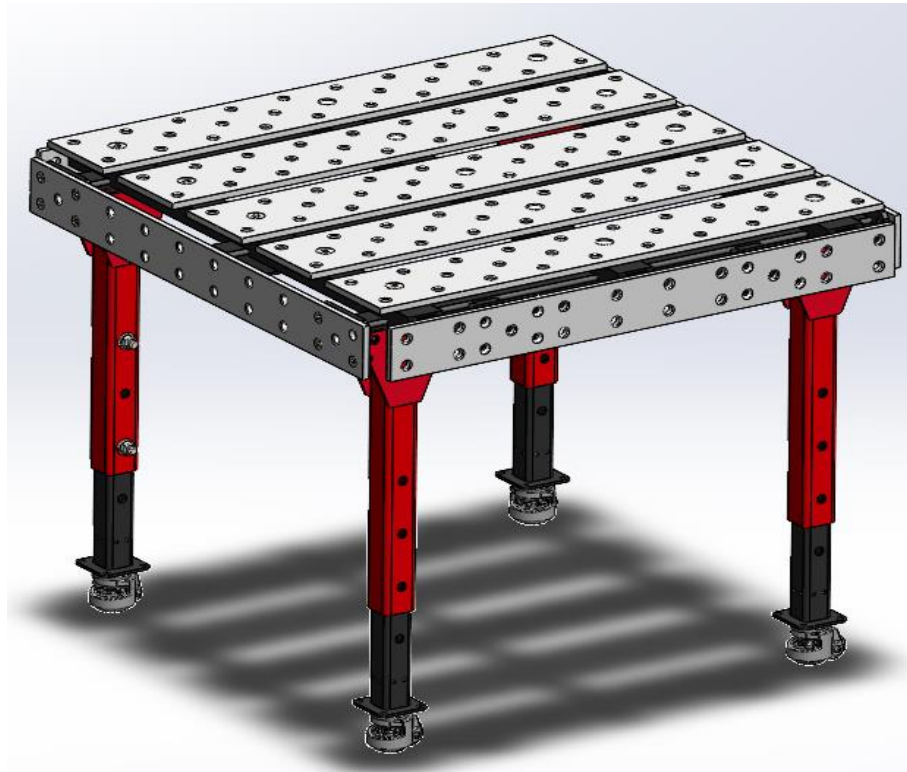


Рисунок 39 – Перфорований модульний стіл

Визначимо діаметр притискного гвинта та момент його затягування для закріплення деталей із визначеною загальною силою $Q = 2916 \text{ Н}$. Встановимо доцільну форму головки гвинта для затягування за допомогою рукоятки. Притискний кінець гвинта виконаємо у варіанті з плоским торцем. Визначимо довжину l та діаметр d_0 рукоятки.

Визначимо розміри поперечного перерізу корпусу притискача або необхідний діаметр, кількість витків різьби для гвинта та висоту гайки.

Матеріал гвинта ISO 683–1 C45E, $\sigma_T = 350 \text{ МПа}$, $[\sigma]_{\text{гвт}} = 58 \text{ МПа}$; матеріал корпусу гвинта ISO 683–1 C20 $\sigma_T = 250 \text{ МПа}$ $[\sigma]_{\text{крп}} = 180 \text{ МПа}$.

Розрахунок виконаємо за розрахунковою схемою яка зображена на (рис. 40).

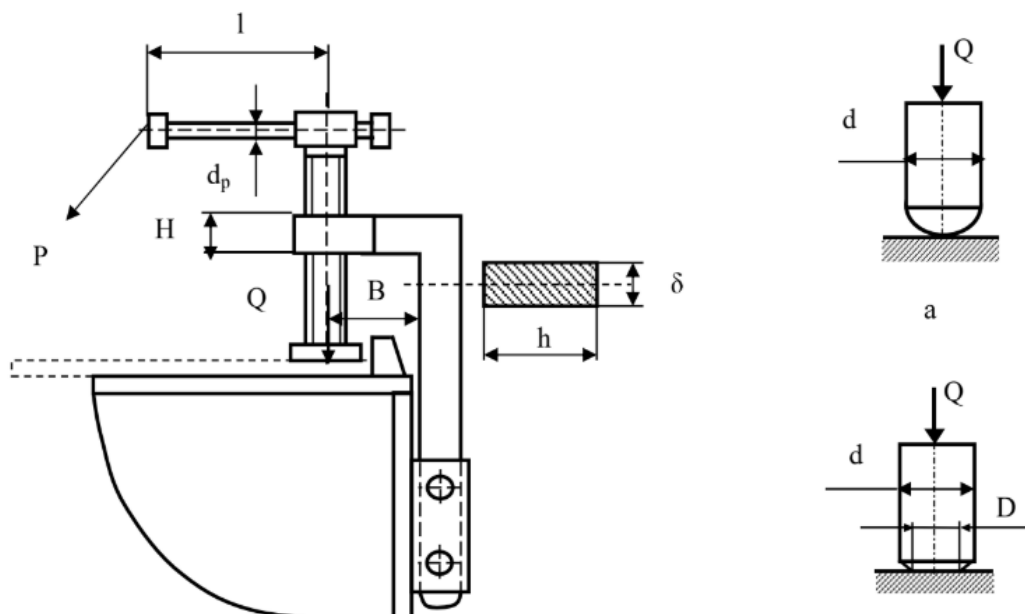


Рисунок 40 – Розрахункова схема гвинтового притискача

Визначимо внутрішній діаметр гвинта з урахуванням коефіцієнта $\gamma = 1.5$, що враховує крутний момент.

$$d_{\text{вн}} = 1,4 \sqrt{\frac{4 \cdot \gamma \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]_{\text{гвт}}}} = 1,4 \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 2916}{3,14 \cdot 58 \cdot 10^6}} = 0,0137 \text{ м.} = 13,7 \text{ мм.}$$

Приймемо діаметр болта округливши значення в більшу сторону:

$$d_{\text{вн}} = 14 \text{ мм.}$$

Також оберемо болта, в якого внутрішній діаметр буде більший за розрахунковий (рис. 41) [39].

Позначення метричних ниток ISO, ГОСТ				Зовнішня різьба = зовнішня (нитка болта)							
Розмір, мм (розмір, мм)	Повне позначення нитки	Коротке позначення нитки	Крок різьби, мм (крок, мм)	Поле толерантності нитки (клас)	Зовнішній діаметр, (великий діаметр d=D)		Середній діаметр різьби = (діаметр кроку) d2=D2		Внутрішній діаметр, (малий діаметр d3)		
					макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	
16	M16x1.6	M16x1.6	1.6	6g	15.97	15.76	14.93	14.82	14.236	13,838	

Рисунок 41 – Розміри Болта M16x1.6 [40]

Оберемо зі стандарту ISO DIN 933 гвинт M16x1.6 внутрішній діаметр якого дещо більший від розрахункового і становить $d_{вн} = 14,236$ мм, а зовнішній відповідно $d_z = 15.97$ мм.

Проведемо розрахунок гвинта за типами упорного накінецьника.

Момент затягування гвинта з сферичною заточкою:

$$M_c = Q[r_{cp}tg(\alpha + \varphi_{пр}) + M_{тр_c}]$$

де $\alpha = 2^\circ 30'$ – кут підйому різьби;

$\varphi_{пр} = 6^\circ 40'$ – приведений кут тертя для метричної різьби;

$M_{тр_c} = 0$ – момент сил тертя для гвинта з сферичною заточкою.

$$M_c = 2,916 \cdot 10^3 (0,45 \cdot 0,01 \cdot tg(2^\circ 30' + 6^\circ 40')) = 2,11 \text{ Нм.}$$

Момент затягування гвинта з плоским торцем.

$$M_{пт} = Q[r_{cp}tg(\alpha + \varphi_{пр}) + \frac{1}{3}\mu D] = 2,916 \cdot 10^3 (0,45 \cdot 0,01 \cdot tg(2^\circ 30' + 6^\circ 40') + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,01) = 2,90 \text{ Нм.}$$

Визначимо довжину рукоятки, якщо зусилля робітника на рукоятці $P = 150$ Н.

$$L = \frac{M_c}{P} = \frac{2,11}{150} = 0,014 \text{ м. – у випадку сферичного торця.}$$

$$L = \frac{M_{пт}}{P} = \frac{2,90}{150} = 0,019 \text{ м. – у випадку плоского торця.}$$

Настільки мала довжина рукоятки пояснюється тим, що для притиску на відстані 60 мм, від центру лінії зварного шва до лінії дії притискача, необхідне зусилля для притиску складає 2916 Н. Чим ближче до зварного шву тим більше зусилля, але із приближенням до зварного шву лінії дії притискача, виникає можливість забруднення та пошкодження силової частини притискача від іскор та бризгів від зварювання. Те саме впливає і на опору.

Тому умовно приймемо, що довжина рукоятки складатиме 100 мм. Це рішення передбачено зроблено із врахуванням того, що із збільшенням рукоятки, збільшується притискне зусилля створене працівником. Таким чином ми формуємо запас притиску деталей, враховуючи людський фактор працівника.

						Арк.
						97
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр рукоятки гвинта визначимо з умови міцності:

$$\sigma = \frac{Pl}{0,1d^3} \leq [\sigma], \text{ звідки } d_p = \sqrt[3]{\frac{150 \cdot 0,1}{0,1 \cdot 180 \cdot 10^6}} = 0,0089 \text{ м.}$$

Прийmemo діаметр рукоятки $d_p = 10 \text{ мм.}$

Визначимо кількість витків різьби в гайці:

$$n = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_{BH}^2)p_0}$$

де p_0 = від 9 МПа до 13 МПа, питомий тиск в різьбі для сталеві гайки та сталевого гвинта.

$$n = \frac{2916}{\frac{\pi}{4}(0,01597^2 - 0,013838^2)11 \cdot 10^6} = 5,3. \text{ Приймаемо 6 витків.}$$

Висота гайки при кількості заходів різьби $m = 1$.

Для гайки М16 з кроком різьби прийнятим раніше 1.6 висота гайки буде становити:

$$H = \frac{nS}{m} = \frac{6 \cdot 1,6}{1} = 9,6 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань висоту гайки прийmemo 15 мм. Тоді кількість витків $n = 9,3$.

Визначимо розміри поперечного перерізу корпусу притискача $h \times \delta$.

Задаємо товщиною $\delta = 10 \text{ мм}$, та визначаємо ширину b .

Згинальний момент сили Q на плечі B $M_3 = QB$.

Поперечний переріз корпусу краще визначити з напружень від згинального моменту з наступною перевіркою на міцність з урахуванням напружень від розтягу. Прийmemo $B = 80 \text{ мм}$.

$$\sigma = \frac{6QB}{b^2\delta} \leq [\sigma], \text{ звідки } b = \sqrt{\frac{6QB}{\delta[\sigma]}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2916 \cdot 0,08}{0,01 \cdot 180 \cdot 10^6}} = 0,0278 \text{ м.}$$

Прийmemo: $b = 28 \text{ мм.}$

Перевіримо корпус гвинтового притискача на міцність:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 2916 \cdot 0,08}{0,028^2 \cdot 0,01} + \frac{2916}{0,028 \cdot 0,01} = 188,94 \cdot 10^6 \text{ Па} > 180 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Рівність не виконується.

Прийmemo: $b = 30 \text{ мм.}$

						Арк.
						98
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = \frac{6 \cdot 2916 \cdot 0,08}{0,03^2 \cdot 0,01} + \frac{2916}{0,03 \cdot 0,01} = 165 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Умова виконується. $165 \cdot 10^6 \text{ Па} < 180 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

Беручи до уваги, що для виконання фіксування деталей конструкції, передбачено використовується струбцина яка виготовлена саме для роботи із перфорованими столами, тобто всі елементи струбцини виготовленні із прокатного вала, та враховуючи отриману площу, а саме $S = B \cdot \delta = 30 \cdot 10 = 300 \text{ мм}^2$, можна визначити необхідний діаметр круга, з якого буде виготовлятися корпус струбцини. Тому діаметр повинен становити:

$$D = \sqrt{\left(\frac{S}{\pi}\right)} \cdot 2 = \sqrt{\left(\frac{300}{3,14}\right)} \cdot 2 = 19,54 \text{ мм.}$$

Прийmemo 20 мм.

Перевіримо необхідний діаметр корпусу, використовуючи формулу для визначення діаметра рукоятки гвинта, підставляючи відповідні значення:

$$\sigma = \frac{Pl}{0,1d^3} \leq [\sigma], \text{ звідки } dk = \sqrt[3]{\frac{2916 \cdot 0,08}{0,1 \cdot 180 \cdot 10^6}} = 0,024 \text{ м.}$$

За допомогою програмного забезпечення Solid Works, було змодельовано струбцину, та задано їй розрахункових розмірів згідно попередніх визначень та прийнятих рішень (рис. 42). В результаті отриманого аналізу, було встановлено, що при зусиллі в 2916 Н, корпус струбцини сприймає навантаження розтягу та стискання. Із отриманої діаграми видно, що межа плинності для матеріалу ISO 683–1 C20, знаходиться вище середньої точки, тоді як на самому корпусі можна спостерігати небезпечні зони, саме в місцях дії сил розтягу та стискання.

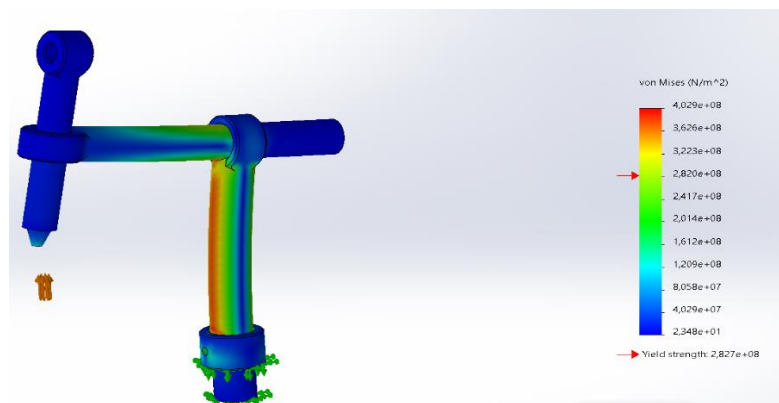


Рисунок 42 – Струбцина для перфорованого столу

						Арк.
						99
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В такому разі, змінимо основний матеріал корпусу на ISO 683–1 C45E. Тоді розрахунок автоматизованими засобами набуде вигляду (рис. 43).

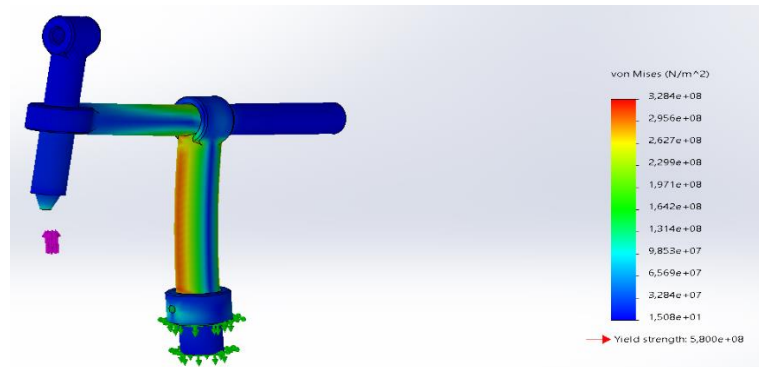


Рисунок 43 – Струбцина для перфорованого столу

Зі схеми видно, що в корпусі притискача не відбувається пластичних деформацій. А отже, із рішенням заміни матеріалу, вирішилась проблема деформації притискача.

Перевіримо діаметр корпусу, використовуючи матеріал за ISO 683–1 C45E:

$$\sigma = \frac{Pl}{0,1d^3} \leq [\sigma], \text{ звідки } dk = \sqrt[3]{\frac{2916 \cdot 0,08}{0,1 \cdot 300 \cdot 10^6}} = 0,019 \text{ м.}$$

Прийmemo Ø 20 мм.

Із розрахунку видно, що матеріал забезпечує необхідне зусилля притиску, зберігаючи при цьому конструктивні властивості які попередньо задані у вигляді використання для складання та зварювання модульної ферми на складально – зварювальному модульному столі із отворами Ø 20 мм.

						Арк.
						100
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Проектний розрахунок упорів

Перевіримо конструкцію при закріпленні упорів за допомогою болтів, (рис. 44).

