

**РОБОТА БАКАЛАВРА**

**КРБ.ЗТ-98.00.00.000 ПЗ**

**Група ЗТ-21-1**

**Володимир Матейчук**

**2025**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

**Інститут архітектури та будівництва "ІФНТУНГ-ДонНАБА"**

**Матейчук Володимир Володимирович**

\_\_\_\_\_  
*(підпис)*

**Група ЗТ-21-1**

**Розроблення технологічного процесу виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні сталеві колони**

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

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

<b>Керівник:</b> <u><i>к.т.н., доц.</i></u> <u><i>Панчук М.В.</i></u> _____ <i>підпис</i>	<b>Завідувач кафедри будівництва:</b> <u><i>к.т.н., доц.</i></u> <u><i>Андрусак А.В.</i></u> _____ <i>підпис</i>
--	---

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАФТИ І ГАЗУ

Інститут архітектури та будівництва Кафедра будівництва  
"ІФНТУНГ-ДонНАБА"

ОПП "Інжиніринг зварювальних технологій"

Спеціальність 131 "Прикладна механіка"

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

\_\_\_\_\_  
(підпис)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

### ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра  
студента Матейчука Володимира Володимировича

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні сталеві колони.

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

2. Термін задачі закінченої роботи 20.06.2025

3. Вихідні дані до роботи

Технічні умови на виготовлення сталеві колони, креслення виробу, умови експлуатації виробу, матеріал виробу сталь сталь 14Г2АФ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити 1 Загальний розділ. 1.1 Характеристика зварного виробу та оцінка його технологічності. 1.2 1.3 Характеристика матеріалу конструкції та його зварюваність 1.3 Аналіз чинного технологічного процесу. 2 Технологічний розділ. 2.1 Вибір способу зварювання і зварювального обладнання. 2.1.1 Обґрунтування способу зварювання. 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів. 2.1.3 Розрахунок технологічних параметрів зварювання. 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання. 2.2 Розроблення технологічного процесу наплавлення. 2.2.1 Підготовчі операції. 2.2.2 Складально-зварювальні операції. 2.3 Вибір заходів боротьби із напруженнями 2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку. 2.3.1 Дефекти, що виникають, при зварюванні конструкції. 2.3.2 Особливості контролю якості зварювання колони. 2.3.3 Візуальний метод контролю. 2.3.4 Ультразвуковий метод контролю 3. Конструкторський розділ. 3.1 Планування зварювальної дільниці. 3.2 Конструювання коробчатої колони за допомогою програми Solidworks 4. Охорона праці.

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

1. Колонна сталеві. 2. Схема технологічного процесу. 3. Стенд для зварювання колон. 4. Маніпулятор для приварювання опорних плит. 5. План дільниці цеху.

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_ Панчук М.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Матейчук В.В.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент \_\_\_\_\_ Матейчук В.В

Керівник \_\_\_\_\_ Панчук М.В.

## РЕФЕРАТ

Робота бакалавра складається з 5 креслень А 1, та 61 сторінки пояснювальної записки, 19 рисунків, 9 таблиць, посилань 10 на використану літературу.

Об'єктом роботи є: технологічний процес виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні металевої колони.

Мета роботи: удосконалення технологічного процесу виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні металевої колони.

За результатами виконання бакалаврської роботи розроблено технологічний процес виконання складальних та зварювальних робіт при виготовленні сталевих колон коробчастого типу. Технологічний процес передбачає утворення коробчастої структури колони за рахунок приварювання внутрішніх поперечних полицок та зварювання бокових її стінок. Проведений аналіз чинних способів зварювання показав неефективність ручного дугового та шлакового способів зварювання, які використовувались для встановлення внутрішніх полицок. Для цієї мети запропоновано лазерне зварювання, а для з'єднання стінок колони запропоновано поточну технологічну лінію, на основі зварювання під шаром флюсу. Поточна лінія укомплектована сучасним високотехнологічним обладнанням. Розроблений технологічний процес дає можливість забезпечити вищий рівень якості виконання складальних та зварювальних робіт, отримувати готову продукцію з наперед заданими характеристиками та покращити економічні показники виробництва.

**Ключові слова:** Коробчата колона, складальні роботи, зварювання, технологія

## ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 5 drawings A 1, and 61 pages of explanatory note, 19 figures, 9 tables, 10 references to the literature. The bachelor's work consists.

The object of work is: the technological process of performing assembly and welding operations in the manufacture of a metal column.

Purpose: to improve the technological process of performing assembly and welding operations in the manufacture of a metal column.

Based on the results of the bachelor's thesis, a technological process for performing assembly and welding operations in the manufacture of a box-type steel column was developed. The technological process involves the formation of a box structure of the column by welding the internal transverse shelves and welding its side walls. The analysis of existing welding methods has shown the inefficiency of manual arc and slag welding methods used to install the internal shelves. For this purpose, laser welding was proposed, and a submerged arc welding (SAW) production line was developed to join the column walls. The production line is equipped with modern high-tech equipment. The developed technological process makes it possible to ensure a higher level of quality of assembly and welding work, to obtain finished products with predetermined characteristics and to improve the economic performance of production.

**Key words:** Box column, assembly work, welding, technology

## ЗМІСТ

Зміст .....	5
Вступ .....	7
1 Загальний розділ.....	9
1.1 Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності....	9
1.2 Характеристика матеріалу конструкції та його зварюваність .....	11
1.3 Аналіз чинного технологічного процесу .....	13
2. Технологічний розділ .....	17
2.1 Вибір способу зварювання і зварювального обладнання .....	17
2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання .....	17
2.1.3 Вибір зварювальних матеріалів .....	21
2.1.4 Розрахунок технологічних параметрів .....	23
2.1.5 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання .....	25
2.2 Розроблення технологічного процесу .....	32
2.2.1 Заготівельні операції. ....	32
2.2.2 Складально-зварювальні операції .....	35
2.3 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями .....	39
2.4 Технічний контроль та виправлення браку .....	42
2.3. Дефекти, що виникають при зварюванні конструкції .....	42
2.3.2 Особливості контролю якості зварювання колони .....	46
2.3.3 Візуальний метод контролю .....	47
2.3.4 Ультразвуковий метод контролю .....	48
3 Конструкторський розділ .....	52
3.1 Планування зварювальної дільниці .....	52

					КРБ. ЗТ - 98. 00. 00.000 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення технологічного процесу складально-зварювальних робіт при виготовленні металевої колони			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Матейчук							5	60	
Перевірив	Панчук М.В.									
Рецензент	Матвієнків									
Н.Контроль	Матвієнків О.М									
Затверд.	Андрусак А.В				ІФНТУНГ ЗТ- 21-1					

3.2 Конструювання коробчатої колони за допомогою програми Solidworks .....	54
4. Охорона праці .....	56
4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища.....	56
4.2 Санітарно – гігієнічні характеристики зварювального виробництва .....	56
Висновки .....	60
Перелік використаної літератури .....	61

					КБР. ЗТ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

На даний час в будівництві актуальним є створення надійних конструкцій різних розмірів, рівнів складності та використання. Від простих, невеликих споруд, таких як сімейні будинки, до великих, складних, таких як мости, дамби та виробничі заводи.

Структурна цілісність та довговічність об'єктів є найважливішими завданнями в для будівельної галузі. Саме тому у будівельній сфері використовується велика кількість металів. Тільки в Сполучених Штатах щорічно для будівництва використовується понад 40 мільйонів тонн сталі.

Більша частина цього металу використовується для виготовлення конструкційних каркасів. Саме для таких конструкцій зварювання відіграє незамінну роль. Зварювання також використовується для створення та обслуговування неконструкційних компонентів.

Деякі зварні конструкції, що використовуються для будівництва, виготовляються попередньо у цехових умовах, тоді як монтажні їхні з'єднання виконуються на місці.

Будівництво охоплює численні галузі, зокрема транспорт, нафтогазову промисловість, телекомунікації, енергетику, виробництво тощо. Будівельна галузь дуже широка та різноманітна і поділяється на три основні сектори, які відрізняються типом створюваних ними конструкцій. Ці сектори - будівництво, інфраструктура та промисловість

При спорудженні будівель зварювання здебільшого використовується для створення несучих каркасів з металевих компонентів. За допомогою процесів зварювання виконується з'єднання сталевих двотаврових балок, ферм, колон та фундаментів для підтримки стін, даху та перекриттів будівлі тощо. Ці компоненти вирізаються за формою та розміром. Заготовки цих конструкцій переміщують у проектне положення, де на них накладаються зварні шви.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання конструкційного зварювання є характерним для висотних будівель, які потребують тисяч металевих швів. Зварювання в будівництві також використовується для виготовлення несучих будівельних компонентів, таких як колони, брандмауери, сходи, поручні та балки перекриття.

Ця бакалаврська робота є актуальною. Вона присвячена розробленню технологічного процесу виконання складально-зварювальних робіт при виготовленні сталеві колони. Металеві колони на даний час відіграють ключову роль в будівельній індустрії.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Характеристика зварного виробу і оцінка його технологічності

Відповідно до офіційної міжнародної статистики економічний розвиток кожної країни у великій мірі визначається об'ємами виробництва та споживання металів і сплавів. Саме ці матеріали на даний час є основними для виробництва обладнання, а сталеві конструкції все частіше виступають у вигляді бази для спорудження різноманітних будівель, без яких сучасні люди вже не бачать своє існування. І, незважаючи на наявність альтернативних підходів, металоконструкції були, є і будуть найдоступнішим та економічно обґрунтованим способом створення: громадських будівель, житлових будинків, виробничих споруд, каркасів для павільйонів, сховищ, теплиць, та модульних будівель.

Як важливий несучий компонент будівельної конструкції, сталеві колони відіграють надзвичайно важливу роль. Вони мають переваги стандартизованого проектування, заводського виробництва та збірного спорудження, що є важливою формою для досягнення вуглецевої нейтральності в будівельній галузі.

Коробчасті колони широко використовується у збірних сталевих конструкціях завдяки своїм чудовим експлуатаційним характеристикам. Вони можуть не тільки передавати вертикальне навантаження на фундамент, але й допомагають усій конструкції витримувати горизонтальне навантаження у двох головних напрямках осей.

Коробчасті сталеві колони (рис1.1) – це конструктивні елементи, які зазвичай використовуються в будівництві та мають порожнистий, квадратний або прямокутний поперечний переріз. Вони формуються шляхом зварювання чотирьох сталевих пластин. Ці колони мають високе співвідношення міцності до ваги та є стійкішими до вигину, ніж інші форми, що робить їх придатними для різних застосувань, що несуть навантаження.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



Рисунок 1.1 - Коробчата колона

У сфері сучасного будівництва сталеві коробчасті колони є свідченням інженерної винахідливості, пропонуючи унікальне поєднання міцності, універсальності та естетичної привабливості. Ці конструктивні елементи, сформовані шляхом зварювання окремих пластин разом для створення порожнистого профілю, широко використовуються в різних сферах застосування, від висотних будівель та мостів до промислових об'єктів та інфраструктурних проектів. Отриманий порожнистий профіль має ряд переваг порівняно з іншими конструкційними формами, такими як двотаврові балки або швелери.

Сталеві коробчасті колони мають численні переваги, що роблять їх кращим вибором для багатьох будівельних проектів.

Високе співвідношення міцності до ваги: порожнистий профіль забезпечує чудову міцність і жорсткість, мінімізуючи при цьому вагу, що робить їх ідеальними для великих прольотів і висотних будівель.

Рівномірний розподіл навантаження: закрита форма забезпечує рівномірний розподіл навантаження, підвищуючи структурну стійкість і стійкість до вигину.

Міцність на кручення: сталеві коробчасті колони забезпечують чудову стійкість до скручування або сил кручення, що робить їх придатними для застосувань, де важливі бічні навантаження.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Естетична привабливість: чисті лінії та гладкі поверхні сталевих коробчастих колон забезпечують сучасний та естетично приємний вигляд.

Простота виготовлення та з'єднання: сталеві коробчасті колони можна легко виготовити та з'єднати за допомогою зварювання або болтового з'єднання, що спрощує будівництво та зменшує обсяг робіт на будівельному майданчику.

Зварні коробчасті колони часто використовуються в будівництві сталевих рам зі спеціальними компонентами для забезпечення ефективної двоосьової міцності та жорсткості колон, особливо у складних конструкціях, де особливо важливі вимоги до сейсмічного дрейфу та вплив на архітектурне планування, а також ефективні та економічні конструкції.

Якість зварювання: високоякісне зварювання є важливим для забезпечення цілісності коробчастої колони та запобігання руйнуванню.

## **1.2 Характеристика матеріалу зварної конструкції та її зварюваність**

Одним з ключових напрямків досліджень у будівельному секторі та матеріалознавстві є вдосконалення технічних параметрів металевих конструкцій у зв'язку із збільшенням кількості природних катаклізмів та проведенням бойових дій. За цього значна увага приділяється характеристикам - міцності, ударній в'язкості та рівню поглинання енергії Шарпі.

Для виробництва колони використовується сталь ASTM A572 за американським стандартом. Аналогами сталі ASTM A572 за європейським стандартом є- сталь EN 10025-2S355, в Китаї сталь - сталь Q345. Найближчим аналогом з українських марок може бути сталь - 14Г2АФ.

Сталь 14Г2АФ класифікується як конструкційна, низьколегована для зварних конструкцій. Вона забезпечує клас міцності листового прокату, а також гнутих профілів КП 375 та КП 390 при товщині матеріалу до 50 мм.

