

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **Розробка технології виготовлення секції мостового
огородження в умовах ТзОВ “Кеттенверк”**

Виконав: студент групи Маш-42сп

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Благий Богдан Ярославович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

(підпис)

професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Благому Богдану Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення секції мостового огородження в умовах ТзОВ “Кеттенверк”

Керівник роботи _____
к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 25 лютого 2025 року №123/к-с

2. Строк подання студентом роботи до “ ____ ” _____ 20__ року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, характеристики конструкційних та зварювальних матеріалів, робочі креслення мостового огородження та її деталей, каталоги зварювальних апаратів та зварювальної оснастки, методики розробки технологічних процесів, типові технологічні процеси електродугового зварювання, методики розрахунку режимів зварювання, інструкції з охорони праці, довідкові дані з нормування праці та методики визначення затрат на виробництво.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Характеристика підприємства; 4.2. Конструктивна частина; 4.3. Технологічна частина; 4.4. Методика підготовки та використання зварювального обладнання; 4.5. Охорона праці; 4.6. Економічна оцінка технології.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 4, 6	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
5	Городецький І.М. доц. каф. інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання “ ____ ” _____ 20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Характеристика підприємства	21.03.25	
2	Конструктивна частина	04.04.25	
3	Технологічна частина	25.04.25	
4	Методика підготовки та використання зварювального обладнання	02.05.25	
5	Охорона праці	16.05.25	
	Економічна оцінка технології.	28.05.25	
6	Оформлення пояснювальної записки	09.06.25	
7	Оформлення графічної частини	18.06.25	

Студент

_____ Благий Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Швець О. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.791

Благий Б. Я. «Розробка технології виготовлення секції мостового огородження в умовах ТзОВ “Кеттенверк”». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 70 с.

Проведено аналіз господарської діяльності підприємства. Розглянуто конструкцію огородження для складного моста, його основних деталей та матеріалів. Проаналізовано виробничі потужності підприємства та запропоновано технологію виготовлення секції мостового огородження в умовах ТзОВ “Кеттенверк”. Розраховано необхідні параметри технологічного процесу механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу. Розроблено рекомендації з підготовки зварювального обладнання до роботи. Розглянуто питання охорони праці під час виконання зварювальних робіт. Визначено технологічну собівартість виробництва секції мостового огородження в умовах даного підприємства.

Табл. 19; рис. 28; бібліогр. джерел 24.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА	7
1.1 Загальні відомості про підприємство	7
1.2 Огляд видів продукції та послуг підприємства	8
Висновки за розділом	12
2 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	13
2.1 Аналіз конструкції секції мостового огородження	13
2.2 Характеристики прокатних матеріалів	17
2.3 Властивості матеріалів деталей металоконструкції	18
2.4 Аналіз конструкції зварних з'єднань	21
Висновки за розділом	23
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24
3.1 Аналіз способу зварювання	24
3.2 Вибір зварювальних матеріалів	27
3.3 Технологічний процес виготовлення зварної конструкції	29
3.4 Розрахунок режиму зварювання таврових швів Т1	32
3.5 Розрахунок режиму зварювання кутових швів У6	35
3.6 Вибір технологічного обладнання	37
Висновки за розділом	40
4 МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	41
4.1 Загальні відомості та призначення зварювального апарата	41
4.2 Комплектація та будова зварювального апарата	42
4.3 Особливості керування зварювальним апаратом TPS 400i	44
4.4 Налаштування зварювального апарата на заданий режим роботи	51
Висновки за розділом	57

	5
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
5.1 Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт	58
5.2 Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків	60
Висновки за розділом	61
6 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЇ	62
Висновки за розділом	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	68

ВСТУП

Перспективи розвитку зварювання у машинобудуванні залишаються надзвичайно обнадійливими. Цей процес є критично важливим для створення надійних, довговічних і високоточних конструкцій.

Автоматизація зварювальних процесів та використання зварювальних роботів дозволяє досягати стабільної якості швів, підвищувати продуктивність і знижувати вплив людського фактору. Інтелектуальні системи керування (з комп'ютерним зором та AI) адаптують параметри зварювання в режимі реального часу та інтегрувати існуючі технології в цифрове середовище (Індустрія 4.0 тощо).

Велике значення має розвиток нових методів зварювання, які забезпечують високу точність, мінімальну деформацію й можливість зварювання тонких матеріалів. Їх впровадження не можливе без використання нових матеріалів. Все це потребує нових підходів до зварювання, зокрема розробки адаптивних технологій.

Застосування сучасних неруйнівних методів контролю дозволяє в реальному часі перевіряти вироби на відповідність міжнародним стандартам (ISO, AWS).

Розвиток зварювання у машинобудуванні йде в напрямку підвищення точності, продуктивності та автоматизації. Це дозволяє створювати безпечніші, легші та ефективніші машини - від легкових автомобілів до літаків та промислового обладнання. Цього не можливо досягти без якісної підготовки кваліфікованих кадрів. Підготовка вмілих інженерів зварювального виробництва є передумовою високої його ефективності та якості. Саме на досягнення цієї мети і спрямована дана кваліфікаційна робота.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальні відомості про підприємство

Компанія "Kettenwerk" заснована в Україні у 2017 році у м. Миколаїв Львівської області. Основним видом продукції, яку випускало дане підприємство були зварні круглоланкові ланцюги, які експортувалися в країни Європи.

Продукція підприємства охоплює широкий спектр галузей, включаючи сільське господарство, будівництво, гірничодобувну промисловість, автомобілебудування, логістику та інші галузі. Відповідно до потреб та вимог клієнтів, підприємство здатне виготовляти ланцюги різних розмірів, міцності та конфігурацій.



Рисунок 1.1 – Логотип підприємства

На даний час на підприємстві працює біля 30 працівників різних спеціальностей та кваліфікацій. Виробничі потужності даного підприємства дозволяють виготовляти до 30...35 тон ланцюгової продукції в місяць, а річний обсяг виробництва складає 300...400 тон ланцюгів. Крім цього на підприємстві виробляються різні металоконструкції. Їх місячний виробіток також досягає 30...35 тон [24].

ТзОВ «Кеттенверк» - це експортно орієнтоване підприємство. Частка експорту продукції від загального обсягу виробництва підприємства складає 95...98%. Вся продукція поставляється на ринки країн Європейської співдружності.

Команда висококваліфікованих інженерів та технічних спеціалістів підприємства вміло використовує індивідуальний підхід до проєктування та виробництва ланцюгів згідно з унікальними вимогами кожного замовника.

Підприємство постійно вдосконалюється і розвивається з метою забезпечення будь яких вимог клієнтів та покращення умов співпраці з ними.

1.2 Огляд видів продукції та послуг підприємства

З початку заснування компанії її основною діяльністю було виготовлення ланцюгової продукції на її експорт, як вже було згадано раніше, частка експорту від загального виробництва продукції становить 95-98%. Проте підприємство постійно розвиваємося і працюємо над пошуком нових шляхів реалізації своєї продукції, зокрема і в Україні.

Станом на сьогодні, інженери підприємства працюють над проектами виробництва нової різноманітної продукції з ланцюгів, яка здатна змінити уявлення споживача про використання цього ресурсу. Продукція підприємства допомагає у господарстві, побуті, а також може бути красивим елементом інтер'єру. Значна частка асортименту товарів призначається для господарства, відпочинку на природі, інтер'єру та зручності у домі.

Коротко оглянемо основні види продукції підприємства:

Ланцюги

Компанія пропонує широкий спектр сталевих круглоланкових ланцюгів, які відповідають найвищим світовим стандартам якості та надійності. Усі ланцюги виготовляються з високоякісної сировини за допомогою сучасних технологій, що гарантує їх високу довговічність та зносостійкість.

У виробництві підприємства присутній наступний асортимент круглоланкових ланцюгів:

- Довголанкові ланцюги - використовуються у різних галузях промисловості, таких як будівництво, сільське господарство, машинобудування та транспорт.
- Коротколанкові ланцюги – застосовуються у більш точних умовах та процесах, де потрібна висока міцність та компактні розміри.

- Оцинковані ланцюги – мають високу стійкість до корозії та атмосферних впливів, ідеально підходять для використання на відкритому повітрі.

- Неоцинковані ланцюги - економічно вигідний варіант продукції, яка використовується в закритих приміщеннях, у яких відсутня корозія.

До переваг круглоланкових ланцюгів фірми «Кеттенверк» можна віднести високу міцність та надійність, зносостійкість, корозійностійкість, довговічність, універсальність, широкий спектр типорозмірів, доступну ціну.

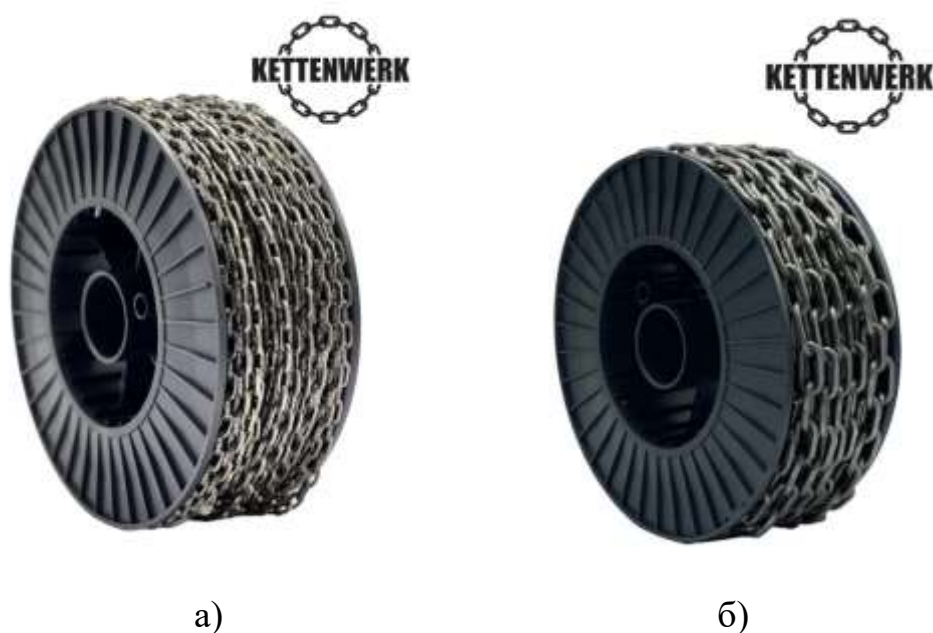


Рисунок 1.2 – Ланцюги фірми «Кеттенверк»

а) ланцюг з квадратним профілем; б - ланцюг круглоланковий

Ланцюги з квадратним та круглим профілем виготовляються з якісного сталевого дроту відповідно до усіх технічних умов із застосуванням методу точкового зварювання [24].

Їх застосовують для монтажу систем кріплення, які працюють без динамічних навантажень, обгороджування території, як тягові/приводні робочі органи в різних ручних механізмах, для декору приміщень, у якості розтяжок та підвісів для кабельних систем освітлення, в інших побутових потребах.

Збірні металеві мости

Збірні металеві мостові конструкції - це новий вид продукції компанії “Kettenwerk”, який вигодовляється спільно з компанією “Ваагнер Біро Україна”. Їх виробництво було запущено навесні 2023 року. Замовлення на дану продукцію надходять з Австрії та з африканських країн.



Рисунок 1.3 – Збірний металевий міст компанії “Kettenwerk”

Основною перевагою збірних металевих мостів є швидкий монтаж. Завдяки модульній конструкції вони монтуються значно швидше, ніж традиційні мости, які будуються з бетону чи залізобетону. Завдяки цьому вони є ідеальним рішенням під час тимчасового ремонту пошкоджених мостів, а також для наведення нових мостів у стислі терміни.

Ще однією їх перевагою є простота транспортування. Окремі модулі мостів виготовляються на заводі, а потім транспортуються до місця

будівництва. Модульність конструкції робить їх зручними для транспортування, навіть у віддалені та важкодоступні райони [24].

Збірні металеві мостові конструкції виготовляються з високоякісної сталі, що забезпечує їм високу міцність та довговічність. Завдяки меншим витратам на матеріали та робочу силу, вони мають вищу економічність. Крім того такі мости зводяться з мінімальним впливом на навколишнє середовище, не потребують глибоких земляних робіт та знищення дерев і насаджень.

З огляду на те, що війна в нашій країні призвела до руйнування тисяч мостів та переправ, збірні металеві мости фірми "Kettenwerk" можуть відіграти важливу роль у відновленні інфраструктури країни та допомогти у відбудові незалежної України. Описані вище переваги роблять їх ідеальним рішенням для ремонту пошкоджених та будівництва нових мостів у регіонах, які постраждали від війни. Крім того, розвиток виробництва буде стимулювати розвиток економіки країни, створюючи нові робочі місця та залучаючи інвестиції.

Металеві меблі

Війна в Україні змусила багатьох виробників адаптуватися до нових реалій і компанія "Kettenwerk" у цьому не виняток. До повномасштабного вторгнення наша компанія спеціалізувалася лише на виробництві ланцюгової продукції, проте зараз ми намагаємося максимально принести користь нашій державі та людям, постраждалим від війни.

Одними з перших продуктів, які після повномасштабного вторгнення почало виготовляти підприємство, стали ліжка. Їх виготовляють з міцних металевих каркасів, які можуть витримувати значні навантаження. Продукція підприємства поставляються як для Збройних Сил України, так і для цивільних споживачів, зокрема для людей, які втратили свої домівки внаслідок бойових дій.

Спеціальна продукція

Окрім основної продукції (ланцюгів), компанія займається виготовленням різноманітної спеціальної продукції, зокрема окопних свічок

та буржуйок. Останні виготовлені з високоякісної сталі та розроблені для забезпечення обігріву та приготування їжі в польових умовах. Вони компактні, портативні та прості у використанні.

Компанія «Кеттенверк» постійно розширює асортименту продукції. Новим видом діяльності є виготовляємо апаратів зовнішньої фіксації. Апарати зовнішньої фіксації - це медичні пристрої, які використовуються для лікування переломів кісток, вивихів та інших травм опорно-рухового апарату людини. Вони складаються з набору кілець, штифтів та інших елементів, які кріпляться до кістки гвинтами. Такі апарати допомагають стабілізувати кістку та сприяють її зростанню.