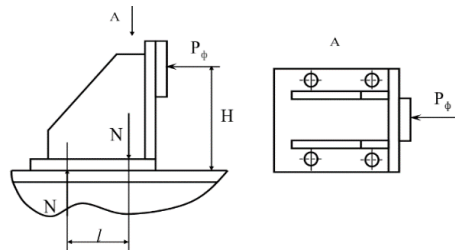


Рисунок 44 – Схема закріплення упорів за допомогою болтів

Силові упори сприймають сили від ваги виробу (в загальному випадку) та від розпирних або стягуючих сил, які виникають від зварювання. Прийmemo для розрахунку упора, суму ваги виробу та найбільшого притискного зусилля яке формується шляхом притискання деталей тобто $G = 195,15 \text{ Н}$, $P = 2916 \text{ Н}$.

$$P_{\phi} = G + P = 195,15 + 2916 = 3111 \text{ Н.}$$

При закріпленні упорів за допомогою болтів, а також врахування того, що упори за наведеною схемою розрахунку використовуються на етапі складання та зварювання вузла С–1 та складання вузлів С–1 та С–2 прийmemo, що величина Н, в результаті попереднього проектування, буде становити 294 мм. (рис. 45).

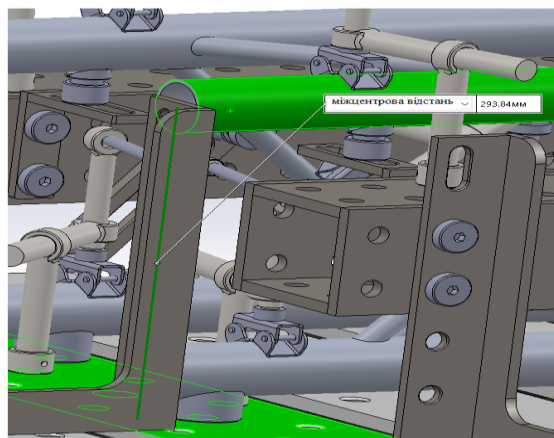


Рисунок 45 – Величина Н для розрахунку

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

$$M = P_{\phi} \cdot H = 3111 \cdot 0,294 = 914,6 \text{ Н/м.}$$

Болти працюють на розтяг та на зрізання, відповідно від сил N та P_{ϕ} .

Приймемо, що болти кріпляться лише з однієї сторони, тоді довжина l між болтами 150 мм.

$$N = \frac{M}{2l} = \frac{P_{\phi} H}{2l} = \frac{914,6}{0,150} = 6097 \text{ Н/м.}$$

Нормальні напруження від сил розтягу N .

Приймемо, що діаметр болтів становить 16 мм.

$$\sigma = \frac{4N}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 6097}{\pi 16^2} = 30,3 \text{ Н.}$$

Дотичні напруження від дії поперечної сили $Q = P_{\phi}$.

$$\tau = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3111}{\pi \cdot 16^2} = 15,47 \text{ Н.}$$

Еквівалентні напруження.

Приймемо, що корпус упора виготовляється зі сталі ISO 683–1 C45E.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad \sigma_e = \sqrt{30,3^2 + 3 \cdot 15,47^2} = 40,44 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{K} = \frac{\text{межа текучості}}{\text{коеф.запасу}=4...7} = \frac{350}{6} = 58,3 \text{ МПа.}$$

Умова виконується $\sigma_e = 40,44 < [\sigma] = 58,3 \text{ МПа.}$

Розрахуємо та оберемо поперечний переріз упору.

Поперечний переріз упору (рис. 46) конструюється, виходячи з діючого згинального моменту $M = P_{\phi} H$. Необхідний осьовий момент поперечного перерізу упору визначається за формулою:

$$W_H = \frac{M}{[\sigma]} = \frac{P_{\phi} H}{[\sigma]} = \frac{3111 \cdot 0,294}{58,3 \cdot 10^6} = 1,56884 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

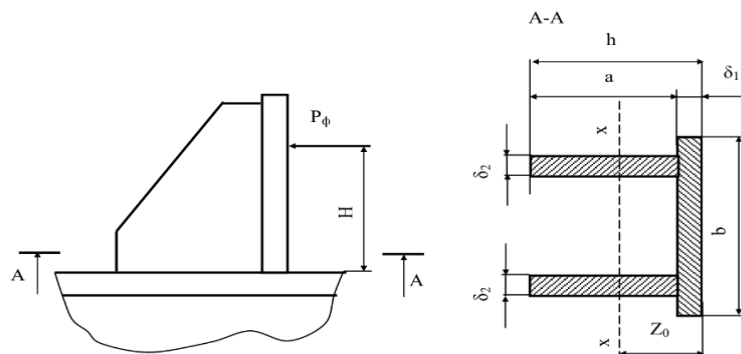


Рисунок 46 – Схема поперечного перерізу упору

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Для опору з одним ребром жорсткості, що прийнято в ході попереднього проектування складально–зварювального оснащення, положення центра ваги поперечного перерізу можна визначити за формулою:

$$Z_0 = \frac{Sx}{F} = \frac{(b\delta_1)\frac{\delta_1}{2} + a\delta_2\left(\delta_1 + \frac{a}{2}\right)}{b\delta_1 + a\delta_2} = \frac{(63*8)\frac{8}{2} + 200*8\left(8 + \frac{200}{2}\right)}{63*8 + 200*8} = 103,58.$$

Момент інерції поперечного перерізу упору відносно осі, яка проходить через центр ваги перерізу:

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{b\delta_1^3}{12} + b\delta_1 \left(Z_0 - \frac{\delta_1}{2}\right)^2 + \left[\frac{\delta_2 a^3}{12} + a\delta_2 \left(\delta_1 + \frac{a}{2} - Z_0\right)^2\right] = \\ &= \frac{63*8^3}{12} + 63*8 \left(103,58 - \frac{8}{2}\right)^2 + \left[\frac{8*200^3}{12} + 200*8 \left(8 + \frac{200}{2} - 103,58\right)^2\right] = \\ &= 1,0365*10^7 \text{ мм}^3 = 1,0365*10^{-5} \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Мінімальний момент поперечного перерізу сконструйованого опору повинен бути $W_k \geq W_n$ і визначається за формулою:

$$W_k = \frac{I_x}{h - Z_0} = \frac{1,0365*10^7}{294 - 103,58} = 54432,30 \text{ мм}^3 = 5,44323*10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$5,44323*10^{-5} \geq 1,56884*10^{-5} - \text{Умова виконується.}$$

3.7 Розрахунок двохстоякового кантувача

З попередніх розділів було обрано в якості засобу для кантування модульної ферми двостояковий кантувач.

Визначимо мінімально необхідний двигун за потужністю та мінімально необхідний вал шпинделя. Методика розрахунку згідно [38].

В більшості випадків, в кантувачах такого типу, маршова швидкість – частота обертання планшайби, становить в межах n = від 0.07 об/с до 0.013 об/с.

Потужність приводного двигуна розраховується по діючим на нього зусиллям та моментам згідно з обраною швидкістю обертання.

						Арк.
						103
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова схема кантувача наведена на рисунок 47.

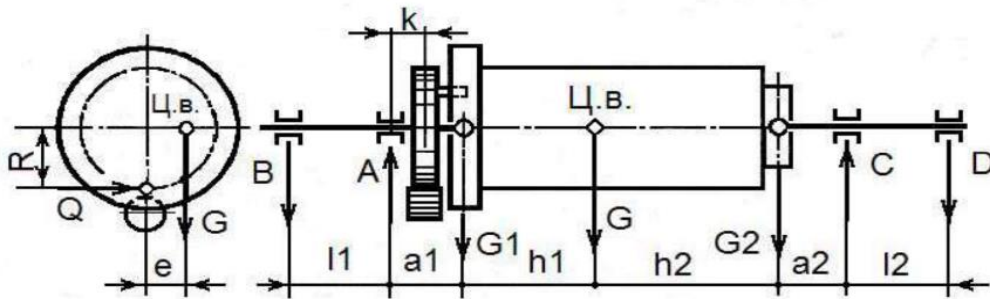


Рисунок 47 – Схема розрахунку двостійкового кантувача

Призначимо числові значення геометричних параметрів кантувача із конструктивних міркувань та наявних параметрів:

- маса виробу 19.9 кг, або вага $G = 9.8 \cdot 19.9 = 195,02 \text{ Н}$;
- маса столу на якому монтується конструкція 390,41 кг або вага $G = 3826 \text{ Н}$;
- маса допоміжного оснащення (струбцини, упори, призми, монтажні балки, кріплення столу до кантувача) – 214 кг, або вага $G = 2097,2 \text{ Н}$.

Загальна маса – 624,31 кг, або вага $G = 6118,23 \text{ Н}$.

Прийmemo з конструктивних міркувань, та попереднього проектування кантувача, що зображений на (рис. 48), наступні параметри:

$R = 0.1 \text{ м}$; $e = 0.102 \text{ м}$; $l1 = 0.2 \text{ м}$; $l2 = 0.2 \text{ м}$; $a1 = 0.15 \text{ м}$; $h1 = 1.525 \text{ м}$; $a2 = 0.15 \text{ м}$; $h2 = 1.545 \text{ м}$; $k = 0.075 \text{ м}$.

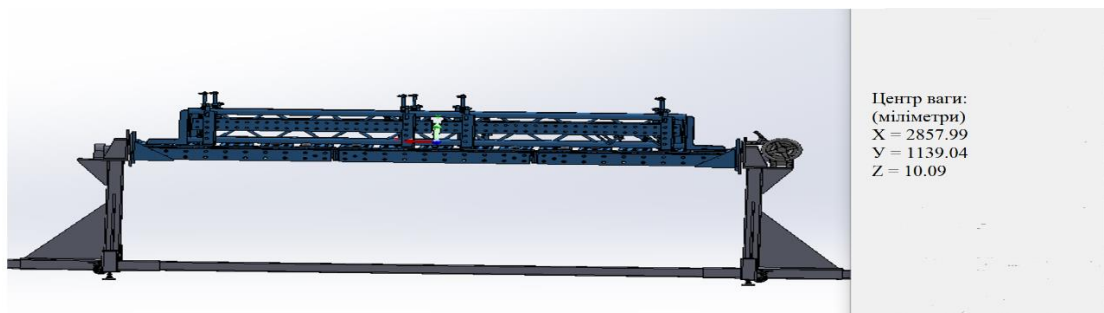


Рисунок 48 – Центр ваги та осьове зміщення необхідного оснащення та виробу відносно осі валів кантувача

						Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

Отже потужність приводного двигуна визначається за виразом:

$$N_d = \frac{M_{кр} \cdot 2\pi n}{\eta_{пр}}, \text{ Вт}$$

де $\eta_{пр}$ – загальний ККД привода кантувача.

Попередньо прийнято, що в кантувачу, використовується редуктор черв'ячного, а отже:

$$\eta_{пр} = \eta_1$$

де η_1 – ККД черв'ячного редуктора.

Користуючись (табл. 21) [38] приймемо:

Таблиця 21 – Значення ККД для передач [38]

Значення ККД для передач		
Найменування передачі	Закритої	Відкритої
1. Зубчаста передача:		
–циліндрична	від 0,96 до 0,98	від 0,93 до 0,95
–конічна	від 0,95 до 0,97	від 0,92 до 0,94
–косозуба	від 0,85 до 0,92	–
2. Черв'ячна передача:		
–однозаходна	від 0,70 до 0,80	–
–двозаходна	від 0,75 до 0,85	–
–трьохзаходна	від 0,82 до 0,90	–
–чотирьохзаходна	від 0,87 до 0,92	–
–гіперболоїдна	0,85	–
3. Пасова передача:		
–з пласким пасом	–	від 0,96 до 0,97
–з клиновим пасом	–	від 0,95 до 0,96
–з зубчастим пасом	–	від 0,94 до 0,95
4. Ланцюгова передача:		
–втулково–роликова	–	від 0,94 до 0,96
–з зубчастим ланцюгом	–	від 0,96 до 0,97

Приймемо значення ККД привода кантувача рівним $\eta_1 = 0.75$.

Якщо брати до уваги той факт, що планшайби як передньої так і задньої бабки закріплені у шарнірних опорах, можемо розглядати ферму як вільно спирається на шарнірах передньої та задньої бабок.

Звідси:

$$G1 = G \cdot \frac{h2}{h1+h2}, \text{ Н.}$$

$$G1 = G \cdot \frac{h2}{h1+h2} = 6118,23 \cdot \frac{1.545}{1.525+1.545} = 3079 \text{ Н.}$$

$$G2 = G \cdot \frac{h1}{h1+h2}, \text{ Н.}$$

$$G2 = G \cdot \frac{h1}{h1+h2} = 6118,23 \cdot \frac{1.525}{1.525+1.545} = 3039 \text{ Н.}$$

Подальші розрахунки ведемо окремо для передньої та задньої бабки.

Для передньої бабки максимальний крутний момент дорівнюватиме сумі вантажного моменту та моменту тертя. Враховуючи те, що при закріпленні зубчастого вінця на планшайбі, дія вантажного моменту не розповсюджується на шпиндель, будемо мати:

Для передньої (приводної) бабки: $M_{кр_п} = M_{тер_п}$.

Для задньої холостої бабки: $M_{кр_х} = M_{тер_х}$.

$$M_{тер_п} = 0.5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) \cdot 10^{-3}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{тер_х} = 0.5 \cdot f \cdot (C \cdot d_C + D \cdot d_D) \cdot 10^{-3}, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Визначити значення цих параметрів прямим розрахунком неможливо.

Використаємо метод послідовних наближень.

Перше наближення.

$$M_{тер_п1} = 0; \quad M_{тер_х1} = 0.$$

Колове зусилля, викликане крутним моментом в опорі А:

$$Q = \frac{M_{кр}}{R}; \quad Q1 = \frac{M_{тер_п1}}{R} = 0 \text{ Н.}$$

Знайдемо повні зусилля у підшипниках:

$$A1 = \sqrt{\left[G \cdot \frac{h2 \cdot (l1+a1)}{l1 \cdot (h1+h2)} \right]^2 + \left(Q1 \cdot \frac{l1+k}{l1} \right)^2}$$

						Арк.
						106
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A1 = \sqrt{\left[6118,23 \cdot \frac{1.545 \cdot (0.2+0.15)}{0.2 \cdot (1.525+1.545)}\right]^2 + \left(0 \cdot \frac{0.2+0.075}{0.2}\right)^2} = 5388 \text{ Н.}$$

$$B1 = \sqrt{\left[G \cdot \frac{h2 \cdot a1}{l1 \cdot (h1+h2)}\right]^2 + \left(Q1 \cdot \frac{k}{l1}\right)^2}$$

$$B1 = \sqrt{\left[6118,23 \cdot \frac{1.545 \cdot 0.15}{0.2 \cdot (1.525+1.545)}\right]^2 + \left(0 \cdot \frac{0.075}{0.2}\right)^2} = 2309,28 \text{ Н.}$$

$$C1 = \left[G \cdot \frac{h1 \cdot (l2+a2)}{l2 \cdot (h1+h2)}\right]$$

$$C1 = 6118,23 \cdot \frac{1.525 \cdot (0.2+0.15)}{0.2 \cdot (1.525+1.545)} = 5318,5 \text{ Н.}$$

$$D1 = \left[G \cdot \frac{h1 \cdot a2}{l2 \cdot (h1+h2)}\right]$$

$$D1 = 6118,23 \cdot \frac{1.525 \cdot 0.15}{0.2 \cdot (1.525+1.545)} = 2279,3 \text{ Н.}$$

В небезпечному перерізі А діють згинальні моменти від сил G1 та Q.

Сумарний згинальний момент в перерізі А:

$$M_{згА1} = \sqrt{a1^2 \cdot \left(G \cdot \frac{h2}{h1+h2}\right)^2 + Q1^2 \cdot k^2}$$

$$M_{згА1} = \sqrt{0.15^2 \cdot \left(6118,23 \cdot \frac{1.545}{1.525+1.545}\right)^2 + 0^2 \cdot 0.075^2} = 462 \text{ Н·м.}$$

В небезпечному перерізі С діє згинальний момент від сили G2:

$$M_{згС1} = G \cdot \frac{h1 \cdot a2}{h1+h2}$$

$$M_{згС1} = 6118,23 \cdot \frac{1.525 \cdot 0.15}{1.525+1.545} = 455,87 \text{ Н·м.}$$

Еквівалентні моменти, що діють в небезпечних перерізах складаються зі згинальних та крутних моментів:

$$M_{eA1} = \sqrt{M_{згА1}^2 + M_{тер_п1}^2}$$

$$M_{eA1} = \sqrt{462^2 + 0^2} = 465 \text{ Н·м.}$$

$$M_{eC1} = \sqrt{M_{згС1}^2 + M_{тер_x1}^2}$$

						Арк.
						107
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{eC1} = \sqrt{455,87^2 + 0^2} = 455,87$$

У першому наближенні визначимо діаметри шпинделя у небезпечних перерізах. Для цього визначимо допустимі напруження на згин. Оберемо для шпинделя ISO 683–1 C45E:

– межа текучості, МПа для ISO 683–1 C45E $\sigma_T = 350$ МПа.