Сталь 14Г2АФ використовується для виготовлення металоконструкцій у будівництві промислових та житлових споруд, виготовлення підкранових

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ферм для мостових кранів тощо. Хімічний склад, механічні властивості та інші вимоги до якості основних сталевих листів і профілів повинні виконуватися відповідно до відповідних національних стандартів. Хімічний склад сталі представлено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 14Г2АФ, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
0,12...0,18	0,3...0,6	1,2...1,6	до 0,3	до 0,035	до 0,035	До 0,4

До складу сталі також входять ванадій V в кількості – 0,07...0,12%, азот-0.015 - 0.025%, мідь до 0,3% та миш'як – не більше ніж 0,08. За хімічним складом 14Г2АФ відноситься до марганцево-ванадієвих сталей. Вона також мікролегована азотом. Внесення ванадію позитивно впливає на зменшення зерен аустеніту, а присутність азоту збільшує її міцність через утворення нітридів. Сталь виготовляється повністю розкисленою

Сталь 14Г2АФ характеризується покращеними механічними характеристиками - твердістю, міцністю, а також зносостійкістю, має відповідну пластичність та високу опірність до ударних навантажень. Механічні властивості сталі наведені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 14Г2АФ

Товщина листа, мм	Механічні властивості		
	Тимчасовий опір розриву $\sigma_b$ , МПа	Межа текучості $\sigma_t$ , МПа	Відносне видовження $\delta_b$ , % (не менше)
10	510	390	19

Для оцінювання ступіню зварюваності сталі 14Г2АФ застосуємо формулу для встановлення еквівалентного вмісту вуглецю:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+V+Mo}{10} \quad (1.1)$$

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Підставивши у дану формулу масові частки елементів отримаємо:

$$C_e = 0,12 + \frac{1,20}{20} + \frac{0,20}{15} + \frac{0,40}{10} = 0,22$$

Отже еквівалентний вміст вуглецю для сталі 14Г2АФ складає 0.22 %, тому вона відноситься до добре зварюваих сталей.

### 1.3 Аналіз чинного технологічного процесу

Особливості зварювання коробчатої колони в тому, що поперечні полицки які використовуються для збільшення жорсткості та міцності каркасу зварюються за допомогою ручного дугового та електрошлакового видів зварювання, що вимагає великих матеріальних затрат та не дозволяє отримати продукцію високої якості. Отримані таким чином зварні шви мають у своєму складі значну кількість дефектів. Особливо це стосується електрошлакового способу зварювання.

Електрошлакове зварювання – це спеціалізований процес зварювання, який дозволяє ефективно з'єднувати товсті металеві профілі з високою міцністю.

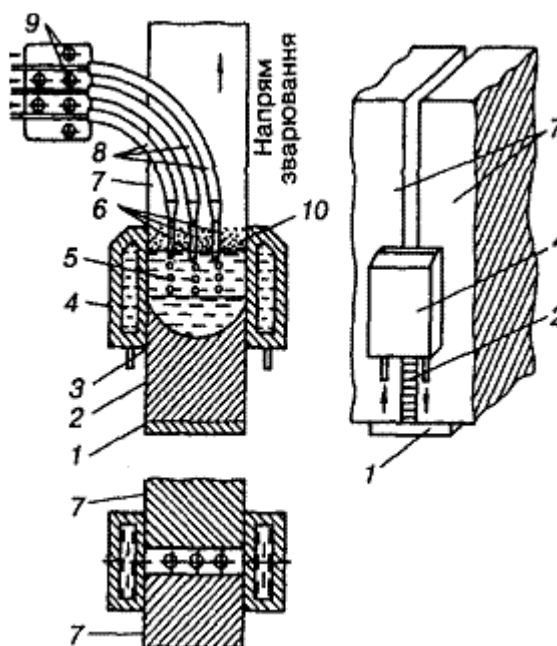
Під час проведення електрошлакового зварювання нагрівання основного металу не таке концентроване, ніж при дуговому, що дозволяє в широких межах розплавлювати зварювані кромки металу, а також регулювати вміст основного металу у зварному шві. Таким чином можна отримати шви з вмістом основного металу біля 20% і обмежити попадання легуючих добавок з основного металу до зварного шва.

Реакція між металом і шлаком проходить повільніше, ніж при дугових видах зварювання, тому хімічний склад металу є досить близьким до розрахункового. Вертикальне розміщення шва і постійне перебування у його

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

верхній частині металевої ванни полегшує видалення утворених газів частинок шлаку, що попадають з металу. Це повністю виключає утворення шлакових включень.

При проходженні процесу шлакового зварювання між кромками, вертикально розміщених деталей 7 (рис. 1.2.), металевою планкою 1 і мідними повзунами 4, в зону зварювання направляється флюс 10 та зварювальні дроти 6 діаметром - 2...3 мм.



1 – металева плінка; 2 – зварний шов; 3 – кран для проточної води; 4 – мідні повзуни; 5 – шлакова ванна; 6 – електродні дроти; 7 – зварювальні деталі; 8 – струмопідвідні мундиштуки; 9 – подавальні ролики; 10 – флюс.

Рисунок 1.2 – Схема електрошлакового зварювання

Електрошлакове зварювання особливо добре підходить для з'єднання вертикальних і горизонтальних швів у важких сталевих конструкціях, таких як суднобудування, мостобудування та виробництво посудин під тиском. Процес пропонує численні переваги, включаючи високу швидкість наплавлення, глибоке проникнення.

Процес електрошлакового зварювання розроблений головним чином для зварювання дуже великих металевих пластин без підготовки кромки. Електрошлакове зварювання зазвичай є однопрохідним процесом з використанням плавкого електрода для заповнення проміжку між двома товстими пластинами. Тепло, необхідне для плавлення пластин та електрода, спочатку отримується за допомогою дуги, щоб флюс утворив розплавлений шлак. Після утворення розплавленого шлаку дуга гасне, і нагрівання зварювальних поверхонь відбувається резистивним способом за допомогою розплавленого шлаку.

Цей процес дозволяє зварювати матеріали товщиною до 200 мм за один прохід. Завдяки високій температурі шлаку (приблизно 1930°C) відбувається розплавлення витратного електрода і країв заготовки, внаслідок чого краплі металу приєднуються до зварювальної ванни.

Безперервна шлакова ванна підтримується за допомогою двох водоохолоджуваних мідних перегородок, які рухаються разом зі зварним швом, забезпечуючи ефективне зварювання. Електрошлакове зварювання в основному використовується для зварювання сталей, а якість зварного шва залежить від таких факторів, як рівень шлаку, форм-фактор (співвідношення ширини зварювальної ванни до максимальної глибини), струм і напруга зварювання, а також кількість використовуваних електродів.

Електрошлакове зварювання передбачає наявність декількох важливих компонентів – електродів, флюсу, направляючої трубки для електродів.

Для електрошлакового зварювання зазвичай використовуються два типи електродів: суцільні та з металевим сердечником, причому тверді електроди є більш поширеними на практиці.

Флюс є важливим витратним матеріалом в електрошлаковому зварюванні. У розплавленому стані він перетворює електричну енергію на теплову, сприяючи сплавленню електродного дроту та основного металу для створення зварного з'єднання. Він виконує подвійну функцію: захищає розплавлений зварний метал від атмосферного забруднення та забезпечує

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

стабільність зварювання. Флюс повинен мати електропровідність, та забезпечувати при цьому достатній опір для вироблення достатньої кількості тепла необхідного для процесу зварювання.

Правильний контроль опору має вирішальне значення для запобігання дугового утворення, спричиненого недостатнім опором. Крім того, шлак повинен мати мінімальну в'язкість, щоб забезпечити плавну циркуляцію, не будучи надмірно товстим або занадто тонким, що може призвести до витoku.

Направляюча трубка для електрода - ця трубка використовується для направлення електродного дроту в потрібне місце, де має виконуватися зварювання.

Наведемо певні обмеження використання електрошлакового зварювання. Надмірне підведення тепла до основного матеріалу може мати негативні наслідки. Висока температура зварювання вимагає відповідних заходів охолодження. Повільна швидкість охолодження може призвести до утворення стовпчастого зерна в шві. Так само велика кількість тепла спричиняє зниження в'язкості через утворення крупного зерна в зоні плавлення та зоні термічного впливу.

Електрошлакове зварювання схильне доутворення гарячих тріщин та чутливості до надрізів у зоні термічного впливу. Воно в основному обмежується зварюванням у вертикальному положенні через наявність великих ванн розплавленого металу та шлаку.

Закриття циліндричних зварних швів може створювати труднощі. Цей процес, як правило, призводить до більших розмірів зерна. Виходячи з аналізу способів ручного дугового та електрошлакового зварювання можна зробити висновок про неефективність його використання в процесі зварювання колони.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір способу зварювання та зварювального обладнання

#### 2.1.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Застосування ефективних зварювальних технологій для створення сталевих каркасів при спорудженні промислових та житлових об'єктів в даний час є актуальним завданням. Для металевих виробів у даному випадку важливим є забезпечення високої в'язкості матеріалу в зоні термічного впливу, навіть шляхом високого теплового впливу на неї. Такі умови може створити спосіб зварювання під шаром флюсу. Виходячи з цього для виконання зварювальних робіт при виготовленні коробчатої сталевої колони застосуємо зварювання під шаром флюсу (рис.2.1).



Рисунок 2.1 - Зварювання під шаром флюсу

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Зварювання під шаром флюсом – це процес, за якого електрична дуга функціонує між електродом, що безперервно поступає в зону зварювання та основним металом. При чому зварювальної дуги не видно, оскільки вона покрита шаром зернистого флюсу (звідси й назва методу). Частина флюсу плавиться, і створює цим самим захисний шар шлаку поверх зварного шва після затвердіння.

Процес дугового зварювання під флюсом є найкращим вибором у важливих сферах застосування – будівельних конструкцій, трубопроводів, посудин під тиском та резервуарів тощо. Він має найпростішу однодротову, дводротову, дводротову послідовну та багатодротову структури. Процес дугового зварювання під флюсом є ефективним у різних сферах зварювання, він збільшує продуктивність виконання робіт, покращує умови праці, забезпечує стабільну якість готової продукції.

Вибір необхідного флюсу та дроту для конкретного процесу дугового зварювання має вирішальне значення для досягнення найкращих результатів у цьому процесі. Хоча сам процес дугового зварювання під флюсом є досить ефективним, все одно його можна покращити навіть залежно від використовуваного дроту та флюсу.

Флюс (рис.2.2) не тільки захищає зварювальну ванну, але й сприяє підвищенню механічних властивостей та продуктивності зварного шва. Склад флюсу має суттєвий вплив ці чинники за рахунок дії на струмопровідну здатність та виділення шлаку. Струмопровідна здатність означає, що можна досягти максимально можливої ефективності наплавлення та високоякісного профілю зварного шва.

Під час зварювання під флюсом використовується високе значення сили струму, тому у даному випадку для конструкцій товщина яких менша 14 мм, немає необхідності виконувати розроблення кромки.

Виділення шлаку з певних марок флюсу впливає на його вибір, оскільки деякі флюси краще підходять для певних зварювальних проектів, ніж інші.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Варіанти вибору флюсів для дугового зварювання під флюсом включають активний та нейтральний. Основна відмінність полягає в тому, що активний флюс змінює хімічний склад зварного шва, тоді як нейтральний флюс – ні.



Рисунок 2.2 – Подача флюсу

Активний флюс характеризується наявністю кремнію та марганцю. Наявність цих елементів допомагає підтримувати міцність зварного шва на розрив при високому підведенні тепла, допомагають підтримувати гладкий шов на високих швидкостях та забезпечують хороше виділення шлаку.

Загалом, використання активного флюсу запобігає отриманню швів поганої якості, а також складностям при очищенні та повторній обробці після зварювання.

Активний флюс зазвичай найкраще підходить для одно- або двопрхідного зварювання. Нейтральні флюси краще підходять для великих багатопрохідних зварних швів, оскільки вони допомагають уникнути створення крихких, схильних до розтріскування швів.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Існує багато варіантів вибору дроту для дугового зварювання під флюсом, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Деякі дроти призначені для зварювання з високими тепловими навантаженнями, тоді як інші спеціально розроблені, допомагають флюсу очистити зварний шов. Очевидною є впливу хімічного складу дроту на механічні властивості зварного шва та продуктивність процесу.

Наприклад, використання порошкового дроту в процесі дугового зварювання під флюсом може збільшити ефект наплавлення на 15-30 відсотків порівняно з суцільним дротом, забезпечуючи при цьому ширший і менший профіль проникнення.

Завдяки високій швидкості переміщення порошковий дріт також зменшує подачу тепла, мінімізуючи ризик деформації зварного шва та прогорання.

Переваги дугового зварювання під флюсом.

1) Висока швидкість наплавлення. Зварювання під флюсом пропонує одну з найвищих швидкостей наплавлення серед процесів дугового зварювання. Можливість безперервної подачі електродного дроту та ефективного використання енергії дуги забезпечують високу швидкість отримання зварних швів, що робить зварювання під флюсом ефективним методом для великомасштабних проектів. Висока ефективність призводить до покращення економічних показників процесу.

2) Глибоке проплавлення зварного шва. Використання даного процесу забезпечує глибоке проплавлення, що є вирішальним для зварювання товстих матеріалів та габаритних виробів. Цей підхід дозволяє виконувати менше проходів для досягнення повного проплавлення, підвищуючи швидкість та зменшуючи кількість необхідного присадного матеріалу.

3) Високоякісні зварні шви. Найголовнішою перевагою зварювання під флюсом здатність способу виконувати високоякісні зварні шви з мінімальними дефектами. Шар флюсу захищає зварювальну ванну від негативної дії складників атмосферного повітря (таких як кисень та азот), що

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшує ймовірність утворення дефектів зварного шва, таких як пористість або шлакові включення. Утворений шлак також легко видаляється після зварювання.

4) Оскільки дуга є зануреною під флюс, втручання оператора під час процесу мінімальне. Автоматизований процес зменшує втому оператора та ризик впливу на нього зварювальних випарів або радіації.

5) На відміну від інших процесів, таких як дугове зварювання в газовому середовищі (GMAW) або дугове зварювання вольфрамовим електродом (GTAW), даний процес (SAW) додаткового захисту у вигляді газів. Сам флюс забезпечує необхідний захист зварювальної ванни, що робить процес економічно ефективним та придатним для використання на відкритому повітрі.

б) Занурення дуги під флюсовий шар забезпечує чистіше робоче середовище з мінімальним розбризкуванням та меншою кількістю зварювальних викидів, що допомагає створити безпечніше та комфортніше середовище для персоналу.