Широкий спектр розмірів та типів, ергономічний дизайн, простота у використанні та догляді забезпечує необхідний комфорт та задовольняє всі потреби пацієнтів.



Рисунок 1.4 – Апарати зовнішньої фіксації компанії “Kettenwerk”

Окрім цього, підприємство також займалося виробництвом металевих “їжаків”, які використовуються для того, щоб зупинити або пошкодити ворожу бронетехніку. Вони виготовляються з міцних металевих конструкцій, які вкопуються в землю. Таким чином компанія допомагала українській армії стримувати ворожу техніку і перші дні вторгнення.

Висновки за розділом

Аналіз діяльності ТзОВ «Кеттенверк» показав необхідність розробки ефективної технології виготовлення мостових огорожень, як одного з перспективних видів продукції підприємства та визначення собівартості даного виробництва.

2 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз конструкції секції мостового огородження

Збірні металеві мости компанії “Kettenwerk” - це модульній конструкції, які монтуються під час тимчасового ремонту пошкоджених або побудови нових мостів. Вони являють собою складну металеву конструкцію, яка складається з опорної поверхні, настилу, та мостового огородження. Міст має проїзну та пішохідну частини (див. рис. 1.3). Довжина моста може варіюватися від потреби. Основним типорозміром збірного мосту є конструкція довжиною 12 м.

Огорожа моста складається з чотирьох окремих секцій довжиною 3 м кожна. В залежності від вантажності мосту, бокові секції огорожі можуть монтуватися по одній або попарно. Креслення секції мостового огородження показане на рис. 2.1.

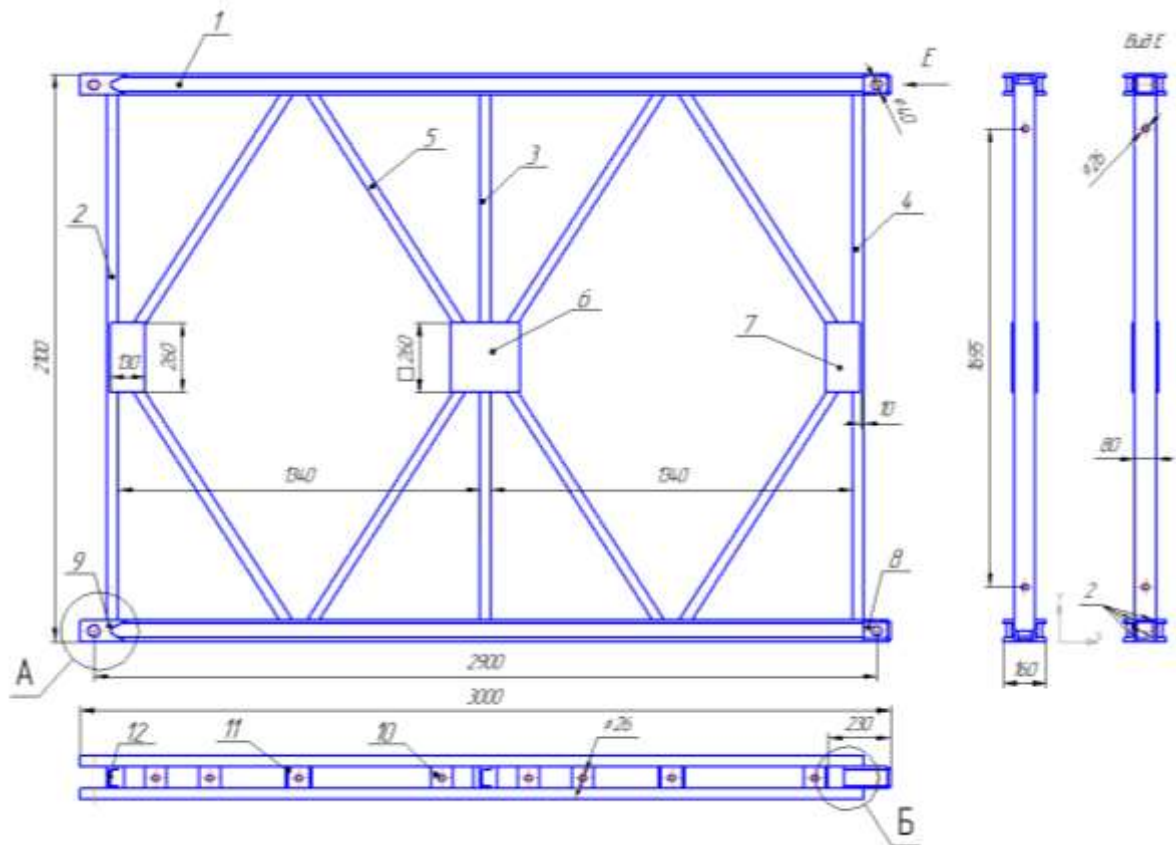


Рисунок 2.1 – Секція мостового огородження

Кожна секція мостового огородження являє собою зварну конструкцію з габаритними розмірами 3000 x 2100 x 160 мм. Вона зварена з чотирьох горизонтальних опорних швелерів 1, з'єднаних між собою вертикальними швелерами 2 - 4. Жорсткість та геометрія конструкції забезпечується за допомогою коротких швелерів 5 та приварених пласти 6 і 7. Ці пластини вирізають з листового металу товщиною 8 мм.

Майже всі елементи зварної секції мостового огородження з'єднані між собою тавровими зварними швами (рис. 2.2).

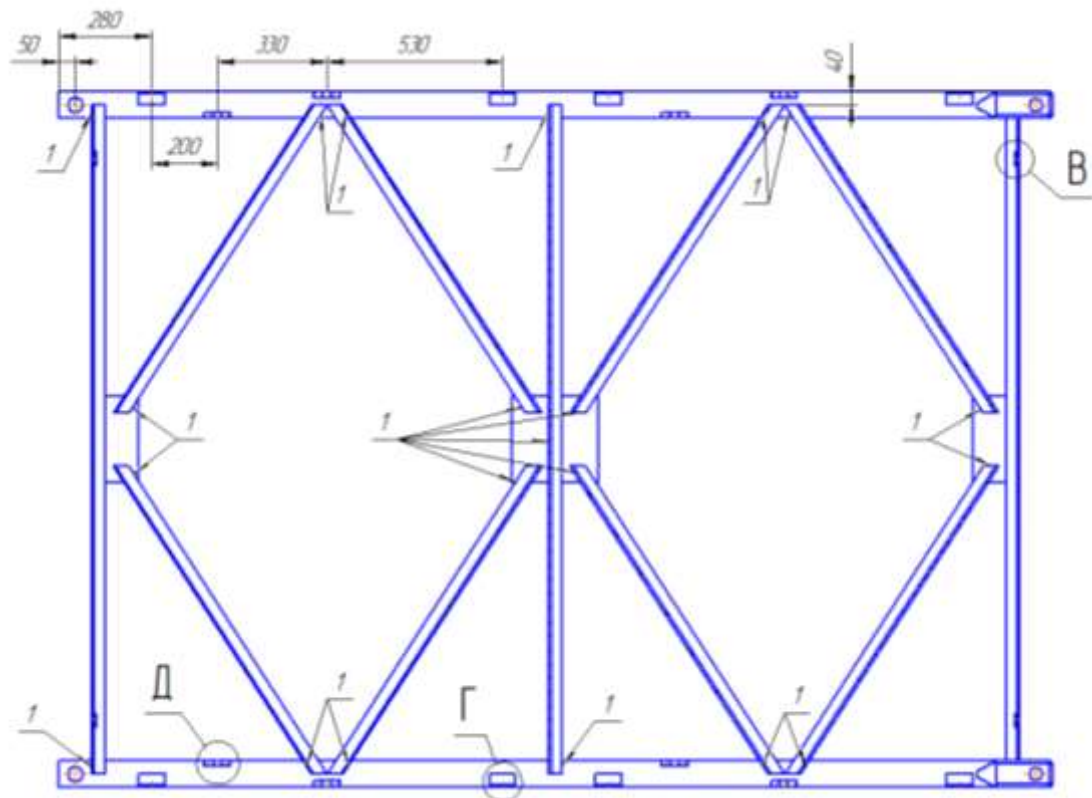


Рисунок 2.2 – Розріз секції мостового огородження

1 – зварний шов Т1

З одного кінця в стінках опорних швелерів виконані монтажні отвори діаметром 40 мм (рис. 2.3). Вони виконують функцію елементів з'єднання секцій між собою, або з опорами мосту за допомогою пальцевого або болтового з'єднання.

Для збільшення міцності послаблених отворами кінців швелерів в кожен з них вварені підсилюючі пластини 9 з листової сталі товщиною 18 мм.

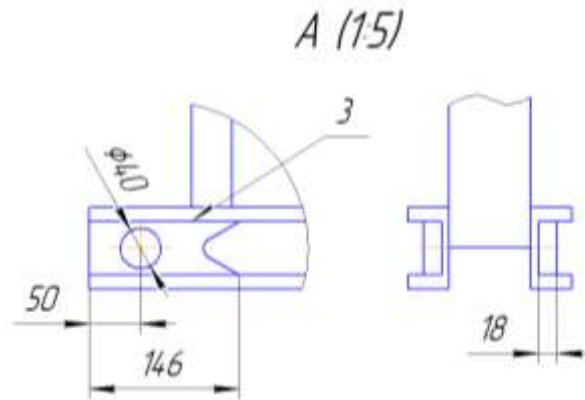
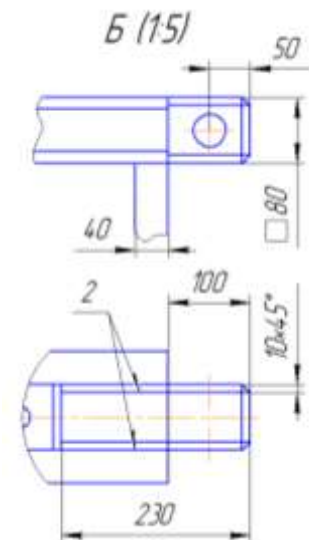


Рисунок 2.3 – Лівий елемент з'єднання секцій

З іншого кінця між двома сусідніми швелерами вварені з'єднувачі 8. Вони являють собою квадратні бруски з стороною 80 мм. З одного їх кінця в них також виконані наскрізні отвори діаметром 40 мм. Для забезпечення якісного зварювання з'єднувачів з швелерами, а також полегшення монтажу секцій грані квадратного профілю зняті (фаска 10 x 45°). З'єднувач виступає за межі швелера на відстань 100 мм, а з'єднуючий отвір виконано чітко по його середині.

Під час монтажу мостового огородження правий кінець секцій кріпиться на опорі через отвір у з'єднувачі болтовим з'єднанням. З'єднувач сусідньої секції входить у з'єднуючий елемент на лівому кінці попередньої секції (вставляється між парою опорних швелерів) і також з'єднується болтовим з'єднанням.

Для кріплення сусідніх секцій між собою в стінках лівого 2 і правого 4 вертикальних швелерів виконані два отвори діаметром 26 мм. Для підсилення конструкції з середини швелерів в місцях виконаних отворів приварені шайби 12 з листової сталі товщиною 5 мм розміром 40 x 60 мм (рис. 2.5).

Рисунок 2.4 – З'єднувач секції огородження
2 - Зварний шов У6

В мостових конструкціях більшої вантажопідйомності секції огородження можуть монтуватися в кілька рядів. В такому випадку вони монтуються одна на одну основою з горизонтальних опорних швелерів і також скріпляються болтами. Для цього між парою нижніх і верхніх опорних швелерів встановлені та приварені П-подібні 10 та плоскі 11 вставки з отворами діаметром 26 мм. П-подібна вставка являє собою шматок швелера №8П довжиною 80 мм з просвердленим по центру отвором (рис. 2.6,а). Завдяки П-подібній формі таких вставок забезпечується краща жорсткість металоконструкції.

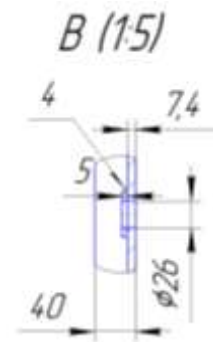


Рисунок 2.5 – Місце з'єднання вертикальних швелерів

4 – зварний шов

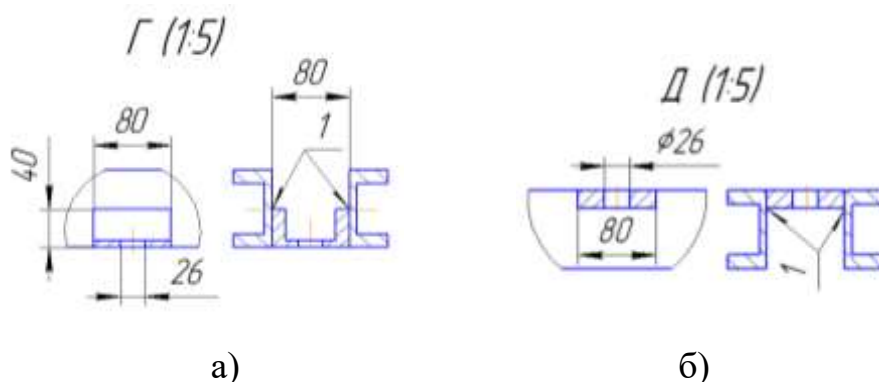


Рисунок 2.6 – Кріплення вставок між опорними швелерами

1 – зварний шов Т1

Плоскі вставки виготовляються з листової сталі товщиною 18 мм. Розмір плоских вставок 80 х 80 мм. По центру кожної з таких деталей також виконані отвори діаметром 26 мм.

Вставки приварюються до швелерів такими ж зварними швами, якими зварюється вся конструкція. В процесі їх приварювання необхідно слідкувати, щоб площа вставки не виступала за межі полиць швелерів (опорні площини секцій)

2.2 Характеристики прокатних матеріалів

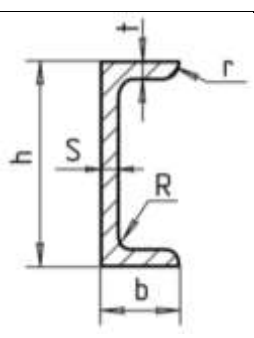
З аналізу конструкції секції огороження відомо, що основні деталі зварної конструкції виготовляються з швелерів. Швелер №8П широко застосовується практично у всіх галузях промисловості. Його широко використовують у таких сферах, як машинобудування, вагонобудування, верстатобудування та суднобудування. Основне застосування він отримав у промисловому та цивільному будівництві для виготовлення несучих конструкцій, колон, опор під конструкції мостів, для жорсткого армування несучих конструкцій у каркасному будівництві, при складному армуванні перекриттів великих прольотів багатоповерхових будівель [7].