Прийmemo коефіцієнт запасу $n_T = 7$.

$$\sigma_D = \frac{\sigma_T}{n_T}$$

$$\sigma_D = \frac{350}{7} = 50 \text{ МПа.}$$

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{eA1}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 462}{\pi \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0.04548 \text{ м.}$$

$$d_{C1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{eC1}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}}$$

$$d_{C1} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 455,87}{\pi \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0.04528 \text{ м.}$$

Прийmemo найближче більше значення діаметра та вважатимемо, що діаметри шпинделя для всіх опор однакові.

$$d_{A1} = 48 \text{ мм.}$$

$$d_{B1} = 48 \text{ мм.}$$

$$d_{C1} = 48 \text{ мм.}$$

$$d_{D1} = 48 \text{ мм.}$$

Друге наближення.

Для визначення моментів значення тертя вала, прийmemo, що всі опори виконані на підшипниках ковзання.

Коефіцієнт тертя ковзання $f = 0,1$.

$$M_{\text{тер}_n2} = 0,5 \cdot f \cdot (A1 \cdot d_{A1} + B1 \cdot d_{B1}) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{тер}_n2} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (5388 \cdot 48 + 2309,28 \cdot 48) \cdot 10^{-3} = 18,47 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

						Арк.
						108
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{тер}_x2} = 0,5 \cdot f \cdot (C1 \cdot d_{C1} + D1 \cdot d_{D1}) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{\text{тер}_x2} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (5318,5 \cdot 48 + 2279,3 \cdot 48) \cdot 10^{-3} = 18,23 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Колове зусилля, викликане крутним моментом в опорі А:

$$Q2 = \frac{M_{\text{тер}_п2}}{R}$$

$$Q2 = \frac{18,47}{0,1} = 184,7 \text{ Н.}$$

Повні зусилля в підшипниках:

$$A2 = \sqrt{\left[G \cdot \frac{h2 \cdot (l1 + a1)}{l1 \cdot (h1 + h2)}\right]^2 + \left(Q2 \cdot \frac{l1 + k}{l1}\right)^2}$$

$$A2 = \sqrt{\left[6118,23 \cdot \frac{1,545 \cdot (0,2 + 0,15)}{0,2 \cdot (1,525 + 1,545)}\right]^2 + \left(184,7 \cdot \frac{0,2 + 0,075}{0,2}\right)^2} = 5390,82 \text{ Н.}$$

$$B2 = \sqrt{\left[G \cdot \frac{h2 \cdot a1}{l1 \cdot (h1 + h2)}\right]^2 + \left(Q2 \cdot \frac{k}{l1}\right)^2}$$

$$B2 = \sqrt{\left[6118,23 \cdot \frac{1,545 \cdot 0,15}{0,2 \cdot (1,525 + 1,545)}\right]^2 + \left(184,7 \cdot \frac{0,075}{0,2}\right)^2} = 2310,32 \text{ Н.}$$

$$C2 = \left[G \cdot \frac{h1 \cdot (l2 + a2)}{l2 \cdot (h1 + h2)}\right]$$

$$C2 = 6118,23 \cdot \frac{1,525 \cdot (0,2 + 0,15)}{0,2 \cdot (1,525 + 1,545)} = 5318,57 \text{ Н.}$$

$$D2 = \left[G \cdot \frac{h1 \cdot a2}{l2 \cdot (h1 + h2)}\right]$$

$$D2 = 6118,23 \cdot \frac{1,525 \cdot 0,15}{0,2 \cdot (1,525 + 1,545)} = 2279,38 \text{ Н.}$$

Сумарний згинальний момент в перерізі А:

$$M_{\text{зг}A2} = \sqrt{a1^2 \cdot \left(G \cdot \frac{h2}{h1 + h2}\right)^2 + Q2^2 \cdot k^2}$$

$$M_{\text{зг}A2} = \sqrt{0,15^2 \cdot \left(6118,23 \cdot \frac{1,545}{1,525 + 1,545}\right)^2 + 184,7^2 \cdot 0,075^2} = 462 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

						Арк.
						109
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згинальний момент в перерізі С:

$$M_{згC2} = 6118,23 \cdot \frac{1,525 \cdot 0,15}{1,525 + 1,545} = 455,87 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Еквівалентні моменти в небезпечних перерізах:

$$M_{eA2} = \sqrt{M_{згA2}^2 + M_{тер_п2}^2}$$

$$M_{eA2} = \sqrt{462^2 + 18,47^2} = 462,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{eC2} = \sqrt{M_{згC2}^2 + M_{тер_х2}^2}$$

$$M_{eC2} = \sqrt{455,87^2 + 18,23^2} = 456,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо діаметр шпинделя у небезпечних перерізах у другому наближенні:

$$d_{A2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{eA2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 462,36}{\pi \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,0454 \text{ м}.$$

$$d_{C2} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{eC2}}{\pi \cdot \sigma_D \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 456,23}{\pi \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,0452 \text{ м}.$$

Значення не змінились. Розрахунок закінчуємо.

З ряду нормальних лінійних діаметрів обираємо найближчий розмір з округленням у більший бік:

$$d_{A1} = 48 \text{ мм}.$$

$$d_{B1} = 48 \text{ мм}.$$

$$d_{C1} = 48 \text{ мм}.$$

$$d_{D1} = 48 \text{ мм}.$$

Для визначення загального крутного моменту приводу розраховуємо значення моментів тертя у приводі та холостій бабках з урахуванням обраних значень діаметрів шпинделя.

$$M_{тер_п} = 0,5 \cdot f \cdot (A2 \cdot d_A + B2 \cdot d_B) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{тер_п} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (5390,82 \cdot 48 + 2310,32 \cdot 48) \cdot 10^{-3} = 18,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{тер_х2} = 0,5 \cdot f \cdot (C2 \cdot d_{C1} + D2 \cdot d_{D1}) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{тер_х} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot (5318,57 \cdot 48 + 2279,38 \cdot 48) \cdot 10^{-3} = 12,87 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

						Арк.
						110
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарний крутний момент, який треба подолати приводному механізму, дорівнюватиме сумі вантажного моменту на планшайбі та моментів тертя в приводній та холостій бабках:

$$M_{кр} = G \cdot e + M_{тер_п} + M_{тер_х}$$

$$M_{кр} = 6118,23 \cdot 0.102 + 18,48 + 12,87 = 655,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Потужність приводного двигуна визначимо, обравши частоту обертання планшайби на маршовій швидкості:

$$n = 0.1 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

$$N = \frac{M_{кр} \cdot 2\pi n}{\eta_{пр}} = \frac{655,4 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0.1}{0,75} = 548,78 \text{ Вт}.$$

З ряду серійно випускаємих двигунів обираємо електродвигун АІР71В4 (0.75 кВт).

Отже розглянуте оснащення задовольняє технічні вимоги та має високу технологічність і простоту у використанні.

3.8 Компонування складально–зварювального пристрою

Розглянемо комплектування складально–зварювального пристрою в процесі складання та зварювання вузлів С–1 та С–2.

Вузол С–1, як описано раніше, монтується та послідовно складається у складально зварювальний кондуктор, який являє собою двостояковий кантувач в якому закріплено складально зварювальну станину, яка складається в свою чергу із 3–ох складально зварювальних модульних столів. Підвзули та деталі вузла С–1 монтуються за допомогою вище наведених струбцин, призм, планок, швидко фіксуючих болтів та упорів, а також в якості допоміжного оснащення для фіксування деталей, використовуються монтажні балки. Загальне комплектування складально–зварювального пристрою зображено на (рис. 49).

						Арк.
						111
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

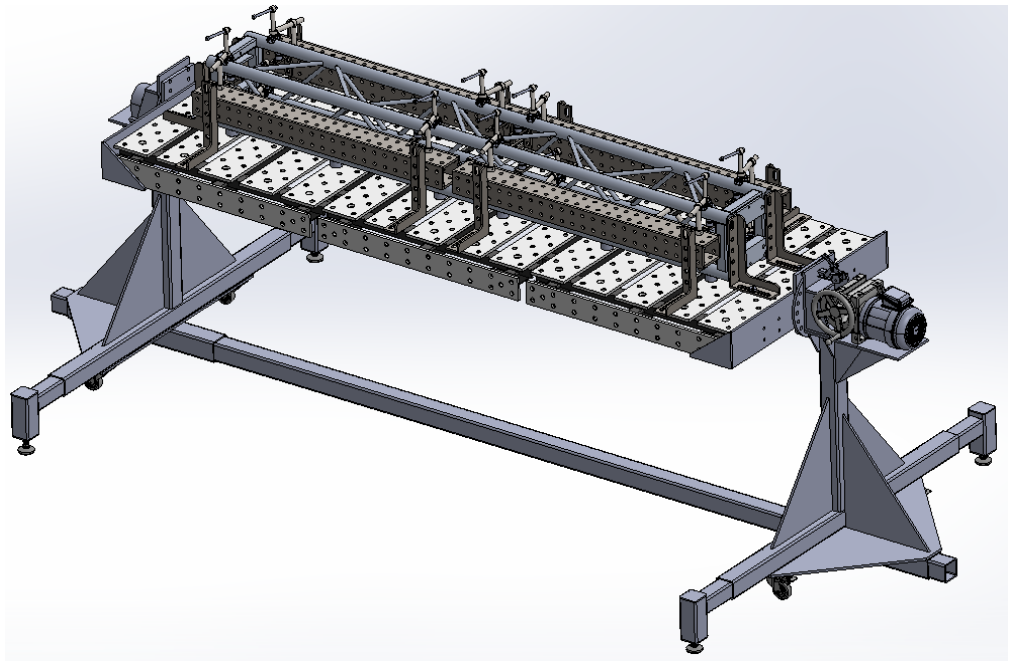


Рисунок 49 – Загальне компонування складально–зварювально пристрою для виготовлення модульної ферми

3.9 Опис роботи складально–зварювального пристрою

Складально–зварювальний пристрій призначений для виконання точного позиціонування, фіксації та зварювання вузлів С–1 та С–2, що утворюють готовий виріб – модульна ферма. Основу пристрою становить двостояковий кантувач, у якому закріплена складально–зварювальна станина, змонтована з трьох модульних столів.

Складання та зварювання вузла С–1 відбувається наступним чином.

Підвузли та деталі вузла С–1 встановлюються на модульні столи. Для фіксації застосовуються трубки, призми – регульовані та нерухомі, планки, швидкофіксуючі болти та упори, а також допоміжні монтажні балки. Завдяки такій комбінації пристроїв, деталі надійно утримуються у визначеному положенні згідно зі схемою базування. Кантувач забезпечує поворот конструкції в зручне положення для доступу до зварювальних швів. Після перевірки правильності взаємного розташування елементів, проводиться прихоплення, а потім остаточне зварювання швів вузла С–1.

						Арк.
						112
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складання та зварювання вузла С–2.

Вузол С–2 монтується на модульному столі за допомогою упорів, притискачів та оправкового оснащення. Конструкція фіксується згідно зі схемою базування для забезпечення геометричної точності. Виконуються прихоплення та подальше зварювання усіх з'єднань.

Формування готового виробу С– та С–2.

Після виготовлення обох вузлів відбувається їх суміщення у вже згаданому раніше кондукторі (рис. 45). Вузол С–2 монтується з обох кінців вузла С–1. Проводиться послідовна прихватка вузлів між собою для запобігання деформаціям і потім виконується зварювання всіх стиків з обох боків. При необхідності кантувач змінює положення конструкції, що дозволяє зварювальнику забезпечити доступ до важкодоступних швів.

3.10 Вибір зварювального устаткування для виготовлення виробу

Оберемо джерело живлення та зварювальне устаткування для виготовлення модульної ферми із виконанням механізованого зварювання способом 131 MIG–DP–GMAW в середовищі аргону вищого сорту за ДСТУ ГОСТ 10157: 2019. З вмістом аргону 99,993 %.

Необхідні вихідні дані для вибору джерела з попередніх етапів розробки технології представлені в таблиці 14. В результаті конструкторсько – технологічного аналізу встановлено, що виготовлення виробу проводиться у закритому приміщенні при помірному кліматі. Відповідно джерело зварювального струму повинно мати категорію У по кліматичному виконанні та групу 3 по категорії розміщення – у приміщеннях з природною вентиляцією.

Так як тип виробництва малосерійний, то джерело можна обрати з числа універсальних загального призначення. В зв'язку зі зварюванням в стаціонарних умовах, можна застосувати стаціонарне джерело струму з високим або середнім завантаженням (ПВ = 100 % або ПВ = 60 %). Оберемо багатопостове (мобільне) джерело. Вибір за родом струму залежить від

						Арк.
						113
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу та товщини, для зварювання способом 131 MIG–DP–GMAW обрано пульсуючий струм із тепловою модуляцією на зворотній полярності. Звідси випливає, що ми можемо вибрати лише устаткування яке має наведену функцію. Відповідно розрахунковим значенням таблиці 14, сили зварювального струму при зварюванні в положеннях РА та РВ швів, складає $I_{зв} = 82 \text{ А}$. Тобто можна обрати джерело з номінальним струмом від 100 А до 150 А і більше. З переліку електрозварювального обладнання для кліматичного виконання У та розміщення обираємо найближчий по номінальному струму зварювальне обладнання. Вибір припав на зварювальний напівавтомат Jasіc MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20 (рис. 50) технічні характеристики якого наведені в таблиці 22.

Таблиця 22 – Технічні характеристики напівавтомата Jasіc MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20 [40]

Діапазон робочої напруги, В	від 11 до 30
Зварювальний струм MIG/MAG (min), А	30
Зварювальний струм (ПВ 100 %), А	137
Споживана потужність (повна), кВА	7.7
Споживана потужність (активна), кВт	7.6
Напруга холостого ходу, В	70 (11 V.R.D.)
Швидкість подачі дроту, м/хв	від 2 до 18
Кількість роликів	4
Тип зварювальної касети	D200–D300
Діаметр зварювального дроту, мм	0.8 / 0.9 / 1.0 / 1.2
Коефіцієнт потужності (cos φ)	0.99
ККД, %	80
Ступінь захисту	IP23S
Габаритні розміри (Д х Ш х В), мм	920 x 480 x 755
Вага, кг	43.5



Рисунок 50 – Зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2)
EVO20 [40]

Також при купівлі обраного устаткування, в комплекті йде пальник Parweld PRO–2400 (рис. 51). Характеристики якого наведені в таблиці 23



Рисунок 51 – Напівавтоматичний зварювальний пальник Parweld PRO–
2400, 3м [41]

						Арк.
						115
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 23 – Технічні характеристики напівавтомата Parweld PRO–2400,
Зм [41]

ПВ, %	60
Робочий струм (вуглекислий газ), А	250
Діаметр зварювального дроту, мм	від 0.8 до 1.2
Робочий струм (вуглекислий газ + аргон), А	220

						Арк.
						116
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПЛАНУ ВИРОБНИЧОЇ ПЛОЩІ

4.1 Визначення типу виробництва

Розробка виробничої ділянки є ключовим етапом, на якому визначається ефективність виробничого потоку. Саме раціональне використання площ та ресурсів дає змогу ефективно виготовляти продукцію. Планування ділянки для виготовлення модульної ферми виконується на основі технологічного процесу, розробленого в попередніх розділах, та відповідно до норм технологічного проектування.

Для проектування ділянки необхідні наступні вихідні дані, визначені у завданні на дисертацію та в ході конструкторсько–технологічного аналізу:

- виріб – модульна ферми;
- матеріал – алюмінієвий сплав EN AW–6082 T6;
- річна програма випуску (N) – 100 одиниць на рік;
- маса виробу – 19.9 кг;
- габарити виробу – 2500 мм x 300 мм x 300 мм.

Тип виробництва визначається відповідно до номенклатури виробів, що випускаються, та річного обсягу. Згідно з таблицею 24 [42], для зварних вузлів масою до 25 кг, та річного випуску 100 шт (0.1 тис. шт.) однозначно класифікується як дрібносерійне виробництво.

Це визначає ключові підходи до планування :

- використання універсального та спеціалізованого обладнання;
- відсутність жорсткого закріплення операцій за конкретними робочими місцями (за винятком унікальних постів, як–от головний складальний стенд);
- переважно технологічний принцип формування ділянки.