### 2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.

Автоматичне зварювання низьколегірованих сталей, до яких відноситься марка 14Г2АФ зазвичай виконують зварювальними дротами – Св-08ГА або Св-10ГА, під флюсами АН-348-А або ОСЦ-45.

Зварювальний дріт Св-08ГА має вміст вуглецю 0,08% і марганцю <1%. Буква "Г" у маркуванні вказує на наявність марганцю, але його вміст не перевищує 1%, а буква А за цього означає, що дріт виготовлений з високоякісної сталі та має малий вміст шкідливих домішок – сірки та фосфору. Відомо, що фосфор та сірка знижують якість та надійність зварних швів. Сірка з залізом утворює сульфід, який маючи температуру плавлення меншу ніж у сталі, сприяє утворенню тріщин. Локалізувати цю дію допомагає марганець.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варто відзначити, що оміднений присадний дріт має ряд переваг над звичайним дротом. Рівне та якісне покриття з міді забезпечує надійний контакт із струмопровідним наконечником. В такому випадку зварювальний шов отримують без підрізів і практично рівним. Пробіли зазвичай виникають відсутності контакту навіть на долі секунди, оскільки в цей час дуга відсутня.

Також важливим чинником при зварюванні є діаметр електродного дроту. Оскільки різниця в його розмірах призводить до зношення струмопідвідного наконечника. Коли ми використовуємо електродний дріт з мідним покриттям, зношення цього елементу зварювального апарату зменшується до нуля. Зварювальний дріт Св-08ГА широко застосовується в промисловості де необхідною є висока якість та надійність зварних швів. Хімічний склад зварювального дроту наведений в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08ГА (%)

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
≤0,10	≤0,06	0,8...1,0	≤0,10	<0.25	≤0,25	≤0,30

Механічні властивості наплавленого металу наведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Механічні властивості зварювального дроту Св-08ГА

<b>Механічні властивості</b>	<b>Одиниці</b>	<b>Значення</b>
Границя міцності, МПа	МПа	571
Відносне видовження,	%	26
Границя текучості,	МПа	452
Ударна в'язкість, Дж/ см2 (KCV) (-20)	Дж/ см2 (KCV) (-20)	216

Флюс АН-348 використовується для захисту зони зварювання, хімічного очищення з'єднаних поверхонь та покращення якості шва. Хімічний склад флюсу АН-348 наведено в таблиці 2.3.

Ця марка флюсу призначена для в основному для зварювання та наплавлення в автоматичному режимах в комплекті з електродним дротом Св-08ГА.

Таблиця 2.3. – Хімічний склад флюсу АН-348

Механічні властивості	Одиниці	Значення
Si O <sub>2</sub>	%	40,0...44,0
MnO	%	31.0...38.0
CaO	%	<12,0
MgO	%	<7,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	<13,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0,5-2,2
S	%	<0,11
P	%	<0,12
CaF <sub>2</sub>	%	3,0-6,0

Таким чином у вигляді зварювальних матеріалів використовуємо електродний дріт – Св-08ГА та зварювальний флюс АН-348.

### 2.1.3 Розрахунок технологічних параметрів

Існує ряд способів визначення технологічних режимів зварювання: графічний, експериментальний, аналітичний та табличний. За цього табличний спосіб є найпоширеніший. Зварні шви та форми підготовки кромки обираємо згідно ГОСТ 8713–79. Для виконання

зварювання використовуємо шов Т1, односторонній без розроблення кромки. Катет шва складає 10 мм.

Знаючи катет шва (К), визначаємо площу перетинного перерізу наплавленого металу – мм<sup>2</sup>:

$$F_H = K^2/2 \quad (2.1)$$

$$F_H = 50 \text{ мм}^2$$

Для отримання катету 10 мм підбираємо зварювальний дріт діаметром 5 мм. Для прийнятого діаметру електроду у відповідності до таблиці 2.4 вибираємо щільність струму.

Таблиця 2.4. Вибір діаметру електродного дроту в залежності від товщини металу

Діаметр електроду, мм	5	4	3	2
Щільність струму, А/мм <sup>2</sup>	30...40	35...50	50...85	60...150

Розрахунок зварювального струму при зварюванні дротом суцільного перерізу виконуємо за формулою:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot \alpha}{4} \quad (2.2)$$

$\alpha$  - густина електричного струму в електродному дроті А/мм<sup>2</sup>.

$d_e$  - діаметр електродного дроту, мм.

Підставивши дані величин у формулу отримаємо значення сили струму

$$I_{зв} = 785 \text{ А.}$$

Значення напруги на дузі приймаємо –  $U_d = 32$ ;

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Розраховуємо швидкість подавання електронного дроту :

$$V_{\text{п.пр.}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{ЗВ}}}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} \quad (2.3)$$

$\alpha_{\text{н}}$  - коефіцієнт наплавлення г/А·год, визначаємо за формулою

$$\alpha_{\text{н}} = 2 + 0.07 \frac{I_{\text{г}}}{d_{\text{з}}} \quad (2.4)$$

Підставивши дані у формули 2.3 та 2.4 отримаємо:  $\alpha_{\text{н}} = 13$  г/А·год та

$$V_{\text{н}} = 664 \text{ м/год}$$

Визначаємо швидкість зварювання за формулою:

$$V_{\text{ЗВ}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \times I_{\text{ЗВ}}}{100 F_{\text{н}} \times \rho} \quad (2.5)$$

Після підставлення значень величин у формулу 2.5, отримуємо швидкість зварювання, яка складає 26 м/год.

$$V_{\text{св}} = \frac{13 \times 785}{100 \times 0,5 \times 7,85} = 26 \text{ м/год}$$

#### 2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального обладнання

Для виконання розробленого технологічного процесу ми підібрали порталну зварювальну установку LMН-4000. Установка такого типу може використовуватись для зварювання будівельних сталевих конструкцій, зокрема металевих колон. Комплект обладнання має програмне забезпечення для оперативного керування зварювальними процесами.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювальну установку ми комплектуємо двома комплектами джерел живлення Subarc 1250 DC Digital компанії Miller Electric, а також двома комплектами підвісного зварювального апарата марки A6DS Tandem Master.

Зварювальна головка A6DS Tandem Master (рис. 2.3) – має регульований поворотний кронштейн з інтервалом  $\pm 90^\circ$  та фіксовані поперечні ковзани. Установка A6DS добре підходить для застосувань, що вимагають автоматизованого зварювання довгих зварних з'єднань. Досить ефективним є використання зварювальної головки для виконання довгих швів наприклад з'єднання сторін коробчатої колони.

Шов виконується при русі маніпулятора в одну сторону. Після його завершення зварювальну головку A6DS повертають на  $180^\circ$  і починають виконувати зварний шов в протилежну сторону. За цього немає необхідності маніпулятор повертати у вихідне положення, що дозволяє зекономити значну кількість часу та енергоресурсів. Зварювальна головка A6DS є надійною та універсальною у виробництві.



Рисунок 2.3 – Зварювальна головка A6DS Tandem Master

Технічні характеристики зварювальної головки A6DS Tandem Master представлено в таблиці 2.5

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики зварювальної головки A6DS Tandem Master

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Максимальний зварювальний струм, при ПВ 100%,	А	1500
Діаметр електродного дроту	мм	3...6
Швидкість подачі електродного дроту,	м/хв	0,2 – 4,0
Маса базової версії	кг	64

Завдяки автоматичному відстеженню процес утворення зварного шва повністю контролюється. За допомогою електронного контролера можна швидко і точно запрограмувати всі параметри зварювання перед його початком. Немає необхідності проведення попередніх операцій для коригування. Система зворотного зв'язку забезпечує високу та стабільну якість зварювання від початку до кінця. В даному випадку виконуються дві важливих умови - економія час у і матеріалу.

Для ефективної роботи установки підібрано джерело живлення Subarc 1250 DC Digital компанії Miller Electric (рис.2.4). Джерело живлення Subarc 1250 DC Digital – може досить успішно виконувати завдання як при зварюванні одним так і двома електродними дротами під флюсом. Це джерело має традиційну конструкцію (трансформатор/випрямляч) та поєднує високу продуктивність та надійність роботи.

Сучасне та високотехнологічне цифрове управління утримує найкращі в своєму класі характеристики та стабільність і повторюваність в процесі зварювання заготовок. Джерело живлення Subarc 1250 DC Digital компанії Miller Electric можна використовувати для високоякісного зварювання під шаром фюсу та шлакового зварювання.



Рисунок 2.4 – Джерело живлення Subarc 1250 DC Digital

Технічні характеристики джерела живлення представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики джерела живлення Subarc 1250 DC Digital

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Напруга мережі, три фази	В	380
Зварювальний струм	А	1200
Вага	кг	309

Зварювальний процес передбачає виконання основних та допоміжних технологічних операцій. За цього для виконання основних робіт використовуються технологічне обладнання, а для виконання допоміжних робіт – використовують зварювальну оснастку. В деяких випадках, в тому числі і в нашому обладнанні для реалізації зварювальних робіт представляє собою єдиний комплекс, об'єднаний у технологічну лінію.

Для виробництва колон, що експлуатуються в будівельній галузі ефективним способом є застосування комплексних автоматизованих виробничих ліній з можливою комплектацією модерними продуктивними

одинацями устаткування і високою механізацією та автоматизацією технологічних процесів.

Як уже повідомлялось вище для проведення зварювальних робіт з виготовлення металеві корпусної колони застосуємо комплект устаткування на базі установки порталного типу виду LMH-4000 (рис. 2.5). Технічні характеристики установки представлені в таблиці 2.6.

Зварювальна установка порталного виду LMH-4000 це жорстка система. Таке обладнання призначене для складного зварювання, широко використовується в будівництві сталевих конструкцій, виробництві автомобільних балок та автоматичному зварюванні двотаврових балок.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики установки порталного типу виду LMH-4000

Технічні параметри	Одиниці	Значення
Напруга мережі, три фази	В	220/380/415V
Зварювальний струм	А	1200
Вага	кг	5000
Швидкість зварювання	м/хв	0,15...1,0
Висота плити	мм	200...800
Товщина стінки	мм	6...32
Загальна потужність	кВт	10
Кількість зварюваних головок	шт	2

Установка використовує метод керування ПЛК і складається з порталної рами, двох комплектів джерел живлення, двох комплектів горизонтальної рухомої висувної плити, двох комплектів електричних пальників для підвісних приводів, двох комплектів механізмів стеження, двох комплектів автоматичного пристрою рециркуляції флюсу та системи

керування. Це обладнання має високу ефективність та хорошу якість зварювання. Іншими словами це ідеальне обладнання для корчатих колон.

Це обладнання використовує розвинену технологію керування, має відповідний дизайн, якісну комплектацію, надійну структуру, відрізняється професійним виконанням, тривалим терміном служби та безпечною роботою.

Особливості конструкції порталної зварювальної установки.

- 1) Каркасна портална установка складається з рухомої балки, колони та верхньої платформи. Портал має квадратну конструкцію, що знижує технологічне навантаження, забезпечуючи міцну та стабільну конструкцію.
- 2) Кожна рухома балка приводиться в рух мотор-редуктором, утворюючи подвійну приводну систему, що забезпечує плавну та надійну роботу.



Рисунок 2.5 – Зварювальна установка порталного типу LMH-4000

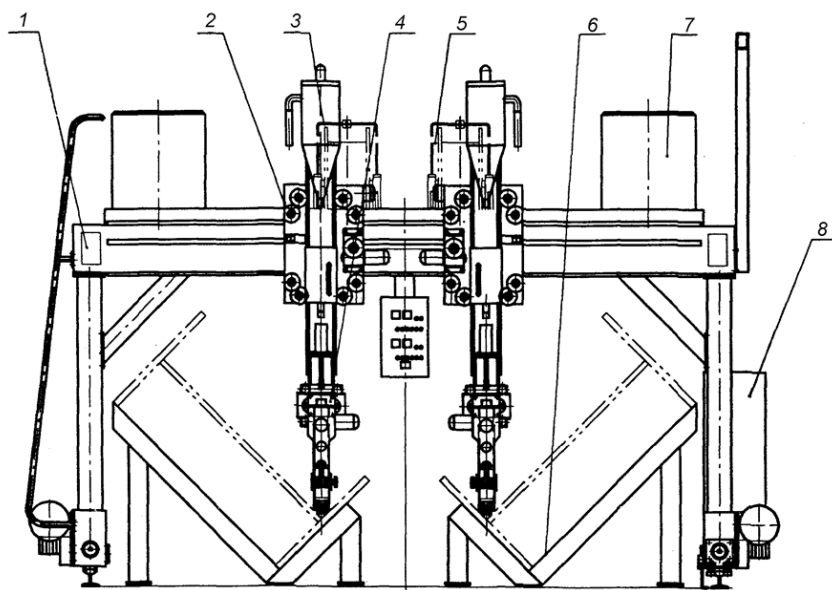
					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

3) Переміщення порталу контролюється за допомогою регулювання швидкості, а параметри зварювання можна регулювати відповідно до вимог зварювальної технології.

4) Електрична система керування складається з одного електричного блоку керування та двох панелей керування. Електричний блок керування оснащений крокуючою системою.

5) Портальний зварювальний апарат може виконувати зварювання вперед і назад для підвищення ефективності роботи.

Будова установки предствлена на рисунку 2.6. Зварювальна установка портального типу LMН-4000 складається з порталу 1, супорту консолі 2, бункера для флюсу 3, консолі зі зварювальною головкою 4, катушки зварювального проводу 5, стапеля 6, системи рециркуляції флюсу 7, шафи управління.



- 1 – портал; 2 – супорт консолі; 3 – бункер для флюсу; 4 – консоль зі зварювальною головкою; 5 – катушки зварювального дроту; 6 – стапель; 7 – система рециркуляції флюсу; 8 – шафа управління

Рисунок 2.6 – Схема портальної зварювальна установка портального типу LMН-4000 .