Широку популярність серед виробів металопрокату швелер №8П гарячекатаний отримав завдяки своїм перевагам, які забезпечується його фізичними властивостями, зокрема його формою, конструкційними властивостями та здатністю розподіляти навантаження на несучі конструкції.

Як заготовка для гарячекатаного швелера №8П використовуються товсті зливки або сляби, які мають суцільний переріз. У якості матеріалу можуть бути використані сталі марок: ст.3пс/сп, 09Г2С, С245, С255.

Виготовляється швелер №8П згідно з ДСТУ 3436-96 методом гарячого прокатування заготовки на прокатному стані.

Таблиця 2.1 – Характеристики та параметри Швелера «8П
за ДСТУ ДСТУ 3436-96 [7]

№ швелера	Розміри, мм						Вага п.м., кг	Метрів в тоні	Ескіз
	H	B	S	T	R	r			
8П	80	40	4,5	7,6	6,5	3,5	7,051	141,8	

Для виготовлення шайб використовується довгомірний прокат без прямокутного перетину. Відповідно до стандарту ДСТУ 4747:2007 прокат має такі розміри: ширина 60 мм, товщина 5 мм, довжина 6000 мм. Для його виготовлення використовується марки сталі ст1-3пс/сп, S235JR або S275JR. Такий прокат широко використовується у виробництві ресор для автомобільного та залізничного транспорту, зварних та кованих металоконструкцій, лопатей турбінного обладнання, елементів корпусної обшивки, прямокутних гайок, огорожі [9].

Підсилюючі вставки та плоскі шайби вирізають з гарячекатаного сталюого листа 18 x 1500 x 6000. Це вид чорного металопрокату без покриття, який виготовляється згідно з ДСТУ 8540:2015. Для його виготовлення використовують марки сталі ст3сп та S235JR. Виготовляється лист методом гарячої прокатки до розмірів: товщина 18 мм, ширина 1500 мм, довжина 6000 мм. Такий прокат широко використовують в енергетичному, судовому, машино- та вагонобудуванні [10].

2.3 Властивості матеріалів деталей металоконструкції

Для виготовлення зварної конструкції огорожі моста використовується швелер №8П з будівельної низьковуглецевої сталі С255 звичайної міцності. Листовий прокат товщиною до 3,9 мм та фасонні профілі товщиною до 10 мм включно, виготовлені з марки С255, мають межу плинності 255 Н/мм². Вона є сировиною для різного гарячекатаного прокату із сортової та фасонної групи, а також у вигляді гнутих профілів, листа та широкої смуги відповідно до вимог національного стандарту ДСТУ 8539:2015. Вона є нелегованою. За вмістом хімічних елементів відноситься до маловуглецевих та якісних сталей і не містить специфічних легуючих добавок. Допустимий рівень азоту в сплаві варіюється в залежності від способу виплавки, але в будь-якому випадку не повинен перевищувати 0,012%. Хімічний склад сталі С255 відповідно до ДСТУ 8539:2015, ілюструє рис. 2.7.

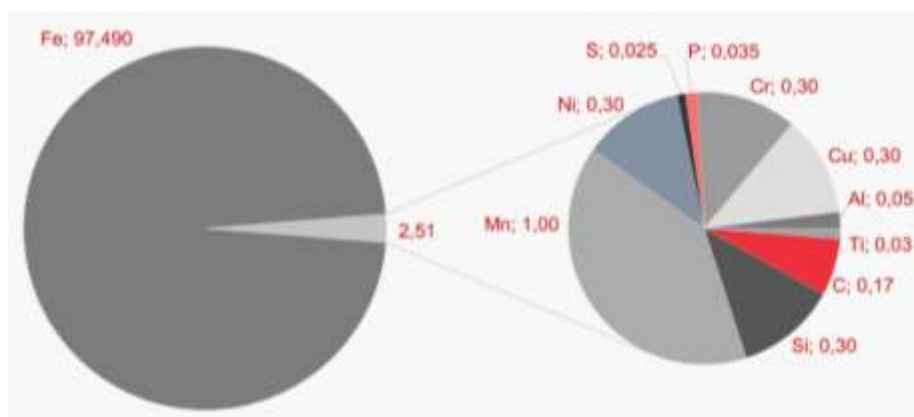


Рисунок 2.7 – Хімічний склад сталі C255

Сталь C255 оптимально поєднує властивості міцності, пластичності та холодостійкості при використанні як металоконструкції звичайної несучої здатності. Зварюється без обмежень. При дотриманні технології зварювання не схильна до відпускнуї крихкості та утворення флокінів. Як і будь-яка вуглецева сталь, вона схильна до корозії. Механічні властивості прокату зі сталі марки C255 згідно ДСТУ 8539:2015 наведені в табл. 2.2 [14].

Таблиця 2.2 – Механічні властивості прокату зі сталі марки C255

Товщина, мм	Межа міцності σ_B , Н/мм ²	Межа текучості σ_T , Н/мм ²	Відносне видовження δ_5 , %	Ударна в'язкість КСУ при температурі 40°C, Дж/см ²	Ударна в'язкість КСУ при температурі -20°C, Дж/см ²
2,0...3,9	≥ 380	≥ 255	≥ 20	-	-
4,0...10,0	≥ 380	≥ 245	≥ 25	≥ 29	≥ 34
10,0...20,0	≥ 370	≥ 245	≥ 25	≥ 29	≥ 34
20,0...40,0	≥ 370	≥ 235	≥ 25	≥ 29	≥ 34

Сталь C255 може використовуватися при виготовленні металевих конструкцій, розрахованих на роботу у відносно важких умовах і схильних до впливу значних розтягуючих та стискаючих статичних навантажень. Це

можуть бути колони та стійки, підкранові балки, ферми та їх фасонки, транспортерні галереї, елементи прогонових будов мостів та естакад, перехідні опори повітряних ліній електропередач. Також сталь С255 дозволяє створювати надійні болтові, зварні та клепані з'єднання.

Для виготовлення підсилюючих пластин та шайб використовується листовий та смуговий прокат з маловуглецевої сталі С245, яка також призначена для застосування у будівництві. Виготовляється відповідно до вимог стандарту ДСТУ 8539:2015, відноситься до марок звичайної міцності та має межу текучості 245 МПа при товщині листа до 3,9 мм, а сортового прокату – 4...20 мм включно. Поставляється у вигляді гарячекатаного листа та широкої смуги, а також у сортаменті сортового та фасонного прокату. Може використовуватись для виготовлення гнутих та зварних профілів з різноманітною формою перерізу.

Сталь С245 – це нелегована низьковуглецева сталь. Незначна кількість легуючих домішок позитивно позначається на зварюваності виробів зі сталі даної марки. У сталі контролюється рівень вмісту азоту, який залежить від способу її виплавки та наявності у її складі алюмінію. Хімічний склад сталі С245 відповідно до ДСТУ 8539:2015 ілюструє рис. 2.8 [9].

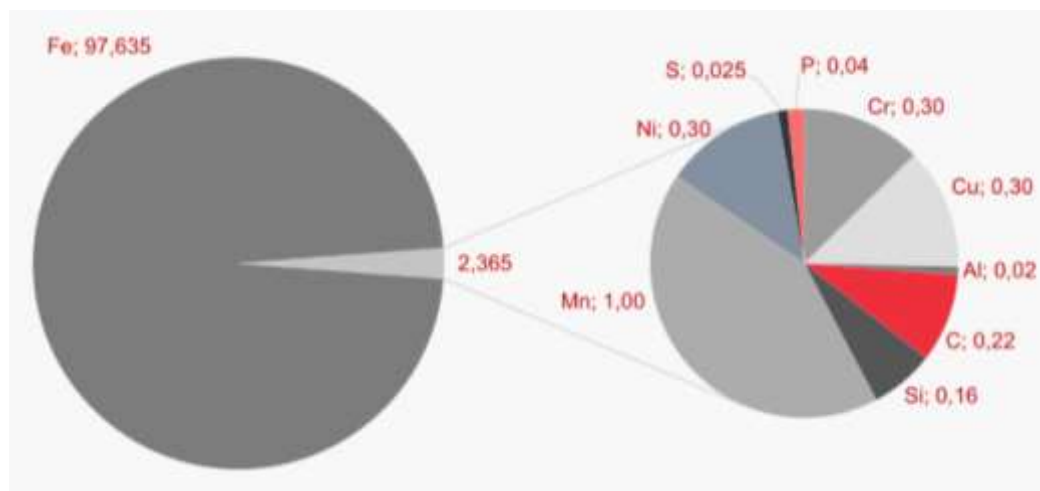


Рисунок 2.8 – Хімічний склад сталі С245

Без нанесення лакофарбових матеріалів та захисних металевих покриттів, сталь схильна до іржавіння. При цьому вона має непоганий

комплекс механічних характеристик, може зварюватися без обмежень та подальшої термічної обробки, добре працює на розтягування. Також вона добре обробляється ріжучим інструментом, гнеться та відбортюється. Механічні властивості листового та широкосмугового прокату марки С245 відповідно до ДСТУ 8539:2015, наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі С245

Товщина, мм	Тимчасовий опір σ_b , Н/мм ²	Межа текучості σ_t , Н/мм ²	Відносне подовження δ_5 , %	Ударна в'язкість КСУ при температурі - 20°C, Дж/см ²
2,0...3,9	≥ 370	≥ 245	≥ 20	-
4,0...30,0	≥ 370	≥ 235	≥ 24	≥ 29

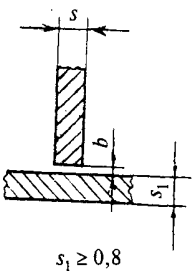
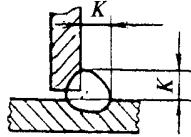
Дану сталь дозволяється застосування сталі у вигляді різного прокату та металоконструкцій під час будівництва будівель та споруд із звареними елементами, які працюють при статичних навантаженнях, у тому числі при стискаючих та розтягуючих напруженнях (ферми та балки; колони та стійки; опори транспортерних галерей). Сталь також широко використовується для виготовлення допоміжних будівельних конструкцій. Рідше її застосовують для створення зварних конструкцій, які експлуатуються в особливо важких умовах і зазнають впливу динамічних навантажень і вібрацій.

2.4 Аналіз конструкції зварних з'єднань

Як вже було описано в п. 2.1, огороження моста від фірми “Kettenwerk” являє собою зварну металоконструкцію. Для її виконання використовується спосіб електродугового зварювання, зокрема, механізоване зварювання суцільним дротом в середовищі захисного газу. Усі зварні шви мають бути виконані згідно ГОСТ 14771-76.

Основним видом зварного шва, який застосовується для виготовлення зварної конструкції огорожі мосту є тавровий шов Т1. Його основні характеристики наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики зварного шва Т1

Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	s	b	
	Підготовлених кромок	Зварного шва			Номінальне	Граничне відхилення
Т1			MIG/MAG TIG	0,8-3,0	0	+0,5
				3,2-5,5		+1,0
				6,0-20,0		+1,5
				22,0-40,0		-2,0

Основним параметром даного шва є його катет k . Його величина залежить від товщини зварюваних деталей (їх кромок). В проектному розрахунку значення катета можна визначати за формулою:

$$k = s \cdot \cos 45^\circ, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де s – товщина кромки зварюваних деталей, мм.

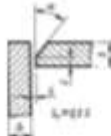
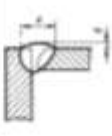
Зварний шов Т1 застосовується для з'єднання горизонтальних опорних швелерів з вертикальними швелерами, короткими швелерами та приварювання пластин жорсткості, підсилюючих пластин та П-подібних і плоских вставок. Значення катетів шва для різних зварних з'єднань, визначених за (2.1) зведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Катети зварних швів

№ зварного шва	Товщина деталі, мм	Катет шва, мм	Площа шва, мм ²
1	7,6	6	18
3	18	10	50
4	5	4	8

Кріплення з'єднувачів між горизонтальними опорними швелерами виконується за допомогою кутових зварних швів У6. Їх характеристику наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Характеристики зварного шва У6

Умовне позначення шва	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	a	b		c		e		g		α, град (відхил. ±2°)
	Підготовлених кромки	Зварного шва			Ном.	Гр. відх.	Ном.	Гр. відх.	Ном.	Гр. відх.	Ном.	Гр. відх.	
У6			MIG, TIG	5,0-5,5	1	±1	1	±1	8	±2	1,0	±1,0	50
				6,0					10				
				7,0					14				
				8,0					16				
				9,0					18				
				10,0					20				
			MAG	12,0-14,0	2,0	+1 -2	2,0	+1 -2	18	+3 -4	2,0	+1 -2	40
				14,0-16,0					22				
				16,0-18,0					26				
				20,0-22,0					30				

На кресленнях та технологічних ескізах кутовий шов У6 має позначення №2. Оскільки кромки з'єднувача оброблені (знята фаска 10 x 45°), то в процесі зварювання слід виконати повне їх заплавлення на довжину 130 мм (див. рис. 2.4) забезпечивши підсилення шва $g = 0$.

Висновки за розділом

Аналіз конструкції виробу свідчить про не високу його складність, оскільки для виготовлення зварної металоконструкції використовуються стандартні прокатні матеріали. Матеріали деталей, з яких виготовляється огороження, мають достатню міцність, хорошу зварюваність та не потребують спеціальних методів їх обробки.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз способу зварювання

У зварювальних процесах підприємства широко використовується спосіб механізованого електродугового зварювання в середовищі захисних газів. Для зварювання різних матеріалів як захисні використовують інертні (аргон, гелій) і активні (вуглекислий газ, азот) гази, а також різні їх суміші.