						Арк.
						117
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 24 – Залежність типу виробництва від випуску продукції і її маси [42]

Маса одного комплект у зварних вузлів, кг	Річний випуск по виробництвам							
	Одиночне, дрібносерій не (не більше)		Серійне		Крупносерійне		Масове (понад)	
	Тис. т.	Тис. шт.	Тис. т.	Тис. шт.	Тис. т.	Тис. шт.	Тис. т.	Тис. шт.
До 25	До 0.125	До 5	0,125 – 5	5 – 200	5 – 10	200 - 400	10	400

4.2 Визначення кількості обладнання

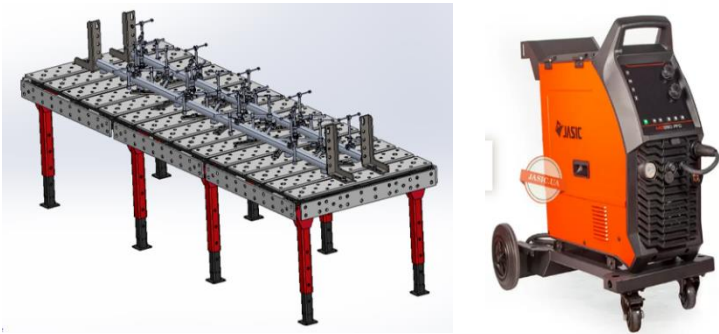
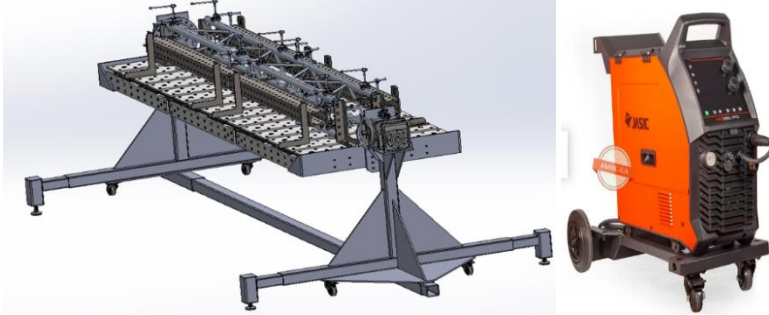
Вибір типу обладнання продиктований технологічними процесами які розроблені в розділі 2 даної роботи. Для дрібносерійного виробництва 100 ферм на рік, розрахункова кількість обладнання M_p для кожної операції буде становити 1 одиницю кожного типу в залежності від застосованої операції.

Загальна кількість обладнання для виготовлення модульної ферми зазначена в таблиці 25.

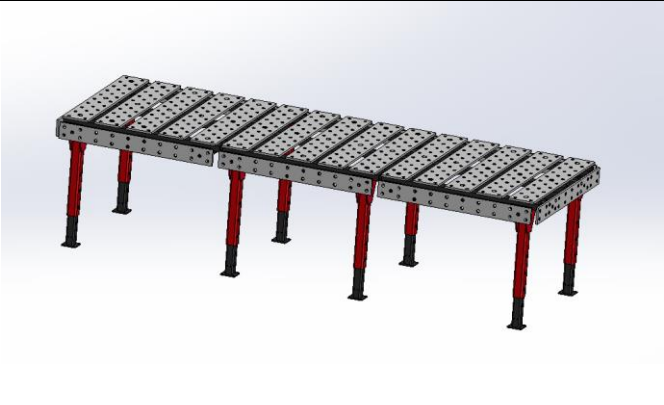
Таблиця 25 – Загальна кількість обладнання складально зварювального цеху

Назва обладнання	Графічне зображення	Кількість
Заготівельна дільниця		
Стрічкопильний верстат для різання металу STILER G5027		1
Верстат для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76		1
Свердлильний верстат колонного типу STILER WS32A		1
Дільниця підготовки		
Циліндрична шліфувальна машинка Proxxon CAS/E Розчинник 647		1

Продовження таблиці 25

Назва обладнання	Графічне зображення	Кількість
Складально-зварювальна дільниця		
Модульний перфорований зварювальний стіл для складання та зварювання вузла С – 1.1 та зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20		1
Модульний перфорований зварювальний стіл для складання та зварювання вузла С – 2 та зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20		1
Кондуктор для складання та зварювання вузла С – 1 та об'єднання із вузлами С – 2. Зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20		1

Кінець таблиці 25

Назва обладнання	Графічне зображення	Кількість
Дільниця термообробки та контролю		
Стіл для контролю якості зварювання		1
Полімеризаційна піч ППЗ-М		1
Дільниця термообробки та контролю		
Мостовий кран (балочний кран) опора 1т		1
Візок платформний ВПТ-160		1

4.3 Розрахунок чисельності працюючих складально–зварювального цеху

До робітників, безпосередньо виконуючих технологічні операції з виготовлення продукції, відносяться такі робочі як: зварювальники, складальники, різьбярі по металу, верстатні робочі, малярі та допоміжний персонал.

Допоміжні робітники переважно виконують операції по обслуговуванню технологічного процесу, тобто виконують транспортні операції або в разі потреби допомагають іншим, більш головним учасникам процесу. Для спрощення розрахунків число допоміжних робітників приймемо рівним 20 % від числа робочих. Визначення кількості працівників наведено в таблиці 26.

Інші категорії працюючих:

- інженерно–технічні працівники;
- молодший обслуговуючий персонал;
- службовці;
- працівники сектора технічного контролю.

Таблиця 26 – Кількість працівників на робочій зміні

Заготівельна дільниця		
Марка обладнання	Категорія основних робітників	Кількість основних робітників
Стрічкопильний верстат для різання металу STILER G5027	Верстатний робочий (заготівник)	1
Верстат для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76	Верстатний робочий (заготівник)	1

Продовження таблиці 26

Заготівельна дільниця		
Свердлильний верстат колонного типу STILER WS32A	Верстаний робочий (заготівник)	(1)
На заготівельній дільниці присутні 3 оснащення і відповідно призначено трьох робочих на дільницю. Виходячи з попереднього аналізу та кількості необхідних оброблюваних деталей та заготовок, робочого який виконує свердління деталей “Фланці”, можна не застосовувати через невелику кількість оброблюваних деталей. Натомість є можливість застосувати інших робочих дільниці та надати їм необхідний доступ до свердлильного верстату. Також слід відзначити, що робочі в дрібносерійному виробництві повинні бути якомога більш універсальними для підміни інших учасників процесу. Для забезпечення виконання операції свердління є можливість застосувати допоміжний персонал в разі надання йому відповідного допуску.		
Дільниця підготовки		
Циліндрична шліфувальна машинка Proxxon CAS/E Розчинник 647	Слюсар, зачистник	1
Складально–зварювальна дільниця		
Модульний перфорований зварювальний стіл для складання та зварювання вузла С – 1.1 та зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20	Зварювальник, складальник	1 (2)
Модульний перфорований зварювальний стіл для складання та зварювання вузла С – 2 та зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20	Зварювальник, складальник	1 (2)
Кондуктор для складання та зварювання вузла С – 1 та об’єднання із вузлами С – 2. Зварювальний напівавтомат Jasic MIG–250 PFC (N2SB2) EVO20	Зварювальник, складальник	1 (2)

Кінець таблиці 26

Складально–зварювальна дільниця		
На складально–зварювальній дільниці присутні троє робочих, це переважно зварювальники. Як із попереднім описом заготівельної дільниці, слід прийняти, що на складально зварювальній дільниці, зварювальники, також можуть виконувати роль складальника конструкції перед зварюванням. В будь якому разі, для підвищення продуктивності та розвантаження задач однієї людини (зварника), буде в разі необхідності, застосовуватись допоміжний персонал для виконання складання конструкції у складально зварювальних стендах. Також слід відзначити, що працівник (зварник) який виготовляє вузол С–2, має найменшу трудомісткість робіт, тому він також може бути залученим для допомоги іншим робітникам складально–зварювальної дільниці в якості зварювальника так і в якості складальника.		
Дільниця термообробки та контролю		
Стіл для контролю якості зварювання	Контролери – ВТК	1
Полімеризаційна піч ППЗ–М	Терміст	1
Отже, кількість основних робітників складає 8 чоловік		
Інші		
Інженерно технічні працівники – 9 % від основних робітників		1
Кількість допоміжних робітників – 20 % від основних робітників		2

Отже, на робочій зміні для роботи цеху потрібно 11 осіб.

4.4 Основні вимоги для планування цеху

Технологічний процес виготовлення модульної ферми має чіткий лінійний маршрут: склад металу – заготівля – очищення – проміжний склад – складання підвузлів – головне складання та зварювання – термообробка – контроль – склад готової продукції. Для дрібносерійного виробництва з таким потоком найбільш раціональною є схема з поздовжнім напрямком виробничого потоку [42].

Орієнтовний розрахунок площі (за укрупненими показниками):

- площа проекції ферми – $2.5 \text{ м} * 0.3 \text{ м} = 0.75 \text{ м}^2$;
- згідно з рекомендаціями по проектуванню площ [42], для площі проекції до $1,5 \text{ м}^2$, норма виробничої площі на одиницю обладнання становить до 20 м^2 ;
- кількість основних робочих постів 9;
- орієнтовна площа становить $F_p = 9 * 20 \text{ м}^2 / \text{пост} = 180 \text{ м}^2$.

Цей розрахунок не враховує склади та магістральні проїзди, тому для детального проектування використовується метод планування за параметрами будівлі.

Виконаємо проектування на основі уніфікованих типових секцій промислових будівель:

а) вибір прольоту та кроку колон:

- 1) для розміщення складально–зварювальних постів, заготівельного обладнання та забезпечення магістральних проїздів, приймемо стандартну ширину прольоту $B = 18 \text{ м}$;
- 2) приймемо стандартний крок колон $L_{\text{крок}} = 12 \text{ м}$.

б) визначення довжини ділянки:

- 1) для розміщення всіх технологічних зон (заготівельна, склади, зварювання, термообробка, контроль) необхідно два кроки колон. Загальна довжина ділянки $L = 2 * 12 = 24 \text{ м}$.

						Арк.
						125
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

с) загальна площа ділянки:

$$1) F_{\text{ділянки}} = B \cdot L = 18 \text{ м.} \cdot 24 \text{ м.} = 432 \text{ м}^2.$$

д) визначення висоти та типу транспорту:

1) маса самого виробу 19.9 кг, що свідчить про недоречність застосування мостового крану. Однак, для полегшення транспортування на ділянці складання та зварювання складових елементів модульної ферми, зважаючи на габарити конструкції, а саме довжину 2.5 м, застосування кран балки не обтяжить, а скоріше полегшить транспортування та кантування елементів конструкції в ході їх виготовлення. Тому обираємо одноповерхову будівлю, обладнану мостовим краном;

2) відповідно до [43], для прольоту 18 м, з мостовим краном обираємо висоту до низу перекриття $H = 8.4$ м, що дозволяє застосувати кран вантажопідйомністю до 100 кН.

е) перевірка дотримання санітарних норм:

1) норма об'єму на одного працюючого складає не менше 15 м^3 ;

2) загальний об'єм ділянки: $V = F_{\text{ділянки}} \cdot H = 432 \text{ м}^2 \cdot 8,4 \text{ м} = 3628,8 \text{ м}^3$;

3) кількість працюючих: 11 осіб;

4) об'єм на 1 особу: $V_{\text{особи}} = \frac{3628,8}{11} = 329,89 \text{ м}^3$;

Для інших параметрів виробничої площі прийmemo значення які наведені в таблиці 27 [42].

Таблиця 27 – Мінімальна ширина проходів та проїздів [42]

Визначальна відстань	Допустимі межі значень, м
Від колон, або стін будівлі до бічної сторони обладнання	1 - 3
Від колон, або стін будівлі до тильної сторони обладнання	1 - 2,5
Від колон, або стін будівлі до фронту обладнання	1 - 2,5
Між фронтом і тильною стороною обладнання	1 - 2
Між тильною і бічною сторонами обладнання	1 - 2
Між тильними сторонами обладнання	1
Між бічними сторонами обладнання	1 - 1,4
Між обладнанням розташованим фронтом одне до одного	1 - 2
Від фронту обладнання до складського місця	1 - 1,6
Між складськими місцями	1 - 1,4
Між тильною стороною обладнання і складським місцем	1
Між бічною стороною обладнання і складським місцем	1 - 1,2

						Арк.
						126
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Визначення запасу матеріалів

Величина запасу зберігання металу Q визначається нормою запасу зберігання і темпом виробництва за формулою:

$$Q = H_x \cdot q = 10 \cdot 0.956 = 9,56 \text{ кг.}$$

де H – норма запасу зберігання металу, год;

q – темп виробництва, т / год.

Запланована швидкість виробництва $v = 0.05$ один / год. Маса одного комплекту зварного виробу $m_k = 19.9$ кг.

Темп виробництва визначається за формулою:

$$q = 0,001 \cdot m_k \cdot v = 0,001 \cdot 19.9 \cdot 0,05 = 0.000995 \text{ т/год.}$$

де m_k – маса одного комплекту зварного виробу, кг;

v – швидкість виробництва, один./год.

Прийmemo норму запасу для складу металу, проміжного складу та складу готових виробів з завантаженістю 1 т/м. При доступному часі у зміні 8 годин, необхідні місця для складування металу, напівфабрикатів та готових виробів кожне з корисною площею: $F_{п} = 0,956 \cdot 8 \cdot 1/1 = 7,6 \text{ м}^2$. З врахуванням допоміжної площі 50 % отримаємо 11,4 м^2 сумарно на кожне з трьох місць зберігання.

Як бачимо площа для складу та зберігання напівфабрикатів, проміжного складу та складу готової продукції відповідає дійсності.

Прийmemo наступні площі:

- площа для зберігання напівфабрикатів – 15 м^2 ;
- площа проміжного складу – 12 м^2 ;
- площа готової продукції – 15 м^2 .

						Арк.
						127
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

У цьому розділі магістерської роботи представлено перший етап створення стартап-проекту, який охоплює ключові маркетингові аспекти його формування. Зокрема, розглядаються процеси відбору інноваційних ідей, розроблення концепції продукту, аналізу потенціалу його ринкового впровадження та формування ефективної маркетингової стратегії. Розділ подано у форматі комплексної оцінки можливостей проекту та визначення заходів щодо виведення інноваційного продукту на ринок.

Метою розділу є розвиток інноваційного мислення й підприємницької ініціативи, а також формування умінь щодо аналізу ринкових перспектив, визначення можливостей комерціалізації науково-технічних розробок і оцінювання їх життєздатності в умовах динамічної, конкурентної та глобалізованої економіки. Розробка стартап-проекту ведеться відповідно методичним рекомендаціям [70].

5.1 Опис ідеї проекту

Опис ідеї проекту розглянуто в таблиці 28.

Таблиця 28 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Виробництво модульних ферм	Будівництво	Швидке монтування та побудова просторових конструкцій з високою міцністю та надійністю.

Основна відмінність розробленої модульної ферми від традиційних сталевих аналогів полягає у застосуванні алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6, що забезпечує принципово інший рівень масогабаритних характеристик та технологічності конструкції.

Порівняно зі сталевими фермами запропонований варіант має такі ключові переваги:

						Арк.
						128
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- значно менша маса конструкції (орієнтовно у 2,5–3 рази менша за сталь), що істотно полегшує транспортування, підйом і монтаж елементів;
- спрощена логістика та можливість монтажу без важкої техніки, що знижує експлуатаційні витрати і підвищує мобільність конструкції;
- висока корозійна стійкість алюмінію, що виключає необхідність регулярного фарбування, оцинкування та додаткових захисних покриттів, обов’язкових для сталевих систем;
- підвищена швидкість складання, оскільки легкі модулі зручніше позиціонувати;
- естетичний вигляд конструкції, зокрема завдяки природній оксидній плівці алюмінію;
- менші витрати на експлуатаційне обслуговування, адже алюмінієві ферми не іржавіють і не потребують регулярної антикорозійної обробки.

5.1.1 Аналіз потенційних техніко–економічних переваг

Аналіз потенційних техніко–економічних переваг запропонованої ідеї порівняно з конкурентними рішеннями включає такі етапи:

- а) формування переліку основних техніко–економічних характеристик та параметрів проектної ідеї;
- б) визначення попереднього кола основних конкурентів (проектів–конкурентів), а також товарів–замінників чи аналогів, що вже присутні на ринку, з подальшим збиранням даних щодо їхніх техніко–економічних показників і показників власного виробу;
- в) виконання порівняльного аналізу отриманих значень, у межах якого для власної ідеї встановлюються параметри, що мають:
 - 1) гірші значення — W (слабкі сторони);
 - 2) приблизно однакові значення — N (нейтральні позиції);

						Арк.
						129
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) кращі значення — S (сильні сторони).