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для приварювання горизонтальних полицок до стінок колони використаємо зварювальну головку фірми Laser Mechanisms - FiberWELD® (рис.2.7). Зварювальна головка FiberWELD® розроблена для важких умов виробництва із застосуванням оптичного волокна. Вона є надійною конструкцією зі спрощеною системою охолодження за допомогою рідин і газів. Легкодоступне захисне скло FiberWELD® допомагає продовжити термін служби внутрішньої оптики.



Рисунок 2.7 – Зварювальна головка FiberWELD®

Зварювальна головка безпосередньо з'єднана з лазером через волоконно-оптичний кабель. Слід зазначити, що частина системи моніторингу закріплена на корпусі головки. Чорним кольором на зображенні зображено камеру, яка відстежує рух голови та здійснює візуальний контроль за процесом зварювання.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

## 2.2 Розроблення технологічного процесу

### 2.2.1 Заготівельні операції

Коробчаста колона – це конструкція створена завдяки зварюванню чотирьох сталевих пластин. Процес її виготовлення є подібним до процесу виготовлення колони Н-подібної форми. Всі матеріали, які використовуються для виготовлення металевої колони у відповідності до нормативних документів повинні пройти вхідний контроль.

Вхідний контроль передбачає встановлення наявності сертифікатів на всі вироби, які застосовуються у виробництві, співставлення гометричних розмірів листів, труб та інших заготовок з даними вказаними у супроводжувальних документах. У спірних ситуаціях, при відсутності документів, неправильних даних, вказаних у них допускається використання відповідних копій, або проведення додаткових досліджень.

Невипрямлені листи призводять до різноманітних помилок у таких процесах, як згинання або гнуття. Це збільшує витрати на повторну обробку та брак. Підготовка до зварювання необробленого матеріалу також займає багато часу.

При використанні зварювальних автоматизованих процесів їхня надійність знижується, а час зварювання збільшується. Це призводить до вищих витрат на процес та збільшення впливу тепла. Тепло, у свою чергу, викликає напруження в матеріалі, і вся зварна конструкція деформується. Це також спричиняє необхідність додаткових операцій та збільшення часу виробництва.

Призначення операції вирівнювання листового металу може запобігти вказаним недолікам. В даному випадку використовуються механічний процес вирівнювання роликками, щоб значно зменшити нерівності вихідного матеріалу.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Цей процес особливо підходить для швидкого та легкого вирівнювання листового металу, оскільки він не тільки зменшує нерівності, але й напруження в листовому металі, спричинені згинаннями. Тому автоматизовані процеси вирівнювання є значною перевагою.

Процес вирівнювання роликками гарантує постійно високу якість, включаючи передбачувані кінцеві результати.

Найочевидніша причина для вирівнювання - площинність листів. Але це актуально не тільки тоді, коли цього вимагає стан самої заготовки, а й для ефективного виконання подальших процесів, особливо зварювання. Крім того, сучасні виробничі процеси передбачають планові та передбачувані підходи до організації виробництва.

Конкретні розрахунки довели, при складанні заготовок для зварювання для вирівняних заготовок час операції значно зменшується, а готові вироби відрізняються більшою точністю та не потребують додаткового оброблення.

Точне вирівнювання має вирішальне значення для успіху металопрокатного стану. Листовий метал, який вони обробляють, зазвичай дуже різноманітний, а це означає, що випрямляч листового металу повинен відповідати дуже індивідуальним вимогам.

Для вирівнювання листів у нашому проекті підберемо машину для правлення листів Bendmak BPSM 25/35 (рис 2.8). Листопрямильна машина Bendmak BPSM 25/35 використовується для виготовлення конструкцій з листового металу, що мають ширину – 3000 мм та товщину не більше 50 мм. Процес управління процесом відбувається шляхом використання пульта управління.

Враховуючи особливості використовуваних матеріалів ефективним способом їх різання для отримання заготовок є полум'яний спосіб. Перед початком різання слід виконати тестові роботи на такому ж самому матеріалі, при цьому відрегулювати параметри різання та плавність газового тракту ріжучого сопла.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



Рисунок 2.8 – Литоправильна машина Bendmak BPSM 25/35

Для розділення заготовок використаємо газовий спосіб зварювання та установку Firecut Silver Compact для його виконання. Машина Firecut Silver Compact має компактний дизайн.

Ходова частина кріпиться безпосередньо до секційного стола, що дає можливість переміщати машину, а також проводити швидкий її монтаж. Відмінна якість різання та широкий діапазон товщин листового металу гарантує ефективність у використанні. Машина оснащена трьома пальниками, швидкість переміщення складає до 30 метрів за хвилину, а точність позиціонування +/- 0.05 мм.

Перед початком різанням потрібно провести тестові роботи, використовуючи такий самий тип сталевого листа, а також відрегулювати параметри різання та плавність газового тракту ріжучого сопла.

Після виконання тестових проб потрібно підняти сталеву пластину на платформу газового різання та відрегулювати паралельність між краєм сталеві пластини та напрямною рейкою в межах 0,5 мм/м.

Також потрібно відрегулювати вертикальність різального пістолета та поверхні пластини. Наступною операцією є встановлення технологічних

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

параметрів різання та величини компенсації пропилу (зазвичай вона складає половину діаметра ріжучого сопла).

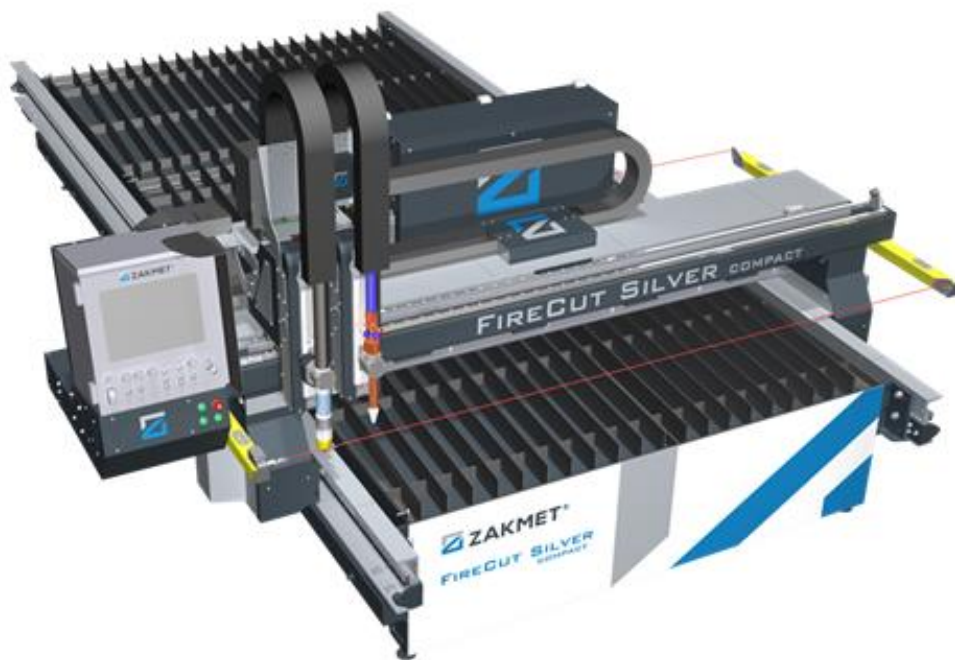


Рисунок 2.9 – машина для газового різання

Досить важливим параметром є швидкість різання. Правильний переріз площини різання показана на рисунку (рис. 2.10) а - правильно підібрана швидкість, б - швидкість є занадто великою, позиція с – демонструє замалу швидкість різання.

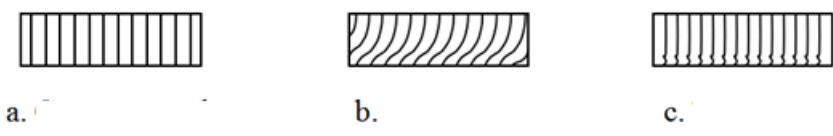


Рисунок 2.10 – Правильність вибору швидкості різання

### 2.2.2 Складально-зварювальні операції

Склад обладнання, що використовується для виготовлення коробчатих металевих колон визначається основним способом зварювання. Нашим

проектом передбачено використання способу під флюсом. Цей спосіб має явні переваги при зварюванні товстостінних конструкцій та дозволяє отримувати вироби з високою якістю.

Операція складання колони призначена для забезпечення правильного розташування елементів та фіксації її частин. Для виконання складання використовуємо відповідне обладнання. Складання вузла завершується виконанням прихвачень.

Зібрана заготовка повинна мати міцність, для можливості знімання її із складального стенду, переміщення для виконання основних робіт до місця зварювання, так само і для запобігання деформацій при зварюванні.

Прихвачення в місцях колони, де шви не передбачені конструкцією видаються після зварювання, а їхні поверхні ретельно очищають.

Конструкція коробчатої колони передбачає чотиритри несучі бокові стінки та встановлені всередині перпендикулярно до них технологічні полицки. Полички виконують роль елементів жосткості та надають колоні більшої жосткості та міцності.

Для проведення складальних робіт використовується спеціальний збірний стенд, оснащений відповідними пристроями. Після розміщення на платформі стенду першої верхньої стінки колони, проводиться розмітка місць встановлення технологічних полицок та бокових її стінок. Спочатку на виконаній розмітці встановлюємо поперечні полицки. Полички розміщуються строго перпендикулярно до стінки. Вертикальність не повинна перевищувати 1 мм.

Встановивши перегородки за їхніми рівнями монтується полотно двох бокових стінок колони. Отримавши п – подібну заготовку приварюються полицки до бокових стінок. Зварювання виконується в середовищі вуглекислого газу (рис. 2.11). Після виконання зварних швів у середовищі вуглекислого газу проводиться контроль якості. Нижня стінка колони приварюється за допомогою електрошлакового зварювання.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37



Рисунок 2.11 – приварювання технологічних перегородок

На даний час наведений технологічний процес приварювання поперечних полицок в основному використовується при виробництві коробчатих колон. Використання зварювання в середовищі вуглекислого газу є ефективнішим ніж ручне дугове зварювання. Але в цілому процес приварювання полицок є складним та неефективним.

Тому нами було запропоновано для цієї мети використовувати лазерне зварювання. Лазерне зварювання досить добре підходить для виготовлення колон з конструкційної сталі, включаючи квадратні та прямокутні порожнисті профілі, які зазвичай використовуються в будівлях та інших будівельних проектах.

Процедура лазерного зварювання для приварювання полицок одночасно є простішою та точнішою. Спочатку виконуються складальні роботи. Довжина хвилі лазерного променя регулюється, зазвичай до інфрачервоної частини спектра, так що верхній шар (стінка колони) є прозорим для нього, і він передає тепло верхній поверхні нижнього виробу тобто полицці. Коли верхній шар полицки нагрівається, він, у свою чергу, передає тепло нижній частині стінки колони. Таким чином утворюється надійний зварний шов.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Процес приварювання поличок за допомогою лазерного зварювання піддається механізації та автоматизації. Зварювальні деформації при використанні даного способу є мінімальними.

Конструкція коробчатої колони, виготовлена за допомогою використання лазерного способу зварювання та способу під шаром флюсу представлена на рисунку 2.12.

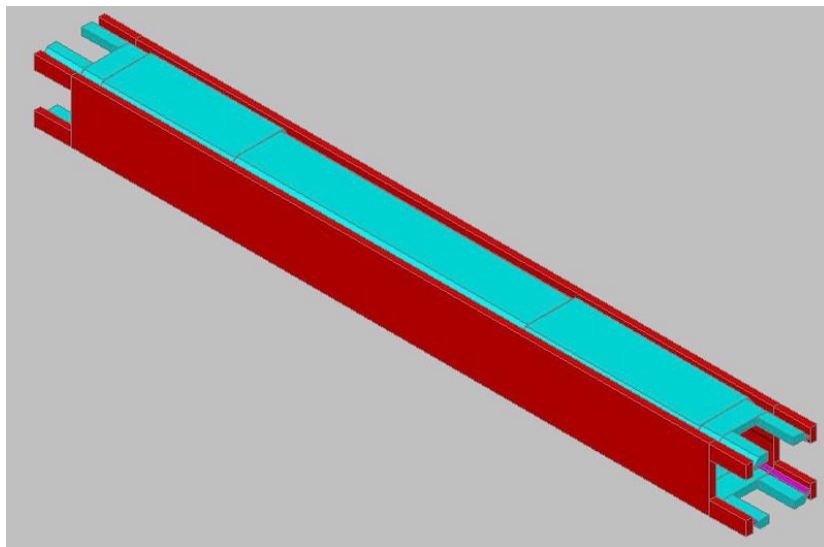


Рисунок 2.12– Заготовка колони зібрана під зварювання

Готова сталева коробчата колона у натуральному вигляді представлена на рисунку (рис.2.13)



					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 2.3 Вибір заходів боротьби із зварювальними напруженнями

З'єднання сталевих конструкцій зазвичай отримують за допомогою зварювання. Більшість зварних швів за цього виконують за допомогою повного проплавлення. Зварювання металу відбувається завдяки проходженню процесів локального нагрівання та плавлення. Метал у зоні нагрівання та навколишній зоні піддається термічній обробці при певних температурах.

Зварювальні діформації – це явище, коли форма та розмір зварної заготовки змінюються через нерівномірне підведення та відведення тепла під час проходження процесу зварювання.

Зварювальні діформації не тільки впливають на якість та зовнішній вигляд виробів, але й знижують міцність та жорсткість зварних конструкцій, і навіть можуть призвести до таких дефектів, як тріщини та розшарування. Тому розуміння причин утворення діформацій зварювання, оволодіння методами їх усунення або зменшення має важливе значення для підвищення ефективності процесу та забезпечення його продуктивності.

Виникнення зварювальних діформації в основному зумовлене наступними чинниками.

1. Температурні поля: в процесі зварювання заготовка піддається дії високотемпературних джерел тепла, що призводить до температурних градієнтів та термічних циклів. Ці зміни температури викликають теплове розширення та стиснення, а також фазові зміни зварної заготовки, що призводить до різного ступеня усадки в різних частинах, спричиняючи внутрішні напруження та діформацію.
2. Стиснення зварного шва: під час процесу зварювання розплавлений метал зазнає об'ємного стиснення в міру застигання. Це стиснення призводить до того, що розплавлений метал чинить дію на навколишній

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

основний метал, що призводить до переміщення основного металу в напрямку зварного шва і спричиняє деформацію.