Зварювання в захисних газах можна використовувати для з'єднання матеріалів різної товщини (від частки десятих до десятків міліметрів). Застосування захисних газів з різними теплофізичними властивостями та їх сумішей змінює теплову ефективність дуги та умови введення тепла в зварювані кромки, а також розширює технологічні можливості процесу зварювання. При зварюванні в інертних газах підвищується стабільність дуги і знижується вигоряння легуючих елементів, що досить важливо під час зварювання високолегованих сталей. Заданий хімічний склад металу шва можна отримати шляхом зміни складу зварювального (присадкового) дроту та частки участі основного металу в утвореному шві, коли склади основного та електродного металів значно різняться, або ж шляхом зміни характеру металургійних взаємодій за рахунок значної зміни складу захисної атмосфери при зварюванні плавким електродом. Зварювання в середовищі захисних газів забезпечує формування швів у різних просторових положеннях, що дозволяє застосовувати цей спосіб замість ручного дугового зварювання покритими електродами [4].

Зварювання можна виконувати безперервно запаленою або імпульсною дугою. Імпульсна дуга зменшує розміри навколошовної зони і короблення зварювальних кромок, а також забезпечує хороше формування шва на матеріалі малої товщини. Особливості кристалізації металів зварювального шва при цьому способі зварювання сприяють дезорієнтації структури, що

зменшує можливість утворення гарячих тріщин, проте може сприяти утворенню навколошовних надривів.

Зварювання плавким електродом, виконують як в інертних, а також активних газах або суміші газів. При зварюванні високолегованих сталей, які містять легкоокисні елементи (алюміній, титан та ін.), слід використовувати інертні гази, переважно аргон, і вести процес на щільності струму, забезпечуючи струменеве перенесення електродного металу. При струминному перенесенні дуга має високу стабільність, і практично виключається розбризкування металу, що важливо для формування швів у різних просторових положеннях та для ліквідації вогнищ корозії, пов'язаних з розбризкуванням при зварюванні корозійно-стійких та жаростійких сталей. Проте, струменеве перенесення можливе на струмах вище критичного, при яких можливе утворення пропалів при зварювання тонколистового металу. Додавання в аргон до 3-5% O_2 і 15-20% CO_2 зменшує критичний струм, а створення при цьому окислювальної атмосфери в зоні дуги знижує ймовірність утворення пор, викликаних воднем. Однак при зварюванні в зазначених сумішах газів збільшується вигоряння легуючих елементів, а при додаванні вуглекислого газу можливе науглецювання металу шва. Додаванням до аргону 5-10% N може бути підвищено його вміст у металі шва. Азот є сильним аустенізатором, і таким чином можна змінити структуру металу шва. Для зварювання аустенітних сталей знаходить застосування імпульсно-дугове зварювання плавким електродом в аргоні і сумішах аргону з киснем та з вуглекислим газом, що забезпечує з'єднання малих товщин і струминне перенесення металу під час проходження імпульсу струму. Одночасно імпульсно-дугове зварювання викликає подрібнення структури шва і зниження перегріву навколошовної зони, що підвищує стійкість зварного з'єднання проти утворювання тріщин [4, 5, 17].

Під час зварювання у вуглекислому газі низьковуглецевих високолегованих сталей з використанням низьковуглецевих зварювальних дротів, при вихідній концентрації вуглецю в дроті менше 0,07%, вміст вуглецю

в металі шва підвищується до 0,08-0,12%. Цього достатньо для різкого зниження стійкості металу шва до міжкристалітної корозії. Однак науглерожування металу шва в деяких випадках при енергійних карбідоутворювачах (титані, ніобії) може мати сприятливу дію при зварюванні жароміцних сталей за рахунок збільшення у структурі кількості карбідної фази.

Окислювальна атмосфера, створювана в дузі за рахунок дисоціації вуглекислого газу, викликає підвищене (до 50%) вигорання титану та алюмінію. Дещо менше вигорають марганець, кремній та інші легуючі елементи, а хром не окислюється. Тому при зварюванні корозійно-стійких сталей у вуглекислому газі застосовують зварювальні дроти, що містять розкислювальні та карбідоутворюючі елементи (алюміній, титан і ніобій). Іншим недоліком зварювання у вуглекислому газі є велике розбризкування металу (втрати досягають 10-12%) і утворення на поверхні шва щільних плівок оксидів, міцно зчеплених із металом. Це може різко знизити корозійну стійкість і жаростійкість до зварного з'єднання. Для зменшення можливості налипання бризок на основний метал слід застосовувати спеціальні емульсії, що наносяться на кромки перед зварюванням, а для боротьби з окисною плівкою ефективною є подача в дугу невеликої кількості фторидного флюсу типу АНФ-5. Застосування імпульсного зварювання також дозволяє дещо знизити розбризкування. Зварювання плавким електродом у вуглекислому газі виконується на напівавтоматах і автоматах [4].

Основні переваги зварювання в середовищі захисних газів (порівняно з зварюванням під флюсом та зварюванням електродами):

- підвищений ступінь захисту металів від окиснення на відкритому повітрі;
- зручність у використанні даного типу зварювального апарату при роботі в різних просторових положеннях;
- при використанні як захисний газ аргону, на поверхні зварного шва не виникає шлакових включень та оксидів;

- при використанні зварювання в середовищі захисних газів можливе спостереження за процесом формування зварювального шва та його регулювання;
- більша продуктивність та ефективність, ніж при використанні дугового зварювання;
- невисока собівартість при використанні вуглекислого газу.

3.2 Вибір зварювальних матеріалів

Так як хімічний склад металу шва тісно пов'язаний зі складом зварювального дроту, його марку вибирають одночасно з захисним газом, тобто, вибирають систему газ - дріт. Для попередження утворення у швах пор метал швів повинен містити не менше 0,2-0,4% кремнію та марганцю. Це і визначає систему вибору газу та зварювального дроту.

При зварюванні виробів зі сталі С245 та С255 застосовують, як правило, холоднотягнутий дріт суцільного перерізу. У нашому випадку будемо застосовувати зварювальний дріт СВ-08 ГА, у поєднанні з сумішшю газів [8].

Зварювання з використанням захисної зварювальної суміші в балонах широко використовується західними та вітчизняними виробниками. Її застосовують як для дрібних побутових виробів, так і для більших металоконструкцій.

Електрогазозварювальні роботи в чисто газовому середовищі в індустріально розвинутих країнах давно залишилися в минулому. Їм на зміну прийшли багатокомпонентні газові суміші поліпшеного складу. Для повноцінного захисту дуги застосовують суміші, засновані на аргоні, гелії та інших технічних газах. Досвід з використання газових сумішей показав: газові суміші за своїми показниками підвищують фінальну якість з'єднання за аналогією з чистими газами. Крім цього, використання сумішей автоматично знижує собівартість готової продукції та капіталовитрати на роботи.

Для проведення більшості електрозварювальних робіт на сьогоднішній день потрібно застосування зварювальної суміші, ціна якої лише трохи перевищує традиційне середовище захисних газів. Найкращою вважається зварювальна суміш у балонах на основі аргону. Така зварювальна суміш у балонах складається на 80% аргону та на 20% з вуглекислого газу. Використання зварювальних сумішей на основі аргону замість традиційної вуглекислоти, дозволить істотно підвищити якість зварювання без модернізації обладнання та зміни технологій.

Захисні газові суміші для зварювання плавким електродом на основі аргону [4, 17]:

- газова суміш K-20. Це найбільш універсальна з усіх сумішей для вуглецево-конструкційних сталей. Складається з 80% аргону та 20% двоокису вуглецю. Підходить для всіх типів матеріалів;

- газова суміш K-3.2. Це суміш 86% аргону, 12% двоокису вуглецю, 2% кисню. Дає стійку дугу з широкою зоною нагріву та гарним проваром профілю, підходить для глибокого провару, зварювання коротких швів та для ручної, автоматичного та зварювання застосуванням робота-автомата;

- газова суміш K-3.3. Це суміш 78% аргону, 20% двоокису вуглецю, 2% кисню, спеціально розроблена для глибокого провару широкого асортименту профілів. Суміш добре підходить для наплавлення та зварювання товстих прокатних (сортових) сталей;

Таким чином, вибираємо для механізованого зварювання сталей С245 та С255 газову суміш 80% Ar + 20% CO₂.

Переваги зварювальної суміші в балонах, основу якої складає аргон, очевидні:

- продуктивність зварювання за одиницю часу набагато більша, у порівнянні з традиційним зварюванням;
- втрати електродного металу на розбризкування знижуються на 80%;
- кількість прилипання бризок в районі зварного шва знижується, за рахунок чого зменшується трудомісткість їх видалення;

- збільшується глибина провару шва, що призводить до більшої міцності конструкцій;
- підвищується стабільність процесу зварювання;
- якість зварного шва призводить до зниження пористості металу та зменшенню неметалевих включень;
- покращуються умови праці;
- зберігається здоров'я зварювальника;
- загальна економія коштів не менше 15 – 20%.

3.3 Технологічний процес виготовлення зварної конструкції

Технологічний процес виготовлення зварної конструкції секції мостового огороження в умовах зварного цеху підприємства складається з таких основних етапів:

- заготівельні операції;
- вкладання конструкції в кондукторі;
- виконання прихваток;
- зварювання швів;
- контроль якості швів та геометрії виробу.

Заготівельні операції підготовки деталей секції починаються в заготовчому цеху, де листовий метал та швелери правлять на спеціальних вальцях. Розрізання швелерів та полоси відбувається за допомогою стрічкової пили. Деталі з листового металу товщиною 18 мм вирізаються за допомогою плазмової установки.

Складання секції огороження виконують в спеціальному кондукторі.

Збирання конструкції прихватками та основний процес зварювання виконують за допомогою наявних на підприємстві зварювальних апаратів Fronius та Esab.

Переміщення заготовок, кантування рамки та транспортування готової рамки виконують за допомогою кранбалки вантажністю 5 т.

Технологічна послідовність виготовлення секції мостового огороження наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технологічна послідовність виготовлення секції мостового огороження

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Обладнання та режими роботи
1	2	3	4
1	Транспортна	Доставка металу зі складу на заготівельну ділянку цеху	Кран балка 5т
2	Заготівельна	Правка прокату	Вальцеві верстати
		Нарізання швелерів: 2000 мм – 3 шт; 2900 мм – 4 шт; 1100 мм – 8 шт	Стрічкова пила
		Нарізання шайб 45х60 мм – 4 шт	Стрічкова пила
		Вирізання пластин	Плазмova різка
		Свердління отворів Ø40 в швелерах	Верстат свердлильний
		Свердління отворів Ø26 в П-подібних вставках	
		Свердління отворів Ø26 в підсилюючих шайбах	
3	Очистка і підготовка деталей	Підготовка та зачистка поверхні металу для зварювання за допомогою КШМ	Кутошліфувальна машинка
4	Транспортна	Доставка заготовок на дільницю зварювання	Кран балка 5т

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
5	Складання	Скласти рамку в кондукторі з опорних, вертикальних та коротких швелерів	Кондуктор, гвинтові притискачі
		Виконати прихватки деталей швами $l = 10-15$ мм	Зварювальний півавтомат $I_{ЗВ} = 120$ А, $d_{ЕД} = 1,2$ мм
		Вставити П-подібні та плоскі вставки між швелерами	Шаблон
		Виконати прихватки деталей швами $l = 10-15$ мм	Зварювальний півавтомат $I_{ЗВ} = 120$ А, $d_{ЕД} = 1,2$ мм
		Вставити з'єднувачі між правими кінцями опорних швелерів	Гвинтові притискачі
		Виконати прихватки деталей швами $l = 10-15$ мм	Зварювальний півавтомат $I_{ЗВ} = 120$ А, $d_{ЕД} = 1,2$ мм
6	Зварювання	Зварити опорні, вертикальні та короткі швелери між собою	Зварювальний півавтомат $I_{ЗВ} = 120$ А, $d_{ЕД} = 1,2$ мм
		Приварити центральну та бокові пластини	
		Приварити з'єднувачі	
		Приварити П-подібні та плоскі вставки	
		Приварити підсилюючу пластину	

Продовження таблиці 3.1

7	Транспортна	Перевернути рамку в кондукторі на 180°	Кран балка 5т
8	Зварювання	Повторити операції, передбачені в п. 6.	Зварювальний півавтомат
9	Зварювальна	Приварити підсилюючі шайби	Зварювальний півавтомат
10	Контроль	Перевірити габаритні розміри виробу та якість зварних швів	Шаблони зварювальника
7	Транспортна	Транспортувати секцію на склад	Кран балка 5т

Під час виконання усіх основні технологічні операції задіяні два робітники: зварювальник та слюсар.

3.4 Розрахунок режиму зварювання таврових швів Т1

Форма та геометричні розміри шва визначаються параметрами: глибиною проплавлення h , шириною шва e , повною висотою шва H , висотою посилення g , площами поперечного перерізу наплавленого електродного металу F_H , переплавленого основного металу F_O , зварного шва $F_{Ш}$ та ін. відповідно до ГОСТ 14771 - 76, як показано в таблиці 2.4 [21].

Основними параметрами механізованого зварювання в суміші є діаметр електродного дроту d_E , зварювальний струм $I_{ЗВ}$, щільність струму j , напруга дуги U_D , швидкість подачі електродного дроту $V_{ПД}$ та витрата захисного газу Q_G .

Не контрольованими параметрами, які залежать від техніки зварювання та кваліфікації зварювальника, є швидкість зварювання $V_{ЗВ}$, виліт електрода L_E , кут нахилу пальника, його коливальні рухи впоперек шва. Основні параметри режиму взаємопов'язані між собою, тобто, при зміні одного з них виникає необхідність коригування й інших параметрів.

Діаметр електродного дроту d_E залежить від товщини металу S і глибини проплавлення h . Однак глибина проплавлення залежить від величини зазору між кромками та формами підготовки кромок. Для того щоб врахувати ці фактори, вводять розрахункову глибину проплавлення $h_{\text{ПР}}$ яку можна визначити як:

$$h_P = (0,7 \dots 1,1) \cdot k, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де k – катет шва, мм.