Аналіз потенційних техніко–економічних переваг наведено в таблиці 29.

Таблиця 29 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко–економічні характеристики ідеї	Мій проект (модульна ферма EN AW–6082 T6, зварна)	Конкурент 1 (Global Truss)	Конкурент 2 (Prolyte)	Конкурент 3 (MILOS)	W	N	S
1	Собівартість і витрати металу	Низькі, завдяки зварним вузлам.	Вища, товстіші профілі	Вища	Вища	-	-	+
2	Маса (вагові характеристики)	Дуже мала (≈19,9 кг за 2,5 м модуля)	Середня	Середня	Середня	-	+	-
3	Надійність з'єднання	Зварні нероз'ємні вузли (висока міцність)	висока міцність	висока міцність	висока міцність	-	+	-
4	Швидкість монтажу та демонтажу	Висока: мала вага, прості стики	Висока, але важчі елементи	Висока	Висока	-	-	+
5	Корозійна стійкість	Дуже висока (алюміній не іржавіє)	Висока	Висока	Висока	-	+	-
6	Технологічність виробництва	Висока: мінімальна механічна обробка, зварювання MIG	Середня	Середня	Середня	-	-	+
7	Ергономічність, зручність у роботі	Легкі модулі, мінімум інструменту	Важчі профілі, потреба	Важчі	Важчі	-	-	+
8	Естетичність (зовнішній вигляд)	Висока (чисті шви, не ржавіє)	Висока	Висока	Висока	-	+	-
9	Транспортабельність	Дуже легкі модулі висока мобільність	Середня	Середня	Середня		-	+
10	Екологічність виробництва	Зварювання шкідливі фактори	Низька	Низька	Низька	+	-	-
11	Безпека процесу виробництва	Зварювання підвищені ризики	Низька	Низька	Низька	+	-	-
12	Універсальність застосування	Будівництво, сцени, виставки	Тільки сцени та концерти	Тільки сцени	Сцени та виставки	-	+	-

Встановлений перелік сильних, слабких і нейтральних характеристик та властивостей ідеї майбутнього товару слугує основою для формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У цьому підрозділі здійснюється аналіз технологічного процесу, який забезпечує можливість практичної реалізації проектної ідеї.

Оцінка технологічної здійсненності проектної ідеї включає аналіз таких ключових компонентів (табл. 30).

Таблиця 30 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Технологія виготовлення модульної ферми	Зварювання	Наявна	Доступна

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз ринкових можливостей, які можуть бути використані при впровадженні проекту, а також ринкових загроз, що здатні ускладнити його реалізацію, дає змогу сформулювати стратегію розвитку проекту з урахуванням актуального стану ринкового середовища, потреб потенційних споживачів та пропозицій конкурентних проектів.

5.3.1 Аналіз попиту

Дослідимо наявність попиту, обсяг та динаміку розвитку ринку (табл. 31).

Таблиця 31 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	30 млн. дол.
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявність міжнародних сертифікатів: TÜV або відповідність EN 1090
6	Середня норма рентабельності в галузі %	25

На основі проведеного аналізу таблиці можна зробити висновок, що ринок, за попередньою оцінкою, є перспективним для входження.

5.3.2 Визначення потенційних груп клієнтів

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту розглянута в таблиці 32.

Таблиця 32 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Сценічні конструкції, просторові ферми загального призначення (промислові, ангарні та аграрні накриття)	Будівництво, фестивалі та концерти	Ціна, швидкість виготовлення виробу.	Надійність, міцність, маса, транспортабельність.

5.3.3 Аналіз ринкового середовища

Фактори, які сприяють виходу проекту на ринок, та фактори, що можуть ускладнити його впровадження наведені в таблицях 33 та 34.

Таблиця 33 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ненадійні постачальники алюмінієвих профілів та комплектуючих	Затримки постачання або нестабільна якість матеріалів, що впливає на терміни та надійність виробу	Постійний моніторинг та пошук альтернативних постачальників, встановлення довгострокових контрактів, перевірка якості матеріалів
2	Конкуренція	Вихід на ринок інших компаній із більш вигідними пропозиціями або інноваційними рішеннями	Вдосконалення конструкції та технічних характеристик ферми, додаткові сервіси (монтаж, гарантія, навчання), можливе коригування цінової політики
3	Зміна потреб споживачів	Клієнти віддають перевагу іншим типам модульних конструкцій або матеріалів	Можливість модифікації конструкції, впровадження нових модулів або функціоналу під запит клієнтів, гнучке виробництво

Таблиця 34 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
4	Нові методи обробки алюмінію та зварювання	Застосування більш швидких і точних технологій зварювання та обробки, підвищення якості та скорочення часу виготовлення	Інтеграція сучасних технологій зварювання та обробки алюмінію в виробничий процес
5	Вихід на ринок нових постачальників алюмінію та комплектуючих	Можливість здешевлення закупівлі матеріалів без втрати якості	Використання більш доступних матеріалів або комплектуючих при збереженні стандартів якості та надійності конструкції
6	Попит на модульні ферми з алюмінію	Зростання інтересу в сфері будівництва, проведення фестивалей та концертів	Активне просування продукту, демонстраційні проекти, участь у виставках

5.3.4 Аналіз пропозиції

Загальні риси конкуренції на ринку представлені в таблиці 35.

Таблиця 35 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції – монополія/олігополія	На ринку присутні кілька компаній, що пропонують модульні ферми з алюмінію, але з різним дизайном та функціоналом	Підтримка високої якості виробу, постійне вдосконалення конструкції та впровадження інновацій

Продовження таблиці 35

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
2	Рівень конкурентної боротьби – міжнародний	Конкуренти представлені як локально, так і закордонними компаніями	Розробка стратегії виходу на міжнародні ринки, адаптація продукції під стандарти різних країн
3	Галузева ознака – міжгалузева	Модульні ферми можуть використовуватися в сільському господарстві, освітніх проектах	Постійне вдосконалення конструкції для універсального застосування, гнучкість у підборі модулів
4	Конкуренція за видами товарів – товарно–видова	Конкуренція між різними видами модульних ферм: конструкції, розмір, матеріали, автоматизація	Створення продуктів, що враховують недоліки конкурентів (зменшення ваги, підвищення міцності, полегшення монтажу)
5	Характер конкурентних переваг – нецінова	Технологічні вдосконалення дозволяють знизити собівартість виробництва та підвищити надійність	Вдосконалення зварювальної та складальної технології, використання ефективних матеріалів при збереженні стандартів якості
6	Інтенсивність конкуренції – не марочна	Бренд присутній на ринку, але вплив на вибір клієнта невеликий	Активна реклама, демонстраційні проекти, участь у виставках, презентації переваг модульних ферм

5.3.5 Детальний аналіз умов конкуренції

Детальний аналіз конкуренції в галузі наведено в таблиці 36.

Таблиця 36 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари–замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
	Litestruct (Україна) / PROLYTE, MILOS, Global Truss (Міжнародні бренди, які присутні на ринку через дистриб'юторів)	Сила брендів та лояльність до існуючих виробників. Необхідність сертифікації продукції (наприклад, TUV). Високі початкові інвестиції у зварювальне обладнання та технології.	Висока якість та унікальність сплаву. Контроль цін на первинний алюміній на світових ринках.	Великий вибір прямих конкурентів (особливо міжнародних). Стандартизація розмірів секцій (більшість ферм сумісні між собою), що полегшує заміну постачальника.	Сталеві ферми можуть бути обрані для постійних або дуже важких конструкцій через нижчу ціну. Системи риштувань "Layer" можуть витіснити ферми на простих, тимчасових конструкціях.
Висновки	Інтенсивна конкурентна боротьба. Ринок насичений як місцевими, так і міжнародними гравцями. Необхідно пропонувати або нижчу ціну, або вищу якість, унікальні конструктивні рішення.	Помірний рівень загрози. Вхід вимагає серйозних інвестицій у технології та сертифікацію. Новий гравець повинен мати чітку цільову нішу та досвід роботи з алюмінієм.	Помірна-висока сила постачальників. Якість кінцевого продукту критично залежить від якості сировини (алюмінієвого сплаву). Необхідно укласти довгострокові угоди.	Висока сила клієнтів. Клієнти диктують умови: висока безпека, відповідність стандартам, адекватна ціна та гнучкість в обсягах замовлення. Ключовим фактором успіху є довіра до бренду.	Помірна загроза. Основна загроза — сталеві конструкції через нижчу ціну, але алюмінієва ферма зберігає перевагу завдяки меншій вазі, швидкості монтажу та стійкості до корозії.

Незважаючи на інтенсивну конкуренцію з боку вже закріплених локальних та міжнародних брендів (Litestruct, Prolyte, MILOS), вихід на ринок є реальним за умови стратегічного позиціонування. Можливість існує завдяки високому попиту на легкі, надійні та швидкокомтовані конструкції в індустрії розваг та виставкового будівництва.

Бар'єри входу зокрема, потреба у високих інвестиціях та обов'язкова сертифікація типу TÜV або EN 1090 є значними, але вони одночасно слугують захистом від некваліфікованих конкурентів.

Успіх вимагатиме диференціації відносно стандартизованої продукції конкурентів, а також чіткої стратегії ціноутворення та побудови довіри у клієнтів, які висувають високі вимоги до безпеки.

5.3.6 Перелік факторів конкурентоспроможності

На основі аналізу конкуренції (табл. 36), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 29), вимог споживачів до товару (табл. 32) та факторів маркетингового середовища (табл. 33, 34) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведено в таблиці 37

Таблиця 37 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Більш доступна ціна відносно імпортованих сертифікованих аналогів (наприклад, Prolyte, MILOS)
2	Якість	Ключовий фактор вибору в галузі. Наявність міжнародних сертифікатів (наприклад, TÜV або відповідність EN 1090) є доказом надійності. Без сертифіката проект є неконкурентоспроможним.
2	Строки виготовлення	Швидке реагування на потреби клієнтів. Можливість виготовляти та тримати на складі стандартні секції дозволяє оперативно задовольняти потреби клієнтів

5.3.7 Аналіз сильних та слабких сторін стартап–проекту

За отриманими факторами конкурентоспроможності (табл. 37) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап–проекту (табл. 38).

Таблиця 38 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	20	-	-	-	-	-	+	-
2	Якість	15	-	-	-	+	-	-	-
3	Строки виготовлення	10	-	-	-	-	+	-	-

5.3.8 Складання SWOT – аналізу

Складання SWOT–аналізу на основі виділених ринкових загроз, можливостей та сильних і слабких сторін, є фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту.

Таблиця 39 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Внутрішнє Середовище	Зовнішнє Середовище
Сильні Сторони	Можливості
Ціна. Конкурентна цінова пропозиція, що забезпечує перевагу на ринку. Якість. Висока якість продукції, що забезпечує надійність та довговічність алюмінієвих ферм. Терміни виготовлення. Швидкі та точні терміни виконання замовлень,	Нові технології обробки. Поява нових, ефективніших або дешевших методів обробки алюмінію та матеріалів (наприклад, лазерне різання, роботизоване зварювання). Розширення бази постачальників. Вихід на ринок нових, більш вигідних або надійних постачальників.

Продовження таблиці 39

Внутрішнє Середовище	Зовнішнє Середовище
Сильні Сторони	Можливості
що є критичним фактором для будівельних та монтажних проектів. Властивості алюмінію. Висока стійкість алюмінію до корозії та мала вага ферм, що спрощує логістику та монтаж (додано).	Вихід на ринок нових, більш вигідних або надійних постачальників алюмінієвої сировини та супутніх матеріалів. Зростання попиту. Зростання попиту на швидкомонтовані та легкі конструкції у будівництві, організації заходів та промисловості. Експортний потенціал. Вихід на міжнародні ринки, де попит на високоякісні алюмінієві ферми є стабільним (додано).
Слабкі сторони	Загрози
Новачок на ринку. Нещодавній вихід на ринок, що призводить до низької впізнаваності імені та бренду. Кадровий голод. Нестача висококваліфікованого персоналу, особливо зварників алюмінію (метод 131 MIG вимагає високої майстерності). Рекламний дефіцит. Слабка рекламна кампанія та недостатні маркетингові зусилля для просування продукту та формування іміджу. Висока вартість алюмінію.	Ненадійні постачальники. Ризик, пов'язаний із залежністю від постачальників, які можуть бути ненадійними щодо термінів або якості сировини та витратних матеріалів. Конкуренція. Зростаючий тиск з боку існуючих великих виробників або поява нових гравців на ринку модульних конструкцій. Зміна потреб споживачів. Зміна вимог ринку (наприклад, перехід на інші матеріали, зміна будівельних норм).

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

5.4.1 Розроблення ринкової стратегії

Перший крок стратегії охоплення ринку полягає в детальному описі та сегментації цільових груп потенційних споживачів, щоб точно визначити, на кого будуть спрямовані маркетингові та збутові зусилля. Вибір цільових груп потенційних споживачів наведено в таблиці 40.

Таблиця 40 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних споживачів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Великі будівельні та девелоперські компанії (висотне будівництво, торгові центри, склади)	Висока (цінують швидкість монтажу та легкість)	Високий	Висока (конкуренція з традиційними металоконструкціями)	Складно (потрібні сертифікати, великі обсяги)
Компанії-організатори масових заходів (концерти, виставки, фестивалі)	Висока (це їхній профільний матеріал)	Середній	Помірна (конкуренція з орендними компаніями)	Середня складність (потрібна мобільність, швидке обслуговування)
Приватні виробничі підприємства (обласного рівня)	Помірна (потрібна аргументація ціни та якості)	Середній	Низька (конкуренція з місцевими виробниками сталевих конструкцій)	Просто (менші обсяги, пряміші угоди)
Малі фермерські господарства та агросектор (регіональний характер)	Низька (консервативний ринок, чутливий до ціни)	Низький	Низька (конкуренція з найпростішими конструкціями)	Просто
Компанії, що спеціалізуються на сонячній енергетиці	Висока (алюміній тут є галузевим стандартом)	Високий	Помірна	Середня складність

Аналіз показує, що для компанії, яка виробляє алюмінієві модульні ферми, найбільш перспективними є сегменти, де висока готовність сприйняти продукт (завдяки перевагам алюмінію – легкість та корозійна стійкість) поєднується з високим потенційним попитом, незважаючи на високу конкуренцію.

5.4.2 Базова стратегія розвитку

Таблиця 41 – Визначення базової стратегії розвитку

Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Диференційована стратегія: сегментування ринку за галузями, наприклад: організатори заходів, сонячна енергетика, будівництво. А також розробка унікальної ціннісної пропозиції (UVP) для кожного сегменту, акцентуючи на легкості, швидкості монтажу та антикорозійній стійкості алюмінію.	Позиціонування "Ціна-Якість": забезпечення високої якості, завдяки професійному зварюванню алюмінію 131 (MIG) при збереженні низької ціни. наголос на високій швидкості виготовлення та орієнтованості на кінцеву вигоду споживача.	Стратегія лідерства по витратах: досягнення найнижчої собівартості продукції шляхом стандартизації модульних елементів, оптимізації виробничих процесів.

5.4.3 Вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 42 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Ключове Стратегічне Питання	Аналіз Позиції Компанії	Уточнення щодо Процесів	Стратегія Конкуренції
Чи є компанія інноваційним?	Ні.	Компанія не впроваджує революційно новий продукт чи технологію.	Стратегія наслідування лідеру.
Яка цільова поведінка на ринку?	Гібридна експансія.	Мета – одночасно розширювати ринок, залучаючи нових споживачів, і переманювати їх.	Стратегія Слідування.

Продовження таблиці 42

Ключове Стратегічне Питання	Аналіз Позиції Компанії	Уточнення щодо Процесів	Стратегія Конкуренції
Чи використовуватиме компанія досвід лідерів?	Так.	Компанія буде копіювати та адаптувати кращі виробничі процеси та стандарти якості лідерів	Наслідуювання з оптимізацією.

5.4.4 Стратегія позиціонування

Стратегія позиціонування є вирішальним елементом маркетингу, що формує унікальну ринкову позицію та комплекс асоціацій, за якими споживачі повинні ідентифікувати торговельну марку або проект. Вона розробляється на основі трьох ключових факторів: вимог цільових споживачів до продукту та до постачальника–стартапу, а також відповідно до базової стратегії розвитку.