3. Структурна жорсткість: перед зварюванням заготовка закріплюється в апараті, що запобігає їй вільному стисканню або розширенню. Ці обмеження впливають на її жорсткість, тобто на її здатність чинити опір деформації. Як правило, чим більша структурна жорсткість, тим менша деформація; чим менша структурна жорсткість, тим більша деформація.

Зварювальні деформації можна класифікувати в залежності від їх розміщення напрямку дії та форми.

Поздовжня усадочна деформація - відбувається вздовж довжини зварного шва. Поздовжня усадочна деформація головним чином залежить від довжини та площі поперечного перерізу зварного шва та жорсткості конструкції. Як правило, поздовжня усадка збільшується зі збільшенням довжини зварного шва та площі поперечного перерізу та зменшується зі збільшенням жорсткості конструкції.

Поперечна усадочна деформація - відбувається перпендикулярно до напрямку розміщення зварного шва. Поперечна усадочна деформація головним чином залежить від підведення тепла, товщини пластини та кута канавки. Як правило, поперечна усадка збільшується зі збільшенням підведення тепла та товщини пластини та зменшується зі збільшенням кута канавки.

Кутова деформація відноситься до деформації кручення, спричиненої нерівномірною поперечною усадкою вздовж напрямку товщини листа або неправильною послідовністю складання чи зварювання, що призводить до нерівномірної усадки зварного шва. Кутова деформація в основному залежить від типу канавки, кількості шарів та їх послідовності. Як правило, кутова деформація збільшується зі збільшенням глибини канавки, кількості шарів та їх послідовності.

Деформації згину, спричинені усадкою зварного шва в результаті асиметричного його розташування або асиметричної форми поперечного

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перерізу зварної заготовки. Деформація згину головним чином залежить від положення, довжини та напрямку зварного шва. Як правило, деформація згину збільшується зі збільшенням відстані від нейтральної осі, довжини та кута зварного шва.

Крутильні деформації стосується скручування компонента, спричиненого нерівномірною кутовою деформацією зварного шва вздовж напрямку довжини або неправильною послідовністю складання чи зварювання, що призводить до нерівномірного усадження зварного шва. Крутильна деформація головним чином залежить від симетрії, жорсткості та послідовності зварювання конструкції. Як правило, крутильна деформація збільшується з асиметрією конструкції, зменшенням жорсткості та неправильною послідовністю зварювання.

Хвильова деформація спричинена відносно низькою жорсткістю конструкції, що призводить до значного стискаючого напруження під комбінованим впливом поздовжнього та поперечного усадження зварного шва. Хвильова деформація переважно виникає в тонких пластинах або ділянках зі щільними зварними швами. Як правило, хвильова деформація збільшується зі зменшенням товщини пластини та збільшенням щільності зварного шва.

Зварювальні деформації та напруження можуть спричинити значні небезпеки для зварних виробів.

Деформації та напруження зварювання спричиняють відхилення розмірів і форм зварних заготовок від проектних вимог. В результаті виникають надмірні або недостатні зазори, неспіввідношення або перекриття під час складання, що впливає на точність і стійкість складання. Так само деформації призводять до дефектів поверхні, що впливає на естетику та цілісність виробів.

Зварювальні деформації змінюють геометричні розміри зварних заготовок, та їхній напружений стан, впливаючи на їхню здатність витримувати навантаження. Особливо для конструкцій, що піддаються згинанню або крученню, зниження перерізних характеристик внаслідок

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

згинання або крутильної деформації знижує їхню здатність протистояти згинаючим або крутильним моментам.

Виходячи з аналізу дії зварювальних напружень та деформацій в роботі ми передбачили заходи для запобігання утворення цих негативних явищ.

Перш за все це конструкторські заходи, що передбачають технологічність конструкції. Конструкція коробчатої колони спроектована за допомогою програми Solidworks, де максимально враховано її технологічність. Після встановлення сталевго листа виконуємо антидеформаційні роботи. Під час зварювання звертаємо увагу на деформацію сталевго листа та вчасно повертаємо його, щоб уникнути великої кутової деформації сталевго листа.

При зварюванні під флюсом, для зменшення зварювальних деформацій, чотири поздовжні шви виконуються в одному напрямку.

## **2.4 Технічний контроль та виправлення браку**

### **2.3.1 Дефекти, що виникають при зварюванні конструкції**

Дефекти зварювання – це недосконалості структури або розриви у зварному шві, які можуть поставити під загрозу його міцність, цілісність та загальну якість. Ці дефекти можуть виникати через різні фактори, такі як неправильна техніка зварювання, неправильна підготовка матеріалу або умови навколишнього середовища.

Дефекти, які можуть варіюватися від незначних косметичних неточностей до критичних структурних слабкостей, можуть поставити під загрозу цілісність та безпеку зварних з'єднань. Розуміння різних типів дефектів зварювання, причин їх виникнення та ефективних профілактичних заходів має вирішальне значення для забезпечення надійності та довговічності зварних конструкцій.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розуміючи природу дефектів та застосовуючи передові методи їхньому запобіганню, зварники та виробники можуть покращити якість та стабільність зварних швів, зменшити ризик відмов та оптимізувати свої зварювальні операції загалом. Поширеними дефектами при зварюванні колон є: пори, тріщини, подрізи тощо.

Пористість, один з найпоширеніших дефектів зварювання, стосується наявності газових кишень або пустот у зварному металі. Ці порожнини можуть бути мати сферичну форму, розміщатись окремо або скупченими. Вони значно знижують міцність, пластичність та загальну якість зварного шва. Розуміння причин та запобігання пористості має вирішальне значення для досягнення якісних та надійних зварних швів.

Утворенню пор у зварних швах можуть сприяти наступні чинники: забруднення, вологість, ненадійний захист зварного шва, неправильна техніка зварювання, властивості матеріалу тощо.

Забруднення: мастило, олія, іржа або інші забруднювачі на основному металі або присадному матеріалі можуть виділяти гази під час зварювання, які потрапляють у зварювальну ванну під час її затвердіння та утворювати пори.

Вологість: волога з атмосфери, покриттів електродів або захисного газу може вводити водень у зварний шов, що призводить до водневої пористості.

Проблеми із захисним газом: недостатній потік захисного газу або неправильний склад газу можуть піддавати зварювальну ванну впливу атмосферного забруднення, спричиняючи пористість. Протяги або вітер також можуть порушити потік захисного газу, дозволяючи повітрю потрапляти в зону зварювання.

Техніка зварювання: неправильні параметри зварювання, такі як надмірна напруга або струм, можуть призвести до утворення газових бульбашок у зварному шві. Неправильне маніпулювання електродом, наприклад, велика довжина дуги або нестабільні рухи, може сприяти попаданню повітря у зварювальну ванну.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Властивості матеріалу: деякі матеріали, такі як алюміній і магній, більш схильні до пористості через їхню схильність до поглинання газів.

Для запобігання пористості потрібно дотримуватись наступних профілактичних заходів: чистота поверхонь, контроль вологості, надійний захист зварювальної ванни, правильна техніка зварювання, правильний вибір основного та присадкового матеріалу.

Перед зварюванням потрібно ретельно очистити основний метал та присадний матеріал, щоб видалити будь-які забруднення, використовуючи при цьому дротяну щітку, шліфувальну машину або хімічний очищувач, залежно від конкретних матеріалів.

Електроди та присадні матеріали потрібно зберігати в сухих умовах, а за потреби попередньо нагріти заготовку, щоб видалити вологу з поверхні.

Для ефективного захисту зварювальної ванни під час зварювання потрібно вибрати правильний тип захисного газу, підтримувати постійною та достатньою швидкістю його потоку. Разом з цим потрібно надійно захищати зону зварювання від вітру та протягів.

Під час зварювання необхідно контролювати параметри зварювального процесу, включаючи напругу, струм та швидкість руху, як рекомендовано для конкретного матеріалу та процесу. При можливості, необхідно вибирати матеріали, які менше схильні до пористості, або проводити попереднє нагрівання заготовки.

Тріщини це один з найсерйозніших дефектів зварювання, оскільки вони можуть поставити під загрозу структурну цілісність та безпеку зварного з'єднання. Ці руйнування в металі шва або зоні термічного впливу (ЗТВ) можуть виникати під час або після зварювання, і їхня наявність може призвести до катастрофічного руйнування під навантаженнями. Розуміння типів тріщин, їх причин та профілактичних заходів є важливим для створення надійних та довговічних зварних швів, особливо це стосується металевих колон.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гарячі тріщини виникають за високих температур під час зварювання, коли зварювальний метал затвердіває. Вони можуть бути спричинені такими факторами, як високий вміст сірки або фосфору в основному металі, неправильна конструкція з'єднання, висока швидкість зварювання та надмірне стиснення.

Холодні тріщини розвиваються після охолодження зварного шва, часто через кілька годин або навіть днів. Зазвичай вони спричинені водневим окрихченням, коли водень дифундує в зварний метал і викликає окрихчення, що призводить до розтріскування під напругою.

Кратерні тріщини появляються на кінці зварного шва, де дуга закінчується. Вони можуть бути зіркоподібними або лінійними і часто спричинені неправильною технікою заповнення кратера, високими зварювальними струмами або забрудненням.

Поперечні тріщини проходять перпендикулярно до осі зварного шва і часто спричинені високими залишковими напруженнями, неправильною конструкцією з'єднання або металургійними проблемами.

Поздовжні тріщини проходять паралельно осі зварного шва та можуть бути спричинені подібними факторами, як і поперечні тріщини або усадочними напруженнями під час охолодження.

Конкретні причини тріщин можуть відрізнитися залежно від типу тріщини, але деякі поширені фактори включають наступні.

Високі залишкові напруження викликані нерівномірним нагріванням або охолодженням зварного металу та основного металу під час зварювання. Водневе окрихчення, що передбачає поглинання водню зварним металом і може призвести до окрихчення та розтріскування.

Непраціональна конструкція з'єднання, яка створює концентрації напружень та сприяє розтріскуванню.

Неправильна техніка зварювання, тобто встановлення неправильних параметрів зварювання, таких як надмірне підведення тепла або швидке охолодження, які можуть збільшити ризик розтріскування.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Різноманітні забруднення – олія, іржа або інші забруднення на основному металі або присадному матеріалі можуть послабити зварний шов та сприяти розтріскуванню.

Щоб мінімізувати ризик утворення тріщин у зварних швах, потрібно дотримуватись профілактичних заходів. Найперше – це правильне проектування з'єднання, відповідні параметри зварювання, професійний вибір матеріалів, проведення термічної обробки до, під час і по завершенні процесу зварювання, а також правильна техніка зварювання.

Таким чином знаючи та розуміючи причини виникнення дефектів при зварюванні сталевих колон зварювальники можуть значно зменшити ризик їх виникнення та забезпечити отримання міцних, надійних та безпечних зварних швів.

### 2.3.2 Особливості контролю якості зварювання колони

Контроль якості – це процес підтвердження відповідності продукту специфікаціям. Він включає перевірку та випробування виробничих процедур і готової продукції. Результати цих випробувань порівнюються з набором визначених критеріїв прийнятності. На рисунку 2.14 показано деякі методи контролю при виготовленні металевих колон. Вони включають – візуальний, вимірювальний та ультразвуковий методи контролю.

Виконуючи випробування під час виробництва, можна виявити та виправити дефекти. За необхідності, у виробничий процес можна внести корективи, щоб запобігти подальшому дефектному виробництву.

У зварюванні контроль якості виробів відіграє важливу роль у забезпеченні виробництва міцних, надійних зварних швів та мінімізації повторної обробки.

Забезпечення та контроль якості відіграють важливу роль у забезпеченні виробництва якісних, надійних зварних швів та мінімізації повторної обробки. Договори на постачання виробів можуть передбачати дотримання певних

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

стандартів зварювання, що, у свою чергу, може передбачати дотримання визначених процесів забезпечення та контролю якості.

У деяких випадках замовник визначає більш суворий режим забезпечення якості/контролю якості, ніж чинний стандарт. Так само дотримання певних стандартів зварювання може бути нормативною вимогою, що робить використання спеціальних процесів забезпечення якості/контролю якості обов'язковим.



Рисунок 2.14 – Проведення контролю якості при виготовленні коробчатої колони

Невиконання належного забезпечення та виконання контролю якості під час виробництва може призвести до зварних швів різної якості

### 2.3.3 Візуальний метод контролю

Візуальний контроль якості зварювання включає огляд зварних швів для виявлення поверхневих дефектів та оцінки загальної якості. Цей метод неруйнівного контролю має вирішальне значення для забезпечення цілісності зварного шва та запобігання його потенційним невідповідностям. Це простий, економічно ефективний та широко використовуваний метод, особливо для

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

виявлення поверхневих дефектів, таких як тріщини, підрізання та неповне проплавлення.

Візуальний огляд після зварювання дуже корисний для оцінки якості, навіть якщо паралельно використовуються інші методи контролю. У процесі зварювання поверхневі дефекти, такі як тріщини, пористість та незаповнені кратери, можна виявити лише за допомогою візуального огляду, що призводить до ремонту або бракування роботи.

Зварні шви необхідно очистити від шлаку для перевірки на наявність можливих поверхневих дефектів. 10-кратне збільшення допомагає виявити дрібні тріщини та інші дефекти. Як зазначалося раніше, бороскоп та стоматологічні дзеркала корисні для огляду всередині посудин, труб або обмежених просторів.

Візуальний огляд є найпопулярнішим і широко використовуваним методом неруйнівного контролю. Завершені зварні шви слід перевіряти відповідно до планів і специфікацій. Найпоширенішими зварними швами, які необхідно перевіряти в польових умовах, є кутові зварні шви. Кутові зварні шви проектуються на основі розмірів їх катетів. Якщо катет менший за заданий розмір, необхідна міцність менша, ніж та, на яку було розраховано з'єднання. Також слід перевірити переріз зварного шва.