Враховуючи дані, наведені в табл. 2.5, отримаємо для різних типів зварних швів:

$$h_{P1} = (0,7 \dots 1,1) \cdot 6 = 4,2 \dots 6,6 \text{ мм}$$

$$h_{P2,3} = (0,7 \dots 1,1) \cdot 10 = 7 \dots 11 \text{ мм}$$

$$h_{P4} = (0,7 \dots 1,1) \cdot 4 = 2,8 \dots 4,4 \text{ мм}$$

Математична обробка практичних рекомендацій дає вираз для розрахунку діаметра дроту, мм:

$$d_{ED} = \sqrt[4]{h_P} \pm 0,05 \cdot h_P, \quad (3.2)$$

Для різних видів швів:

$$d_{ED1} = \sqrt[4]{6} \pm 0,05 \cdot 6 = 1,26 \dots 1,87 \text{ мм}$$

$$d_{ED2,3} = \sqrt[4]{10} \pm 0,05 \cdot 10 = 2 \dots 3 \text{ мм}$$

$$d_{ED4} = \sqrt[4]{4} \pm 0,05 \cdot 4 = 0,8 \dots 1,2 \text{ мм}$$

Граничні відхилення d_{ED} обмежуються способом зварювання за рівнем автоматизації та положення шва згідно таблиці 3.2. Отримані розрахунковим шляхом значення d_{ED} округляємо до найближчого стандартного: $d_{ED} = 1,2 \text{ мм}$.

Таблиця 3.2 – Обмеження діаметра електродного дроту [5]

Положення шва	Діаметр електродного дроту (мм) при зварюванні	
	механізоване	автоматичне
«Човник», нижнє	0,8...2	0,8 ... 2,0 (4,0)
Вертикальне	$\leq 1,2 \dots 1,4$	—
Горизонтальне, стельове	$\leq 1,2$	—

Величину зварювального струму розрахуємо за формулою:

$$I_{ЗВ} = \frac{3,14 \cdot d_{ЕД}^2}{4} \cdot A, \text{ А} \quad (3.3)$$

де j - густина струму в електродному дроті, А/мм² (при зварюванні в суміші газів $j = 100$ А/мм²) [22];

$d_{ЕД}$ - діаметр електродного дроту, мм.

$$I_{ЗВ} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 100 = 113 \text{ А}$$

Приймаємо для подальших розрахунків $I_{ЗВ} = 120$ А.

Швидкість зварювання $V_{ЗВ}$ розраховуємо за формулою:

$$V_{ЗВ} = \frac{\alpha_H \cdot I_{ЗВ}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_H}, \text{ м/год} \quad (3.4)$$

де α_H - коефіцієнт наплавлення, г/А·год, який знаходиться за формулою:

$$\alpha_H = \alpha_P \cdot (1 - \psi) \quad (3.5)$$

де ψ - коефіцієнт втрат металу на угар і розбризкування. При зварюванні в суміші захисних газів $\psi = 0,01 \dots 0,05$ [22];

α_P - коефіцієнт розплавлення дроту, г/А·год, розраховується за формулою:

$$\alpha_P = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{ЗВ}}{d_{ЕД}}, \text{ г/А} \cdot \text{год} \quad (3.6)$$

де $I_{ЗВ}$ - сила зварювального струму, А;

γ - щільність металу, г/см³, $\gamma = 7,8$ г/см³.

$$\alpha_P = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{120}{1,2} = 14,52 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

$$\alpha_H = 14,52 \cdot (1 - 0,05) = 13,57 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

F_H - площа наплавленого металу, мм².

Тоді, швидкість зварювання під час виконання різних зварних швів буде становити:

$$V_{ЗВ1} = \frac{13,57 \cdot 120}{3600 \cdot 7,8 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 3,22 \text{ м/год}$$

$$V_{ЗВ3} = \frac{13,57 \cdot 120}{3600 \cdot 7,8 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 1,16 \text{ м/год}$$

$$V_{зв4} = \frac{13,57 \cdot 120}{3600 \cdot 7,8 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} = 7,25 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту $V_{ПД}$ розраховуємо за формулою:

$$V_{ПД} = 0,53 \cdot \frac{I_{зв}}{d_{ЕД}} + 0,53 \cdot \frac{I_{зв}^2}{d_{ЕД}^2}, \text{ м/год} \quad (3.7)$$

$$V_{ПД} = 0,53 \cdot \frac{120}{1,2} + 6,94 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{120^2}{1,2^2} = 59,94 \text{ м/год}$$

Для налаштування зварювального апарата приймаємо $V_{ПД} = 60 \text{ м/год}$.

Напруга зварювальної дуги:

$$U_{зв} = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} \quad (3.8)$$

$$U_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 120 = 20 \text{ В}$$

Розрахуємо виліт електродного дроту за формулою

$$L_{ЕЛ} = 10 \cdot d_{ЕД} \pm 2 \cdot d_{ЕД} \quad (21)$$

де $L_{ЕЛ}$ - виліт електродного дроту, мм.

$$L_{ЕЛ} = 10 \cdot 1,2 \pm 2 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ мм}$$

Розрахуємо витрату захисного газу за формулою:

$$q_{зг} = 0,2 \cdot I_{зв}^{0,75}, \text{ л/хв} \quad (3.9)$$

$$q_{зг} = 0,2 \cdot 120^{0,75} = 7,25 \text{ л/хв}$$

3.5 Розрахунок режиму зварювання кутових швів У6

Для розрахунку параметрів зварювання кутових швів У6, якими приварюються з'єднувачі до опорних швелерів визначимо площу наплавленого металу, необхідного для формування з'єднання.

Розрахунок площі виконаємо за формулою:

$$F_{H2} = h_{P2}^2 \cdot \text{tg}\alpha/2, \text{ мм}^2 \quad (3.10)$$

де α – кут розробки кромок, град.

Враховуючи результати розрахунків за (3.1) та характеристику зварного шва, наведену в табл. 2.6, отримаємо:

$$F_{H2} = 10^2 \cdot \operatorname{tg} 45/2 = 41,42 \text{ мм}^2$$

Оскільки шов виконується без підсилення, то його площу не враховуємо.

Швидкість зварювання під час швів №2, визначена за (3.4) становитиме:

$$V_{зв2} = \frac{13,57 \cdot 120}{3600 \cdot 7,8 \cdot 41,42 \cdot 10^{-3}} = 1,4 \text{ м/год}$$

Перевіримо ефективність процесу за коефіцієнтом провару:

$$K_{\text{ПР}} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_{\text{ЕД}} \cdot U_{\text{Д}}}{I_{зв}}, \quad (3.11)$$

де

$$K' = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot 100^{0,1925} = 0,89 \quad (3.12)$$

Тоді

$$K_{\text{ПР}} = 0,89 \cdot (19 - 0,01 \cdot 120) \cdot \frac{1,2 \cdot 20}{120} = 3,17$$

Розрахункова глибина провару:

$$h_{\text{пр}} = 0,076 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{K_{\text{ПР}}}}, \quad (3.13)$$

де $q_{\text{п}}$ – погонна енергія зварювання, Дж/см.

$$q_{\text{п}} = I_{зв} \cdot U_{зв} \cdot \frac{\eta}{V_{зв2}}, \text{ Дж/см} \quad (3.14)$$

де η – ефективний ККД дуги. Для способу зварювання в середовищі захисних газів $\eta = 0,85$ [4].

$$q_{\text{п}} = 120 \cdot 20 \cdot \frac{0,85}{0,096} = 21250 \text{ Дж/см}$$

Тоді

$$h_{\text{пр}} = 0,076 \cdot \sqrt{\frac{21250}{3,17}} = 6,22 \text{ мм}$$

Фактичне значення глибини провару $h_{\text{пр}}$ відрізняється від прийнятого до розрахунку $h_{\text{р}}$ майже на 40%, але оскільки немає вимоги виконання зварного шва за один прохід, то коригування розрахунків не потрібно.

Розрахуємо необхідну швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{\text{ПД}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ЗВЗ}} \cdot F_{\text{НЗ}}}{\pi \cdot d_{\text{ЕД}}^2}, \text{ м/ГОД} \quad (3.15)$$

$$V_{\text{ПД}} = \frac{4 \cdot 1,4 \cdot 41,42}{3,14 \cdot 1,2^2} = 51,3 \text{ м/ГОД}$$

Для заповнення розроблених кромок визначимо необхідну кількість проходів:

$$n' = \frac{h_{\text{РЗ}}}{h_{\text{РП}}} = \frac{10}{6,22} = 1,61 \quad (3.16)$$

Отже, приварювання з'єднувачів до швелерів буде відбуватися за два проходи. Однак, під час виконання другого проходу з метою формування увігнутої форми зварного шва слід збільшити швидкість зварювання приблизно на 20 % [17].

3.6 Вибір технологічного обладнання

Для виконання складальних та зварювальних робіт по виготовленню мостових огорожень будуть використовуватися наявні на підприємстві зварювальні апарати, зокрема зварювальний півавтомат TPS 400i фірми Fronius.

Для виготовлення заготовок зі швелера, порізки його на частини та обрізання країв під заданим кутом в технологічних процесах заготівельного виробництва застосовують стрічкову пилку по металу CORMAK BS 712A. Вона призначена для високопродуктивного різання металів, які використовуються в сучасному машинобудуванні: кольорових, нікелевих, титанових та інших сплавів, а також високолегованих та конструкційних сталей. Її також використовують для нарізання в розмір труб, фасонного профілю і суцільного прокату.

Дана пила забезпечує високу точність різання (0,1 - 1,5 мм) та відхилення від вертикалі до 0,05 мм. Завдяки малій ширині пропилу (до 1,5 мм) економиться витрата металу. Завдяки значним габаритам вона має можливість цілих різання пакетів заготовок.

Також за допомогою пили виконують різання заготовок під кутом. Кут різання регулюються від нуля до шістдесяти градусів.

Технічні характеристики пили наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики стрічкової пили CORMAK BS 712A

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	230
Кут нахилу лещат, град	45
Вага, кг	190
Тип управління	гравітаційне
Кількість швидкостей	4
Потужність	1,1
Довжина пильного полотна, мм	2360
Ширина пильного полотна, мм	20
Товщина пильного полотна, мм	0,9
Швидкість руху полотна, м/хв	22, 33, 45, 65
Діапазон повороту губок лещат	0° - 45°

Для зварювання металоконструкції використовується зварювальний апарат TPS 400i фірми Fronius. Його основні характеристики наведені в табл. 3.4 [23].

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики зварювального півавтомата TPS 400i

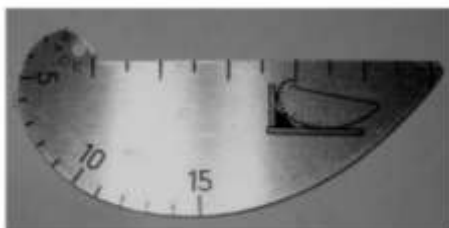
Параметр	Значення
1	2
Напруга мережі	3 x 400V
Частота сети	50-60Hz
Зварювальний струм мінімальний	3 А
Зварювальний струм максимальний	400 А
Зварювальний струм / тривалість включення	400А / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення	360А / 60%

Продовження таблиці 3.4

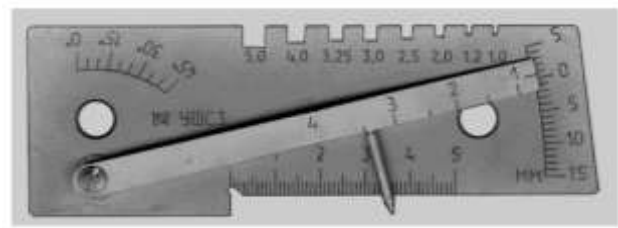
1	2
Зварювальний струм / тривалість включення	320А / 100%
Напруга холостого ходу	73 В
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри / довжина	706 мм
Габаритні розміри / ширина	300 мм
Габаритні розміри / висота	510 мм
Вага	36,45 кг

Перевірка якості зварних з'єднань на наявність дефектів виконується за допомогою візуально-вимірювального контролю (ВІК). При оцінці зварюваності сталі виходять, головним чином, з того, що метал зварного шва повинен бути суцільним. Усі утворення, які роблять зварний шов неоднорідним, прийнято вважати дефектами. Розрізняють такі види дефектів зварного шва: мікро- та макротріщини (гарячі та холодні), непровари, пори, різні включення.

Під час виготовлення секцій огороження ВІК виконують за допомогою лінійки та збільшувального скла, або ж використовують універсальні шаблони зварювальника (УШС) (рис. 3.1) [12].



а)



б)

Рисунок 3.1 – Універсальні шаблони зварювальника УШС-1 (а) та УШС-3 (б)

Але цими способами ми можемо перевірити лише дефекти, які видно на поверхні деталі. Для перевірки дефектів у зварному шві застосовують дефектоскоп.

Висновки за розділом

Технологічний процес виготовлення зварної конструкції секції мостового огороження в умовах зварного цеху підприємства передбачає виконання заготівельних, складальних, зварювальних та транспортних операцій, а також контроль якості виробів. Для виконання всіх цих операцій застосовується типове обладнання та технологічна оснастка. Процеси складання і зварювання виконуються методом механізованого зварювання в середовищі захисних газів. Підприємство володіє високопродуктивними зварювальними апаратами, які здатні забезпечити високу якість та продуктивність виробництва.

4 МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1 Загальні відомості та призначення зварювального апарата

Зварювальний апарат TPS 400i фірми Fronius для MIG/MAG зварювання побудований на основі інверторного джерела струму з повністю цифровим мікропроцесорним керуванням. Його модульна конструкція дає можливість установки різноманітних розширень системи, що забезпечує високу ступінь гнучкості. Завдяки цьому його можна адаптувати до будь-якої виробничої ситуації [23].

Весь зварювальний процес і джерело струму керуються спільним центральним блоком керування зі з'єднаним з ним цифровим модулем обробки сигналів. В процесі зварювання апарат має можливість безперервно проводити збір фактичних даних параметрів процесу і негайно реагувати на їх зміну. В результаті цього досягаються:

- висока точність процесу зварювання;
- точна відтворюваність заданих параметрів;
- чудові зварювальні характеристики.

Зварювальний апарат призначений для використання в майстернях і на промислових підприємствах як самостійно, так і в складі напіваавтоматичних і автоматичних установок для зварювання конструкційної сталі, оцинкованих сталевих листів, хромонікелевих сплавів та алюмінію. Його можна застосовувати в різних галузях машинобудування.



Рисунок 4.1 – Зварювальний апарат TPS 400i

4.2 Комплектація та будова зварювального апарата

Зварювальні джерела струму серії TPSi можуть експлуатуватися в поєднанні з різними системними компонентами і аксесуарами. Це дозволяє оптимізувати процес виконання зварювальних операцій, а також спростити переміщення і експлуатацію апарата відповідно до завдань, для виконання яких його планується використовувати.

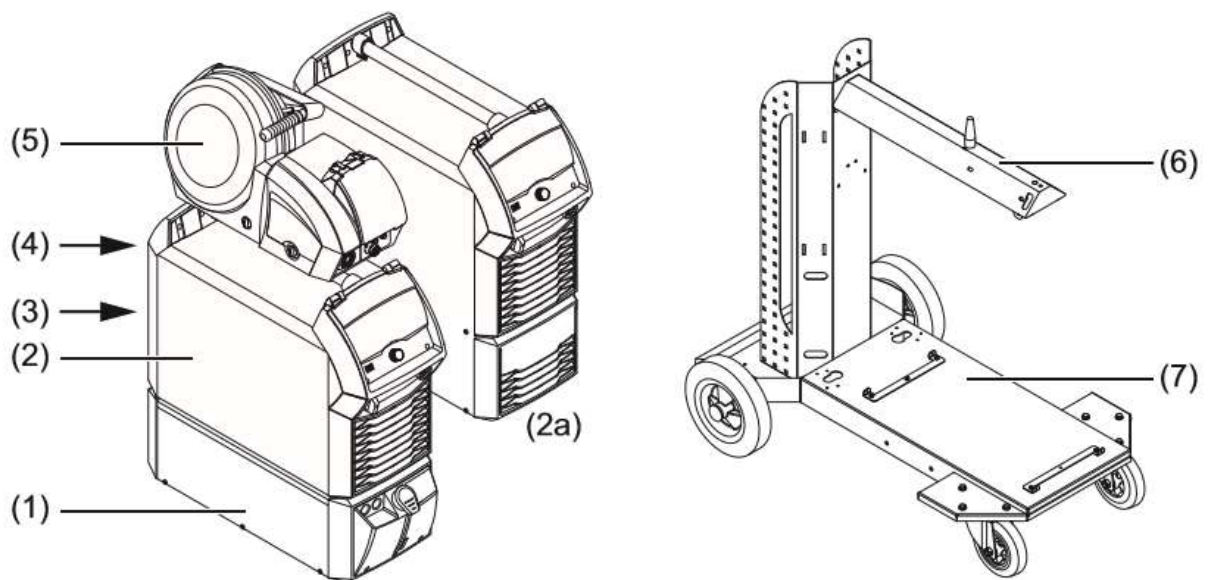


Рисунок 4.2 – Комплектація зварювальних апаратів типу TPS 400i

1 - охолоджуючий модуль; 2 - джерело струму; 2а - джерело струму TPS 400i LSC ADV; 3 – місце під'єднання роботизованих установок; 4 – місце під'єднання шланго-пакета (до 50 м)*; 5 - механізм подачі дроту; 6 - кріплення для механізму подачі дроту; 7 - візок для джерела живлення та кріплення для газового балона

* Шланго-пакети довжиною понад 50 метрів використовуються тільки в поєднанні з додатковим механізмом протяжки дроту OPT/i SpeedNet Repeater.

В комплект обладнання в тому числі входять:

- зварювальний пальник (рис. 4.3);

- кабелі заземлення та живлення електрода;
- протипиловий фільтр;
- додаткові гнізда.



Рисунок 4.3 – Пальник Fronius MTG 400i /FSC/3

Наявні на джерелі живлення роз'єми, перемикачі та інші механічні компоненти представлені на рис. 4.4.

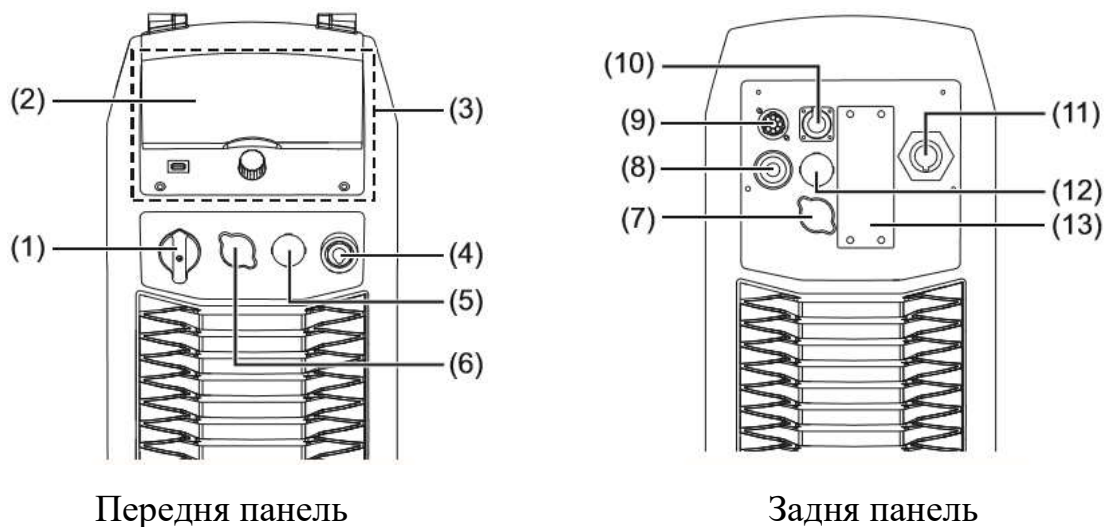


Рисунок 4.4 – Роз'єми, перемикачі та механічні компоненти джерела струму
TPS 400i

Детальна характеристика роз'ємів, перемикачів та механічних компонентів джерела струму TPS 400i наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика елементів джерела струму TPS 400i

№	Призначення
1	Вимикач включення і виключення джерела струму
2	Кришка для захисту панелі керування
3	Панель керування з дисплеєм для налаштування джерела струму
4	Гніздо (-) з байонетним з'єднанням для підключення кабелю заземлення під час MIG/MAG зварювання
5	Заглушка 2-го гнізда (+) з байонетним з'єднанням
6	Заглушка додаткового роз'єму SpeedNet
7	Заглушка додаткового роз'єму SpeedNet
8	Гніздо (+) з дрібною різьбою (силовий роз'єм) для підключення шлангового пакету для MIG/MAG зварювання
9	Гніздо SpeedNet для підключення шлангового пакету
10	Роз'єм Ethernet
11	Мережевий кабель з фіксатором
12	Заглушка 2-го гнізда (-) з байонетним з'єднанням. Друге гніздо (-) використовується для підключення шлангового пакета під час MIG/MAG зварювання з метою зміни полярності, наприклад, під час зварювання порошковим дротом.
13	Заглушка для додаткового другого роз'єму SpeedNet або інтерфейсу робота RI FB Inside / i.

4.3 Особливості керування зварювальним апаратом TPS 400i

Керування зварювальним апаратом TPS 400i здійснюється за допомогою сенсорної рідкокристалічної панелі 3 (рис. 4.5), кнопок 4 і 5 та регулятора 2. Характеристика елементів панелі керування апарата TPS 400i наведена в табл. 4.2 [19].



Рисунок 4.5 – Панель керування зварювального апарату TPS 400i

Таблиця 4.2 – Характеристика елементів панелі керування зварювального апарату TPS 400i

№	Призначення
1	Роз'єм USB для підключення USB-пристроїв (наприклад, сервісних накопичувачів і ліцензійних ключів). Роз'єм USB не має електричної розв'язки з контуром зварювального струму. Тому до нього забороняється підключати пристрої, що мають електричний контакт з іншими пристроями.
2	Регульовальна ручка з функціями повороту і натискання. Вона використовується для вибору пунктів меню, заданих значень і прокрутки списків.
3	Дисплей (сенсорний екран), призначений для: - безпосереднього керування джерелом струму за допомогою кнопок на дисплеї; - відображення значень параметрів процесу зварювання; - навігації по меню.

4	Пристрій для читання карт-ключів NFC, які використовуються для блокування / розблокування джерела струму. Також він використовується для реєстрації різних користувачів. Ключ NFC має вигляд картки або брелка.
5	Кнопка подачі дроту, яка слугує для заправки електрода в шланговий пакет зварювального пальника без подачі газу або струму.
6	Кнопка Gas-test (перевірка газу). Її використовують для установки витрати газу. При натисканні кнопки здійснюється подача газу протягом 30 секунд. Щоб припинити подачу газу раніше, натисніть клавішу ще раз.

Взаємодія панелі керування з джерелом струму здійснюється за допомогою наступних операцій:

- поворот і натискання регулювальної ручки;
- натискання кнопок;
- натискання на дисплеї.



Натискання ручки



Натискання кнопок



Натискання на дисплеї

Рисунок 4.6 – Види роботи з панеллю керування

Вибір пунктів меню, зміна значень параметрів процесу та прокрутка списків здійснюються за допомогою регулювальної ручки. Шляхом обертання ручки здійснюються вибір елементів головного меню дисплея. Під час повертання ручки вправо відбувається вибір наступного пункту в послідовності меню керування, а при обертанні ліворуч вибирають попередній пункт меню. Під час вибору вертикальних списків меню повертання вправо

використовують для прокрутки списку вниз, а обертання вліво - для його прокрутки вгору [19].

Для зміни значень регульованих параметрів процесу в бік збільшення значень повертають ручку вправо, а для їх зменшення її повертають вліво. Для плавної зміни значення регульованого параметра з малим інтервалом слід повертати ручку повільно. Швидке повертання ручки дає зміну значень з дуже великими інтервалами, що доцільно для швидкої зміни параметра.

При зміні деяких параметрів, таких як швидкість подачі дроту, величина зварювального струму, корекція довжини зварювальної дуги, нове значення застосовується автоматично без необхідності натискання на регулювальну ручку.

Шляхом натискання на ручку на панелі керування відбувається застосування обраних пунктів меню налаштувань, наприклад, відбувається зміна параметрів процесу зварювання. Також натискання дозволяє робити застосування певних значень параметрів.

При натисканні кнопки подачі дроту здійснюється подача електрода в середину шлангопакета зварювального пальника без подачі газу або зварювального струму.

При натисканні кнопки «Перевірка газу» буде здійснюватися подача газу протягом 30 секунд. При повторному натисканні кнопки до закінчення зазначеного періоду подача газу припиняється.

Шляхом натискання на дисплеї здійснюються такі дії:

- навігація по меню налаштувань;
- активація обраних функцій;
- вибір необхідних параметрів.

При натисканні (виборі) елемента на панелі він виділяється на дисплеї.

Загальний вигляд дисплея зварювального апарата представлено на рис. 4.7. Характеристика елементів дисплея панелі керування апарата TPS 400i наведена в табл. 4.3.

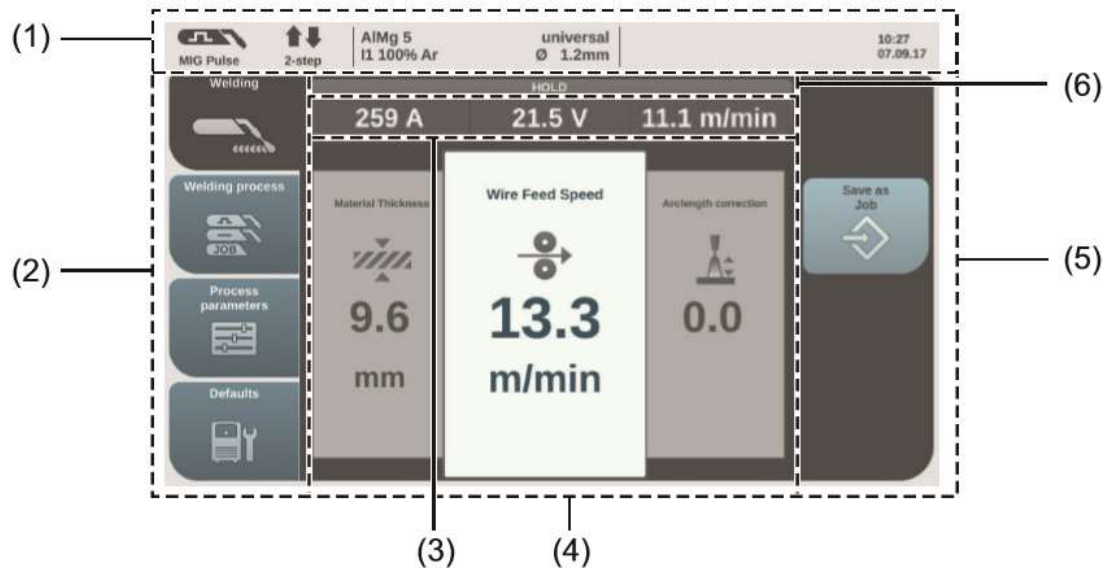


Рисунок 4.7 – Дисплей панелі керування зварювального апарату TPS 400i

Таблиця 4.3 – Характеристика елементів дисплея панелі керування апарату TPS 400i

№	Назва, призначення та функціонал елемента
1	<i>Рядок стану</i> Рядок стану містить таку інформацію: - поточний процес зварювання; - поточний режим роботи; - поточна програма зварювання (матеріал, тип захисного газу і діаметр дроту); - активні стабілізатори та спеціальні процеси; - стан підключення по Bluetooth; - зареєстровані користувачі / стан заблокованого джерела струму; - неусунуті несправності; - час і дата.
2	<i>Ліва вертикальна панель</i> На лівій вертикальній панелі розміщені наступні кнопки: - вид зварювання; - процес зварювання;

	- налаштування параметрів; - системні налаштування; Кнопки на лівій вертикальній панелі активуються при натисканні на дисплей.
3	<i>Дисплей фактичних значень</i> Зварювальний струм, зварювальна напруга, швидкість подачі дроту
4	<i>Головна область</i> У головній області відображаються параметри зварювання, графіки, списки або пункти меню. Структура головної області та відображені елементи залежать від поточної області застосування. Керування головною областю здійснюється за допомогою регулювальної ручки та натискання на дисплей.
5	<i>Права вертикальна панель</i> Залежно від обраної кнопки на лівій панелі права панель може виконувати функції: - панелі інструментів з кнопками додатків і функціональними кнопками; - панелі навігації по 2-му розряду меню. Кнопки на правій вертикальній панелі активуються при натисканні на дисплей.
6	<i>Індикатор HOLD (збереження)</i> Після кожного закінчення зварювання фактичні значення зварювального струму і напруги зберігаються і при цьому індикатор HOLD починає світитися.



Рисунок 4.8 – Рядок стану на дисплеї панелі керування зварювального апарату TPS 400i

Рядок стану розділений на окремі сегменти. У ньому наводяться такі відомості:

- 1 - поточний процес зварювання;
- 2 - поточний режим роботи апарата;
- 3 - поточна програма зварювання (матеріал, тип захисного газу, характеристика і діаметр дроту);
- 4 - індикатор активності стабілізаторів / кроку циклу CMT:



- стабілізація довжини дуги



- стабілізатор проплавлення



- крок циклу CMT (тільки в поєднанні з процесом зварювання CMT)

Якщо символ в рядку стану світиться зеленим кольором, то стабілізатор активний. Якщо ж символ світиться сірим, то стабілізатор готовий до роботи, але не використовується в процесі зварювання [19].

5 - Індикатор стану Bluetooth (тільки для сертифікованих пристроїв). Якщо цей символ світиться синім, то це значить що є активне з'єднання з пристроєм Bluetooth. Якщо ж символ світиться сірим, то пристрій Bluetooth виявлено, активне з'єднання відсутня.

6 – Індикатор працює тільки в режимі TWIN та вказує на кількість джерел струму, LEAD / TRAIL / SINGLE (ГОЛОВНЕ / ПІДЛЕГЛЕ / ОДИНАРНЕ).

7 – Вказується поточний зареєстрований користувач (при активному керуванні користувачами) або символ ключа, якщо джерело струму заблокований (наприклад, коли активований профіль «locked»)

8 – Час і дата.

Якщо під час MIG/MAG зварювання досягнуто максимальне значення зварювального струму, величина якого залежить від характеристик процесу зварювання, то в рядку стану з'явиться відповідний символ (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Рядок стану - досягнутий ліміт струму

Для отримання більш докладної інформації про значення струму необхідно вибрати дане повідомлення стану. Після цього з'явиться відповідна інформація. Для виходу з даного меню слід натиснути Hide information (Приховати інформацію).

Для усунення даного недоліку слід знизити швидкість подачі дроту, зменшити зварювальний струм та напругу зварювання, задати матеріал меншої товщини або збільште відстань між контактним наконечником і деталлю.

4.4 Налаштування зварювального апарата на заданий режим роботи

Вибір процесу зварювання і режиму роботи зварювального апарата TPS 400i фірми Fronius здійснюється завдяки взаємодії панелі керування з джерелом струму шляхом повороту і натискання регулювальної ручки, натискання кнопок або натискання на дисплеї [19].

Перед налаштування зварювального апарату на необхідний режим роботи необхідно ввімкнути джерело струму. Для цього слід підключити мережевий кабель до мережі живлення (380 В) та перевести вимикач в положення I. Після цього охолоджуючий модуль джерела живлення, підключений до системи, почне працювати.

Для вибору процесу зварювання необхідно (рис. 4.10):

- 1 – натиснути на дисплеї символ Welding process (Процес зварювання).
- 2 – натиснути на дисплей Process (Тип процесу).

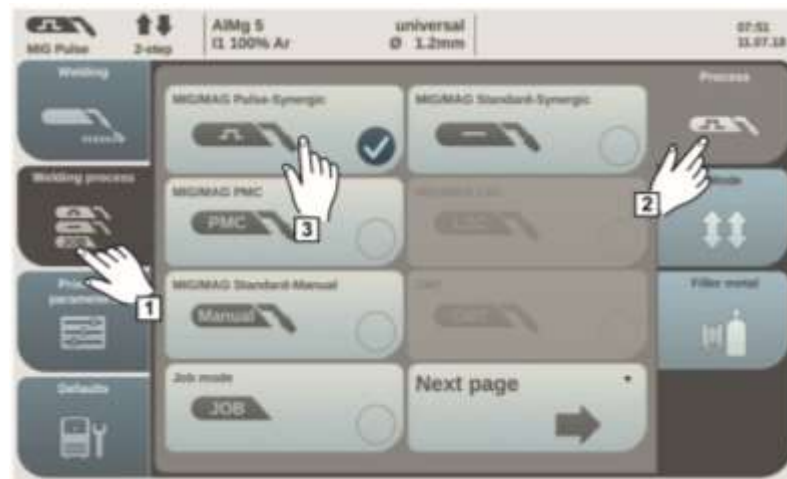


Рисунок 4.10 – Послідовність вибору процесу зварювання

Після цього на панелі керування з'явиться інформація про доступні процеси зварювання. Перелік доступних процесів може відрізнятися, в залежності від типу джерела струму і встановленого пакету функцій.

3 – натисканням на потрібний символ на дисплеї вибирають потрібний процес зварювання.

Натискання на дисплей зі стрілкою (*) дозволяє перейти на наступну сторінку меню для вибору інших способів зварювання, таких як зварювання штучними покритими електродами (MMA) або TIG зварювання.

Для вибору необхідного режиму роботи зварювального апарату необхідно (див. рис. 4.11):



Рисунок 4.11 – Послідовність вибору режиму зварювання

4 – натиснути на дисплей символ Mode (Режим), після чого на ньому з'явиться перелік доступних режимів роботи:

- 2-step mode (2-тактний режим);
- 4-step mode (4-тактний режим);
- Special 2-step mode (спеціальний 2-тактний режим);
- Special 4-step mode (спеціальний 4-тактний режим).

5 – виберіть потрібний режим роботи натиснувши на відповідний символ на дисплеї.

Для правильного вибору марки присадкового матеріалу (зварювального дроту) і виду захисного газу необхідно знати марку матеріалу деталей, які будуть зварюватися. При цьому, в механізм подачі електродного дроту має бути встановлена котушка з дротом відповідної марки та діаметру. До системи подачі захисного газу через редуктор повинен бути приєднаний балон із захисним газом, потрібним для забезпечення відповідного процесу зварювання заданих матеріалів [19].



Рисунок 4.12 – Послідовність вибору присадкового матеріалу (зварювального дроту) і захисного газу

Для вибору необхідного присадкового матеріалу необхідно (див. рис. 4.12):

- 1 – вибрати «Процес зварювання» натиснувши на дисплеї символ Welding process;
- 2 – натиснути на дисплей символ Filler metal «Присадковий метал»;
- 3 – натиснути на дисплеї символ Change material settings «Редагувати налаштування матеріалу»;
- 4 – повертаючи регулювальну ручку на панелі керування, вибрати потрібний присадний матеріал;
- 5 – зафіксувати вибраний присадковий матеріалу натиснувши кнопку Next (Далі) або регулювальну ручку;
- 6 – повертаючи регулювальну ручку, виберіть потрібний діаметр електродного дроту;
- 7 – для фіксування вибраного діаметру дроту необхідно натиснути кнопку Next (Далі) або регулювальну ручку;
- 8 – повертаючи регулювальну ручку, вибирають потрібний захисний газ;
- 9 – натиснувши кнопку Next (Далі) або регулювальну ручку фіксують вибраний захисний газ.

Якщо для обраного зварювального доступна тільки одна характеристика, набір інших характеристик, доступних для процесу зварювання, відобразатися не буде. В цьому випадку наступні кроки (з 10 по 14) будуть пропущені і відразу відкриється етап підтвердження вибору присадкового матеріалу.

- 10 – повертаючи регулювальну ручку, виберіть потрібний процес зварювання;
- 11 – щоб вибрати потрібну характеристику, натисніть регулювальну ручку (на синьому фоні);
- 12 – повертаючи регулювальну ручку, вибирають потрібну синергетичну програму;
- 13 – натисканням регулювальної ручки підтверджують обрану характеристику (на білому фоні);
- 14 – натиснувши кнопку Next (Далі) з'явиться вікно підтвердження майстра вибору присадкового матеріалу;

15 – натиснувши на кнопку Save (Зберегти) або регулювальну ручку обраний присадковий матеріал і відповідні характеристики процесу зварювання будуть збережені.

Наступним етапом після вибору необхідного способу та режиму зварювання є налаштування необхідних значень параметрів обраного процесу. Вихідними даними для цього можуть бути товщина зварюваних деталей, сила зварювального струму або швидкість подачі зварювального дроту.

Налаштування параметрів процесу зварювання здійснюють в наступній послідовності (див. рис. 4.13) [19]:



Рисунок 4.13 – Послідовність налаштування параметрів процесу зварювання

- 1 – натиснути на дисплей символ Welding «Зварювання»;
- 2 – повертаючи регулювальну ручку, вибирають параметр зварювання, який необхідно налаштувати;
- 3 – щоб змінити обраний параметр зварювання, необхідно натиснути на регулювальну ручку. Після цього на моніторі з'явиться значення регульованого параметра зварювання у вигляді горизонтальної шкали (див. приклад на рис. 4.14).

4 - повертаючи регулювальну ручку в той чи інший бік можна змінити значення обраного параметра. Нове значення параметра зварювання буде застосовуватись одразу.



Рисунок 4.14 – Налаштування швидкість подачі дроту

Якщо в режимі Synergic змінити один з таких параметрів, як швидкість подачі дроту, товщина листа, зварювальний струм або зварювальна напруга, то всі інші параметри будуть відразу ж переналаштовані.

5 – для виведення на панель керування переліку параметрів процесу зварювання необхідно натиснути на регулювальну ручку;

6 – зварювальну систему почергово налаштовують відповідно до галузі застосування або власних уподобань, встановивши відповідні параметри процесу.

Для встановлення необхідної подачі захисного газу необхідно:

- 1 – відкрити вентиль газового балона;
- 2 – натиснути на панелі керування кнопку «Перевірка газу». Розпочнеться подача газу через зварювальний пальник.
- 3 – повертаючи регулювальний гвинт редукційного клапана газового редуктора досягти результату, коли манометр покаже потрібну подачу газу;
- 4 – після налаштування повторно натискання на кнопку «Перевірка газу» подача газу припиниться.

Для початку зварювання на панелі керування необхідно натиснути символ Welding (Зварювання). На моніторі апарату відобразяться параметри налаштованого зварювання (див. рис. 4.15).



Рисунок 4.15 – Початок зварювання

Натиснувши на кнопку пальника розпочнеться процес зварювання.

Після закінчення зварювання поточні значення зварювального струму, зварювальної напруги і швидкості подачі дроту зберігаються і на дисплеї з'являється напис HOLD (очікування).

Слід пам'ятати, що параметри, задані на панелі керування системних компонентів (наприклад, механізм подачі дроту або пульт дистанційного керування), можуть бути недоступні для зміни на панелі керування джерела струму.

Висновки за розділом

Розроблена методика підготовки зварювального апарата до роботи та налаштування його на необхідні режими зварювання дозволяє зварювальнику швидко та правильно готувати технологічний процес та виконувати в подальшому його на належному рівні. Впровадження даних методик дозволяє скоротити підготовчо-заключний та допоміжний час виконання операцій зварювання.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт

До роботи зварювальником допускати осіб, які досягли 18-річного віку, навчені і атестовані на II кваліфікаційну групу з електробезпеки, пройшли медичний огляд, вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, які вже оволоділи безпечними методами виконання робіт і пройшли перевірку знань вимог охорони праці.

Зварювальник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до типових норм [15].

Перебуваючи у зварювально-монтажному цеху, необхідно:

- звертати увагу на сигнали, що подаються з вантажопідіймальних кранів, кантувачів і рухомого транспорту;
- не стояти і не проходити під вантажем, піднятим краном, а також між верстатами, колонами, огорожами, стінами будівлі і ін., близько розташованими до пересувного вантажу;
- під час руху по цеху користуватися тільки встановленими проходами, що не перелазити через конвеєри, рольганги і т.п.

Перед початком роботи обов'язково слід одягти спецодяг, перевірити справність обладнання, електропроводки, трубопроводів та газової арматури, наявність і справність заземлення.

Витяжна вентиляція повинна бути встановлена над столом для зварювання.

Про всі помічені недоліки, несправності в обладнанні і про виниклі небезпеки повідомити майстру. До роботи можна приступати тільки після усунення всіх несправностей і дозволу майстра.

Не слід дивитися на дугу незахищеними очима. Необхідно користуватися захисною маскою зі світлофільтром.

Забороняється залишати без нагляду установку з підключеними стисненим повітрям і включеним напругою.

Під час роботи забороняється тримати шланги під пахвою, на плечах або затискати ногами. Забороняється допускати зіткнення шлангів з струмопровідними проводами.

При перегрів зварювального апарата робота повинна бути зупинена до повного його охолодження.

Не допускати попадання на шланги іскор, вогню або важких предметів, а також впливу високих температур.

Забороняється приєднання до шлангів вилок, трійників і т.п. для живлення декількох апаратів.

Не допускати проведення ремонту апаратури у робочому стані. У разі несправності негайно припинити роботу і повідомити майстру.

При щоденному обслуговуванні необхідно перевіряти справність підвідних проводів; справність контактних затискачів і роз'ємів на панелі з затискачами; заземлення джерела живлення; заземлення зварної конструкції або столу.

Справність захисних засобів слід перевіряти перед кожним застосуванням. Захисні засоби, у яких закінчився термін чергового випробування, застосовувати забороняється.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно дотримуватися таких вимог [15]:

- не захащувати доступи і проходи до протипожежного інвентарю, вогнегасників, гідрантів;
- зберігати горючі та легкозаймисті речовини в спеціально відведених місцях з дотриманням заходів пожежної безпеки;
- палити тільки в спеціально відведених місцях, забезпечених протипожежним інвентарем і урнами;
- використаний обтиральний матеріал зберігати в металевому ящику з щільно закривається кришкою;
- не підходити з відкритим вогнем до шлангів і балонів;

- не чистити і не прати робочий одяг бензином і іншими легкозаймистими рідинами.

При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварій і нещасних випадків (наприклад, при пробої ізоляції в ланцюзі, протіканні шлангів), необхідно припинити роботу, відключити подачу електроенергії, вивести з небезпечної зони людей і повідомити про виниклу ситуацію керівнику робіт.

При виникненні аварії негайно вжити заходів з надання потерпілим першої допомоги, викликати машину швидкої допомоги.

При виявленні пожежі негайно повідомити в пожежну охорону по телефону 101, сповістити керівництво і до прибуття пожежних приступити до ліквідації вогнища пожежі наявними засобами в залежності від загорівся матеріалу.

При нещасному випадку надати потерпілому першу долікарську допомогу, повідомити про подію керівництву. По можливості зупинити обстановку, якщо це не призведе до аварії або травмування інших людей. При необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103 або допомогти доставити потерпілого в медичний заклад.

5.2. Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. *Статистично залежні події* - це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, може з'явитися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) події [3].

Таблиця 5.1 - Логічна модель виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час зварювання металоконструкцій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех	НУ ₁ - порушення ізоляцій. НУ ₂ - відсутність заземлення.	НД - Поява струму на корпусі зварювального апарата	НС – Контакт зварювальника з корпусом зварювального апарата	Т - Ураження струмом зварювальника	Заземлення струмоведучих частин і якісна їх ізоляція
НУ ₁ → НУ ₂ → НД→ НС→ Т					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех	НУ- відсутність або несправність штучної вентиляції робочого місця	НД - знаходження працівника в загазованій зоні без засобів захисту	НС- вдихання оператором шкідливих газів	Т – отруєння оператора шкідливими газами З – виробниче захворювання	Обладнання робочого місця штучною вентиляцією
НУ→ НД→ НС→ Т (З)					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех	НУ – підвищений рівень яскравості світла тощо	НД - робота без засобів індивідуального захисту	НС – вплив спалахів дуги на органи зору зварювальника	З – виробниче захворювання	Робота в засобах індивідуального захисту (окулярах, захисному щитку тощо)
НУ → НД→ НС→ З					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех	НУ – висока температура деталей та заготовок і обладнання	НД - робота без спеціального одягу	НС – зварювальника гарячими поверхнями	Т – отримання опіків	Робота в спецодязі та рукавицях
НУ → НД→ НС→ З					

Висновки за розділом

Дотримання наведених в розділі правил охорони праці дозволить уникнути виникнення травмонебезпечної чи аварійної ситуації, розглянутих у логічній моделі.

6 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЇ

Для оцінки економічної ефективності запропонованої технології виготовлення секції мостового огороження з використанням доступних у компанії «Кеттенверк» засобів виробництва, оцінка здійснюється на основі поточних витрат [11].

Поточні витрати на зварювальні роботи складаються з таких пунктів:

- конструкційні матеріали;
- зварювальні матеріали;
- захисний газ;
- основна зарплата зварювальників;
- відрахування до позабюджетних фондів;
- електроенергія;
- ремонт обладнання.

Затрати на необхідні конструкційні матеріали зведені в табл. 6.1

Таблиця 6.1 – Затрати на конструкційні матеріали

№	Матеріал	Потреба, кг (м.п.)	Ціна, грн/кг (грн/м.п.)	Вартість, грн
1	Швелер №8П	27,5 м	282	7755
2	Полоса стальна 60х5	0,2 м	83,5	16,7
3	Лист стальний 18 мм	0,4016 м ²	8328,4	3344,7
4	Лист стальний 8 мм	0,28 м ²	3541,7	991,7
5	Квадрат стальний 80х80	0,46 м	2468,13	1135,3
	Сума			13243,4

Витрати на зварювальні матеріали визначимо за формулою:

$$Z_{зм} = g_{нм} \cdot k_d \cdot C_d, \text{ грн} \quad (6.1)$$

де $g_{нм}$ – маса наплавленого металу, кг/виріб;

k_d - коефіцієнт, який враховує відношення ваги дроту до ваги наплавленого металу ($k_d = 1,08$);

C_d - ціна електродного дроту, ($C_d = 64,4$ грн/кг).

Маса наплавленого металу розраховується за формулою:

$$g_{\text{нм}} = V_{\text{нм}} \cdot \rho_{\text{нм}}, \quad (6.2)$$

де $V_{\text{нм}}$ – об'єм наплавленого металу, см^3 ;

$\rho_{\text{нм}}$ - густина наплавленого металу, г/см^3 ($\rho_{\text{сталі}} = 7,8 \text{ г/см}^3$).

Об'єм наплавленого металу розраховується за формулою:

$$V_{\text{нм}} = L_{\text{шв}} \cdot F_o, \quad (6.3)$$

де F_o - площа поперечного перерізу наплавленого металу, см^2 ;

$L_{\text{шв}}$ - довжина зварного шва, см.

Користуючись робочими кресленнями виробу та даними табл. 2.5, отримаємо:

$$\begin{aligned} V_{\text{нм}} &= (8911 \cdot 18) + (1040 \cdot 50) + (1168 \cdot 42) + (480 \cdot 8) = 265294 \text{ мм}^2 = \\ &= 2652,94 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

Тоді

$$g_{\text{нм}} = 2652,94 \cdot 7,8 = 20,693 \text{ кг}$$

Підставляємо вибрані значення у формулу (6.1) і отримуємо:

$$З_{\text{зм}} = 20,693 \cdot 1,08 \cdot 64,4 = 1439,24 \text{ грн}$$

Витрати на захисний газ для механізованого зварювання розрахуємо з виразу:

$$З_{\text{г}} = g_{\text{г}} \cdot t_o \cdot l \cdot Ц_{\text{г}}, \text{ грн} \quad (6.4)$$

де $g_{\text{г}}$ - норма витрати газу, ($g_{\text{г}} = 7,25 \text{ л/хв}$);

t_o - основний час на зварювання, хв/м ;

l - довжина зварного шва, ($l = 13 \text{ м/виріб}$).

$Ц_{\text{г}}$ – ціна газу, ($Ц_{\text{г}} = 25 \text{ грн/л}$).

Таблиця 6.2 – Розрахунок основного часу виконання робіт

№ шва	Довжина шва l , м	Швидкість зварювання $V_{\text{зв}}$, м/год	Час зварювання t_o , год
1	8,911	3,22	2,77
2	1,168	1,4	0,83
3	1,04	1,16	0,89
4	0,48	7,25	0,07

Підставляємо необхідні значення у (6.4) отримуємо:

$$З_Г = 7,25 \cdot 273,6 \cdot 13,03 \cdot 0,025 = 646,16 \text{ грн}$$

Визначення витрат на зароблену плату робітників визначимо за формулою:

$$З_з = \frac{C_{мз} \cdot t_{шт}}{F_m \cdot 60}, \text{ грн} \quad (6.5)$$

де $C_{мз}$ – середньомісячна заробітна плата зварювальника, ($C_{мз} = 28000$ грн);

F_m – місячний фонд часу роботи, ($F_m = 172$ годин/місяць);

$t_{шт}$ – штучний час на виконання операції, хв/виріб;

$$t_{шт} = (t_o + t_{д.з} + t_{д.о}) \cdot k_{об}, \quad (6.6)$$

де t_o – основний час зварювання, хв;

$t_{д.з}$ - допоміжний час, який залежить від довжини шва, в розрахунку на погонний метр, ($t_{д.з} = 5\%$ від t_o);

$t_{д.о}$ - допоміжний час, який залежить від зварного виробу і типу зварювального обладнання, ($t_{д.з} = 3\%$ від t_o);

$k_{об}$ - коефіцієнт, що враховує час обслуговування робочого місця та час на відпочинок та особисті потреби (при напівавтоматичному зварюванні $k_{об} = 1,12$).

$$t_{шт} = (273,6 + 13,68 + 8,21) \cdot 1,12 = 330,95 \text{ хв}$$

Підставляємо значення формулу (5.3) і отримуємо:

$$З_з = \frac{28000 \cdot 330,95}{172 \cdot 60} = 897,93 \text{ грн}$$

Витрати на відрахування до позабюджетних фондів визначимо за формулою:

$$З_в = \frac{З_з \cdot k_{відр}}{100}, \text{ грн} \quad (6.7)$$

де $k_{відр}$ – відсоток відрахувань до позабюджетних фондів від основної та додаткової заробітної плати, ($k_{відр} = 30,2 \%$).

$$З_в = \frac{897,93 \cdot 30,2}{100} = 271,17 \text{ грн}$$

Основні видані для визначення витрат на електроенергію представлені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вихідні дані для розрахунку витрат електроенергії

Параметр	Значення
Напруга зварювання, В	20
Струм зварювання, А	120
Основний час зварювання, хв/м	273,6
Довжина зварного шва, м/виріб	11,6
Коефіцієнт корисної дії джерела живлення	0,8
Вартість 1 кВт-год електроенергії	8,4

Визначення витрат на електроенергію проводиться за формулою:

$$З_e = \frac{U \cdot I \cdot t_o \cdot l}{60 \cdot \eta \cdot 1000}, \text{ грн} \quad (6.7)$$

де U – напруга зварювання, В;

I – сила зварювального струму, А;

t_o – основний час зварювання, хв/м;

l – довжина зварного шва, м/виріб;

η – коефіцієнт корисної дії джерела живлення;

$Ц_e$ – вартість 1 кВт-год електроенергії, грн.

Підставляємо значення з табл. 6.3 у формулу (6.7) і отримуємо:

$$З_e = \frac{20 \cdot 120 \cdot 273,6 \cdot 11,6}{60 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 158,69 \text{ грн}$$

Вихідні дані щодо розрахунку витрат на ремонт обладнання представлені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Вихідні дані для розрахунку витрат на ремонт обладнання

Параметр	Значення
Вартість обладнання, грн	485000
Коефіцієнт, який враховує витрати на ремонт	0,25
Штучно-калькуляційний час на виконання операції, хв/виріб	330,95
Річний фонд часу роботи обладнання, год	1973
Коефіцієнт, який враховує завантаження обладнання	0,8

Витрати на ремонт визначимо за формулою:

$$З_p = \frac{\sum_{j=1}^n C_j \cdot k_p \cdot t_{шк}}{F_p \cdot k_3 \cdot 60}, \text{ грн}, \quad (6.8)$$

де C_j – вартість обладнання, грн;

k_p – коефіцієнт, який враховує витрати на ремонт;

$t_{шк}$ – штучно–калькуляційний час виконання операції, хв/виріб;

F_p – річний фонд часу роботи обладнання, год;

k_3 – коефіцієнт, який враховує завантаження обладнання.

Підставляємо значення з табл. 5.2 у вираз (5.6) та отримуємо:

$$З_p = \frac{485000 \cdot 0,25 \cdot 330,95}{1973 \cdot 0,8 \cdot 60} = 423,72 \text{ грн},$$

Усі поточні витрати на виготовлення борта та сумарна собівартість зварювання зібрані в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 - Результати розрахунків витрат та собівартості зварювання

Параметр	Значення
Конструкційні матеріали, грн	13243,4
Зварювальний дріт, грн	1439,24
Захисний газ, грн	646,16
Основна зарплата, грн	897,93
Відрахування в позабюджетні фонди, грн	271,17
Електроенергія, грн	158,69
Ремонт обладнання, грн	423,72
Сумарна собівартість, грн	17080,31

Висновки за розділом

Проведений техніко-економічний аналіз процесу виготовлення секції мостового огороження показав, що із врахуванням вартості матеріалів собівартість реалізації запропонованої технології становить 17080,31 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Поряд з основним видом продукції ТзОВ "Kettenwerk" розпочала виготовлення збірних металевих мостових конструкцій, які є ідеальним рішенням під час ремонту пошкоджених та наведення нових мостів. З огляду на те, що війна в нашій країні призвела до руйнування тисяч мостів та переправ, дана продукція підприємства є важливою у питанні відновленні інфраструктури країни та допомогти у відбудові незалежної держави.

Для виготовлення зварної металоконструкції використовуються стандартний прокат. Матеріали деталей, з яких виготовляється огороження, мають достатню міцність, хорошу зварюваність та не потребують спеціальних методів їх обробки.

Запропонована технологія виготовлення зварної конструкції секції мостового огороження в умовах зварного цеху підприємства передбачає використання типового обладнання та технологічної оснастки. Процеси складання і зварювання виконуються методом механізованого зварювання в середовищі захисних газів, для реалізації яких підприємство володіє високопродуктивними зварювальними апаратами, що здатні забезпечити високу якість та продуктивність виробництва.

Розроблена методика підготовки зварювального обладнання до роботи та налаштування його на необхідні режими зварювання дозволяє зварювальнику швидко та правильно готувати технологічний процес та виконувати в подальшому його на належному рівні. Впровадження даних методик дозволяє скоротити підготовчо-заклучний та допоміжний час виконання операцій зварювання.

Проведений техніко-економічний аналіз процесу виготовлення секції мостового огороження показав, що без врахування вартості матеріалів затрати на реалізацію запропонованої технології складають 22,5 % від сумарної собівартості виробництва при сумарній собівартості 17080,31 грн.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Березін Л.Я., Хоменко М.М., Карпенко А.С. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2003. 142 с.
2. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.
3. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
4. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
5. Драган С.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. – 68 с.
6. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 48 с.
7. ДСТУ 3436-96. Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент. [Чинний від 1999-01-01]. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://stalservis.ua/images/pdf/shveller-dstu-3436-961.pdf>.
8. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дріт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT): [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838.
9. ДСТУ 8539:2015 Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. [Електронний ресурс].

Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64876

10. ДСТУ 8540:2015 Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент. [Чинний від 2016-07-01]. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64878.

11. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. / Редкол.: ...С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. Київ: Видавничий центр "Академія", 2000. 864 с.

12. Камель Г. І., Гасило Ю. А., Івченко П. С., Романюк Р. Я. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2018. - 241 с.

13. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник. Київ: Арістей, 2006. – 272 с.

14. Лист гарячекатаний. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.maxima-metall.com.ua/ua/lystovyi-prokat/lyst-hariachekatanyi>.

15. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. - 557 с.

16. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Вища школа, 1993. 414 с.

17. Швець О.П. Вивчення обладнання для механізованого зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG): методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2018 р. 19 с.

18. Швець О.П., Стукалець І.Г. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" Львів: ЛНАУ, 2023. 56 с.

19. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: Методичні рекомендації. до виконання практичної роботи на тему «Вибір процесу зварювання і режиму роботи зварювальних апаратів Fronius серії TPSi» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2022. - 8 с.

20. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: Методичні рекомендації. до виконання практичної роботи на тему «Підготовка зварювальних апаратів Fronius серії TPSi до роботи» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2022. - 18 с.

21. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Зварювання сталей в середовищі вуглекислого газу» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування». Львів: ЛНАУ, 2020. - 10 с.

22. Шевченко М.П. Методичні вказівки по розрахунку режимів зварювання з дисципліни «Технологічні основи зварювання плавленням» для спеціальності 5. 05050401 «Зварювальне виробництво». Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ», 2019. 28 с.

23. TPS 320i / 400i / 500i / 600i / TPS 400i LSC. Джерело живлення. Інструкція з експлуатації. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instructions/42,0426,0114,UK.pdf>

24. <https://kettenwerk.com.ua/>