Таким чином, позиціонування забезпечує узгодженість внутрішніх можливостей компанії з зовнішніми ринковими очікуваннями та конкурентною тактикою. Визначення стратегії позиціонування розглянуто у таблиці 43.

Таблиця 43 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
Якість (міцність, корозійна стійкість), Точність виготовлення (модульність), Строки виготовлення (швидкість постачання), Ціна (доступність).	Стратегія лідерства по витратах	Забезпечення основних вимог цільової аудиторії до товару на рівні лідерів ринку, але за нижчою ціною та з акцентом на швидкість виконання замовлень.	Ефективність (Найкраща ціна за якість)

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап–проекту

5.5.1 Формування маркетингової концепції товару

Формування маркетингової концепції товару є першочерговим кроком у процесі розроблення всієї маркетингової програми компанії. Для цього етапу необхідне підсумовування та інтеграція результатів попереднього аналізу, зокрема, конкурентоспроможності товару. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару наведено в таблиці 44.

Таблиця 44 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба цільової аудиторії	Вигода, яку пропонує товар (Функціональність)	Ключові переваги перед конкурентами (Існуючі або ті, що необхідно створити)
Якісний та надійний виріб	Якість та Простота експлуатації і монтажу. Додаткова вигода: мала вага конструкції.	Багаторівневий контроль якості на кожному етапі виробництва. Наявність усіх необхідних сертифікатів та ліцензій на алюмінієві конструкції.
Виріб, який відповідає точним розмірам та є модульним.	Точність виготовлення (ідеальна сумісність модулів).	Контроль точності виготовлення на кожному етапі виробництва з використанням високоточного обладнання.
Швидке отримання виробу після замовлення.	Оптимальні строки виготовлення.	Зменшення витрат часу на розробку та виготовлення завдяки стандартизації модульних елементів та ефективній логістиці готової продукції.
Доступна ціна при високій якості.	Оптимальна ціна (краще співвідношення ціни до якості).	Зниження собівартості шляхом пошуку альтернативних постачальників алюмінієвої сировини. Оптимізація внутрішніх виробничих витрат. Впровадження гнучкої системи знижок для великих і постійних клієнтів.

5.5.2 Трирівнева маркетингова модель товару

Таблиця 45 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Швидке, надійне та економічно ефективне зведення опорної або несучої конструкції
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Матеріал EN AW 6082 T6
	Сертифікати випробувань
	Без пакування
	Марка: modular farms
III. Товар із підкріпленням	До продажу: технічні консультації, допомога у проектуванні та розрахунках навантаження, надання типових рішень.
	Після продажу: гарантія якості та довговічності конструкції. Сервісне обслуговування, можливість заміни пошкоджених модулів, навчання монтажних команд.
Технологія виготовлення	

Проект буде захищено від прямого копіювання конкурентами не лише завдяки запатентованим рішенням, а й комплексним поєднанням властивостей та характеристик, закладених на другому та третьому рівнях товару.

5.5.3 Визначення цінових меж

Наступний стратегічний етап передбачає визначення обґрунтованих цінових меж, якими компанія повинна керуватися при встановленні вартості потенційного товару. Цей процес є двокомпонентним і вимагає проведення ретельного аналізу цін на ринку, а також аналізу купівельної спроможності цільової групи споживачів, що дозволяє встановити максимально та мінімально допустимі цінові пороги. Визначення меж встановлення ціни наведено в таблиці 46.

Таблиця 46 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
150 – 200\$ Нижню межу визначає ціна на замінники (металеві ферми).	250 – 300\$ Встановлює верхню межу ринку, що гарантує високу якість. Ціна яка відповідає вартості модульної ферми прямих конкурентів.	Високий.	Нижня межа: 200 \$ (вартість матеріалів та витрати на роботу). Верхня межа: 300 \$ (ціна прямих конкурентів). Базова ціна: 250\$ Забезпечення лідерства по витратах та конкурентної переваги.

5.5.4 Визначення найпривабливішої системи збуту

В цього кроці приймаються рішення які наведені в таблиці 47.

Таблиця 47 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
B2B-споживачі (Будівництво, Івенти, Сонячна енергетика) – це компанії, які відкриті для нових альтернативних постачальників і активно шукають варіанти, що допоможуть оптимізувати витрати та підвищити їхню кінцеву дохідність.	Встановлення прямих контактів із ключовими особами, які приймають рішення. Формування попиту через демонстрацію переваг продукції та стимулювання збуту. Дослідницька робота для збору точних технічних вимог ринку.	Один рівень: від виробника одразу до кінцевого споживача.	Прямий канал збуту до споживача є оптимальним. Це дозволяє мінімізувати збутові витрати і повністю дає контролювати маркетингове спілкування.

5.5.5 Розроблення концепції маркетингової комунікації

Концепція маркетингових комунікацій є логічним продовженням стратегії позиціонування, оскільки вона визначає, як саме повідомлення бренду буде доставлено до споживача. Концепція маркетингових комунікацій наведена в таблиці 48.

Таблиця 48 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів (B2B)	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Компанії-прагматики: активно шукають нові альтернативи для оптимізації своїх витрат. Основний критерій – краще співвідношення ціни до якості для підвищення власної дохідності.	Спеціалізовані платформи B2B (архітектурні, будівельні). Галузеві виставки та форуми. Профільні друковані видання та каталоги.	Позиція "Ефективність": порівняння вигоди (швидкість, якість, вага. Акцент на нашій нижчій ціні як результат внутрішньої оптимізації.	Короткострокове: привернути увагу до кращої ціни та отримати перші замовлення. Довгострокове: створення репутації надійного виробника, що забезпечує збільшення чистого прибутку та рентабельності клієнта.	Доступна Ціна. Швидкий Монтаж." Акцент на трьох ключових асоціаціях: Якість, Ефективність, Швидкість.

Результатом цього етапу стала повноцінна ринкова програма, яка є комплексним планом дій для виведення проекту на ринок. Ця програма інтегрує концепції товару, збуту, просування та включає попередній аналіз ціноутворення. Вся програма ґрунтується на цінностях та потребах цільових клієнтів, конкурентних перевагах продукту, ретельному вивченні стану та динаміки ринкового середовища і повністю узгоджена з обраною альтернативою ринкової поведінки.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Виготовлення конструкції передбачає використання такого способу зварювання як механізоване зварювання в захисних інертних газах – 131 MIG. Обраний спосіб зварювання характеризується своїми шкідливими факторами які подібні і для інших способів зварювання, а саме: виділення небезпечних аерозолів, в залежності від зварювальних матеріалів та зварюваного матеріалу, ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги та тепловий вплив розплавленого матеріалу. Перелічені фактори можуть призводити до професійних захворювань та нещасних випадків робітників яким притаманна саме зварювальна професія.

Також слід відзначити, що до шкідливих та небезпечних факторів відносяться: ураження електричним струмом; отримання опіків різного ступеня тяжкості; вплив ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, що було згадано раніше; а також існує ризик травмування рухомими механізмами (кантувачами, транспортними засобами, мостовими кран балками).

Серед наведених небезпечних факторів, дія зварювального аерозолію на організм людини впливає на перший погляд непомітно, але з часом виникають серйозні та інколи фатальні наслідки. Недотримання рекомендацій з охорони праці по переліченим ризикам для працюючого персоналу виробництва, може призвести до фатальних наслідків та кримінальної відповідальності.

Тому найголовнішою метою цього розділу є розроблення рекомендацій щодо впровадження методів та засобів з охорони праці на складально-зварювальне виробництво, задля мінімізації шкідливого впливу на здоров'я працівників.

						Арк.
						14 7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Характеристику небезпечних та шкідливих виробничих факторів при проведенні механізованого зварювання в захисних газах наведено в табл. 49 [43].

Таблиця 49 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при проведенні механізованого зварювання в захисних газах [43]

Шкідливі виробничі фактори										Небезпечні виробничі фактори			
Шкідливі речовини	Випромінювання в оптичному діапазоні			Електромагнітні поля	Магнітні поля	Іонізуючі випромінювання	Шум	Ультразвук	Статичне навантаження на руку	Електричний струм	Іскри, бризки і викиди розплавленого металу	Механізми і вироби, що рухаються	Системи, які знаходяться під тиском, що не дорівнює атмосферному
	Ультрафіолетове	Видиме	Інфрачервоне										
XX	XX	XX	XX	-	-	-	X	-	XX	XX	XX	XX	XX

Примітка. xx – інтенсивний фактор; x – помірний фактор; (-) – незначний фактор чи його відсутність.

Розглянемо та проаналізуємо кожен шкідливий фактор та його наслідки для зварювальника.

6.1.1 Шкідливі виробничі фактори

Зварювальний аерозоль, що утворюється при MIG – зварюванні алюмінію, складається з ультрадисперсних частинок які менші ніж 0.5 мкм. Вони можуть глибоко проникати у легені та завдати подразнень та пошкоджень. Ризик посилюється наявністю в сплаві EN AW 6082 T6 легуючих елементів таких як марганець, магній, мідь, залізо. Серед наведених легуючих елементів слід відзначити марганець (Mn), який є критичним нейротоксином. Частинки марганцю можуть мати розмір від 0.001 мкм до 100 мкм. Найменші частинки здатні осідати по всій дихальній системі [44]. Вдихання марганцю може призводити до нейродегенеративного захворювання під назвою Манганізм. Марганець здатний долати гематоенцефалічний бар'єр, що робить його вплив на центральну нервову систему особливо небезпечним. Через високий ризик Манганізму, контроль концентрації марганцю є критичним, і вона має підтримуватися нижче гранично допустимої концентрації, рекомендовано до 0.02 мг/м³ [44, 45].

Також слід відзначити про небезпечний вплив випаровування алюмінію та його оксиду Al₂O₃ під час зварювання. Гострі симптоми впливу випарів алюмінію включають подразнення очей, носа, горла та легень. Алюміній та його оксиди можуть також викликати гостре грипоподібне захворювання, відоме як лихоманка металевих випарів. Одним із найсерйозніших захворювань є Алуміноз – це невиліковне респіраторне захворювання [44, 45]. Максимально допустима гранична концентрація діоксиду алюмінію Al₂O₃ в повітрі робочої зони, згідно з чинними нормативними документами, становить 0,03 мг/м³ [46].

Метод зварювання 131 MIG з використанням інертного газу аргону, генерує високоенергетичну дугу. Висока інтенсивність ультрафіолетового випромінювання дуги, вступає в реакцію з атмосферним киснем, що призводить до інтенсивного утворення озону (O₃). Озон утворюється не лише безпосередньо в зоні дуги, а й на деякій відстані від неї, що ускладнює його локалізацію. Озон має як короткострокові, так і довгострокові наслідки для

						Арк.
						149
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здоров'я. Короткострокові включають подразнення очей, носа, горла, легенів, головний біль та тимчасове зниження функції легень. Тривалий вплив озону може призвести до розвитку астми та хронічних захворювань легень [44,45]. Гранично допустима концентрація озону в повітрі робочої зони, встановлена на рівні 0,1 мг/м³.

Слід відзначити, що в якості захисного інертного газу для зварювання алюмінію, як було описано раніше, використовується аргон (Ar). Аргон сам по собі не є токсичною речовиною, він є простим асфіксіантом, що витісняє кисень з навколишнього середовища. Небезпечна концентрація аргону в робочому середовищі вважається тоді, коли його вміст сягає 25 %.

Як результат одним із заходів по усуненню небезпечних аерозолів, це застосування пристроїв місцевої витяжної вентиляції з системами очищення видаленого повітря від аерозолу та газів у відповідності з вимогами ДБН В.2.5–67:2013 [55].

Зварювання алюмінію методом MIG 131 класифікується як інтенсивне джерело оптичного випромінювання, через високі енергетичні режими, необхідні для роботи з цим матеріалом. Для ефективного захисту очей від надмірно яскравого видимого світла, що може призвести до втоми та довгострокового ураження сітківки, необхідно застосовувати належний ступінь затемнення світлофільтрів. Враховуючи інтенсивність дуги при Al–MIG зварюванні, необхідне застосування комплексного захисту. Стандарти вимагають, щоб працівники завжди носили захисні окуляри. Цей захист необхідний для запобігання впливу відбитого світла та периферичного ультрафіолетового випромінювання, яке може проникати під шолом, а також для захисту від бризок розплавленого металу. Забезпечення комплексного захисту органів зору є обов'язковим для усунення потенційних гострих та хронічних уражень.

Статичне навантаження на руку є інтенсивним фактором, особливо при зварюванні великих модульних конструкцій. Зварювальники загалом мають високий ризик розвитку м'язово–скелетних розладів, через необхідність

						Арк.
						150
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тривалої роботи у незручних, вимушених робочих позах та виконання повторюваних рухів [47]. Найбільш поширені больові синдроми локалізуються у попереку 78 %, правому плечі 66 % та зап'ястях від 61 % до 62 % [47].

6.1.2 Небезпечні фактори

Ризик ураження електричним струмом є інтенсивним фактором, особливо при роботі з електродуговим зварюванням. Хоча напруга холостого ходу у MIG-зварюванні відносно низька, але MIG зварювання із технологією DP-GMAW вимагає використання значно вищих робочих амперажів в переважній більшості у пікових фазах теплової модуляції зварювального струму, що значно підвищує потенційну небезпеку ураження електричним струмом. Для мінімізації ризику критично важливим є надійне захисне заземлення всіх металевих частин зварювального обладнання, які можуть опинитися під напругою в процесі експлуатації. Кожна одиниця обладнання повинна мати окремий провід заземлення. Крім того, ступінь захисту оболонки від дотику до струмопровідних частин має бути не нижче IP20.

Алюміній має нижчу температуру плавлення порівняно зі сталлю, висока теплопровідність та необхідність роботи на великих струмах роблять алюмінієві сплави вкрай схильними до прогорання та виділення бризок. Алюміній має коефіцієнт теплового розширення приблизно втричі вищий, ніж у сталі. Це призводить до значного об'ємного розширення при нагріванні та швидкого стиснення при охолодженні. Така динаміка збільшує ймовірність викиду розплавленого металу та утворення бризок, що вимагає інтенсивного захисту очей та тіла.

Ризик від рухомих частин обладнання класифікується як інтенсивний. Це пов'язано насамперед із механізмами подачі дроту. Зварювальні апарати MIG містять рухомі частини, такі як подавальні ролики та котушки, які можуть спричинити серйозні травми пальців або рук. Всі захисні кришки та панелі повинні бути справні та закриті, а працівники повинні триматися на безпечній

						Арк.
						151
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відстані від рухомих елементів. Також слід відзначити про кантувач, який використовується для складання та зварювання конструкції. Його конструкція передбачає обертання станини навколо своєї осі на 360°, що значно підвищує ризик травмування в разі перебування на близькій відстані до рухомих елементів.

Системи, які знаходяться під тиском, що не дорівнює атмосферному. Цей фактор стосується використання балонів, що містять в переважній більшості захисний газ, в нашому випадку Аргон. Незважаючи на те, що аргон є інертним газом, його зберігання та використання створює подвійний інтенсивний ризик: фізичний – вибух балона та хімічний – асфіксія [48].

Балони під тиском становлять небезпеку вибуху у разі механічного пошкодження або надмірного термічного впливу, наприклад, під час пожежі.

Для безпечної роботи необхідне суворе дотримання правил:

- забороняється розміщувати в місцях зберігання балонів легкозаймисті або горючі речовини, а також допускати контакт балонів з електричними проводами [49];
- забороняється транспортувати кисневі (або інші газові) балони разом з балонами, наповненими іншими газами, а також порожні разом з наповненими [49];
- критично важливо не витратити газ із балона повністю. Залишковий тиск у балоні повинен становити щонайменше 0.05 МПа [49].

6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки обладнання

Основним інженерним рішенням для забезпечення захисту від шкідливих домішок в повітрі робочої зони є впровадження вентиляційної системи.

При великих об'ємах виробничого простору та невеликій кількості робочого персоналу, технічного обґрунтовано та економічно доцільно створити на робочих місцях, місцеві метеорологічні умови, тобто встановити локальну вентиляційну систему на ділянки складання та зварювання конструкції. Тому при механізованому зварюванні плавким дротом в інертних газах за ДСТУ 2456–94 [50] потрібно використовувати місцеву вентиляцію.

Місцевими повітряприймачами, для механізованого зварювання в середовищі інертних газів, необхідно видаляти повітря в об'ємі не менше ніж 150 м³/год. [43].