Візуальний огляд зварювання конструкційної сталі вважається як частина неруйнівного контролю. У більшості випадків неруйнівний контроль випробування конструкційної сталі проводяться в кінці процесів виготовлення або монтажу. З іншого боку, належний візуальний огляд зварних швів проводиться не лише після завершення зварних швів. На мою думку впровадження заходів контролю та забезпечення якості потрібно виконувати ще до початку зварювання та продовжувати протягом усього процесу зварювання, а не починати процес огляду після завершення проекту.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3.4 Ультразвуковий метод контролю

Технологія ультразвукового контролю базується на здатності високочастотних коливань (близько 20 000 Гц) проникати в метал і відбиватися від поверхневих подряпин, пустот та інших неоднорідностей. Штучно створена, спрямована діагностична хвиля потрапляє в досліджуваний матеріал і у разі дефекту відхиляється від свого нормального поширення. Характер дефекту можна розпізнати за допомогою графічних та параметричних показників.

Існує п'ять основних методів ультразвукового контролю, які використовуються в промисловості та відрізняються лише способом реєстрації та оцінки даних:

- тіньовий метод (контроль зменшення амплітуди ультразвукових коливань пропущених та відбитих імпульсів);
- дзеркально-тіньовий метод (виявлення дефектів у зварних швах за коефіцієнтом ослаблення відбитих коливань);
- луно-дзеркальний метод або «тандем» (що означає використання двох машин, які працюють разом та з різних напрямків для виявлення дефектів);
- дельта-метод (контроль ультразвукової енергії, яка перевипромінюється від дефекту);
- луно-метод (реєстрація відбитого сигналу від дефекту).

Для коректніших результатів ультразвукового дослідження необхідно забезпечити добре проходження ультразвукових коливань. Тому металеву поверхню навколо зварного шва, а також сам зварний шов, слід обробити спеціальною рідиною.

Вібрації, що виникають під час процедури ультразвукового контролю, передаються у випробовуваний зразок через сполучну рідину, зазвичай плівку олії, яка називається сполучною речовиною.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Коли імпульс ультразвукових хвиль потрапляє на розрив у випробовуваному зразку, він відбивається назад до точки свого походження. Таким чином, енергія повертається до перетворювача. Перетворювач тепер служить приймачем відбитої енергії.

Початковий сигнал або основний вибух, повернуті відлуння від розривів та відлуння задньої поверхні випробовуваного зразка відображаються у вигляді сліду на екрані електронно-променевого осцилографа. Виявлення, визначення місцезнаходження та оцінка розривів стають можливими завдяки тому, що швидкість звуку через даний матеріал майже постійна. Це робить можливим вимірювання відстані, а відносна амплітуда відбитого імпульсу більш-менш пропорційна розміру відбивача.

Однією з найкорисніших характеристик ультразвукового контролю є його здатність визначати точне положення розриву у зварному шві. Цей метод контролю вимагає високого рівня підготовки та компетентності оператора і залежить від встановлення та застосування відповідних процедур контролю. Метод часто підходить для контролю товстіших ділянок, доступних лише з одного боку. Він часто може виявляти тонші лінії або більш прості дефекти, які не так легко виявити за допомогою радіографічного контролю.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Планування зварювальної ділянки

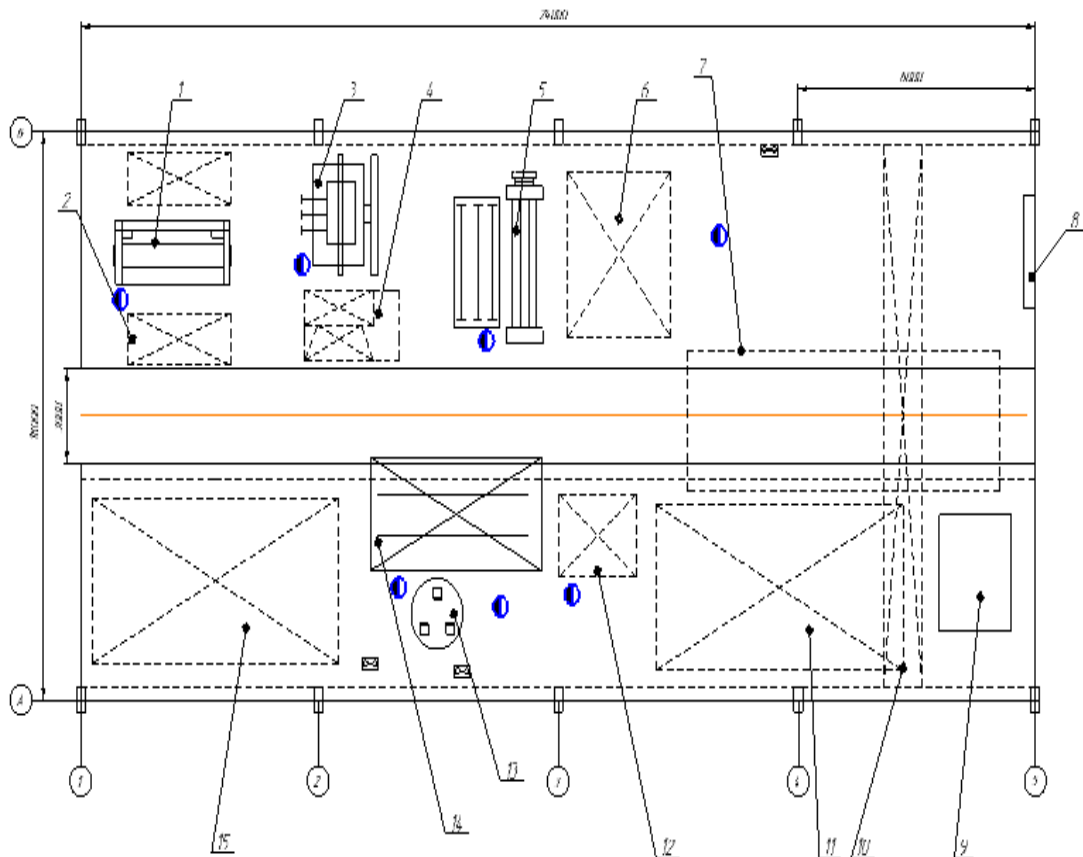
Проект зварювального відділення повинен ставити на перше місце безпеку проведення робіт, їх ефективність та якість. Ключові підходи передбачають планування приміщень, розташування обладнання, прокладання вентиляції, та відповідні заходи безпеки. Правильне планування мінімізує рух та потенційні небезпеки, а ефективна вентиляція видаляє випари та пил. Засоби безпеки та процедури мають вирішальне значення для захисту персоналу.

Проект зварювальної визначає ступінь ефективності виробництва його продуктивність та економічні показники. Тому під час виконання проектних робіт потрібно покладатись на застосування новітніх технологій, та комплектацію до них відповідного основного та допоміжного обладнання, яке потім раціонально розмістити на виробничих площадках. План відділення показано на рисунку 3.1.

Перш за все на ділянці виділено спеціальну зону для зварювання, ізольовану від інших видів діяльності в цеху, щоб запобігти пожежній небезпеці. Для переміщення зварників виділено необхідну площу навколо заготовок та обладнання, мінімізуючи за цього можливість заторів, падінь чи спотикань.

Робочі місця та обладнання розташовані таким чином, щоб забезпечити логічний процес зварювання, зменшуючи непотрібні рухи та максимізуючи продуктивність.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52



1 – листоправильна машина; 2 – склад листів; 3 – гільйотинні ножниці; 4 – вирізані заготовки; 5 – листозгинальна машина; 6 - установка для різання металу; 7 – портална зварювальна установка; 8 – пожежна щитова; 9 – кімната майстра; 10 – Мостовий кран; 11- Зона механічного оброблення; 12 – зона проміжного контролю якості; 13 - маніпулятор; 14 – приймальний контроль; 15 – склад готової продукції.

Рисунок 3.1 – Схема планування зварювальної дільниці

Локальна витяжна вентиляція встановлена таким чином що може забирати зварювальний дим та тверді частинки разом з нижнім потоком повітря. Витяжна вентиляція забезпечує достатній потік повітря по всій зоні зварювання, розбавлює та видаляє будь-які залишки забруднюючих речовин у повітрі.

### 3.4 Конструювання коробчатої колони за допомогою програми Solidworks

На даний час актуальною потребою для інженерних працівників є освоєння комп'ютерних технологій розрахунку і конструювання металевих виробів.

Комп'ютерне моделювання сталевих колон сприяє застосуванню програмного забезпечення з метою створення моделі коробчатої металевої колони, спостереження її поведінки в тому числі і під навантаженням та встановлення відповідності до заданих вимог.

Такі підходи дозволяють оптимізувати конструкцію, перевірити її та стійкість, а також встановити потенційні проблеми ще до початку будівництва.

Коробчасті колони досить широко застосовуються у збірних конструкціях, завдяки своїм чудовим технічним характеристикам. Вони передають вертикальне навантаження на фундамент, а також допомагають конструкції витримувати горизонтальне навантаження у двох головних напрямках осей. На рисунку 3.2 показана коробчата конструкція виконана в програмі Solidworks

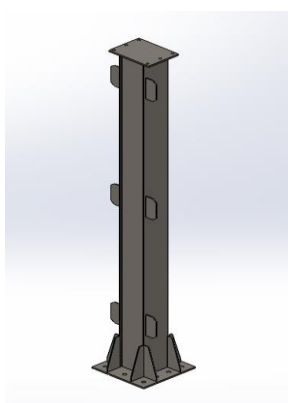


Рисунок 3.2 – Металева коробчатая колона

Для збільшення степені технологічності ми виконали оксанометрію колони (рис.3.3).

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Особливістю коробчатих колон є її порожнистий, квадратний або прямокутний поперечний переріз. Вони виготовляються шляхом зварювання сталевих пластин. Ці колони мають високе співвідношення міцності до ваги та є більш стійкими до вигину, ніж інші форми, що робить їх придатними для різних застосувань, що несуть навантаження.

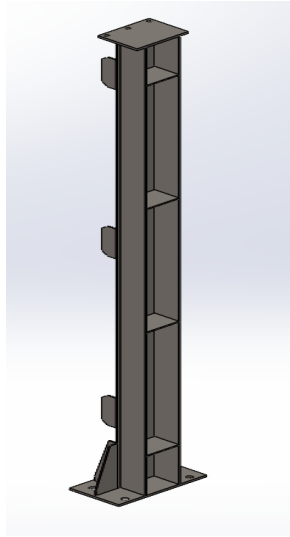


Рисунок 3.3 – Оксанометрія колони

На рисунку видно поперечні полицьки, які надають загальної міцності та жорсткості колони. Застосувавши програму Solidworks ми змогли поєднати у конструкції мінімальні її розміри, багатофункціональність та максимальну питому продуктивність.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз небезпек та шкідливих чинників виробничого середовища

Безпека виконання зварювальних робіт на підприємстві є досить важливим чинником виробничої діяльності та вимагає комплексних заходів для захисту зварювальників від різноманітних впливів.

Під час виконання зварювальних робіт мають місце не тільки фізичні, але і хімічні процеси, які несуть у собі реальну загрозу здоров'ю і життю людини у разі недотримання правил техніки безпеки. Наприклад, ультрафіолетове випромінювання залишає опіки на руках і пальцях, обпікає очі при прямому впливі.

В процесі зварювання виділяються різноманітні газові утворення, в яких містяться мікрочастинки розплавів металів. У випадку потрапляння в організм, такі частинки можуть уражати органи дихання зварника та викликати отруєння. Крім того, є висока ймовірність отримати опіки від бризок розплавленого металу.

Виконання зварювальних робіт – це діяльність, пов'язана з можливими впливами різноманітних небезпек на робочому місці. Щороку лише у Сполучених Штатах понад півмільйона працівників піддаються ризикам для власного здоров'я та особистої безпеки. Тому виробничі операції, пов'язані з використанням процесів зварювання повинні виконуватись з дотриманням правил безпеки.

На виробничих підприємствах у відповідності до вимог з охорони праці до роботи допускаються тільки після інструктажу. За цього робітник повинен знати, як правильно користуватися зварювальним апаратом, яких заходів дотримуватися в процесі роботи і як правильно підготуватися до зварювальних робіт.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безпека праці під час зварювання, серед інших факторів, залежить від складності конкретного завдання та відповідних умов створених на робочому місці. Загалом, зварники повинні дотримуватися основних правил безпеки, викладених у галузевих стандартах.

При зварюванні існують небезпечні чинники, які можуть викликати виникнення нещасних випадків та травм у разі недотримання норм безпеки.

Іскри та частинки розплавленого металу при попаданні на шкіру зварника на шкіру можуть викликати опіки. Вони проплавляють всі типи тканин, окрім спеціальної. Тому під захистом повинні бути всі частини тіла зварника.

Ураження електричним струмом є найбільш безпосередньою та серйозною небезпекою для зварювальника. Раптовий розряд електрики в організм людини може спричинити серйозні травми та навіть смерть. Ризик ураження електричним струмом під час зварювання можна мінімізувати за допомогою запобіжних заходів.

Небезпечним чинником є наявність горючих та легкозаймистих матеріалів в робочому приміщенні. Такі матеріали можуть легко спалахнути і привести до пожежі або навіть вибуху.

Ультрафіолетову та інфрачервоне види випромінювань при попаданні на очі можуть призвести до опіків сітківки та часткової втрати зору.

Безпека виконання зварювальних робіт передбачає виявлення небезпек перед початком виконання робочих завдань, щоб усунути їх, зменшити ризики для безпеки та підтримувати безпечне робоче середовище

#### **4.2 Санітарно – гігієнічні характеристики зварювального виробництва**

Рівень шкідливих та небезпечних факторів зварювального процесу визначається використанням способу зварювання, видом і складом зварювального матеріалу. Характер розвитку і тяжкість протікання

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

захворювань зварників, викликаних шкідливими речовинами, залежать від їх концентрації в зоні дихання.