При проектуванні вентиляції необхідно дотримуватися наступних вимог:

- вентиляція повинна забезпечувати чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення відповідно з ДСТУ–Н Б А.3.2–1:2007 [58];
- система має бути безпечною та не створювати додаткових шкідливих чи небезпечних факторів, таких як: переохолодження, перегрів, пожежовибухонебезпека, надмірний шум або вібрація;
- вентиляційне обладнання не повинно перешкоджати руху внутрішньоцехового транспорту, знижувати продуктивність праці, негативно впливати на якість зварювання;
- система повинна забезпечувати ефективний баланс між припливним та витяжним повітрям, а також бути надійною та економічною в довготривалій експлуатації.

Через дрібносерійне виробництво та стаціонарні пости зварювання, доречно використати стаціонарні системи вентиляції. Серед наявних стаціонарних вентиляційних систем широкого розповсюдження набувають фільтруючі витяжні системи із гнучким рукавом. Тому для зручності та

						Арк.
						153
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

локальної дії витяжної системи, було обрано стаціонарний витяжний пристрій MaxiFil (рис.52) [52].



Рисунок 52 – Стаціонарний витяжний пристрій MaxiFil [52]

Технологічні характеристики якого наведені в табл. 50 [52].

Таблиця 50 – Технологічні характеристики стаціонарного витяжного пристрою MaxiFil [52]

Спосіб фільтрації	Ефективність сепарації, %	Продуктивність м³/год	Потужність двигуна, кВт	Вага, кг
Накопичувальний фільтр	≥ 99.5	1000 м³/год	1.5	125

Цей розділ також встановлює вимоги для захисту працівників від інтенсивного ультрафіолетового випромінювання, яке виникає під час зварювальних робіт.

Для одягненого працівника, при обов'язковому захисті очей та обмеженій відкритій поверхні тіла $< 0,2 \text{ м}^2$, встановлюються суворі ліміти на інтенсивність

ультрафіолетового випромінювання відповідно до його спектрального складу згідно з ДСТУ EN ISO 15858:2022 табл. 51 [53].

Таблиця 51 – Спектральний склад ультрафіолетового випромінювання [53]

Діапазон ультрафіолетового опромінення	Допустима інтенсивність
УФ – А	Не більше 10,0 Вт / м ²
УФ – В	Не більше 0,01 Вт / м ²
УФ – С	Не більше 0,001 Вт / м ²

Для захисту обличчя та органів зору необхідно застосовувати спеціалізовані засоби індивідуального захисту, такі як щитки, світлофільтри, автоматичні фільтри.

Для захисту обличчя обов'язково використовуються щитки, які мають відповідати стандарту ДСТУ EN 175–2001 [56]. Щитки як правило повинні бути обладнані зварювальними фільтрами, що відповідають вимогам ДСТУ EN 169:2017 [57]. Якщо використовуються зварювальні маски або щитки з автоматичними зварювальними світлофільтрами (фільтри зі змінним ступенем затемнення), вони повинні відповідати стандарту ДСТУ EN 379:2017 [59].

Також основною темою є запобігання ураженню електричним струмом шляхом забезпечення відповідності обладнання та експлуатаційних процедур встановленим стандартам безпеки.

Все електричне зварювальне обладнання та порядок його використання мають суворо відповідати вимогам чинних нормативних актів, зокрема ДНАОП 0.00–1.32–01 [61] та ДНАОП 0.00–1.21–98 [61].

Корпус кожної електрозварювальної установки підлягає обов'язковому захисному заземленню або зануленню згідно з вимогами ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 [51].

Також категорично забороняється включати кілька зварювальних апаратів послідовно в один заземлюючий провідник.

						Арк.
						155
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кабелі, що підводять струм до зварювального кола, повинні бути ізольовані по всій довжині та захищені від можливих механічних пошкоджень.

При нарощуванні довжини зварювальних кабелів або з'єднанні елементів кола слід використовувати тільки роз'ємні з'єднувальні муфти.

Суворо забороняється з'єднувати частини зварювального кола за допомогою скруток з оголеним кабелем.

Як зворотний провід, що з'єднує виріб з джерелом струму, дозволяється використовувати гнучкі кабелі, металеві шини достатнього перерізу, зварювальні плити або безпосередньо саму зварювану конструкцію.

З'єднання зворотного провідника з виробом має бути ретельним і надійним (за допомогою зварювання або струбцини). При зварюванні кругових швів допускається використання ковзного контакту.

Категорично заборонено використовувати в якості зворотного провідника: мережу заземлення, металеві будівельні конструкції будівлі, технологічні комунікації, незварювальне технологічне обладнання.

Також слід обов'язково заземлювати затискач вторинної обмотки трансформатора або аналогічні затискачі у випрямлячах – генераторах, до якого підключається зворотний провід, якщо обмотки збудження не мають окремого трансформатора.

Зварювальні установки повинні бути захищені від короткого замикання та перевантажень з боку мережі живлення запобіжниками або автоматичними вимикачами.

Багатопостові зварювальні агрегати, крім захисту на вході, повинні мати додаткові захисні пристрої такі як автоматичний вимикач у загальному проводі та запобіжники на кожному окремому зварювальному посту.

Для підвищення безпеки працівники повинні бути забезпечені діелектричними килимками. В умовах підвищеної небезпеки у замкнених або обмеженому просторі, обов'язково слід використовувати додаткові діелектричні засоби такі як калоші та рукавиці.

						Арк.
						156
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суворо забороняється залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент під напругою.

При виникненні будь-якої аварійної ситуації – пожежа, травма, ураження струмом, електрозварник зобов'язаний негайно вимкнути струм.

Під час зварювальних робіт працівники обов'язково повинні використовувати спеціалізовані засоби індивідуального захисту для захисту тіла від інтенсивного розбризкування розплавленого металу та іскор. Всі засоби індивідуального захисту мають відповідати актуальним українським та європейським стандартам (ДСТУ EN/ISO):

- необхідно використовувати захисний одяг, що має забезпечувати стійкість до полум'я та бризок металу. Такі костюми повинні відповідати загальним вимогам для захисного одягу ДСТУ EN ISO 13688:2016 [62] та специфічним вимогам для зварювальних робіт ДСТУ EN ISO 11611:2016 [63];
- руки повинні бути захищені спеціальними рукавицями, які забезпечують комплексний захист і відповідають трьом основним стандартам, таким як: ДСТУ EN 12477:2006 [64] (вимоги до рукавиць, призначених спеціально для зварювальників); ДСТУ EN 407:2005 [65] (захист від термічних ризиків, таких як тепло та вогонь); ДСТУ EN 388:2017 [66] (захист від механічних ризиків, як-от порізи, проколи, стирання);
- також слід використовувати захисні окуляри для додаткового захисту очей від механічних пошкоджень та іскор;
- взуття має відповідати стандарту ДСТУ EN ISO 20347:2015 [67], забезпечуючи захист ніг від падіння важких предметів, проколів та потрапляння гарячих бризок металу.

						Арк.
						157
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.3 Розрахунок інженерного рішення

6.3.1 Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією

Проведемо розрахунок об'єму повітря, яке потрібно видалити місцевою вентиляцією для забезпечення безпечних умов та рекомендацій які наведені в розділі раніше. Об'єм повітря, яке потрібно видалити, визначають виходячи із заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, також характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування [43]. Тоді ми отримуємо:

$$L_m = 3600 F_0 V_0 \quad (5.1)$$

де L_m – необхідний об'єм повітря;

F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, m^2 ;

V_0 – швидкість всмоктування повітря прорізі, m/s .

Площа F_0 задається конструктивними особливостями обраного обладнання.

Значення V_0 знаходять, виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні зварювання або різання на відстані X (м) від центра всмоктуючого отвору.

Швидкість руху повітря V_x , що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, повинна бути при зварюванні в інертних газах від 0,15 m/s до 0,3 m/s .

Для витяжних пристроїв з гострими кряями найпростішої форми швидкість всмоктування повітря розраховується за наступною формулою:

$$V_0 = 16 V_x (X/d)^2 \quad (5.2)$$

де d – діаметр округлого отвору або гідравлічний діаметр для квадратного отвору, який умовно може дорівнювати квадрату швидкості, м.

Наведену формули можна використовувати при $X > 0,5d$.

						Арк.
						158
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо: $V_x = 0,3$ м/с, $d = 150$ мм, звідси $F_0 = 0,01767$ м². Розрахуємо об'єм повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m при декількох значеннях X .

При $X = 0,25$ м.

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot 16 \cdot V_x \cdot \left(\frac{X}{d}\right)^2 = 3600 \cdot 0,01767 \cdot 16 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,25}{0,15}\right)^2 = 848 \text{ м}^3/\text{год}$$

При $X = 0,3$ м.

$$L_m = 3600 \cdot 0,01767 \cdot 16 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,3}{0,15}\right)^2 = 1221 \text{ м}^3/\text{год}$$

При $X = 0,4$ м.

$$L_m = 3600 \cdot 0,01767 \cdot 16 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,4}{0,15}\right)^2 = 2171 \text{ м}^3/\text{год}$$

При $X = 0,5$ м.

$$L_m = 3600 \cdot 0,01767 \cdot 16 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{0,5}{0,15}\right)^2 = 3392 \text{ м}^3/\text{год}$$

Як бачимо, залежність квадратична із збільшенням відстані збільшується необхідна продуктивність витяжної системи.

Кількість шкідливих речовин, що локалізується місцевою вентиляцією, може складати для витяжних шаф не більше 90 %, а для інших видів витяжних пристроїв – не більше 75 %. Тому решта шкідливих речовин (10–25 %) повинна видалятися загальнообмінною вентиляцією [43].

6.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

6.4.1 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1–36:2016 [54], приміщення, де проводяться зварювальні роботи, повинні відповідати до категорії Г за вибухопожежною небезпекою. До цієї категорії відносять об'єкти, у яких використовуються негорючі матеріали у розпеченому, гарячому або розплавленому стані, а технологічні процеси супроводжуються виділенням променистого тепла, появою іскор та відкритого полум'я. Також це приміщення, де застосовуються горючі гази, рідини або тверді речовини, що спалюються чи використовуються як паливо.

Будівля повинна мати I ступінь вогнестійкості, що гарантує непоширення вогню. Мінімальна межа вогнестійкості становить 2,5 години, а максимально допустиме поширення вогню через внутрішні стіни – не більше ніж на 25 см.

Пожежна безпека забезпечується такими заходами:

- запобігання загорянню ізоляції під час короткого замикання шляхом застосування посиленого струмового захисту;
- недопущення утворення горючого середовища завдяки герметичності обладнання та обмеженню використання і зберігання вибухонебезпечних речовин;
- установлення систем пожежної сигналізації з датчиками типу ІДФ–І, ДППД тощо;
- використання відповідних вогнегасників для пожеж класу В (ОХП–10, ОХВП–10, ОВП–7, ОХ–7, ОП–10А) та класу Е (УО, ОП–10А). Вибір типу та кількості здійснюється згідно з ДСТУ EN 388:2017 [69].

При організації технологічного процесу враховуються всі правила електростатичної іскробезпеки. Також передбачені системи аварійного зливання пожежонебезпечних рідин та аварійного відведення горючих газів.

						Арк.
						160
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендується регулярно очищувати робочі зони й обладнання від пилу та горючих відходів, вчасно видаляти пожежонебезпечні матеріали та замінювати ЛВЖ і ГР на більш безпечні мийні засоби.

Електрообладнання повинно відповідати встановленому класу вибухо та пожежонебезпечності зони.

У робочих зонах, де виконуються зварювальні роботи, встановлюються протипожежні щити, укомплектовані вуглекислотними вогнегасниками, ломами, баграми, сокирами та відрами. Поряд розміщують ящики з сухим піском, стан якого регулярно контролюється. Для локалізації загорянь також використовують азбестові покривала.

Для оперативного виявлення пожеж у приміщенні передбачено встановлення пожежних датчиків, які автоматично реагують на займання та передають команду системі автоматичного пожежогасіння.

6.4.2 Надзвичайні ситуації

Для забезпечення готовності підприємства до дій у разі надзвичайних ситуацій таких як воєнний стан, застосування зброї масового ураження, збройні конфлікти, економічні, політичні чи науково–технічні загрози, а також природні й техногенні катастрофи, необхідно створити відділ цивільного захисту та надзвичайних ситуацій. Цей відділ функціонує як окремий структурний підрозділ, що відповідає за організацію заходів безпеки, а також за захист працівників у надзвичайних умовах мирного та воєнного часу.

Основні завдання відділу включають:

- аналіз, прогнозування та оцінювання можливих наслідків радіаційних аварій для об'єктів, персоналу, промислового майданчика, санітарно–захисної зони та зони спостереження, а також розроблення комплексу заходів щодо їх захисту;

						Арк.
						161
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- організацію й проведення під керівництвом комісії з НС рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах надзвичайних ситуацій із залученням сил і засобів цивільного захисту;
- підготовку та проведення комплексних і командно–штабних навчань та тренувань відповідно до плану заходів з цивільного захисту підприємства;
- забезпечення накопичення, зберігання та підтримання у постійній готовності індивідуальних і колективних засобів захисту;
- організацію та модернізацію локальних систем оповіщення, управління і зв'язку, а також підтримання їх у працездатному стані;
- навчання керівного складу, робітників і службовців діям у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час;
- забезпечення оперативного оповіщення персоналу та населення, а також своєчасного збору керівного складу при виникненні надзвичайних ситуацій;
- організацію та контроль виконання евакуаційних заходів у мирний та воєнний періоди;
- розроблення, планування та контроль за реалізацією заходів мобілізаційної підготовки підприємства.

						Арк.
						162
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі виконано комплексне дослідження технологічного процесу складання та зварювання модульної ферми з алюмінієвого сплаву EN AW-6082 T6, включаючи конструктивно-технологічний аналіз виробу, оцінку властивостей матеріалу та дослідження його поведінки під час зварювання.

2. Аналіз показав, що обраний сплав EN AW-6082 T6 має високу міцність і корозійну стійкість, але чутливий до утворення дефектів у зварному шві та навколошовної зони, що потребує раціонального вибору методу зварювання та коректної термообробки.

3. Дослідженнями доведено, що оптимальним способом формування зварних з'єднань для розроблюваної модульної ферми є механізоване зварювання MIG у режимі Doble Pulse GMAW, яке забезпечує низьке тепловкладення, мінімальні деформації та високу якість шва. Також обґрунтовано вибір присадного дроту ER4043 як найбільш сумісного з основним металом.

4. Визначено, що розроблена технологічна оснастка (притискачі, упори, кантувач) забезпечує точність складання та стабільність геометрії конструкції, що дозволяє мінімізувати залишкові напруження та підвищити продуктивність виробництва.

5. Доведено, що застосування розробленої технології виконання зварних швів конструкції, а також правильного розташування прихоплень та розділення виробу на вузли і підвузли знижує ризик деформацій та дефектів при виготовленні модульної ферми.

6. Встановлено, що контроль якості, який включає візуально-вимірювальний контроль, геометричну перевірку та вибіркове вимірювання твердості після штучного старіння, забезпечує повну відповідність виробу технічним вимогам та параметрам експлуатаційної надійності.

						Арк.
						163
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Обґрунтовано, що термічна обробка за режимом T5 (штучне старіння) є доцільною та технологічно ефективною для часткового відновлення міцності алюмінієвого сплаву у зоні термічного впливу та є ефективним засобом для зняття залишкових напружень.

7. Використання розробленої технології та оснастки показало, що процес виготовлення модульної ферми є економічно доцільним, технологічно реалізованим, придатним для дрібносерійного виробництва та забезпечує високу якість і стабільність готового виробу.

8. На підставі маркетингового аналізу визначено перспективність ринку модульних ферм, наявність сталого попиту, конкурентні переваги зварної конструкції та потенціал комерційної реалізації продукту в рамках стартап-проекту.

9. Результати можуть бути використані у виробничих підприємствах, що спеціалізуються на виготовленні алюмінієвих конструкцій для будівництва, індустрії заходів, легкої металоконструкції, сценічних систем та каркасних рішень.

10. Доцільним є продовження досліджень у напрямі оптимізації та розширення функціональності режимів DP–GMAW для чорних та кольорових металів та їх сплавів. Також слід приділити увагу впровадженню автоматизованих систем керування зварюванням та розширення номенклатури модульних конструкцій з чорних та кольорових металів та їх сплавів, що дозволить суттєво підвищити продуктивність та якість у серійному виробництві.

						Арк.
						164
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 6082 - T6~T651 Plate [Електронний ресурс] // Aalco - The UK's largest independent multi-metals stockholder. — Режим доступу: https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx (дата звернення: 02.09.2025). — Назва з екрана.