Надмірний вплив зварювальних випарів і газів може спричинити серйозні проблеми зі здоров'ям, такі як респіраторні захворювання, рак, а також порушення мовлення та рухової функції. Вплив випарів і газів можна контролювати, дотримуючись цих запобіжних заходів.

Фізичні небезпеки, які можуть спричинити опіки, пошкодження очей, порізи та розтрощення пальців ніг і рук, завжди присутні під час зварювання. За допомогою відповідних засобів індивідуального захисту та інших заходів безпеки необхідно захистити працівників від фізичних небезпек.

Обов'язковим є носіння відповідних засобів захисту, таких як зварювальні шоломи, та засобів захисту очей, таких як захисні окуляри, для захисту очей та голови працівників від гарячого шлаку, іскор, інтенсивного світла та хімічних опіків.

Легкозаймисті матеріали навколо робочої зони є головною причиною пожежі. Цьому можна запобігти, підтримуючи чистоту робочої зони перед початком зварювання та дотримуючись інших заходів безпеки. Також важливо знати розташування пожежної сигналізації, аварійних виходів та вогнегасників на випадок пожежі.

Заходи безпеки під час зварювання – це кроки, які зварникам необхідно вжити для запобігання інцидентів або травм, що пов'язані із металообробкою та зварюванням. Щоб усунути або зменшити найпоширеніші небезпеки зварювального виробництва, робітники повинні дотримуватися запобіжних заходів відповідно до правил з техніки безпеки.

Важливим є встановлення належної вентиляції та місцевої витяжки, щоб не допустити потрапляння парів та газів у зону дихання та загальну зону. Регулярно потрібно перевіряти наявність речовин, що містяться у зварювальних парах.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для захисту від тепла, пожеж, ураження електричним струмом та опіків потрібно носити вогнестійкий та електростійкий одяг, захисні щитки, зварювальні рукавички, фартухи та чоботи.

Керівники підприємств повинні мати інформацію про те, що зварювальні роботи належать до робіт підвищеної небезпеки, виконання яких здійснюється роботодавцем на підставі декларації відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з питань охорони праці.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## ВИСНОВКИ

За результатами виконання бакалаврської роботи розроблено технологічний процес виконання складальних та зварювальних робіт при виготовленні сталевих колони коробчастого типу.

Технологічний процес передбачає утворення коробчастої структури колони за рахунок приварювання внутрішніх поперечних полицок та зварювання бокових її стінок. Проведений аналіз чинних способів зварювання показав неефективність ручного дугового та шлакового способів зварювання, які використовувались для встановлення внутрішніх полицок. Для цієї мети запропоновано лазерне зварювання, а для з'єднання стінок колони запропоновано поточну технологічну лінію, на основі зварювання під шаром флюсу. Поточна лінія укомплектована сучасним високотехнологічним обладнанням.

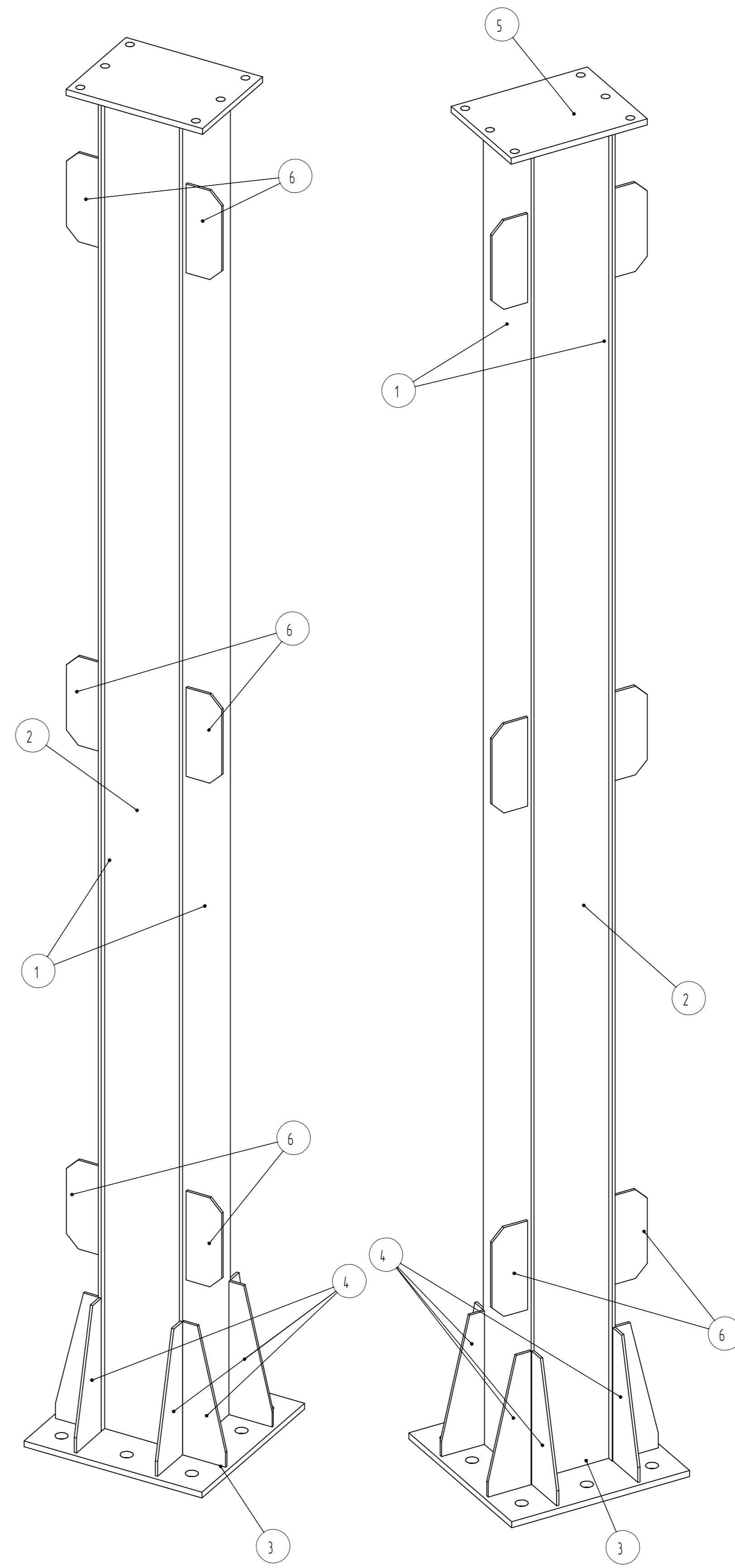
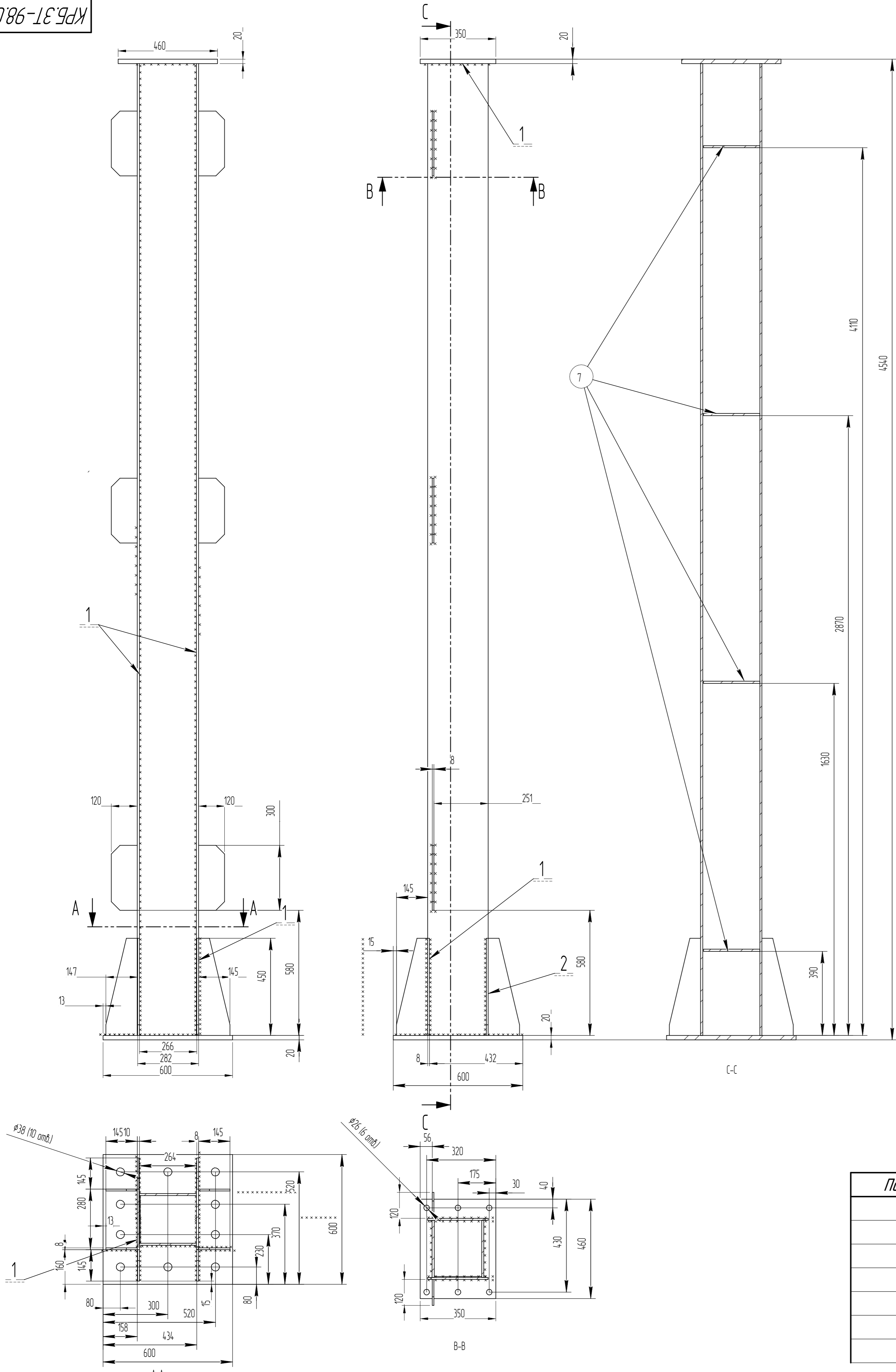
Розроблений технологічний процес дає можливість забезпечити вищий рівень якості виконання складальних та зварювальних робіт, отримувати готову продукцію з наперед заданими характеристиками та покращити економічні показники виробництва.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Панчук, М. В. Зварювання плавленням [Текст] : конспект лекцій. Ч. 2 / М. В. Панчук, Л. С. Шлапак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 109.
2. Панчук М.В. Зварювання і монтаж технологічних трубопроводів / М.В. Панчук. Л.С. Шлапак, О.М. Матвієнків // Івано Франківськ: ІФНТУНГ, 2012.- 172с.
3. Панчук М.В. Зварювання плавленням : конспект лекцій / М. В. Панчук. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - 67 с.
4. Квасницький В.В. Спеціальні способи зварювання: навч. Посібник/ В.В. Квасницький. – Миколаїв: УДМТУ, 2003
5. Кондращенко О. В. Будівельне матеріалознавство для сучасного будівництва: навч. посібник / О. В. Кондращенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 208 с.
6. ВБН А.3.1-36-1-96. Зварювання при монтажі сталевих будівельних конструкцій
7. ДСТУ-Н Б А.3.1-16:2013 Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій
8. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення ДСТУ Б В.2.6-199:2014
9. Закон України «Про охорону праці» [Текст]: станом на 2 червня 2011р / Верховна Рада України – Офіційне видання – К.: Парлам. Ви-во, 2011 р – 18 с – (Серія «Закон України).
10. Шлапак Л. С., Панчук М. В., Матвієнків О.М., Біщак Р.Т., Сем'яник І. М. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра за професійним спрямуванням «Зварювання». – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021– 60с.

					КРБ. ПМ - 98. 00. 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



Позиції	Найменування	Кількість
1	Пластина P1, t=10мм, 4500x280мм	2
2	Пластина P2, t=10мм, 4500x264мм	2
3	Пластина P3, t=20мм, 600x600мм	1
4	Пластина P4, t=8мм, 450x145мм	8
5	Пластина P5, t=20мм, 350x400мм	1
6	Пластина P6, t=8мм, 300x120мм	6
7	Пластина P7, t=8мм, 220x260	4

KPB.3T-98.00.00.000			
Зм. Лист	№ док.м.	Підп.	Дата
Розроб.	Матвійчук		
Перев.	Пачук М.В.		
Т.контр.			
Н.контр.	Матвійків О.М.		
Затв.	Андрусак А.		
Колона сталева		Лит	Маса
		Н	140
		Лист	Листів 1
		ІФНТЧНГ 3T-21-1	
Формат А1			

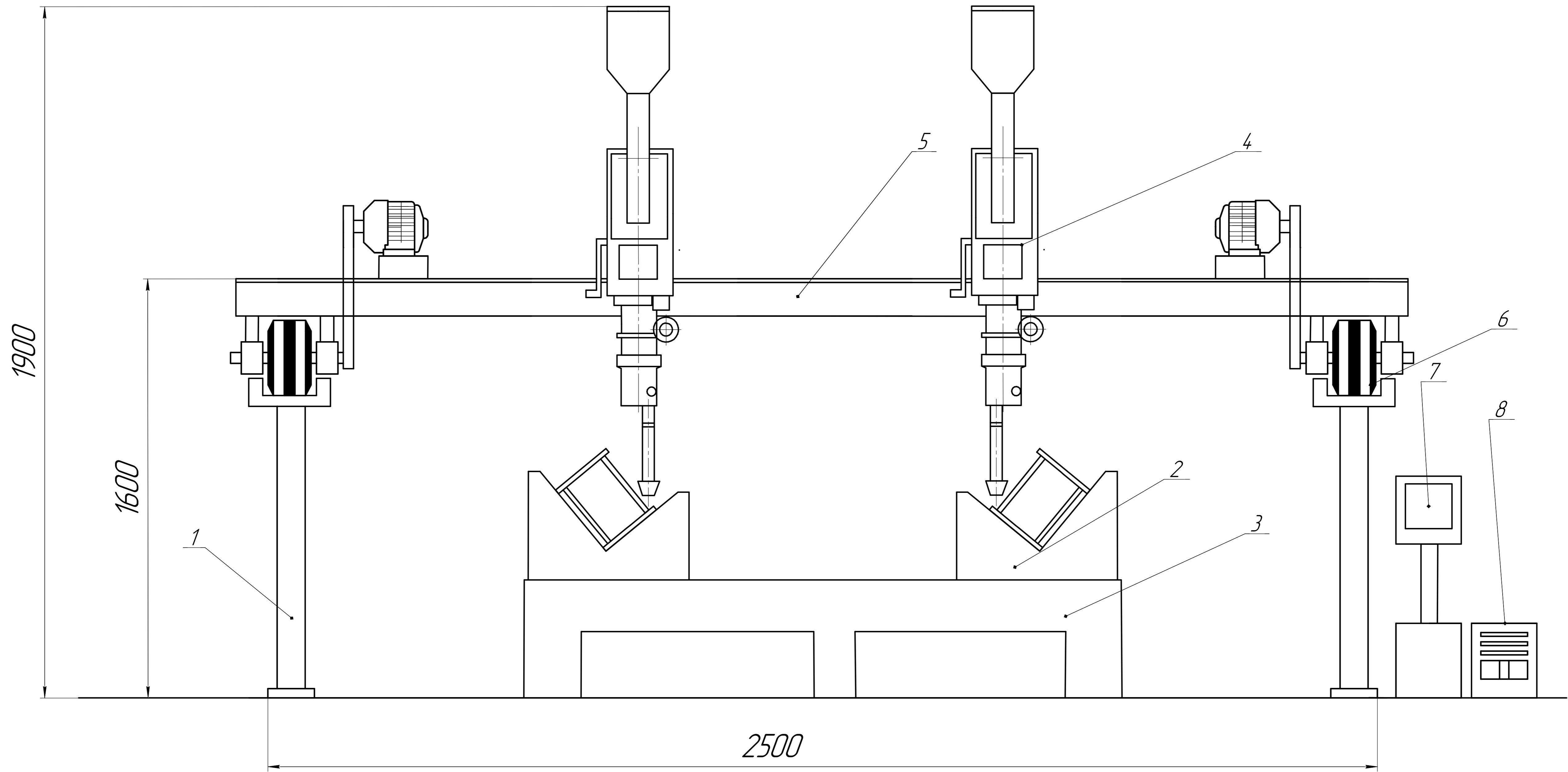
### Заготівельні операції

<i>Операції</i>	<i>Правка</i>	<i>Розмітка</i>	<i>Механічна різання</i>	<i>Гнуття</i>	<i>Очищення</i>	<i>Обробка крамок</i>	<i>Термічне різання</i>	<i>Механічна обробка</i>	<i>Контроль</i>
<i>Деталь</i>									
<i>Лист</i>	Листопробильна машина Размір листа: 6x1700x2800	Лист 6x1700x2800 ГОСТ 19903-74 	Гільйотинні ножиці	Листоазгинальна машина	Механічний інструмент для очищення		Апарат повітряно-плазмової різки CUT-100		вимірвальний інструмент, шаблони

### Складально-зварювальні операції

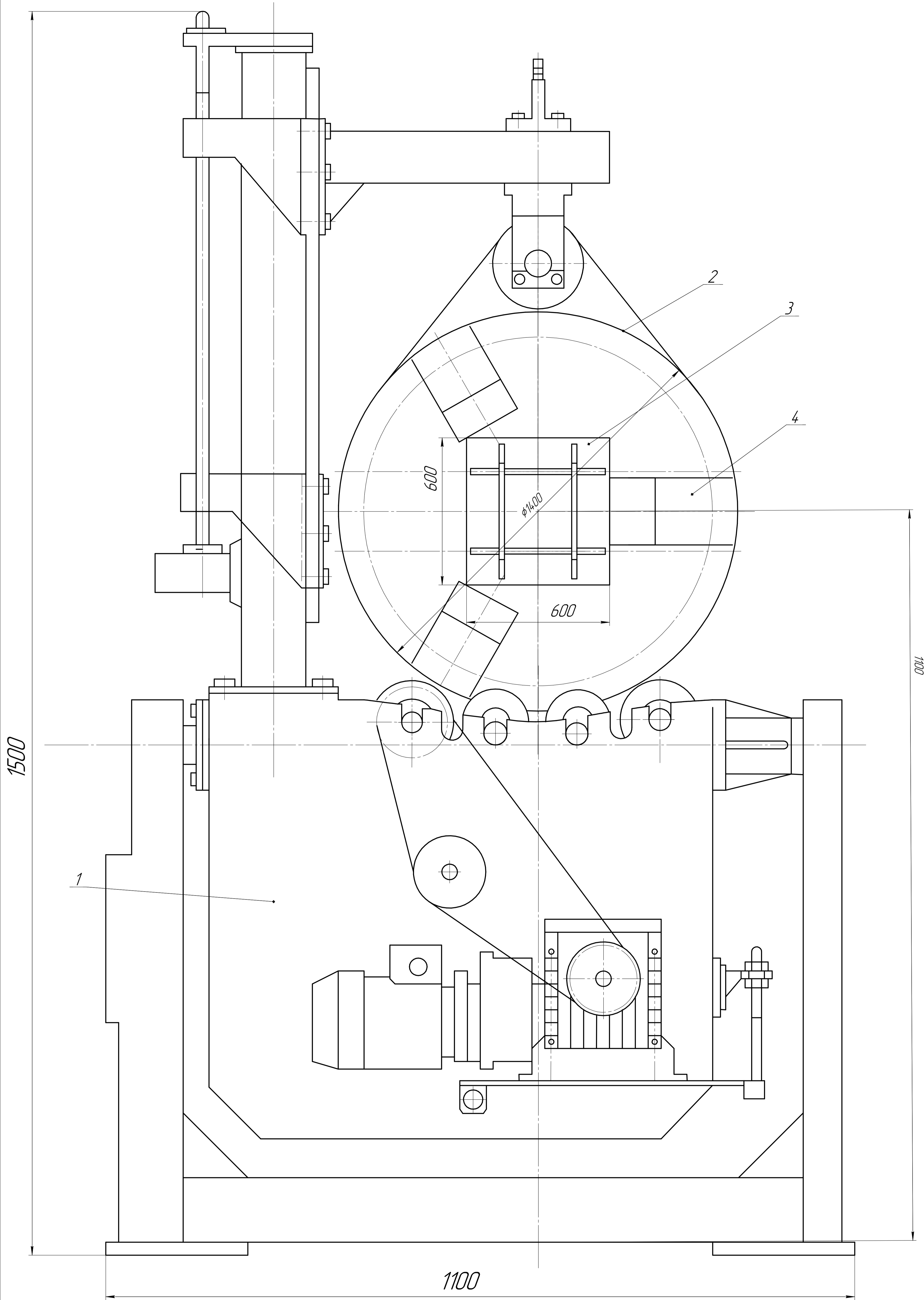
1 Прихоплення пластин які формують двотавр	2 Зварювання поперечного шва сформованого двотавра	3 Прихоплення верхніх, внутрішніх та нижніх пластин з косинками	4 Зварювання верхніх та нижніх пластин з косинками	5 Прихоплення закладних
6 Зварювання закладних	7 Контроль якості			

				<b>КРБ.3Т-98.00.00.000</b>				
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Схема технологічного процесу	Лит	Маса	Масштаб
Розроб.	Матвічук					Н		1:40
Перев.	Панчук М.В.					Лист	Листів	1
Т.контр.						ІФНТЧНГ 3Т-21-1		
Н.контр.	Матвічук О.М.					Формат А1		
	Андрусак А.							



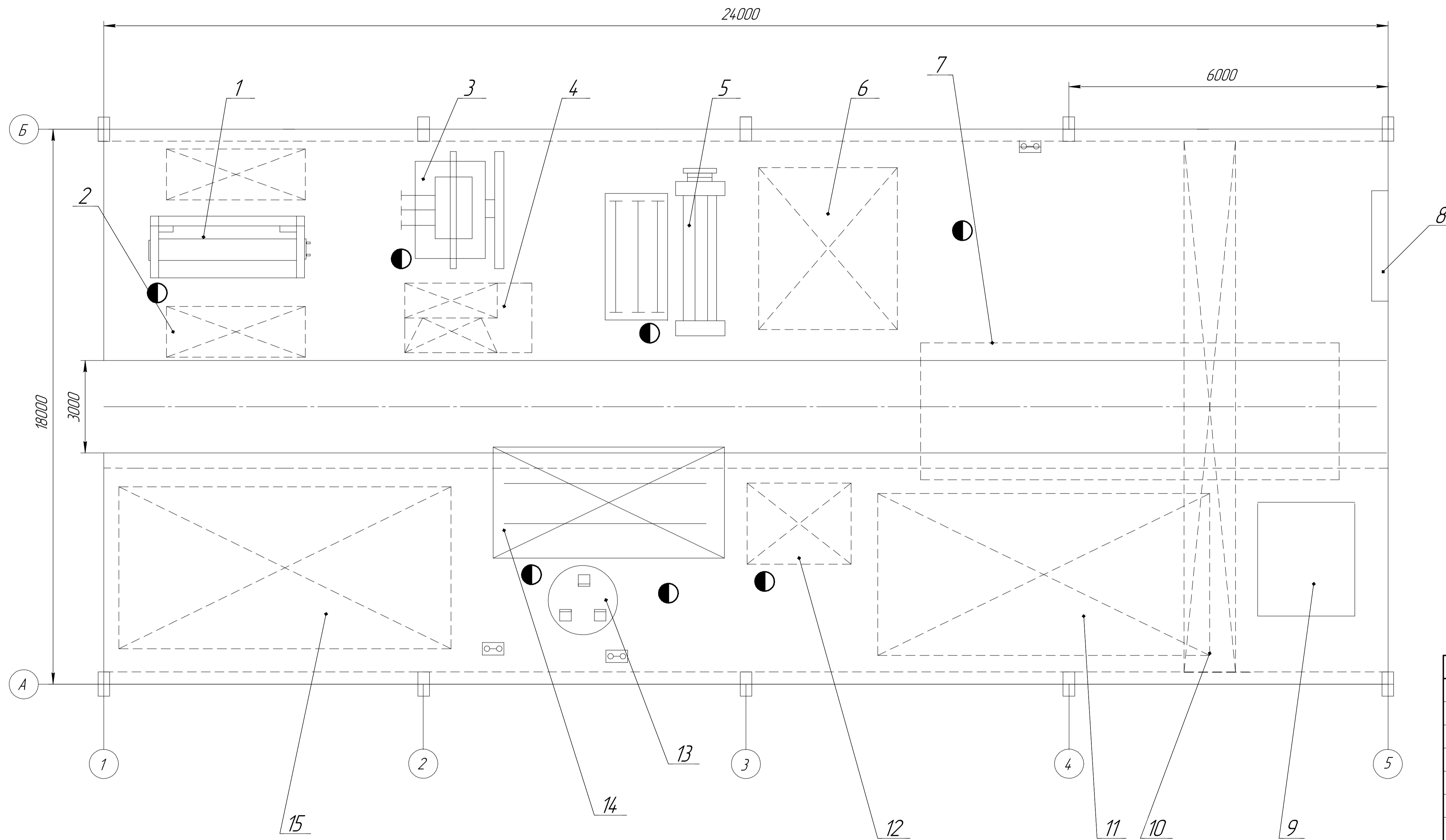
Позиція	Найменування
1	Стійка
2	Зварювальні деталі Двотавра
3	Посадкове місце деталей
4	Зварювальна головка
5	Рейка
6	Ролік
7	Блок управління
8	Зварювальний апарат

				КРБ.3Т-98.00.00.000				
Зн.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Стенд для зварювання колони	Лит	Маса	Масштаб
						Н		1:40
Розроб.	Матвічук					Лист	Листів	1
Перев.	Почук М.В.					ІФНТУНГ		
Т.контр.						3Т-21-1		
Н.контр.	Матвішків О.М.					Формат А1		
	Андрусак А.							



Позначення	Найменування
1	Механізм обертання деталі
2	Патрон
3	Коліна
4	Опора

				<b>КРБ.ЗТ-98.00.00.000</b>		
Зм. Вист.	№ док.м.	Підп.	Дата	<b>Маніпулятор для приварювання опорних плит</b>	Лист	Масштаб
Розроб.	Матвієнко М.В.				Н	1:40
Перев.	Панчук М.В.				Листів	1
Т.контр.				ІФНТУНГ ЗТ-21-1		
Н.контр.	Матвієнко О.М. Андрійчук А.			Формат А1		



Позиції	Найменування
1	Листопробивна машина
2	Склад листів
3	Гільйотинні ножиці
4	Вирізані заготовки
5	Листоазгинальна машина
6	Лазерна установка для різки металу
7	Портальна зварювальна машина
8	Пожерна щитова
9	Кімната майстра
10	Мастовий кран
11	Зона очистки колон
12	Зона проміжного контролю якості
13	Маніпулятор
14	Зона фінального контролю якості
15	Склад готової продукції

				<b>КРБ.3Т-98.00.00.000</b>		
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Масштаб
Розроб.	Матвічук				Н	1:40
Перев.	Панчук М.В.				Лист	Листів 1
Т.контр.					ІФНТЧНГ 3Т-21-1	
Н.контр.	Матвієнко ОМ				Формат А1	
	Андрусак А.					

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Матейчук Володимир

**Співавтор:**

**Назва:** 2025\_Матейчук В.\_ІАБ\_КБ\_ЗТ-21-1

**Науковий керівник:** Панчук М.В.

**Підрозділ:** Каф. ЗВ

**Коефіцієнт подібності 1:**16.6%

**Мікропробіли:** 0

**Заміна букв:** 3

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2025-06-24 07:13:58.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата

експерт