2. AlSi1MgMn 6082 T651 - Alüminyum - Referans Metal [Електронний ресурс] // ANASAYFA - Referans Metal. — Режим доступу: <https://www.referansmetal.com/alasimli-aluminyum/product/411/uzay-havacilik-savunma/levha-plaka/bs-l115-almgsi1-alsi1mgmn-6082-t651?lang> (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

3. Китайська алюмінієва ферма, алюмінієва сцена, алюмінієві освітлення постачальників, виробників, фабрика - Шижан [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ua.leadertrusses.com/aluminum-truss/how-to-choose-a-suitable-aluminum-truss.html> (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

4. 6082 Aluminium Alloy - Knowledge - T.S. Industrial Corporation Limited [Електронний ресурс] // China Stainless Steel Manufacturers, Copper Nickel Suppliers, Finned Tube Factory - T.S. Industrial Co.,Ltd. — Режим доступу: <https://www.tsinox.com/info/6082-aluminium-alloy-76086465.html> (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

5. Datasheet EN-AW-6082 [Електронний ресурс] / Xometry Europe. — Режим доступу: <https://xometry.eu/wp-content/uploads/2020/09/Datasheet-EN-AW-6082.pdf> (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

6. Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 6082 - T6~T651 Plate [Електронний ресурс] // Aalco - The UK's largest independent multi-metals stockholder. — Режим доступу: https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

						Арк.
						165
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Technical datasheet - Extruded products. Alloy EN AW-6082 [Електронний ресурс] / Hydro Innovation & Technology. — Режим доступу: <https://www.hydro.com/globalassets/08-about-hydro/hydro-worldwide/austria/nenzing/alloy-data-sheets/hydro-en-aw-6082.pdf> (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

8. Halbzeuge und Zuschnitte aus Aluminium und NE-Metallen [Електронний ресурс] // BIKAR. — Режим доступу: https://www.bikar.com/fileadmin/Unterlagen_BIKAR/Unterlagen_BIKAR_eng/6082-complete-en.pdf (дата звернення: 03.09.2025). — Назва з екрана.

9. Cecchel, S. Heat treatments of EN AW 6082 aluminum forging alloy: effect on microstructure and mechanical properties [Електронний ресурс] / S. Cecchel, D. Ferrario, G. Cornacchia // La Metallurgia Italiana. — 2020. — marzo. — Режим доступу: https://www.aimnet.it/la_metallurgia_italiana/2020/marzo/cecchel.pdf (дата звернення: 05.09.2025). — Назва з екрана.

10. Технологія та устаткування зварювання плавленням: Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 050504 «Зварювання» / Укладачі: Бойко В.П., Котик В.Т., Корінець І.П. — К.: 2012. — 55 с.

11. Pulsed MIG Welding on Aluminum: The Details and Advantages [Електронний ресурс] // Miller - Welding Equipment - MIG, TIG, Stick Welders and Plasma Cutting. — Режим доступу: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/pulsed-mig-welding-on-aluminum-the-details-and-advantages> (дата звернення: 05.09.2025). — Назва з екрана.

12. MIG Welding Aluminium: Tips and Tricks to Master the Art! [Електронний ресурс] // Westermans Blog - Together We Weld the World. — Режим доступу: <https://www.westermans.com/blog/mig-welding-aluminium-master-the-art-with-essential-tips-and-tricks> (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

						Арк.
						166
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Schematic of the GMAW-P process [Електронний ресурс] // ResearchGate. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-GMAW-P-process_fig1_267571830 (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

14. Wang, L. L. A pathway to microstructural refinement through double pulsed gas metal arc welding [Електронний ресурс] / L. L. Wang, H. Wei, J. Xue, T. DebRoy // Scripta Materialia. — 2017. — Vol. 134. — P. 61. — Режим доступу: https://modeling.matse.psu.edu/research_files/papers/2018JMPT_Wang.pdf (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

15. Perspective on Double Pulsed Gas Metal Arc Welding [Електронний ресурс] // Applied Sciences. — 2017. — Vol. 7, Iss. 9. — Art. 894. — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/9/894> (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

16. Special features of double pulsed gas metal arc welding [Електронний ресурс] // Penn State Pure. — Режим доступу: <https://pure.psu.edu/en/publications/special-features-of-double-pulsed-gas-metal-arc-welding/> (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

17. Wang, L. A pathway to microstructural refinement through double pulsed gas metal arc welding [Електронний ресурс] / L. Wang, H. Wei, J. Xue, T. DebRoy // Scripta Materialia. — 2017. — Vol. 134. — P. 61. — DOI: 10.1016/j.scriptamat.2017.02.034. — Режим доступу: https://modeling.matse.psu.edu/research_files/papers/2018JMPT_Wang.pdf (дата звернення: 10.09.2025). — Назва з екрана.

18. Investigation of the Difference in the Pulse Current in the Double Pulsed Gas Metal Arc Welding of Aluminum Alloys [Електронний ресурс] // PMC Home. — Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8999491> (дата звернення: 15.09.2025). — Назва з екрана.

						Арк.
						167
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Double-Pulse Triple-Wire MIG Welding of 6082-T6 Aluminum Alloy: Process Characteristics and Joint Performances [Електронний ресурс] // Metals. — 2021. — Vol. 11, Iss. 9. — Art. 1388. — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2075-4701/11/9/1388> (дата звернення: 17.09.2025). — Назва з екрана.

20. Aluminium Alloy 6082 Data Sheet [Електронний ресурс] // thyssenkrupp Materials (UK). — Режим доступу: <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/aluminium-6082.html> (дата звернення: 15.09.2025). — Назва з екрана.

21. Sanzhong Welding [Електронний ресурс] // Welding Wire Manufacturer In China - Sanzhong Welding. — Режим доступу: <https://www.asweld.com/er5356-aluminum-welding-wire.html> (дата звернення: 20.09.2025). — Назва з екрана.

22. Alzahrani, B. TIG Welding of EN AW-6082 Al Alloy: A Comparative Analysis of Filler Rods on Microstructural and Mechanical Performance [Електронний ресурс] / B. Alzahrani, M. M. Z. Ahmed, M. I. A. Habba et al. // Journal of manufacturing and materials processing. — 2025. — Vol. 9, Iss. 1. — Art. 21. — Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2504-4494/9/1/21> (дата звернення: 20.09.2025). — Назва з екрана.

23. Дріт алюмінієвий GRADIENT ER4043 Ø0,8 мм (0,5 кг) AlSi5 [Електронний ресурс] // Gradient - купити все для зварювання та різання металів в Україні. — Режим доступу: <https://gradient.ua/drit-aluminiievyi-gradient-er4043-08-mm-05-kh-alsi5> (дата звернення: 20.09.2025). — Назва з екрана.

24. Дріт алюмінієвий ER5356 1.2 мм 2 кг, ціни, відгуки [Електронний ресурс] // Jasic.ua. — Режим доступу: <https://jasic.ua/ua/product/er5356-12mm-2kg-773> (дата звернення: 20.09.2025). — Назва з екрана.

25. Пруток алюмінієвий ER4047 3.2 мм 5 кг [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://paton.pro/prutok-alyuminievyij-er4047-32-mm-5-kg> (дата звернення: 21.09.2025). — Назва з екрана.

						Арк.
						168
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. 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 (EN ISO 9692-1:2013, IDT). Чинний від 2014-06-20. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014.

27. 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) [Електронний ресурс] // БУДСТАНДАРТ Online. — Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102602 (дата звернення: 21.09.2025). — Назва з екрана.

28. ISO - International Organization for Standardization [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:10042:ed-3:v1:en> (дата звернення: 22.09.2025). — Назва з екрана.

29. 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) [Електронний ресурс] // БУДСТАНДАРТ Online. — Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102602 (дата звернення: 22.09.2025). — Назва з екрана.

30. ДБН В.2.6-165:2011. Конструкції будинків і споруд. Алюмінієві конструкції. Основні положення. Чинний від 2012-06-01. Вид. офіц. — Київ, 2011.

31. Стрічкопильний верстат для різання металу STILER G5027 [Електронний ресурс] // Продаж метало та деревообробного інструменту та обладнання. — Режим доступу: <https://slavles.in.ua/strichkopylnyi-verstat-dlia-rizannia-metalu-stiler-g5027> (дата звернення: 24.09.2025). — Назва з екрана.

32. Верстат для висікання труб Sahinler PN 17/90 PN 20/76 [Електронний ресурс] // Prom.ua. — Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p656867581-standok-dlya-vysechki.html> (дата звернення: 24.09.2025). — Назва з екрана.

						Арк.
						169
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Циліндрична шліфмашина Proxxon WAS/E (28560) [Електронний ресурс] // Alitech - техніка для дому. — Режим доступу: <https://alitech.com.ua/tsylyndrycheskaia-shlyfmashyna-proxxon-was-e-28560/> (дата звернення: 24.09.2025). — Назва з екрана.

34. Yin, L. High-temperature mechanical properties of constructional 6082-T6 aluminum alloy extrusion [Електронний ресурс] / L. Yin, Z. Ni, J. Liu et al. // Structures. — 2023. — P. 1244–1258. — Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352012423000437> (дата звернення: 25.09.2025). — Назва з екрана.

35. Torić, N. Experimental Analysis of High-Temperature Mechanical Properties of EN AW 6082 T6 Alloy [Електронний ресурс] / N. Torić, J. Brnić, I. Boko et al. // Metals. — 2017. — Vol. 7, Iss. 4. — Art. 126. — Режим доступу: <https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/114499/3/metals-07-00126.pdf> (дата звернення: 25.09.2025). — Назва з екрана.

36. Полімеризаційна піч ППЗ-М [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://tehno-parts.com.ua/pech-polimerizatsii-pp3-m> (дата звернення: 26.09.2025). — Назва з екрана.

37. Свердлильний верстат колонного типу STILER WS32A [Електронний ресурс] // Продаж метало та деревообробного інструменту та обладнання. — Режим доступу: <https://slavles.in.ua/sverdlylnyi-verstat-kolonnoho-typu-stiler-ws32a> (дата звернення: 28.09.2025). — Назва з екрана.

38. Виробництво зварних конструкцій. Частина 3. Засоби механізації зварювального виробництва: методичні вказівки до практичних занять з кредитного модулю навчальної дисципліни «Виробництво зварних конструкцій», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укладач: В. В. Лисак. — К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 110 с.

						Арк.
						170
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

45. Чому алюмінієві зварювальні випари можуть бути небезпечними без належних запобіжних заходів [Електронний ресурс] // The Fabricator. — Режим доступу: <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/aluminumwelding/why-aluminum-welding-fumes-can-be-hazardous-without-proper-precautions> (дата звернення: 11.10.2025). — Назва з екрана.

46. Наказ № 226 від 28.04.2004 Про затвердження методичних вказівок "Оцінка рівнів вмісту зварювальних аерозолів в атмосферному повітрі при обґрунтуванні безпечних обсягів викидів" [Електронний ресурс] // ZAKONONLINE. — Режим доступу: https://zakononline.ua/documents/show/85111__85111 (дата звернення: 12.10.2025). — Назва з екрана.

47. Фактори ризику захворювань опорно-рухового апарату, пов'язаних з роботою, серед зварювальників у неформальному секторі в умовах обмежених ресурсів [Електронний ресурс] // PubMed. — Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35431204> (дата звернення: 12.10.2025). — Назва з екрана.

48. Aluminium (Alum) [Електронний ресурс] / The Official Web Site for The State of New Jersey. — Режим доступу: <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0151.pdf> (дата звернення: 19.10.2025). — Назва з екрана.

49. Методичні рекомендації щодо безпечної експлуатації кисневих балонів та систем трубопроводів з киснем [Електронний ресурс] // Державна служба України з питань праці. — Режим доступу: <https://dsp.gov.ua/faq/metodychni-rekomendatsii-shchodo-bezpechnoi-ekspluatatsii-kysnevykh-baloniv-ta-system-truboprovodiv-z-kysnem/> (дата звернення: 19.10.2025). — Назва з екрана.

50. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. Чинний від 1994-04-15. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2003.

						Арк.
						172
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

51. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. Система стандартів безпеки праці в будівництві. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2007.

52. Стаціонарний витяжний пристрій MaxiFil [Електронний ресурс] // Sammit.dp.ua. — Режим доступу: https://sammit.dp.ua/goods/zashchita-kemper/staconarnie-vitagnie-sistemi/maxifil_.htm (дата звернення: 20.10.2025). — Назва з екрана.

53. ДСТУ EN ISO 15858:2022. Засоби індивідуального захисту. Вимоги до захисту від неіонізуючого випромінювання (EN ISO 15858:2020, IDT). Чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.

54. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

55. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. — Київ, 2013.

56. ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів (EN 175:1997, IDT). Чинний від 2003-07-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2003.

57. ДСТУ EN 169:2017. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри для зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання (EN 169:2002, IDT). Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

58. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні. Чинний від 2008-01-01. Вид. офіц. — Київ: Мінрегіонбуд України, 2007.

59. ДСТУ EN 379:2017. Засоби індивідуального захисту очей. Автоматичні зварювальні світлофільтри. Технічні умови (EN 379:2003+A1:2009, IDT). Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

60. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Наказ від 21.06.2001 № 272. Чинний від 2001-06-21. Вид. офіц. — Київ: Міністерство праці та соціальної політики України, 2001.

61. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Наказ від 09.01.1998 № 4. Чинний від 1998-01-09. Вид. офіц. — Київ: Державний комітет України з нагляду за охороною праці, 1998.

62. ДСТУ EN ISO 13688:2016. Одяг захисний. Загальні вимоги (EN ISO 13688:2013, IDT; ISO 13688:2013, IDT). Чинний від 2017-01-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.

63. ДСТУ EN ISO 11611:2016. Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів (EN ISO 11611:2015, IDT; ISO 11611:2015, IDT). Чинний від 2017-10-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.

64. ДСТУ EN 12477:2006. Рукавиці захисні для зварювальників (EN 12477:2001/A1:2005, IDT). Зміна № 1:2015. Чинний від 2007-01-01. Вид. офіц. — Київ: Держспоживстандарт України, 2007.

65. ДСТУ EN 407:2005. Засоби індивідуального захисту рук. Спеціальні рукавички для захисту від термічного впливу (тепла та/чи полум'я) (EN 407:2004, IDT). Чинний від 2007-07-01. Вид. офіц. — Київ: Держспоживстандарт України, 2007.

66. ДСТУ EN 388:2017. Рукавиці захисні. Загальні вимоги та методи випробування (EN 388:2016, IDT). Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

						Арк.
						174
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

67. ДСТУ EN ISO 20347:2015. Засоби індивідуального захисту. Взуття робоче (EN ISO 20347:2012, IDT). Чинний від 2017-07-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.

68. Barcol Hardness Tester, 934-1 [Електронний ресурс] // GARDCO. — Режим доступу: <https://www.gardco.com/Products/Hardness-Testers/Hardness-Testing/Barcol-Impressor-Hardness-Tester/c/p-62840> (дата звернення: 24.11.2025). — Назва з екрана.

69. ДСТУ EN 388:2017. Рукавиці захисні. Загальні вимоги та методи випробування (EN 388:2016, IDT). Чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

70. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О. А. Гавриша. — Київ: НТУУ «КПІ», 2016. — 28 с.

						Арк.
						175
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

						Арк.
						176
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Формат	Знач.	Позиція	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			H34 1мп.08.06.000B3	Установка для складання		
				та зварювання модульної		
				ферми		
A1	1		H34 1мп.08.01.000B3	Модульна ферма	1	
A1	2		H34 1мп.08.05.000B3	Обертювий позиціонер	1	
				<u>Деталі</u>		
		3		Зварювальний напівавтомат		
				Jasic MIG-250 PFC (N2SB2)		
				EV020	1	
		4		Гвинтовий притискач	48	
		5		Упор	4	
		6		Допоміжна планка	32	
		7		Монтажна балка	4	
		8		Швидкозажимний болт	44	
		9		Опорна призма 120°	8	
		10		Балон 40 л. Аргон	1	
		11		Газовий редуктор	1	
		12		Напівавтоматичний		
				зварювальний		
				пальник Parweld PRO-2400, 3м	1	
		13		Опорна призма 90°	32	
		14		Допоміжний куттик (упор)	8	

					H3-4 1мп.08.06.000СП				
Зм	Аркуш	№ документи	Підпис	Дата					
Розробив		Пюра М.С.			Установка для складання та зварювання модульної ферми				
Перевірив		Лисак В.В.							
Н. Контр.		Лисак В.В.							
Затв.		Квасницький В.В.							
					Літера	Аркуш	Аркушів		
						1	1	КПІ ім. Ізгоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона	