

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ
КОЛЕДЖ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ»

Відділення транспорту та інженерної механіки

Циклова комісія зварювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

фахового молодшого бакалавра

на тему: Проект вдосконалення технологічного процесу виготовлення
трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$

Виконав: студент II курсу, групи ПМ-422ск
Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Руслан БУРИК

Керівник

Микола ПІДГУРСЬКИЙ

Рецензент

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ»

Відділення	транспорту та інженерної механіки
Циклова комісія	зварювальних технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень	фаховий молодший бакалавр
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова циклової комісії
Марія ДРАНІВСЬКА

« 11 » травня 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

БУРИКУ Руслану Володимировичу

Тема роботи Проект вдосконалення технологічного процесу виготовлення
трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$

Керівник роботи ПІДГУРСЬКИЙ Микола Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджений наказом від 20. 04. 2026 року № 4/9-200

Термін подання студентом роботи 19.06.2026р.

Вихідні дані до роботи креслення виробу, базовий технологічний процес
виготовлення виробу

Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції зварного виробу

1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу

1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу (зварної конструкції)

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу
(конструкції) та постановка задач на виконання кваліфікаційної роботи

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технічне обґрунтування вибраного способу зварювання

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

2.3 Вибір та розрахунок параметрів режиму зварювання

2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування

2.5 Вибір методу контролю якості виробу

2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення зварного
виробу (конструкції)

2.7 Нормування технологічного процесу виготовлення зварного виробу
(конструкції) і витрат матеріалів та електроенергії

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування вибору типу пристосувань, які застосовуються при
виготовленні виробу чи конструкції

3.2 Опис роботи зварювального пристосування

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розрахунок кількості обладнання

4.2 Розрахунок кількості працівників

4.3 Визначення витрат і вартості основних матеріалів

4.4 Розрахунок фонду оплати праці

4.5 Калькуляція собівартості деталі

4.6 Розрахунок суми капіталовкладень для розробленого технологічного процесу та його економічної ефективності

4.7 Основні техніко-економічні показники розробленого технологічного процесу

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз нормативно-правових документів, що регламентують дотримання вимог охорони праці на підприємстві

5.2 Правила охорони праці та пожежної безпеки під час виготовлення трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$

Перелік графічного матеріалу

1. Технологічний процес виготовлення трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$ – 1.0 (форм. А1)

2. Складальне креслення трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$ – 1.0 (форм. А3)

3. Складальне креслення зварювального апарата АД-142 – 1.0 (форм. А1)

4. Складальне креслення рами візка зварювального апарату АД-142 – 1.0 (форм. А1)

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Наталія ІГНАТОВА, викладач	(підпис)	(підпис)
		(дата)	(дата)
Охорона праці	Геннадій ГОРЯЧЕК, викладач	(підпис)	(підпис)
		(дата)	(дата)

Дата видачі завдання 18.05.2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний розділ	21.05.2026	
2	Технологічний розділ	25.05.2026	
3	Конструкторський розділ	03.06.2026	
4	Організаційно-економічний розділ	08.06.2026	
5	Охорона праці	11.06.2026	
6	Графічна частина	15.06.2026	
7	Перевірка на плагіат	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Руслан БУРИК

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Микола ПІДГУРСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Процеси зварювання відіграють важливу роль при виготовленні металевих конструкцій будь-якого рівня складності. Особливістю технологічного процесу виготовлення трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$ є вдосконалення вже наявного заводського варіанту зі зміною способу зварювання, обладнання, матеріалів та інших виробничих операцій. В загальному технологія виготовлення конструкції представлена заготівельними, складальними, зварювальними, опоряджувальними, допоміжними та контрольними операціями. Виконання економічних розрахунків дозволяє оцінити можливість доцільності застосування даного технологічного процесу у виробництві. Дотримання вимог техніки безпеки та охорони праці займають важливе місце у технологічних процесах виготовлення конструкцій, оскільки від цього безпосередньо залежить здоров'я працівників підприємства.

ANNOTATION

Welding processes have an important part in the manufacture technology of metal constructions. Complication of metal constructions can be of different levels. The feature of technological process are the improvement of factory process of pipeline $\varnothing 1020 \times 16$ manufacturing. The main improvements are change welding process, equipment, materials and others operations of manufacture. The technological process of constructions manufacturing are present of technological operations, such as procurement, assembling, welding, equipment, additional and control. The economic calculations allow estimating the possibility of practical applying the technological process. The safety equipment and fire protection is consider in this report yet.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Опис конструкції зварного виробу	8
1.1.1 Технічні вимоги до зварного виробу	10
1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу	10
1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції	14
1.3.1 Вимоги до матеріалів і напівфабрикатів	14
1.3.2 Вимоги до шорсткості, геометричності форми та розмірів	14
1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу	15
1.3.4 Вимоги до складання	15
1.3.5 Вимоги до якості зварної конструкції	16
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварної конструкції та постановка задач на виконання кваліфікаційної роботи	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	23
2.1 Технічне обґрунтування вибраного способу зварювання	23
2.2 Вибір зварювальних матеріалів	25
2.3 Вибір та розрахунок параметрів режиму зварювання	26
2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування	28
2.5 Вибір методу контролю якості виробу	33
2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення зварної конструкції	36
2.6.1 Заготівельні операції	37
2.6.2 Складальні операції	37
2.6.3 Складально-зварювальні операції	38

					<i>КР.422.05.00.00.000.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Бурик				Проект вдосконалення технологічного процесу виготовлення трубопроводу Ø1020х16 Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Підгурський						4	81
Реценз.						ВСП «ТФК ТНТУ», гр. ПМ-422ск		
Н. Контр.	Залуцька							
Затв.	Дранівська							

2.6.4	Опоряджувальні операції	.	.	.	.	.	40
2.6.5	Допоміжні операції	.	.	.	.	.	40
2.6.6	Контроль якості	.	.	.	.	.	40
2.7	Нормування технологічного процесу виготовлення зварної						
	конструкції і витрат матеріалів та електроенергії	.	.	.	.	.	41
3	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	.	.	.	.	.	43
3.1	Обґрунтування вибору типу пристосувань, які застосовуються при						
	виготовленні конструкції.	.	.	.	.	.	43
3.2	Опис роботи зварювального пристосування	.	.	.	.	.	47
4	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	.	.	.	.	.	52
4.1	Розрахунок кількості обладнання	.	.	.	.	.	52
4.2	Розрахунок кількості працівників	.	.	.	.	.	56
4.3	Визначення витрат і вартості основних матеріалів	.	.	.	.	.	59
4.4	Розрахунок фонду оплати праці	.	.	.	.	.	60
4.5	Калькуляція собівартості виробу	.	.	.	.	.	64
4.6	Розрахунок суми капіталовкладень для розробленого						
	технологічного процесу та його економічної ефективності	.	.	.	.	.	65
4.7	Основні техніко-економічні показники розробленого						
	технологічного процесу	.	.	.	.	.	66
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	.	.	.	.	.	69
5.1	Аналіз нормативно-правових документів, що регламентують						
	дотримання вимог охорони праці на підприємстві	.	.	.	.	.	69
5.2	Правила охорони праці та пожежної безпеки під час виготовлення						
	трубопроводу Ø1020x16	.	.	.	.	.	74
	ВИСНОВКИ	.	.	.	.	.	77
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	.	.	.	.	.	78
	ДОДАТКИ	.	.	.	.	.	81

ВСТУП

Зварювання належить до ключових технологічних процесів у металургійній обробці. Його широке застосування у промисловості зумовлює незамінність цього методу при виготовленні складних конструкцій, таких як турбіни, котли, літаки, атомні реактори та інші технічні об'єкти.

Зварювальники відіграють ключову роль у виготовленні технологічного устаткування, адже саме від якості їхньої роботи значною мірою залежить кінцевий результат виробництва.

У сучасних виробничих умовах зварювальні процеси сприяють суттєвому підвищенню якості виконуваних робіт, зменшенню матеріалоемності конструкцій та ефективному використанню ресурсів. На сьогодні майже половина металопрокату, що виробляється в країні, проходить обробку саме шляхом зварювання, що підтверджує його провідну роль у металургійній галузі.

Розвиток зварювального виробництва, впровадження прогресивних способів зварювання підвищують вимоги щодо рівня підготовки зварників. Підвищення теоретичних знань і практичних навичок у роботі, засвоєння нових методів і прийомів зварювання при сучасному рівні виробництва є одним із основних завдань освоєння й впровадження у виробництво досягнень науки і техніки в галузі зварювання [1, с. 3, 4].

Зварювальна техніка відіграє ключову роль у реалізації масштабних виробничих завдань. Вона є незамінною при будівництві магістральних трубопроводів із труб великого діаметра, а також у виготовленні габаритних вузлів машин і обладнання, що використовуються в енергомашинобудуванні, суднобудуванні, важкому та спеціальному машинобудуванні, а також в інших галузях промисловості.

У сучасній промисловості розвиток зварювального виробництва передбачає реалізацію комплексу заходів, спрямованих на підвищення рівня механізації та автоматизації процесів. Це включає створення і впровадження

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комплексно-механізованих ділянок, автоматизованих постів керування, розробку та серійний випуск нових типів обладнання – зокрема промислових роботів – а також удосконалення неруйнівних методів контролю зварних з'єднань. Важливими напрямками є розвиток спеціалізованого виробництва зварювальних матеріалів і техніки, а також системне покращення умов праці для персоналу.

У даній роботі здійснено розробку технологічного процесу механізованого зварювання неповоротних стиків труб великого діаметра, що має важливе практичне значення для будівельної та монтажної галузі.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції зварного виробу

На стадії проектування технологічного процесу проводять аналіз декількох варіантів і вибирають з них найбільш оптимальний. У випадку необхідності проводять розрахунки трудомісткості виготовлення, металоємкості і інших показників. Не завжди можливо знайти варіант, який має суттєві переваги над іншими, тоді вибір проводять на основі того показника, який в даному випадку є основним [2, с.5].

У цьому випадку труби великого діаметра застосовуються для відведення конденсованої пари з турбіни з метою проміжного охолодження. Основним елементом є труба розміром 1020×16 мм, встановлена під нахилом 10–15°. До конструкції також входять лінзові компенсатори, відводи, направляючі та підвісні опори.

Трубопровід формується з окремих секцій довжиною до 3000 мм, виготовлених зі сталевих листів товщиною 16 мм, які з'єднуються кільцевими зварними швами. У зонах найбільшого прогину встановлюються роликові або ковзаючі опори, що кріпляться до труби за допомогою бандажів або шляхом зварювання, забезпечуючи підтримку конструкції.

Ділянки трубопроводу, розташовані після відводів і засобів сепарації пари, зазнають найбільшого корозійного впливу. Для забезпечення надійності конструкції ці зони регулярно перевіряють за допомогою неруйнівного контролю, зокрема ультразвукової дефектоскопії. Якщо виявляється зменшення товщини стінки труби нижче допустимого рівня, пошкоджені фрагменти підлягають заміні.

Під час складання трубопроводу важливо дотримуватися точності лінійних розмірів і витримувати заданий нахил, який становить 0,004 мм на кожен метр довжини. Стикові з'єднання повинні виконуватись відповідно до

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

вимог проектної документації, а допустиме відхилення по внутрішній поверхні не повинно перевищувати 1 мм з кожного боку.

Технічні вимоги на виготовлення певного типу конструкцій містять перелік вимог, які ставляться до матеріалів, обладнання, а також до виконання технологічних і контрольних операцій. Технічні вимоги, згідно рекомендацій повинні відповідати вимогам технічного завдання і стандартів на даний тип конструкції [2, с.9].

Приклад виконання зварювання трубопроводу показано на рисунку 1.1.

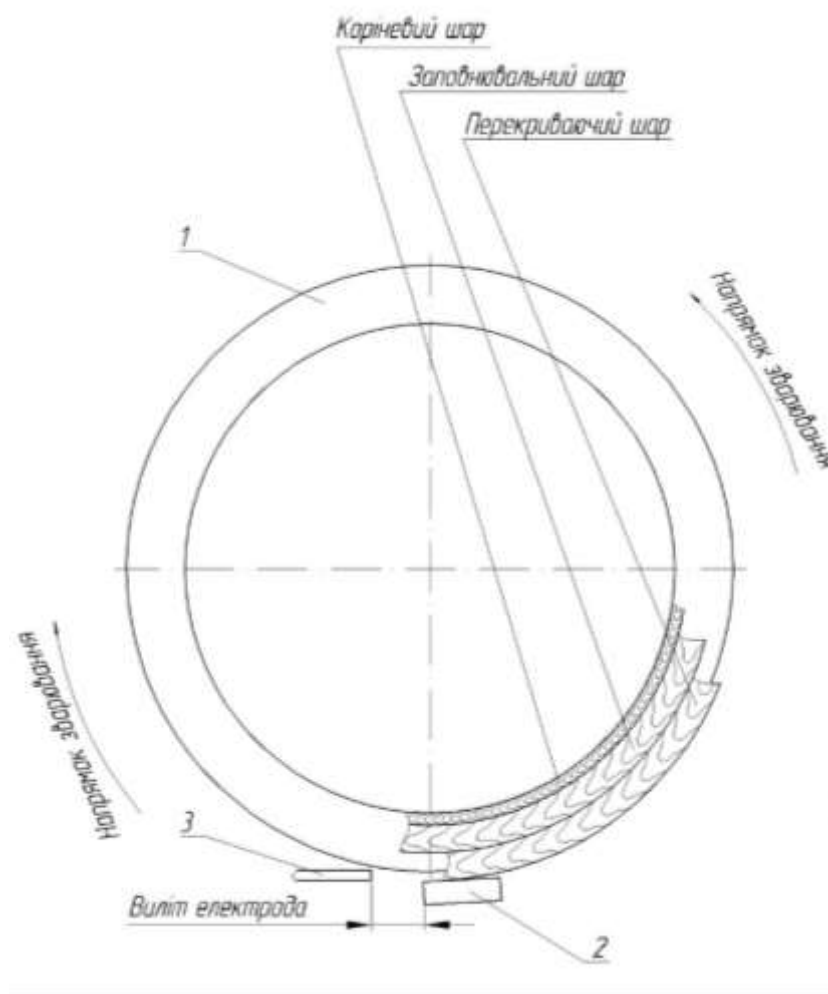


Рисунок 1.1 – Приклад виконання зварювання трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$

1 – труба, 2 – формувальний повзун, 3 – зварювальний дріт

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.1.1 Технічні вимоги до зварного виробу

Усі елементи трубопроводів мають виготовлятися з точним дотриманням технологічних процесів та відповідно до встановлених вимог.

У процесі виготовлення виробу необхідно дотримуватись низки технічних вимог, що забезпечують якість і надійність конструкції. Зокрема, слід постійно підтримувати встановлені параметри режиму зварювання, не допускати механічних пошкоджень, дефектів покриття та слідів корозії. Виріб не повинен містити тріщин, а розміри заготовок мають відповідати кресленням. Під час складання конструкції перед зварюванням необхідно усунути всі місцеві збільшені зазори.

Технічні умови мають відповідати положенням технічного завдання та чинним стандартам для даного виду продукції. При їх формуванні необхідно враховувати накопичений досвід у сфері проектування, виготовлення та експлуатації аналогічних виробів.

Зварні шви необхідно виконувати відповідно до технологічного порядку, зазначеного в кресленнях. У разі виявлення тріщин у швах на визначених ділянках, пошкоджене місце слід ретельно очистити, провести візуальний огляд за допомогою лупи, після чого вирубати дефектну частину і накласти новий шов.

1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу

Під час виготовлення виробу враховуються ключові властивості матеріалу, необхідні для забезпечення його міцності, надійності та технологічності.

Технологічною вважається така конструкція, яка забезпечує просте, швидке та економічно ефективне виготовлення виробу при збереженні необхідних показників міцності, стійкості, витривалості та інших експлуатаційних характеристик. Досягнення високого рівня технологічності є

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головною метою технологічного опрацювання конструкцій, що здійснюється на етапі підготовки виробництва.

У машинобудуванні застосовуються два основні методи оцінки конструкції на технологічність. Перший передбачає аналіз технічної документації вже після завершення етапу проектування та розробки робочого проекту виробу. На цьому етапі здійснюється перевірка відповідності документації вимогам технологічності, після чого вносяться лише незначні корективи, які практично не змінюють конструктивні рішення. Оскільки конструкція вже сформована, ефективність такого підходу є обмеженою.

Другий метод відпрацювання технологічності конструкції передбачає її безперервну оцінку, яка розпочинається з моменту зародження проекту виробу і триває на всіх етапах його проектування та виготовлення. Такий підхід дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні технологічні труднощі, оптимізувати конструктивні рішення, скоротити терміни підготовки виробництва та підвищити загальну якість виробу.

Оскільки виріб являє собою трубу, призначену для роботи під тиском, до матеріалу висуваються підвищені вимоги щодо механічної міцності. У цьому випадку доцільно застосовувати низьколеговану сталь, яка поєднує високу міцність із відносно малою масою. Такий вибір сприяє зниженню загальної ваги конструкції, підвищенню її надійності та забезпечує кращу якість зварних з'єднань завдяки стабільним зварювальним властивостям матеріалу.

Низьколеговані сталі характеризуються високими механічними властивостями при нормальних температурах, стійкістю до старіння та здатністю зберігати експлуатаційні якості в умовах знижених температур – до 500 °С.

В Україні промисловість виробляє низьколеговані сталі, призначені для листових конструкцій, котлів, корпусів посудин і трубопроводів. До них належать марки 09Г2, 14Г2, 10Г2СД, 14ХГС, 16ГС, 17ГС, 14Г2Д, які

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

застосовуються у машинобудуванні для виготовлення конструкцій, що працюють при високих або змінних температурах. Завдяки своїм властивостям ці сталі також широко використовуються в будівництві для створення зварних конструкцій, стійких до вібраційних і динамічних навантажень. Механічні характеристики сталі 09Г2С наведені в таблиці 1.1, а її хімічний склад – у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі 09Г2С [3]

Стан постачання	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5 , %
	МПа		
	не менше		
Прокат сортовий і фасонний	345	490	21

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С, % [3]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
			не більше					
0,12	1,3-1,7	0,5-0,8	0,040	0,035	0,30	0,30	0,30	0,08

Порівняно з маловуглецевими сталями, низьколеговані сталі демонструють вищу схильність до утворення гартувальних структур у зоні зварного шва та прилеглих ділянках при інтенсивному охолодженні.

Зі збільшенням погонної енергії зварювання спостерігається значне зменшення утворення мартенситу, бейніту та залишкового аустеніту. Водночас, надмірна кількість гартувальних структур у зоні шва та прилеглих ділянках негативно впливає на пластичність металу та його опір руйнуванню. Тому для низьколегованих сталей необхідно дотримуватись обмеженого діапазону погонної енергії, що дозволяє зберегти оптимальні механічні властивості зварного з'єднання.

Низьколеговані сталі характеризуються зниженою стійкістю до утворення кристалізаційних тріщин, що може негативно впливати на якість зварних з'єднань. Щоб мінімізувати ризик їх виникнення, слід обирати матеріали з низьким вмістом вуглецю та сірки, а також ретельно контролювати послідовність виконання зварних швів, дотримуючись технологічних вимог на кожному етапі зварювання.

Рівноміцність металу шва порівняно з основним металом досягається шляхом легування, яке здійснюється двома шляхами: за рахунок елементів, що переходять із основного металу під час зварювання, та за допомогою легуючих компонентів, внесених через зварювальні матеріали.

Слід підкреслити, що наявність марганцю у значній кількості як легуючого елемента не створює перешкод для процесу зварювання.

Еквівалент вуглецю $C_{\text{екв}}$ – це умовний показник, який дозволяє оцінити схильність сталі до утворення гартувальних структур і тріщин при зварюванні. Він враховує вміст вуглецю та легуючих елементів, що впливають на структуру металу.

Типова формула для розрахунку еквіваленту вуглецю, [4, с.127]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{10} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4} + \frac{\text{Cu}}{15} + \frac{\text{V}}{14} + 5B, \quad (1.1)$$

$$C_{\text{екв}} = 0.12 + \frac{1.7}{6} + \frac{0.8}{24} + \frac{0.3}{10} + \frac{0.3}{5} + \frac{0.3}{15} + 5B = 0.54\%$$

Прийнято вважати, що якщо еквівалент вуглецю $C_{\text{екв}} < 0,45\%$, то сталь належить до категорії добре зварюваних матеріалів. У нашому випадку значення $C_{\text{екв}}$ становить від 0,45 до 0,54%, тому сталь 09Г2С класифікується як така, що зварюється задовільно, але потребує застосування попереднього підігріву перед зварюванням.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

1.3.1 Вимоги до матеріалів і напівфабрикатів

Метал трубопроводу має перебувати в нормалізованому або покращеному стані, при цьому конкретний вид термічної обробки визначається виробником.

Якщо при цьому зберігаються необхідні механічні властивості, допускається виготовлення виробу без проведення термічної обробки. Зварюваність сталі забезпечується за рахунок відповідної технології її виробництва та оптимального хімічного складу.

1.3.2 Вимоги до шорсткості, геометричності форми та розмірів

Міцність деталей значною мірою визначається станом їх поверхні, зокрема рівнем шорсткості. При змінних навантаженнях руйнування часто виникає через концентрацію напружень у місцях нерівностей.

Основні вимоги до якості поверхні включають:

- 1) зменшення шорсткості знижує ймовірність утворення тріщин, спричинених втомою металу;
- 2) необхідно точно дотримуватись розмірів деталей згідно з кресленнями, у межах встановлених допусків;
- 3) низька шорсткість також важлива для естетичного вигляду виробу та зручності очищення поверхонь.

Під час виготовлення трубопроводу та на етапі його проектування необхідно забезпечити точне дотримання геометричних розмірів, форми виробу та чистоти поверхонь. Це досягається шляхом встановлення таких вимог:

- розробка конструкції з урахуванням виробничих особливостей і технологічних можливостей;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- правильне оформлення всіх зварних з'єднань з урахуванням способу їх обробки, форми підготовки кромки і допусків на розміри;
- дотримання технологічного процесу для запобігання виникненню внутрішніх напружень і деформацій виробу.

1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу

Підготовка кромки для зварювання може здійснюватися як механічним способом, так і методом газополуменевої обробки. Рекомендований кут обробки становить 30° , при цьому допустиме відхилення не повинно перевищувати $\pm 3^\circ$. Основний метал перед зварюванням необхідно очистити від іржі, мастила, окалини та інших забруднень. При цьому допускається зачищення не всієї поверхні деталей, а лише зони кромки шириною 50–60 мм. Особливу увагу слід приділити очищенню торців зварюваних кромки, яке виконується механічним способом. Оптимальний зазор між кромками – 3 мм.

Під час прихоплення елементів трубопроводу слід дотримуватись таких норм: довжина прихоплювальних швів має бути в межах 20–120 мм, а інтервал між ними – 400–600 мм. Їх поперечний переріз не повинен перевищувати третину перерізу основного зварного шва. Для виконання прихоплень застосовуються електроди типу УОНІ-13/55. Після зварювання ділянки прихоплення необхідно ретельно очистити від залишків шлаку та зварювальних бризок.

1.3.4 Вимоги до складання

Допустимі відхилення геометричних параметрів труб від проектних значень встановлюються такими нормами:

- по довжині окружності – не більше 3 мм на кожен метр
- овальність – у межах $\pm 0,2 \dots 0,5\%$;
- відхилення торців від перпендикуляра до осі трубопроводу – до $\pm 1,5$ мм;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

г) відхилення по товщині стінки – допускається $\pm 0,5$ мм відносно внутрішнього діаметра.

1.3.5 Вимоги до якості зварної конструкції

У зварних з'єднаннях заборонено наявність таких дефектів, як тріщини, напливи, несплавлення, підрізи, а також пропалювання металу в місцях контакту електрода з поверхнею деталей, що зварюються.

Напливи являють собою незаварені кратери, які не повинні виходити на основний метал, оскільки це порушує цілісність з'єднання.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварної конструкції та постановка задач на виконання кваліфікаційної роботи

Процес виготовлення трубопроводу здійснюється із застосуванням сучасних технологій підготовки, складання та зварювання. До основних технічних вимог належить точне дотримання геометричних параметрів елементів і вузлів відповідно до креслень, з урахуванням встановлених допусків.

Повний цикл виготовлення трубопроводу включає чотири основні стадії:

- а) підготовка;
- б) складання;
- в) зварювання;
- г) контроль якості.

Підготовчий етап у процесі виготовлення трубопроводу охоплює такі дії:

- а) транспортування елементів трубопроводу до місця монтажу та їх розвантаження;
- б) обробка і підготовка кромки для подальшого зварювання;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в) монтаж окремих ділянок трубопроводу у відповідності до проектного положення з перевіркою геометрії осі в горизонтальній і вертикальній площинах;

г) виконання прихоплювальних швів методом електрозварювання;

з) встановлення зварювального обладнання для проведення основних робіт.

Ключовими вимогами до зварних з'єднань є досягнення рівномірності з основним металом і забезпечення високої якості швів. Це передбачає повну відсутність дефектів як у самих зварних швах, так і в зоні термічного впливу.

Режими зварювання мають гарантувати належну якість з'єднань відповідно до санітарних норм. Вони визначаються індивідуально для кожного типу шва з урахуванням товщини деталей, марки сталі, що використовується, а також характеристик обраних зварювальних матеріалів.

Під час виготовлення трубопроводу використовується метод автоматичного електродугового зварювання плавким електродом під шаром флюсу. Як зварювальні матеріали застосовують дріт марки Св-08 діаметром 3 мм у поєднанні з флюсом типу АН-348А.

Процес зварювання здійснюється за допомогою автомата АДФ-1004, конструкція якого включає кілька ключових вузлів: зварювальну головку, механізм переміщення, систему коригування, пульт керування, касету з електродним дротом, а також бункер для флюсу.

Зварювальна головка виконує функцію подачі електродного дроту в область дуги та забезпечує підведення зварювальної напруги. Під час роботи вона стабілізує силу струму і напругу дуги або змінює їх відповідно до заданих параметрів програми.

Механізм подачі електродного дроту є ключовим елементом зварювальної головки. Він включає електродвигун, редуктор і систему подаючих роликів. Регулювання швидкості подачі дроту здійснюється за допомогою змінних шестерень.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювальний автомат АДФ-1004 оснащується випрямлячем типу ВДУ-1001, що дозволяє отримувати стабільні зовнішні характеристики струму.

Зварювання цього виробу виконується під шаром флюсу із застосуванням постійного струму зворотної полярності, при довжині вильоту електродного дроту 30–40 мм. Такий режим забезпечує стабільність процесу, ефективний захист зони зварювання, а також формує якісний і рівномірний шов.

У стандартному варіанті технології зварювання передбачається виконання шести кільцевих швів, кожен з яких здійснюється за окремим методом відповідно до конструктивних особливостей виробу (див. рисунок 1.2).

Кореневий шов може бути виконаний за допомогою напівавтоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу або ручного дугового зварювання. Внутрішній шов зварюється напівавтоматичним способом із застосуванням порошкового дроту.

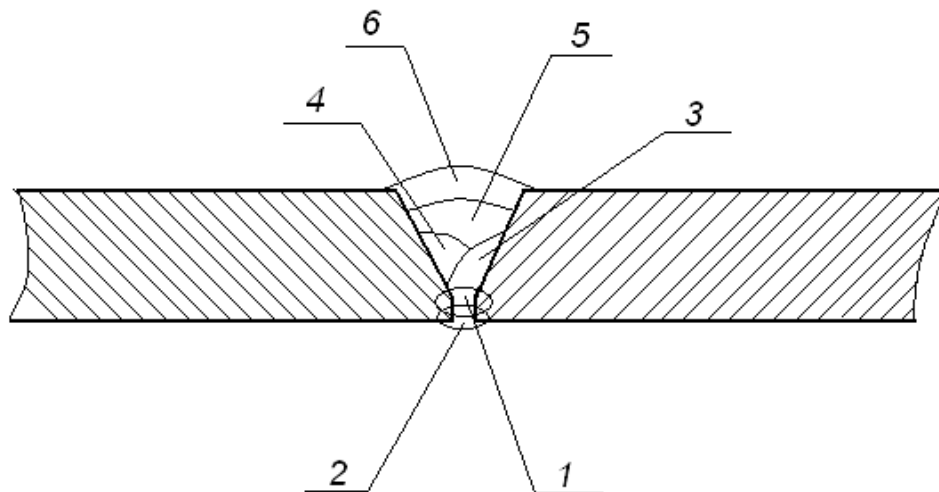


Рисунок 1.2 – Порядок виконання швів

Шви третій, четвертий, п'ятий і шостий виконуються методом автоматичного зварювання під шаром флюсу. Усі з'єднання формуються в процесі обертання труби, що забезпечує рівномірність шва (див. рисунок 1.3).

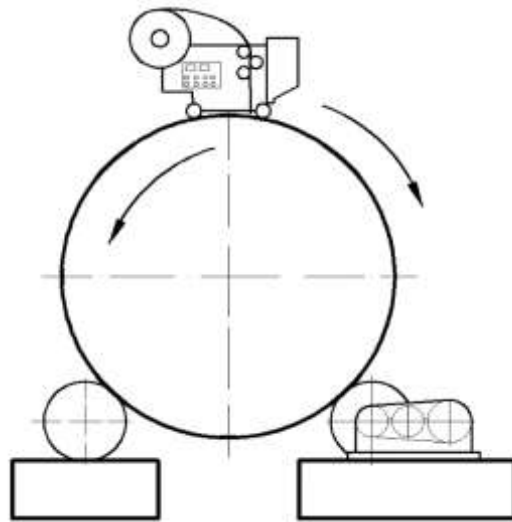


Рисунок 1.3 – Схема виконання швів при обертанні труби

Через це виконання інших операцій у процесі виготовлення стає неможливим. До того ж, для фіксації зварювальних тракторів потрібні спеціальні портали, що призводить до збільшення вартості та ускладнення виробничого процесу.

Варто зазначити, що підготовчі роботи перед зварюванням займають набагато більше часу порівняно з самим процесом зварювання.

Контроль якості зварних з'єднань трубопроводу здійснюється відповідно до встановлених стандартів і включає три основні етапи:

1. Попередній контроль, проводиться до початку зварювальних робіт і охоплює перевірку:

- кваліфікації зварювальника (наявність допусків, сертифікатів);
- технічного стану зварювального обладнання, апаратури та оснастки;
- комплектності технічної документації (креслення, технологічні карти, інструкції);
- відповідності матеріалу заготовок вимогам проекту;
- справності та точності вимірювальних пристроїв і інструментів.

2. Операційний контроль, здійснюється безпосередньо під час виконання робіт і включає:

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- перевірку якості підготовки труб до зварювання (очищення, обробка кромки);
- контроль правильності складання елементів трубопроводу;
- спостереження за процесом зварювання (дотримання режимів, параметрів, технології).

3. Кінцевий контроль, проводиться після завершення зварювальних робіт і включає:

- візуальний огляд зварних швів;
- вимірювання геометричних параметрів;
- неруйнівний контроль (ультразвуковий, рентгенографічний, капілярний методи – залежно від вимог);
- перевірку відповідності готового виробу технічним умовам і стандартам.

У процесі виготовлення трубопроводу застосовується ультразвуковий метод неруйнівного контролю. Контроль проводиться по всьому периметру стика, забезпечуючи повне охоплення зони зварювання.

З'єднання вважаються якісними, якщо в результаті ультразвукового контролю відсутні:

- а) протяжні плоскі та об'ємні дефекти (тріщини, непровари, порожнини);
- б) об'ємні непротяжні дефекти з амплітудою відображеного сигналу, що відповідає:
 - еквівалентній площі 2 мм² - при товщині стінки труби до 20 мм;
 - еквівалентній площі 3 мм² і більше – при товщині стінки понад 20 мм;
- в) об'ємні непротяжні дефекти з амплітудою, що відповідає:
 - площі до 2 мм² - при товщині до 20 мм включно;
 - площі до 3 мм² - при товщині понад 20 мм, у кількості більше трьох на кожні 100 мм шва.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до стандарту, всі поверхні, що підлягають фарбуванню, повинні бути ретельно очищені від шлаку та зварювальних бризків. Це забезпечує належне зчеплення фарби з основою та довговічність покриття. Перелік таких поверхонь має бути чітко зазначений у конструкторській документації.

Допускається не очищувати від бризків ті частини виробу, які в процесі експлуатації контактують із ґрунтом, тобто робочі органи, для яких декоративне або антикорозійне покриття не є критично важливим.

Ґрунтування та фарбування трубопроводу дозволяється здійснювати лише після завершення повного контролю якості всіх зварних з'єднань. Цей контроль має бути проведений відповідно до встановлених стандартів, а результати – офіційно затверджені контролером ВТК.

Зварювання трубопроводів великого діаметра здійснюється зварювальниками монтажної дільниці у три зміни. Для того щоб зварювання відбувалося в нижньому положенні – найзручнішому та найякіснішому з точки зору формування шва – корпус труби обертається назустріч рухомому зварювальному автомату.

Одним із суттєвих недоліків даного технологічного процесу є необхідність обертання труби під час автоматичного зварювання, що здійснюється за допомогою допоміжного редуктора. Редуктор забезпечує обертання труби зі швидкістю, яка має відповідати швидкості зварювання. Однак на практиці часто виникає випередження обертання труби порівняно зі швидкістю руху зварювального автомата. Це призводить до порушення синхронізації, через що періодично доводиться призупиняти обертання труби.

Ще одним важливим недоліком у технологічному процесі є нераціональне використання зварювального обладнання. Застосовується апаратура, розрахована на номінальний зварювальний струм 1000 А, хоча фактичні параметри режиму зварювання дозволяють використовувати обладнання з істотно нижчим номінальним струмом. Такий підхід призводить

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

до перевитрати електроенергії, зниження енергоефективності виробництва та необґрунтованого збільшення експлуатаційних витрат.

З метою підвищення економічної ефективності виробництва конструкції запропоновано замінити технологію автоматичного зварювання стиків трубопроводу з обертанням труби на більш раціональну – автоматичне зварювання неповоротних стиків із застосуванням порошкового дроту.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технічне обґрунтування вибраного способу зварювання

Під час вибору способу зварювання трубопроводу слід враховувати тип матеріалу, товщину деталей, рівень відповідальності конструкції, обсяги виробництва та вимоги до якості з'єднань.

Складові трубопроводу можуть з'єднуватися різними методами зварювання залежно від технічних вимог і умов виробництва. До основних способів належать: ручне дугове зварювання покритими електродами, напівавтоматичне та автоматичне зварювання в середовищі захисного газу, імпульсно-дугове зварювання у вуглекислому газі, а також автоматичне зварювання під флюсом.

На сьогодні значна частина зварювальних робіт виконується вручну із застосуванням покритих електродів. Вибір типу електрода залежить від міцнісних характеристик сталі, що зварюється, а також від вимог до надійності та якості зварної конструкції. Для з'єднання елементів із низьколегованої сталі найбільш поширеними стали електроди типу Е46Т з рутиловим покриттям, серед яких широко використовуються марки АНО-3, АНО-4, ОЗС-4, МР-3 та інші.

Для зварювання особливо відповідальних конструкцій застосовують електроди з фтористо-кальцієвим або фтористо-кальцієво-рутиловим покриттям типу Е42А, зокрема марки УОНІ-13/55 і СМ-11. Вони забезпечують високу стійкість металу шва до кристалізаційних тріщин і покращені пластичні властивості. Водночас електроди УОНІ-13/55 мають певні недоліки: потребують використання постійного струму зворотної полярності та мають знижену стійкість до утворення пор у шві за наявності іржі на кромках або при зволоженні покриття.

Ручне дугове зварювання металевим електродом має важливий недолік – низьку продуктивність, що обмежує ефективність при великому обсязі робіт.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Крім того, якість зварного шва значною мірою залежить від рівня професійної підготовки та практичного досвіду зварювальника.

Ручне дугове зварювання доцільно використовувати для виконання коротких швів, особливо коли вони розташовані в різних просторових положеннях і при дрібносерійному виробництві. У монтажних умовах цей метод є виправданим при невеликому обсязі робіт, навіть якщо потрібне високе якісне виконання з'єднань. Крім того, ручне зварювання є оптимальним варіантом для проведення ремонтних робіт, де гнучкість і універсальність мають вирішальне значення.

Напівавтоматичне зварювання у середовищі вуглекислого газу придатне для виконання з'єднань у всіх просторових положеннях, що робить його універсальним у різних виробничих умовах. Зростання популярності цього методу зумовлене поступовою заміною ручного дугового зварювання.

Автоматичне дугове зварювання під флюсом, попри складність технології та високу вартість обладнання, набуло широкого застосування завдяки своїм технічним перевагам. Цей метод дозволяє досягти стабільності режимів зварювання, що сприяє отриманню високоякісних зварних швів з мінімальними дефектами.

Автоматичне зварювання має низку переваг порівняно з напівавтоматичним методом. По-перше, воно забезпечує значно вищу продуктивність, що особливо важливо при великому обсязі робіт. По-друге, для його виконання не обов'язкова висока кваліфікація зварника – достатньо оператора, який керує обладнанням. Крім того, автоматичне зварювання дозволяє економити зварювальні матеріали завдяки точному дозуванню та стабільності процесу. Ще однією важливою перевагою є можливість досягнення глибшого проплавлення за один прохід.

Одним із суттєвих обмежень автоматичного дугового зварювання під флюсом є його непридатність для виконання швів у різних просторових положеннях.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Останнім часом все ширше впроваджується технологія автоматичного зварювання самозахисним порошковим дротом. На відміну від зварювання під флюсом, яке обмежене нижнім положенням шва, цей метод дозволяє виконувати зварювання у всіх просторових положеннях.

Отже, з урахуванням особливостей різних методів зварювання, а також специфіки технології роботи з низьколегованими сталями, для виготовлення трубопроводу обґрунтовано обрано автоматичне дугове зварювання самозахисним порошковим дротом. Такий підхід дозволяє ефективно виконувати зварювання у всіх просторових положеннях, забезпечує стабільність режимів, високу якість швів і відповідає вимогам щодо міцності та надійності конструкції.

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір зварювального матеріалу залежить від здатності забезпечити формування бездефектної структури металу шва, яка за своїми характеристиками відповідає експлуатаційним вимогам конструкції.

У процесі зварювання низьколегованих сталей найчастіше отримують шви без пор при використанні кремніємарганцевих електродних матеріалів. Вони сприяють зниженню забрудненості металу шва оксидними включеннями, які негативно впливають на його структуру, знижуючи міцність і надійність з'єднання.

Таким чином, для зварювання трубопроводу діаметром 1020 мм і товщиною стінки 16 мм зі сталі 09Г2С, на основі результатів випробувань, оптимальним є застосування порошкового дроту ПП-АН24С діаметром 3 мм. Цей дріт забезпечує стабільне формування якісного зварного шва при виконанні зварювання у всіх просторових положеннях.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір та розрахунок параметрів режиму зварювання

До основних параметрів автоматичного зварювання самозахисним порошковим дротом належать:

- сила зварювального струму;
- напруга на дузі;
- швидкість зварювання;
- діаметр електродного дроту;
- швидкість подачі дроту.

При V-подібному розробленні кромки для зварювання деталей товщиною 16 мм (див. рис. 2.1) площа наплавленого металу становить орієнтовно 200 мм².

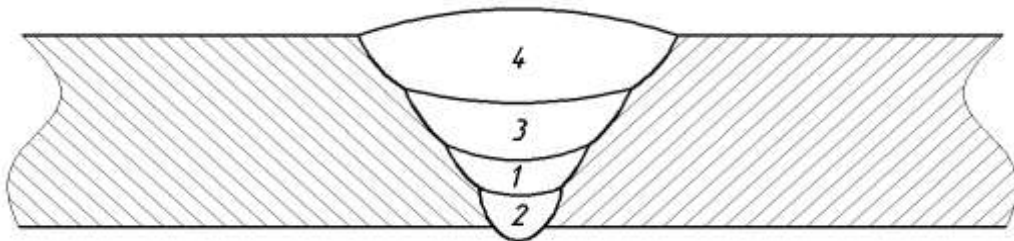


Рисунок 2.1 - Схема розміщення шарів шва

При значенні площі наплавленого металу одного шару $F_{1ш} = 50 \text{ мм}^2$ число шарів буде складати:

$$n = \frac{F_{ш}}{F_{1ш}} = \frac{200}{50} = 4$$

Силу зварювального струму визначаємо за формулою, [5,с.3];

$$I_{зв} = \frac{\pi \times \delta^2 \times i}{4}, \quad (2.1)$$

де, δ – діаметр порошкового дроту, мм;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

i – густина струму, А/мм². приймаємо значення $i=50\text{А/мм}^2$ [6, с. 244].

$$I_{3B} = \frac{3.14 \times 3^2 \times 50}{4} = 353\text{А.}$$

Приймаємо $I_{3B} = 350\text{А}$.

Визначаємо оптимальну напругу дуги за формулою, [7,с.194];

$$U_D = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d^{0.5}} \times I_{3B} \pm 1, \quad (2.2)$$

$$U_D = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{3^{0.5}} \times 350 \pm 1 = (31.5 \pm 1)\text{В.}$$

Приймаємо $U_D = 32\text{В}$.

Швидкість зварювання визначається за формулою, [5,с.4]:

$$V_{3B} = \frac{\alpha_H \times I_{3B}}{100 \times F_B \times \rho}, \quad (2.3)$$

де, V_{3B} – швидкість зварювання, м/год;

F_B – площа перетину одного валика, см²;

α_H - коефіцієнт наплавлення, г/А×год;

$$\alpha_H = \alpha_P \cdot (1 - \psi),$$

де, ψ - коефіцієнт втрат металу на недогарки і розбризкування, приймається $\psi = 0,02 \dots 0,03$.

$$V_{3B} = \frac{11,76 \times 350}{100 \times 0,6 \times 7,8} = 8,79 \text{ м/год.}$$

Приймаємо $V_{3B}=9 \text{ м/год}$.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість подачі електродного дроту визначається за формулою, [5, с.5]:

$$V_{\text{п.др}} = \frac{4 \times \alpha_p \times I_{\text{зв}}}{\pi \times d^2 \times \rho}, \quad (2.4)$$

де, d – діаметр дроту;

ρ – густина електродного дроту, $\rho=7,8\text{г/см}^3$;

α_p – коефіцієнт розплавлення, для постійного струму зворотної полярності $\alpha_p=10\dots12\text{г/А}\times\text{год}$.

$$V_{\text{п.др}} = \frac{4 \times 12 \times 350}{3.14 \times 3^2 \times 7.8} = 274.2 \text{ м/год.}$$

Таблиця 2.1 – Параметри режиму зварювання кільцевих швів

F_{1H} , мм ²	$d_{\text{пр}}$, мм	$I_{\text{зв}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	$h_{\text{д}}$, мм	$V_{\text{зв}}$, м/год	$V_{\text{п.др}}$, м/год
60	3,0	350	32	40	9	274

*Примітка: приведені в таблиці 2.1 параметри режиму зварювання кільцевих швів орієнтовні.

2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування

Сучасні технології автоматичного зварювання передбачають використання спеціалізованих апаратів з примусовим формуванням зварного шва, які дозволяють досягати високої якості з'єднань. Апаратами типу А-1150 і А-1325 можна ефективно зварювати неповоротні стики труб великого діаметра, що особливо актуально для будівництва магістральних трубопроводів.

Апарат А-1150 дійсно заслуговує на увагу завдяки своїм технічним можливостям. Його конструкція спеціально адаптована для зварювання

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

вертикальних і кільцевих швів на трубах та резервуарах з радіусом не менше 2 метрів.

Апарат А-1150 здатний виконувати зварювання нахилених швів за умови, що кут нахилу від вертикалі не перевищує 45°. Однак зварювання стельових швів (тобто швів, розташованих у верхньому положенні) для цього апарата є складним завданням.

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона розробив низку сучасних зварювальних комплексів – «Дуга», «Північ» і «Стик» - призначених для зварювання труб великого діаметра. Ці комплекси вирізняються високою маневреністю та надійністю зварювальних головок, що забезпечує ефективне виконання зварювальних робіт у складних умовах. На відміну від попередніх моделей, головки нових комплексів легко адаптуються до зварювання стиків великих діаметрів, причому для цього потрібно внести лише незначні конструктивні зміни, здебільшого в механізм корегування.

Найбільш придатним для автоматичного зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1020 мм і товщиною стінки 16 мм є зварювальний апарат АД-142, що входить до складу комплексу «Стик 02» (рисунок 2.2). Цей апарат спеціально розроблений для зварювання стиків труб у процесі будівництва або виконання ремонтних робіт, де умови суттєво відрізняються від стандартних, характерних для зварювання лінійної частини трубопроводу. Через велику кількість труб, які потребують зварювання, виникає необхідність у частому переналагодженні обладнання. Крім того, розміщення стиків безпосередньо на монтажній ділянці або в умовах ремонту унеможливорює переміщення апарата від одного стика до іншого за допомогою громіздких механізмів. З огляду на це, апарат АД-142 сконструйований із окремих вузлів, які легко монтуються без застосування спеціального інструменту. У зібраному вигляді апарат встановлюється безпосередньо на трубу за допомогою засобів малої механізації, що значно спрощує його експлуатацію в складних умовах.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

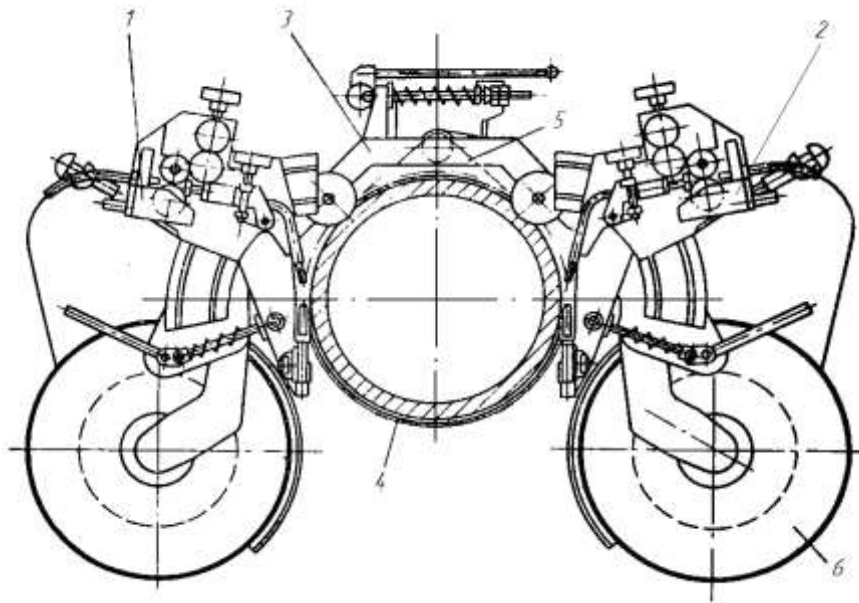


Рисунок 2.2–Загальний вигляд зварювального апарату АД–142

1 – зварювальна головка ліва, 2 – зварювальна головка права, 3 – візок,
4 – направляюча стрічка, 5 – ланцюг, 6 – касета

Процес встановлення апарату АД–142 на стикове з’єднання починається з монтажу направляючої стрічки на певній відстані від стика, що здійснюється за допомогою спеціального шаблона, який входить до комплекту обладнання. До цієї стрічки прикріплюють візок, використовуючи дворядний ланцюг: один його кінець оснащений гаком, а другий пропускається через затискач, розташований на стрічці. Після цього відпускають пружину механізму витискання, встановлюють ліву і праву зварювальні головки, а також касету з порошковим дротом. Переносний пульт керування розміщують на трубі максимально близько до стикового з’єднання – точне місце визначає оператор. Пульт утримується на трубі за допомогою постійних магнітів.

Після під’єднання зварювального кабелю до джерела живлення апарат АД–142 готовий до роботи. Завершивши зварювальний процес, демонтаж апарату здійснюють у зворотному порядку, використовуючи для цього другу направляючу стрічку, яка входить до комплекту обладнання.

Застосування самозахисного порошкового дроту у зварювальному процесі має низку специфічних особливостей, які вимагають використання джерела постійного струму з жорсткою, а іноді – зі зростаючою зовнішньою характеристикою. Це обумовлено такими факторами:

- а) висока чутливість до коливань режиму зварювання;
- б) зростаючий характер вольт-амперної характеристики дуги;
- в) важке збудження дуги (особливо на малих струмах);
- г) необхідність використання підвищеної густини струму.

Висока чутливість самозахисного порошкового дроту до коливань режиму зварювання, особливо до змін напруги на дузі, вимагає застосування джерела живлення, здатного мінімізувати ці коливання під час роботи. Якщо використовується джерело з падаючою або зростаючою зовнішньою характеристикою, зміни струму призводять до відповідних змін напруги на дузі. При зменшенні довжини дуги струм зростає, що, у свою чергу, підвищує швидкість плавлення електродного дроту – проявляється ефект саморегулювання дуги. Оскільки дріт подається в зону зварювання з постійною швидкістю, його кінець починає плавитися швидше, довжина дуги збільшується, і режим стабілізується. Використання джерела живлення з жорсткою зовнішньою характеристикою дозволяє досягти мінімальних коливань напруги, забезпечити швидке наростання зварювального струму, що спричиняє різке збільшення швидкості плавлення дроту та оперативне відновлення стабільного режиму зварювання.

Однією з ключових експлуатаційних переваг джерела живлення з жорсткою зовнішньою характеристикою є легкість збудження дуги. Це має особливе значення при зварюванні самозахисним порошковим дротом на малих значеннях струму.

Таким чином, для забезпечення стабільного режиму зварювання при використанні самозахисного порошкового дроту доцільно застосовувати джерело живлення з жорсткою зовнішньою характеристикою. Такий тип

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

джерела дозволяє мінімізувати коливання напруги на дузі, забезпечити легке збудження дуги, особливо на малих струмах, та сприяє швидкому відновленню режиму зварювання при його порушенні. Серед рекомендованих джерел живлення — ПСГ-350, ПСУ-500, ПСГ-500, ВС-300, ВС-500, ВС-600, ВС-1000, ВДУ-506. З огляду на технічні характеристики та експлуатаційні переваги, як оптимальний варіант обрано джерело живлення ВДУ-506.

Випрямляч ВДУ–506 характеризується наявністю жорсткої та спадаючої зовнішньої характеристики. Регулювання зварювального струму при спадаючій характеристиці здійснюється плавно в одному діапазоні, тоді як регулювання напруги при жорсткій характеристиці має пологоступеневий характер і виконується у двох діапазонах. Завдяки своїй конструкції, випрямляч здатний стабілізувати параметри зварювання навіть при коливаннях напруги в електромережі. Дистанційне керування – регулювання та включення зварювального струму і напруги – здійснюється за допомогою виносного пульта.

Технічні характеристики випрямляча ВДУ–506 вказані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ВДУ – 506, [8, с.258-259]

Режим роботи ПР, %	60
Номінальний зварювальний струм, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	
- жорстка характеристика	60...500
- спадаюча характеристика	50...50
Номінальна робоча напруга, В	
- при жорсткій характеристиці	50
- при спадаючій характеристиці	60
Номінальна потужність, кВ А	34
Напруга живлення, В	220/380
Зовнішня характеристика	спадаюча і жорстка
Габаритні розміри, мм	820×620×1100
Вага, кг	300

2.5 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних швів має на меті виявлення наявності або відсутності дефектів, а також визначення їх розмірів і характеру. Така інформація є критично важливою: по-перше, вона дозволяє оцінити можливість ремонту стикового з'єднання, а по-друге – встановити причини виникнення дефектів і розробити заходи для їх попередження в майбутньому.

В даному випадку можливі такі методи контролю:

- візуально-оптичний метод;
- радіаційна дефектоскопія;
- магнітна, електромагнітна дефектоскопія;
- ультразвукова дефектоскопія.

Візуально-оптичний метод контролю є одним із найдавніших способів оцінки якості зварних з'єднань і досі залишається актуальним у сучасній практиці. Зовнішній огляд швів часто проводиться неозброєним оком, а для підвищення точності використовуються збільшувальні засоби, зокрема лупи. У випадках, коли зварні шви недоступні для прямого спостереження або приховані за елементами конструкції, застосовують спеціальні оптичні прилади – ендоскопи, перископи та інші пристрої, що дозволяють здійснювати контроль у важкодоступних місцях.

Своєчасне усунення дефектів, які виявлені візуальним оглядом, і з'ясування їх причин дозволяє оперативно регулювати якість технології та зменшити об'єм наступних етапів контролю [2, с.114].

Радіаційна дефектоскопія. В основі радіаційних методів контролю лежить іонізуюче випромінювання в формі рентгенівських променів і гама-випромінювання. І те і інше випромінювання має електромагнітну природу [2, с.114].

Довжина хвилі рентгенівських променів – $6 \cdot 10^{-13} \dots 6 \cdot 10^{-9}$ мм, гама-випромінювання – $10^{-13} \dots 4 \cdot 10^{-12}$ мм, що в багато разів менше довжини світлових хвиль – $4 \cdot 10^{-7} \dots 7 \cdot 10^{-7}$ мм [2, с.114].

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Рентгенівське та гама-випромінювання володіють великою енергією в порівнянні з світловою, що обумовлює їх високу проникаючу здатність. Контроль зварних з'єднань радіоактивними методами базується на зміні рентгенівського та гама-випромінювання в результаті втрати частини енергії при проходженні ними матеріалу в залежності від його густини та товщини [2, с.114].

Магнітна та електромагнітна дефектоскопія. В межах малих об'ємів, так званих доменів ($V = 10^{-5} \dots 10^{-8} \text{ см}^3$), магнітні поля, які викликаються обертанням електронів навколо власних осей, врівноважують одне одного і деталь виявляється розмагніченою. Але під впливом зовнішніх магнітних ліній поля доменів встановлюються в його напрямку, при цьому створюється спільне магнітне поле [2, с.137].

Деталь намагнічена. Магнітні лінії мають певний напрямок. При зустрічі з дефектом, магнітна проникність якого в тисячі раз менша проникності основного металу, силові лінії обходять дефект і утворюють поле розсіювання магнітних ліній. Дефекти направлені вздовж магнітних ліній, не викликають істотних перешкод розповсюдженню потоку, тому важко виявляються магнітним контролем. І навпаки, дефекти, направлені перпендикулярно магнітним лініям, викликають істотне розсіювання та виявляються значно легше [2, с.138].

Контролю магнітними методами піддаються тільки феромагнітні матеріали [2, с.137].

Ультразвукова дефектоскопія. Пружні механічні коливання, що розповсюджуються в повітрі, сприймаються зазвичай як звуки. Такі коливання прийнято називати акустичними. Якщо їх частота більша 20 кГц, тобто вище порогу чутливості для людини, то такі коливання називають ультразвуковими. В дефектоскопії використовують ультразвукові коливання з частотою біля 0,5 ... 20 МГц [9 с.58].

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суть ультразвукової дефектоскопії в наступному. Акустичні коливання, які створює генератор-випромінювач, розповсюджуються в матеріалі виробу. При наявності дефекту утворюється відбите поле і дифраговане поле розсіювання. За дефектом при його значних розмірах утворюється акустична тінь, а поверхня дефекту відбиває ультразвукові хвилі. Реєструючи за допомогою приймача-шукача послаблення ультразвукової хвилі чи луни (відбиту ультразвукову хвилю), можна робити висновки про наявність дефекту в зварному шві, що досліджується [9 с.58].

З огляду на технологічні та конструктивні особливості стикового з'єднання, для його контролю доцільно застосовувати два основні методи: візуально-оптичний та ультразвукову дефектоскопію.

Ультразвукову дефектоскопію стикового з'єднання проводять за допомогою ехо-імпульсного методу, який базується на принципі відбивання ультразвукових хвиль від внутрішніх несучільностей матеріалу, акустичний опір яких суттєво відрізняється від опору основного металу. Відбиті хвилі змінюються та реєструються приймачем, що дозволяє виявити дефекти. Метод називається імпульсним, оскільки озвучення об'єкта здійснюється короткими перервними імпульсами. Ознакою наявності дефекту є поява ехо-сигналу на екрані приймача.

Ехо-імпульсний метод застосовується для контролю всіх основних типів зварних з'єднань – стикових, кутових, напусткових і таврових. Він дозволяє виявляти дефекти в елементах товщиною до 1000 мм і більше, а дефекти площею 0,7 мм можуть бути виявлені на глибині до 100 мм. Контроль здійснюється при одnobічному доступі до з'єднання, використовується один перетворювач, який виконує функції як випромінювання, так і приймання сигналів. Схема контролю зварного стикового з'єднання за допомогою дефектоскопа УД 2–70 наведена на рисунку 2.3.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

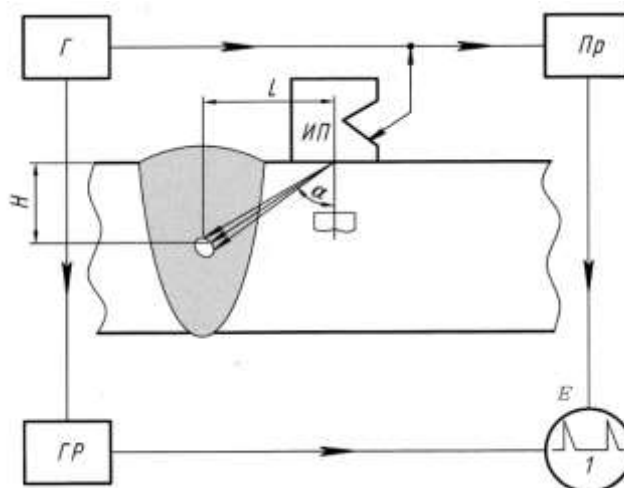


Рисунок 2.3 – Схема ультразвукового контролю стикового з'єднання дефектоскопом УД 2–70

Г – генератор височастотних електричних імпульсів, Пр – приймальний тракт, ГР – генератор розвертань, Е – індикатор (електронно–променева трубка), ИП – шукач, Н, L – координати положення дефекту

2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

Технологічний процес виготовлення трубопроводу діаметром 1020 мм і товщиною стінки 16 мм включає послідовне виконання ряду основних операцій, кожна з яких має важливе значення для забезпечення якості та надійності з'єднання. До складу цього процесу входять:

- заготівельні операції;
- складальні операції;
- складально-зварювальні операції;
- опоряджувальні операції;
- допоміжні операції;
- контрольні операції.

2.6.1 Заготівельні операції

Під час підготовки труб до зварювання насамперед очищають їх внутрішню порожнину від забруднень і сторонніх предметів. Кінці труб із вм'ятинами понад 5 мм вирізають, а менші значні дефекти усувають шляхом виправлення та зварювання електродами з основним покриттям. Кромки зварюваних труб, прилегла зона шириною не менше 10 мм, а також посилення внутрішнього та зовнішнього швів зачищають до металевого блиску механізованим інструментом. Якщо кромки обробляють газовим або плазмовим різанням, їх додатково шліфують. При плазмовому різанні обов'язково видаляють поверхневий шар товщиною 0,1–0,2 мм, який зазнає азотування, щоб уникнути зниження механічних властивостей з'єднання та появи пористості, спричиненої впливом азоту.

Механізоване газове різання здійснюється за допомогою газорізальних машин «Орбіта-2» та «Супутник-3», що забезпечує точність обробки та високу якість стикових з'єднань. Недотримання вимог до різання та зачистки може призвести до дефектів, зокрема несплавлень і значних шлакових включень.

2.6.2 Складальні операції

Після завершення підготовчих робіт ключовою технологічною операцією є складання труб, що забезпечує точність стикового з'єднання. Для цього використовують серійні внутрішні або зовнішні центратори, а також спеціальні внутрішні моделі, оснащені мідним підкладним кільцем.

Для трубопровідних виробів допускаються наступні відхилення від проектних розмірів:

- а) по довжині кола – не більше 3 мм на кожен метр;
- б) овальність – у межах $\pm 0,2 \dots 0,5\%$ від номінального діаметра;
- в) відхилення торців від перпендикуляра до осі трубопроводу – до $\pm 1,5$ мм;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) по товщині стінки – допускається відхилення $\pm 0,5$ мм відносно внутрішнього діаметра.

2.6.3 Складально-зварювальні операції

Схема зварювання неповоротних стиків труб визначається рядом технологічних і конструктивних чинників. Зварювання виконується знизу вверху, що забезпечує кращий контроль за формуванням шва. У нижньому та стельовому положеннях важливо обмежити об'єм зварювальної ванни, щоб уникнути дефектів. Велика різноманітність труб за діаметром і товщиною стінки, а також технічні можливості зварювального обладнання – зокрема потужність апаратів і тип джерела живлення – впливають на вибір оптимальної технології.

Під час зварювання труб діаметром 1020×16 мм порошковим дротом процес організовується таким чином, щоб забезпечити рівномірне формування шва та мінімізувати дефекти. Перша зварювальна головка починає роботу з крайнього нижнього положення (умовно – «6 годин») і безперервно виконує зварювання півпериметра стику до крайнього верхнього положення («12 годин»). Після завершення цього етапу друга головка приступає до зварювання другої половини стику за аналогічною схемою. Замикання швів – тобто завершення зварювального проходу – здійснюється виключно в нижньому та стельовому положеннях.

Кількість проходів при зварюванні труб залежить від товщини їх стінки та обраної технології процесу. Основним критерієм для визначення необхідної кількості проходів є критична висота зварювальної ванни – при її перевищенні зростає ризик виникнення технологічних дефектів, зумовлених надмірним розтіканням розплавленого металу.

Під час нанесення наступних шарів зварного шва замикання виконують зі зміщенням не менше ніж на 100 мм одне від одного, що дозволяє уникнути

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

концентрації напружень. Зварювання неповоротних стиків труб діаметром 1020×16 мм порошковим дротом здійснюється позмінно з обох боків.

Зварювання шва трубопроводу виконується за поетапною схемою, яка забезпечує якісне формування з'єднання:

а) заварювання кореня шва – здійснюється електродами з газозахисним або основним покриттям, що забезпечує герметичність і міцність основи зварного з'єднання;

б) підварювання з внутрішнього боку – проводиться з середини нижньої частини периметра труби, якщо корінь шва виконується електродами з основним покриттям;

в) нанесення заповнювального і облицювального шарів – виконується порошковим дротом відповідно до технологічної схеми, що наведена на рисунку 2.4.

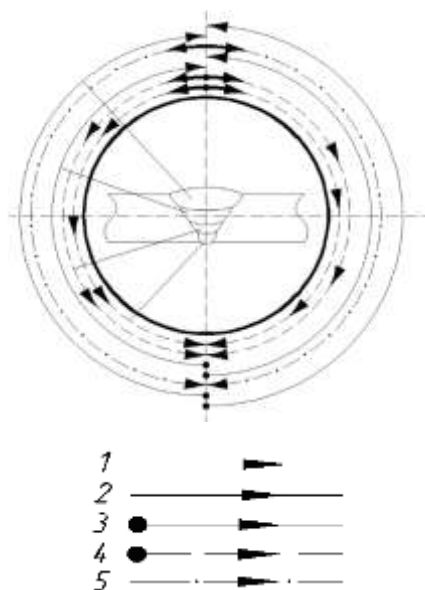


Рисунок 2.4 – Схема зварювання кільцевих неповоротних стиків труб $\varnothing 1020 \times 16$ мм самозахисним порошковим дротом

1 – ручне зварювання, 2 – автоматичне зварювання порошковим дротом, 3 – початок зварювання порошковим дротом, 4 – початок зварювання електродами з покриттям, 5 – переведення зварювальної головки в стельове положення

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.6.4 Опоряджувальні операції

Після завершення зварювальних робіт здійснюється зачистка швів та видалення металевих бризок з поверхні виробу. Для виконання опоряджувальних операцій застосовуються як ручні, так і механізовані способи обробки.

Для виконання опоряджувальних операцій після зварювання застосовують як ручні, так і механізовані інструменти. До ручних належать молоток, зубило та металеві щітки, які використовують для видалення бризок і зачистки поверхні. Серед механічних засобів найпоширенішими є кутові шліфувальні машини з зачисними дисками, що забезпечують ефективну обробку швів. Після завершення зачистки виріб проходить контроль на наявність внутрішніх і зовнішніх дефектів, що дозволяє оцінити якість зварного з'єднання.

2.6.5 Допоміжні операції

У процесі виготовлення виробу до допоміжних операцій належать налагоджувальні, перевантажувальні, піднімально-транспортні роботи, а також операції з приймання та видавання інструменту й зварювальних матеріалів. Перед початком зварювання виконуються налагоджувальні дії з обладнанням, зокрема встановлюється оптимальний виліт електродного дроту. Це необхідно для запобігання утворенню пор і забезпечення якісного формування початкової ділянки шва.

2.6.6 Контроль якості

Контрольні операції охоплюють усі етапи виготовлення зварної конструкції та забезпечують виявлення дефектів, що можуть вплинути на її надійність. Перевірка готової трубопровідної конструкції здійснюється у два етапи. На першому проводиться зовнішній огляд – візуальний контроль, який

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє виявити поверхневі дефекти шва. Другий етап передбачає застосування ультразвукової дефектоскопії ехо-імпульсним методом, що дає змогу виявити внутрішні дефекти зварних з'єднань.

2.7 Нормування технологічного процесу виготовлення зварної конструкції і витрат матеріалів та електроенергії

Під час нормування витрат зварювальних матеріалів застосовують питомі показники, які дозволяють точно визначити необхідну кількість ресурсів для виготовлення виробу. У процесах дугового зварювання такими показниками є витрати матеріалів, розраховані на один метр зварного шва.

Розрахунок витрат зварювальних матеріалів при зварюванні трубопроводу здійснюється для стикових з'єднань відповідно до вимог стандарту ДСТУ 3159-95 [10].

Витрати зварювального дроту для виконання зовнішніх швів визначаємо за формулою:

$$H_b = M \cdot k_b, \quad (2.5)$$

де M – маса наплавленого металу, кг;

k_b – коефіцієнт витрат матеріалу, що враховує технологічні втрати і відходи зварювальних матеріалів, $k_b=1.10$.

Визначимо масу наплавленого металу за формулою:

$$M = F \cdot \rho \cdot L, \quad (2.6)$$

де F_n – площа поперечного перерізу наплавленого металу шва, m^2 ;

ρ – густина наплавленого металу, kg/m^3 ;

L – довжина всіх швів виробу, м.

Згідно креслення довжина шва становить, $L=3,2$ м.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$M = 4 \cdot 200 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 3,2 = 19,97 \text{ кг},$$

$$H_b = 19,97 \cdot 1,1 = 21,96 \text{ кг}.$$

Визначаємо витрати електроенергії для зварного шва за формулою:

$$Q_e = \frac{U_d}{\alpha_n \cdot n \cdot R_u}, \quad (2.7)$$

де R_u – коефіцієнт роботи дуги, $R_u=0,2$;

n – коефіцієнт пропорційності, $n=0,75$;

U_d – напруга на дузі;

α_n – коефіцієнт наплавлення.

Оскільки зварювання виконується в чотири проходи, тому доставляємо у формулу співмножник 4,

$$Q_e = 4 \frac{32}{11,76 \cdot 0,75 \cdot 0,2} = 72,56 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Час зварювання стикового шва розрахуємо за формулою:

$$t_o = \frac{H_b}{I_{36} \cdot \alpha_n}, \quad (2.8)$$

$$t_o = \frac{21,96 \cdot 10^3}{350 \cdot 11,76} = 5,33 \text{ год}.$$

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування вибору типу пристосувань, які застосовуються при виготовленні конструкції

Зварювальний апарат АД-142, призначений для зварювання неповоротних стиків труб великого діаметра, має комплексну конструкцію, що включає кілька основних вузлів. До його складу входять дві зварювальні головки – ліва та права, які забезпечують одночасне або поетапне зварювання з обох боків стику. Привід апарата відповідає за рух і стабільність процесу, а коробка розподільча виконує функцію керування та розподілу електроживлення між вузлами. Для переміщення головок передбачено спеціальний візок, що забезпечує їх точне позиціонування. Ланцюгова передача забезпечує синхронізований рух механізмів.

Робота і склад зварювальної головки

Зварювальна головка складається з окремих складальних одиниць і деталей, які згруповані відповідно до їх функціонального призначення та класифікуються наступним чином:

- а) механізм подачі електродного дроту;
- б) механізм коливання зварювального мундштука;
- в) механізм притискання мідних формуючих повзунів.

Механізм подачі електродного дроту складається з ведучого та притискного роликів, які мають зубчасту поверхню з канавкою для дроту. Для зручності заправлення притискний ролик виконаний відкидним і фіксується за допомогою важеля з пружиною. Ведучий ролик приводиться в рух через чотиріступеневий циліндричний редуктор, що забезпечує стабільну подачу дроту під час зварювання.

Механізм коливань зварювального мундштука побудований на основі валу-шестерні з косим зрізом торця, який приводиться в дію через згаданий вище редуктор. Коливальні рухи мундштука забезпечуються зміщенням упора від центру косого зрізу до його краю. Це регулювання здійснюється за

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою гвинта з маховичком, що дозволяє точно налаштувати амплітуду коливань.

Зварювальний мундштук складається з основного корпусу та регулювальних маховичків. Маховички призначені для налаштування напрямку подачі електродного дроту як по глибині, так і в поперечному напрямку відносно розроблення стика.

Механізм притискання повзунів складається з важеля, на якому встановлено дугоподібну направляючу та тримач. Направляюча забезпечує можливість обертання зварювального мундштука в зоні дуги, що дозволяє адаптувати його положення до різних діаметрів труб. Тримач слугує для фіксації повзуна, який формує зварний шов у процесі роботи.

Повзун має водяне охолодження. Його притискання та фіксація в потрібному положенні здійснюються так: при піднятті важеля тяга виходить із зачеплення з направляючою, після чого направляюча повертається на заданий кут. Далі важіль опускається, і тяга фіксується у відповідному отворі на боковій поверхні направляючої.

Привід забезпечує переміщення візка зі зварювальною головкою вздовж корпусу труби. Його конструкція включає чотириступеневий редуктор із приставкою, що збільшує передаточне число, дозволяючи досягти необхідної швидкості та точності руху під час зварювання.

Приставка являє собою циліндричну зубчасту передачу, в якій зубчасте колесо зчіплюється з шестернею візка.

Для ручного обертання візка по трубі в конструкції приставки передбачена шліцева муфта. Вона може виводитися із зачеплення зі шліців зубчастого колеса за допомогою спеціальних важелів.

Розподільча коробка слугує для передачі живлення від пульта керування до механізмів подачі електродного дроту та приводів візка, а також для підведення зварювальної напруги до мундштука. На її корпусі розміщені перемикачі, що дозволяють регулювати напрямок подачі електрода – вгору або вниз.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візок має зварну конструкцію корпусу, на якому за допомогою з'єднувальної втулки встановлені кронштейни. Їхні підвіски призначені для монтажу зварювальних головок і касет з електродним дротом.

До складу установки входить пульт зі щитком, який забезпечує керування основними функціями обладнання. За його допомогою виконуються такі команди:

- а) керування приводом переміщення візка зі зварювальною головкою, включаючи маршовий режим та плавне регулювання робочої швидкості;
- б) зупинка подачі електродного дроту;
- в) зупинка руху візка.

Під час зварювання пульт зі щитком знаходиться безпосередньо в руках зварювальника, що дозволяє оперативно керувати процесом. Уся електрична апаратура зосереджена в шафі керування, яка виконує функцію централізованого вузла для електричних з'єднань усіх компонентів апарата згідно зі схемою. У цій шафі також розміщено тиристорний привід, що забезпечує точне регулювання параметрів зварювання.

Опис електричної частини

Електрообладнання установки охоплює такі основні компоненти:

- а) електродвигун подачі електродного дроту типу КПА-563, 120Вт, 48В, 5000 об/хв;
- б) електродвигун переміщення візка типу КПА-563, 120Вт, 48В, 5000об/хв;
- в) апаратуру і органи керування;
- г) контрольно–вимірювальну апаратуру.

Апаратура керування установки розміщується в окремій шафі, яка виконує функцію централізованого електротехнічного вузла. Органи керування винесені на автономний пульт, що кріпиться до корпусу труби за допомогою постійних магнітів. Пульт оснащений щитком привода зварювальної головки.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Живлення апарата здійснюється від трифазної електромережі з напругою 380 В і частотою 50 Гц. Система керування та сигналізації працює від окремої мережі з напругою 36 В.

Кнопки та перемикачі, розташовані на пульті, пульті-ручці, приводі та зварювальних головках, забезпечують виконання таких основних операцій:

- активація зварювальної напруги;
- підключення електродвигуна подачі електродного дроту;
- керування роботою електродвигунів, що відповідають за подачу дроту;
- зупинка електродвигуна, який забезпечує переміщення зварювальної головки;
- керування рухом візка уздовж корпусу труби.

Робота візка зварювального апарату

Базовим елементом апарата є візок, який переміщується по трубі, охоплюючи направляючу стрічку колесами. Його фіксація здійснюється за допомогою дворядного ланцюга, встановленого на стрічці, що проходить через ведучу зірочку. На візку монтуються дві зварювальні головки – ліва та права — для одночасного зварювання стика. Конструкція оснащена кареткою, підваженою пружинно-важільним механізмом, на якому закріплено привід переміщення з ведучим роликом. Як привід використовується електродвигун КПА–563 у парі з чотириступеневим редуктором, що має пристрій для відключення ведучого ролика, що дозволяє вручну пересувати апарат по трубі при необхідності.

Візок із закріпленою на ньому зварювальною головою переміщується по трубі завдяки ланцюговому механізму. Обертання передається від зубчастої шестерні, яка входить у зачеплення з ланцюгом, до коліс візка, забезпечуючи його поступальний рух. Щоб уникнути перекосів під час руху, друга пара коліс (парних) візка спрямовується по направляючій стрічці.

Натягування ланцюгів і направляючих стрічок здійснюється за допомогою двох спеціальних натягувальних пристроїв. Ланцюг фіксується в

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

затискачі, що має форму прямокутного паралелепіпеда, що дозволяє надійно утримувати його в потрібному положенні.

Направляюча стрічка фіксується в спеціальному фіксаторі секторної форми, що забезпечує надійне закріплення стрічки на трубі.

3.2 Опис роботи зварювального пристосування

Початок зварювання неповоротних стиків труб – це критичний етап, який вимагає особливої уваги для забезпечення якісного з'єднання. Основна мета – уникнути локальних несплавлень, які можуть виникнути через нерівномірне проплавлення основного металу. Техніка початку зварювання в стельовому положенні включає такі ключові дії:

- перед початком зварювання електрод слід нахилити під кутом $20\text{--}30^\circ$ до дотичної поверхні труби;
- кінчик електрода має торкатися кромки з попереднім шаром наплавленого металу в глибині розплавленого простору, на відстані $10\text{--}15\text{ мм}$ від передньої кромки формуючого повзуна;
- важливо підтримувати стабільну дугу з достатньою глибиною проплавлення.

Схема виконання даного процесу представлена на рисунку 3.1.

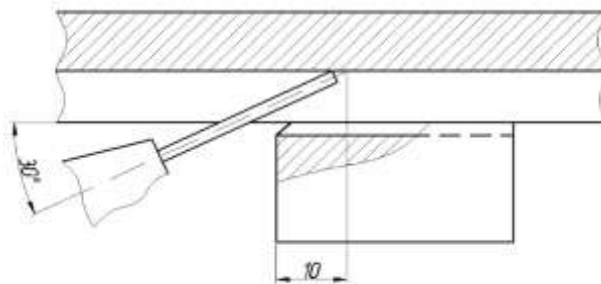


Рисунок 3.1 – Схема орієнтації порошкового дроту на початку зварювання

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Після збудження зварювальної дуги, приблизно через 2–3 секунди, електрод поступово орієнтують паралельно дотичній поверхні труби. Як тільки ванна наведена, формуючий повзун починають переміщувати зі швидкістю, що відповідає темпу заповнення плавильного простору розплавленим металом.

На початку зварювання в стельовому положенні, під час формування зварювальної ванни, виникає важливий технологічний момент: газодинамічний тиск дуги може спричинити натікання розплавленого металу на основний метал або на попередній шар наплавленого металу. Це явище, показане на рисунку 3.2, часто призводить до локального несплавлення, тобто дефекту, при якому новий метал не з'єднується належним чином з основою.

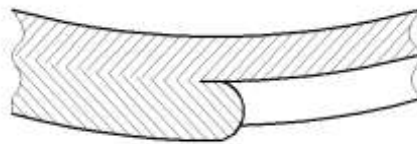


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд натікання металу в зоні початку зварювання

Перед початком зварювання другої половини стика необхідно ретельно підготувати зону стикування. Для цього її зачищають шліфувальною машинкою під кутом приблизно 30° , формуючи плавний перехід між наплавленим шаром і основним металом. Така підготовка створює сприятливі умови для якісного сплавлення в місці з'єднання швів, рисунок 3.3.

Стикування двох зварювальних швів у стельовому положенні виконується при орієнтації електрода паралельно дотичній поверхні труби. Формуючий пристрій при цьому встановлюють таким чином, щоб початок попереднього шва розташовувався на відстані 11 мм від його передньої кромки. Переміщення формуючого пристрою розпочинають лише після наведення зварювальної ванни. Завчасна підготовка місця стикування швів

сприяє плавному розширенню об'єму плавильного простору, що забезпечує рівномірне прогрівання та якісне проплавлення його стінок, гарантує надійне з'єднання і високу якість у зоні замикання швів.

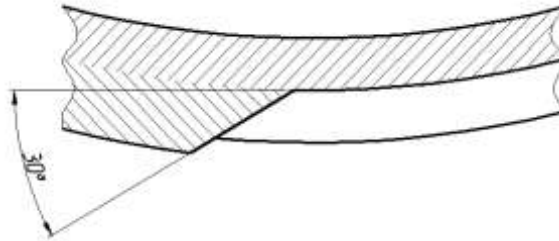


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд зачистки зони початку зварювання

Під час зварювання неповоротних стиків труб змінюються умови плавлення їхніх кромки. У процесі зварювання поступово збільшується кут нахилу порошкового дроту відносно поверхні труби — від 0° до 45° у нижньому положенні (на ділянці від 11 до 12 годин). Така зміна сприяє зменшенню підтікання розплавленого металу та шлаку під дію зварювальної дуги, а також покращує умови нагрівання кромки труб, рисунок 3.4. Завдяки цьому забезпечується рівномірне проплавлення стику по всій його довжині.

Під час зварювання формуючий повзун притискають до труби таким чином, щоб точка дотику з її поверхнею знаходилась на відстані 10–15 мм від переднього краю повзуна, рисунок 3.5. Така позиція створює умови, за яких шлак рівномірно відкладається на поверхні шва.

Зміна геометрії труби у вигляді випуклостей або вм'ятин може призвести до порушення орієнтації формуючого повзуна відносно її поверхні, що негативно впливає на якість формування зварного шва. На випуклих ділянках стику, особливо в просторовому положенні від 6 до 10 годин, можливе збільшення кута нахилу формуючого повзуна до критичних значень. Це спричиняє порушення процесу формування шва, яке проявляється у вигляді витікання металу з плавильного простору або пропалювання попередніх шарів. Якщо кут нахилу перевищує допустимий рівень,

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

утворюється надмірне посилення шва, що погіршує його зовнішній вигляд, збільшує витрати порошкового дроту та тепловкладення у виріб. На вигнутих ділянках труби об'єм плавильного простору перед точкою дотику формуючого повзуна з поверхнею збільшується, що створює умови для його відтискання кристалізованим металом. Щоб уникнути таких дефектів, під час зварювання змінюють кут нахилу формуючого повзуна, підтримуючи його орієнтацію по дотичній до поверхні труби.

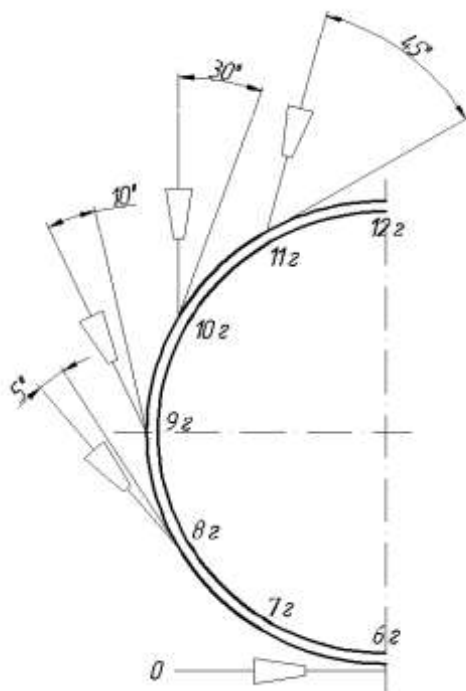


Рисунок 3.4 – Схема зміни кута нахилу порошкового дроту при зварюванні неповоротного стика

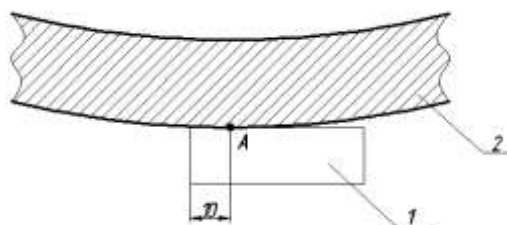


Рисунок 3.5 – Схема встановлення повзуна на початку зварювання

1 – формуючий повзун, 2 – труба, А – місце дотику

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Закінчення зварювання неповоротного стика виконують у крайньому верхньому положенні. Перед завершенням першої половини стика останню ділянку довжиною 2–3 см проходять зі швидкістю, яка перевищує робочу швидкість заповнення плавильного простору в 1,5–2 рази. Це дозволяє витягнути кратер і забезпечити його плавний перехід до попереднього шару металу. Якщо такий перехід досягти неможливо, край шва зачищають під кутом 30° відносно дотичної поверхні труби. Під час завершення другої половини стика цю зачищену ділянку перекривають, а формуючий повзун зупиняють, не доходячи 1–1,5 см до її кінця, що забезпечує якісне заплавлення стику і формування надійного з'єднання.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Розрахунок кількості обладнання

Всі вихідні дані, необхідні для розрахунку наведені в таблицях 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 - Характеристика трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$

Показник	Одиниці виміру	Кількісна чи вартісна оцінка	
		фактичні дані	проектні дані
Габарити виробу	мм	$\varnothing 1020 \times 16$	$\varnothing 1020 \times 16$
Сума витрат по видах та марках основних матеріалів на виріб:			
сталь 09Г2С	кг	2028	
зварювальний порошковий дріт ПП-АН24С	кг	22	
Розміри поворотних відходів на виріб	кг	-	
Ціна придбання матеріалу за кг:			
прокат:			
сталь 09Г2С	грн	49	48,5
зварювальний порошковий дріт ПП-АН24С	грн	260	259
Ціна реалізації поворотних відходів	грн	-	

Таблиця 4.2 - Характеристика процесу виготовлення трубопроводу
 ø1020x16

Зміст операції	Варіанти	Устаткування		Потужність електрод вигунів, кВт	Інструменти		Розряд роботи	Штучні норми часу
		Назва	Ціна, грн		Назва	Ціна, грн		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заготовлення	$\frac{3}{П}$	Орбітальний різак "Орбіта"	235000	0,44	МОЛОТОК шліфув. диск	306	III	$\frac{6,3}{5,4}$
		Зачисна машинка "П-2009А"	2100			52		
Складання	$\frac{3}{П}$	Центратор зовнішній	156000		МОЛОТОК	306	IV	3,1
		Центратор внутрішній	149000					
Зварювання	$\frac{3}{П}$	Зв. апарат АД-142	297000	34			IV	$\frac{3}{2,3}$
		Випрямляч ВДУ-506	86500					
Зачищування	$\frac{3}{П}$	Зачисна машинка "П-2009А"	2100	0,44	шліфув. диск	52	III	2,2
Контроль якості	$\frac{3}{П}$	Ультразвук. дефектоскоп УД 4-76	152000		збільш. скло, 8х	180	VI	2,1
Транспортні операції	$\frac{3}{П}$	Тривісний причіп	940000	4,5			III	2,9
		Колісний кран	3485000					
		Тельфер 3т	119000					

Штучна норма часу:

а) по технологічних операціях: по заводу 16,7;

по проекту 15,1;

б) по допоміжних і транспортних операціях: по заводу 2,9;

по проекту 2,9.

Загальна штучна норма часу: по заводу 19,6;

по проекту 18,0.

Для виготовлення трубопроводу застосовується технологічна форма організації виробництва. Режим роботи на ділянці приймаємо перервний при одній зміні в день. Дійсний фонд часу роботи устаткування визначаємо за формулою [11, с.8]:

$$\Phi_{yc} = D_{роб} \cdot S \cdot g \cdot (1 - K_p), \quad (4.1)$$

де $D_{роб}$ ~ кількість робочих днів в році, $D_{роб} = 253$ дні;

S - кількість робочих змін в добу;

g - тривалість зміни, год;

K_p - нормативний коефіцієнт простою устаткування в ремонті, обумовлений конструктивними та виробничими характеристиками, $K_p = 0,03...0,1$.

$$\Phi_{yc} = 253 \cdot 1 \cdot 8 \cdot (1 - 0,09) \approx 1842 \text{ год.}$$

Потреба в устаткуванні (робочих місцях) розраховується по кожній операції технологічного процесу або по сумі трудомісткості операцій, що виконуються на однотипному устаткуванні.

Розрахунок проводять за формулою [11, с.9]:

$$n = \frac{T_{шт} \cdot B_{np}}{\Phi_{yc} \cdot K_{вн}}, \quad (4.2)$$

де $T_{шт}$ - штучний час на операції, що виконуються на однотипному устаткуванні, нормованих в машино-год. (таблиця 4.2);

$K_{вн}$ - коефіцієнт виконання, $K_{вн} = 1,2$.

B_{np} - програма випуску продукції, у нашому випадку $B_{np} = 2200 \text{ шт.}$

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість робочих місць для виконання заготівельних операцій при виготовленні трубопроводу:

- заводський варіант:

$$n = \frac{6,3 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 6,27 \approx 6_{шт},$$

- проектний варіант:

$$n = \frac{5,4 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 5,37 \approx 5_{шт}.$$

Для виконання складання кількість робочих місць рівна:

$$n = \frac{3,1 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 3,08 \approx 3_{шт},$$

Для виконання процесу зварювання кількість робочих місць становить:

- заводський варіант:

$$n = \frac{3 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 2,99 \approx 3_{шт},$$

- проектний варіант:

$$n = \frac{2,3 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 2,29 \approx 2_{шт}.$$

Кількість робочих місць для зачищення зварних швів:

$$n = \frac{2,2 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 2,19 \approx 2_{шт},$$

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість робочих місць для контролю якості:

$$n = \frac{2,1 \cdot 2200}{1842 \cdot 1,2} = 2,08 \approx 2 \text{ шт.}$$

Кількість транспортних засобів, які необхідні для виконання транспортних операцій визначається за формулою [11, с.13]:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m B_{tr} \cdot N_{кр} \cdot t_{кр}}{\Phi_n \cdot K_{кр}}, \quad (4.3)$$

де B_{tr} - кількість вантажних об'єктів іншого виду, що підлягають транспортуванню на протязі року, 2200 шт;

m - кількість різновидів вантажних об'єктів;

$N_{кр}$ - кількість кранових операцій на один i -тий об'єкт;

$t_{кр}$ - тривалість одної операції, год;

Φ_n - номінальний річний фонд часу, год., приймається для однозмінної роботи рівним 2100 год;

$K_{кр}$ - коефіцієнт використання номінального фонду часу крана, приймається

$K_{кр} = 0,6...0,7$.

$$n = \frac{2200 \cdot 2 \cdot 1}{2100 \cdot 0,7} = 2,99 \approx 3 \text{ шт.}$$

Приймаємо три транспортних засоби для між операційного транспортування частин виробу.

4.2 Розрахунок кількості працівників

Розрахунок кількості основних працівників проводиться диференційовано для кожної професії. Хід розрахунку залежить від форми організації виробничого процесу. Для технологічної форми організації кількість основних робітників визначається за формулою [11, с.13]:

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{oi} = \frac{B \cdot \sum_1^y T_{um} i}{\Phi_{ef} \cdot K_{вн}}, \quad (4.4)$$

де r_{oi} - кількість основних працівників i -тої професії, чол;

$\sum_1^y T_{um} i$ - штучна норма часу по i -тим операціям, год;

B - об'єм випуску продукції на рік, приймаємо $B_{np} = 2200$ шт;

Φ_{ef} - ефективний річний фонд часу роботи одного робітника, приймається 1850 год;

$K_{вн}$ - коефіцієнт виконання норм часу основними робітниками, приймається $K_{вн} = 1,1 \dots 1,2$;

Необхідна кількість заготівельників:

- за заводським варіантом:

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 6,3}{1850 \cdot 1,2} = 6,24 \approx 6 \text{ чол.}$$

- за проектним варіантом:

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 5,4}{1850 \cdot 1,2} = 5,35 \approx 5 \text{ чол.}$$

Необхідна кількість складальників:

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 3,1}{1850 \cdot 1,2} = 3,07 \approx 3 \text{ чол.}$$

Необхідна кількість зварювальників:

- за заводським варіантом:

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 3}{1850 \cdot 1,2} = 2,97 \approx 3 \text{чол.}$$

- за проектним варіантом:

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 2,3}{1850 \cdot 1,2} = 2,28 \approx 2 \text{чол.}$$

Необхідна кількість зачищувальників:

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 2,2}{1850 \cdot 1,2} = 2,18 \approx 2 \text{чол.}$$

Необхідна кількість контролерів (за двома варіантами):

$$r_{oi} = \frac{2200 \cdot 2,1}{1850 \cdot 1,2} = 2,08 \approx 2 \text{чол.}$$

Виходячи з кількості транспортних засобів приймаємо необхідну кількість транспортувальників $r_{oi} = 3$ чол.

Результати розрахунків приведено у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Зведена відомість промислово-виробничого персоналу

Категорія працівників	Кількість		Середній розряд	
	З	П	З	П
1	2	3	4	5
Основні робітники:				
заготівельники	6	5	IV	IV
складальники	3	3	IV	IV
зварювальники	3	2	IV	IV
зачищувальники	2	2	III	III
контролери	2	2	VI	VI
транспортувальники	3	3	IV	IV

Продовження таблиці 4.3

Допоміжні робітники:				
налагоджувальники	1	1	IV	IV
ремонтники	1	1	IV	IV
електрики	1	1	IV	IV
ІТР:				
майстер діляниці	1	1		
МОП: прибиральники	1	1	—	—
Разом	24	22	—	—

4.3 Визначення витрат і вартості основних матеріалів

Вихідними даними для розрахунків є норми затрат матеріальних ресурсів на виріб та розмір поворотних відходів, ціни придбання матеріалів з врахуванням транспортно-заготівельних витрат (5...8% від преїскурантної ціни) та ціни реалізації відходів, обсяг випуску продукції.

Результати розрахунків подано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Зведена відомість витрат на матеріальні ресурси

В-нт	Назва матеріалів ресурсів	Од. вим.	Ціна придб. за од. вим., грн/кг		Затрати в натуральних одиницях, грн							
					на один виріб				на програму			
З/П	Сталь 09Г2С	кг	49	48,5	99372	98358	218618400	216387600				
З/П	Зв. п. дріт ПП-АН24С	кг	260	259	5720	5698	12584000	12535600				
Р-ом					105092	104056	231202400	228923200				
В-нт	Транспортно-заготівельні витрати			Загальна сума, грн				Вартість поворотних відходів, грн				
	% ц. куп.	в грн. на один кг		на один виріб		на програму		на один виріб		на програму		
З/П	5	2,45	2,43	4968,6	4917,9	10930920	10819380	-	-	-	-	
З/П	5	13	12,95	286	284,9	629200	626780					
Р-ом		15,45	15,38	5254,6	5202,8	11560120	11446160	-	-	-	-	

					<i>KP.422.05.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

4.4 Розрахунок фонду оплати праці

Приймаємо, що всі основні робітники оплачуються по відрядній системі оплати праці, допоміжні - по погодинній, ІТР та МОП - по штатно-окладній системі. Розрахунки проводяться по двох напрямках: на один виріб (для обчислення калькуляції собівартості виробу) та на програму (для визначення об'ємних економічних характеристик). В калькуляцію собівартості виробу безпосередньо включаються затрати по оплаті праці основних (виробничих) робітників.

Основна заробітна плата основних робітників визначається за формулою [11, с.16]:

$$Z_{oo} = \sum_{i=1}^y C_{pi} \cdot T_{um}, \quad (4.5)$$

де y - кількість технологічних операцій;

C_{pi} - годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду для відрядної оплати праці, грн.

Приймаємо заводські тарифні ставки для машинобудування (з врахуванням відповідних коефіцієнтів збільшення) [11, с.16].

Додаткова заробітна плата основних робітників визначається за формулою [11, с.16]:

$$Z_{do} = Z_{oo} (D_1 + D_2), \quad (4.6)$$

де D_1 - доплата за шкідливість, грн, $D_1 = 12...24 \%$, приймаємо $D_1 = 20 \%$; D_2 - інші доплати, грн, $D_2 = 15...20 \%$, приймаємо $D_2 = 15 \%$.

Премії та надбавки основним робітникам визначаються за формулою [11, с.17]:

$$Z_{no} = Z_{oo} \cdot P, \quad (4.7)$$

де P - розмір премій та надбавок, грн, $P = 40 \%$.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Для визначення річного фонду оплати праці основних робітників результати розрахунків за формулами (4.5), (4.6) та (4.7) множаться на кількість виробів (B).

Затрати по оплаті праці заготівельників:

- заводський варіант:

$$З_{\text{оо}} = 1,7 \cdot 60,5 \cdot 6,3 = 647,96 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 647,96 \cdot (0,2 + 0,15) = 226,78 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 647,96 \cdot 0,4 = 259,18 \text{ грн};$$

- проектний варіант:

$$З_{\text{оо}} = 1,7 \cdot 60,5 \cdot 5,4 = 555,39 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 555,39 \cdot (0,2 + 0,15) = 194,39 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 555,39 \cdot 0,4 = 222,16 \text{ грн}.$$

Затрати по оплаті праці складальників:

$$З_{\text{оо}} = 3,2 \cdot 61,5 \cdot 3,1 = 610,08 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 610,08 \cdot (0,2 + 0,15) = 213,53 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 610,08 \cdot 0,4 = 244,03 \text{ грн};$$

Затрати по оплаті праці зварювальників:

- заводський варіант:

$$З_{\text{оо}} = 4,5 \cdot 63,5 \cdot 3 = 857,25 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 857,25 \cdot (0,2 + 0,15) = 300,04 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 857,25 \cdot 0,4 = 342,9 \text{ грн};$$

- проектний варіант:

$$З_{\text{оо}} = 4,5 \cdot 63,5 \cdot 2,3 = 657,23 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 657,23 \cdot (0,2 + 0,15) = 230,03 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 657,23 \cdot 0,4 = 262,89 \text{ грн}.$$

Затрати по оплаті праці зачищувальників:

$$З_{\text{оо}} = 4,2 \cdot 60,5 \cdot 2,2 = 559,02 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 559,02 \cdot (0,2 + 0,15) = 195,66 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 559,02 \cdot 0,4 = 223,61 \text{ грн};$$

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Затрати по оплаті праці контролерів:

$$З_{\text{оо}} = 4,6 \cdot 67,5 \cdot 2,1 = 652,05 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 652,05 \cdot (0,2 + 0,15) = 228,22 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 652,05 \cdot 0,4 = 260,82 \text{ грн.}$$

Затрати по оплаті праці транспортувальників:

$$З_{\text{оо}} = 3,3 \cdot 62 \cdot 2,9 = 593,34 \text{ грн};$$

$$З_{\text{до}} = 593,34 \cdot (0,2 + 0,15) = 207,67 \text{ грн};$$

$$З_{\text{по}} = 593,34 \cdot 0,4 = 237,34 \text{ грн.}$$

Для допоміжних робітників розрахунок проводять на річну програму окремо для кожної категорії за формулою [11, с.16]:

$$З_{\text{од}} = r_{\text{д}} \cdot C_p \cdot \Phi_{\text{еф}}, \quad (4.8)$$

де $З_{\text{од}}$ - основна заробітна плата допоміжних робітників, грн;

$r_{\text{д}}$ - чисельність допоміжних робітників даної категорії;

C_p - годинна тарифна ставка робітника відповідного розряду для погодинної оплати праці, грн.

Додаткова заробітна плата ($З_{\text{од}}$) та премії і надбавки ($З_{\text{нд}}$) допоміжних робітників розраховується так само, як для основних робітників (формули 4.6, 4.7).

Затрати по оплаті праці налагоджувальників:

$$З_{\text{од}} = 1 \cdot 58,4 \cdot 1850 = 108040 \text{ грн};$$

$$З_{\text{нд}} = 108040 \cdot 0,35 = 37814 \text{ грн};$$

$$З_{\text{пд}} = 108040 \cdot 0,4 = 43216 \text{ грн.}$$

Затрати по оплаті праці ремонтників:

$$З_{\text{од}} = 1 \cdot 58,4 \cdot 1850 = 108040 \text{ грн};$$

$$З_{\text{нд}} = 108040 \cdot 0,35 = 37814 \text{ грн};$$

$$З_{\text{пд}} = 108040 \cdot 0,4 = 43216 \text{ грн.}$$

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Затрати по оплаті праці електриків:

$$З_{од} = 1 \cdot 58,4 \cdot 1850 = 108040 \text{ грн};$$

$$З_{дд} = 108040 \cdot 0,35 = 37814 \text{ грн};$$

$$З_{пд} = 108040 \cdot 0,4 = 43216 \text{ грн.}$$

Для інженерно-технічних робітників, службовців та молодшого обслуговуючого персоналу, розрахунок проводять на річну програму по місячному посадовому окладу одного працівника для кожної категорії працюючих за формулою[11, с.17]:

$$З_{он} = r_n \cdot O_m \cdot 12, \quad (4.9)$$

де $З_{он}$ - основна заробітна плата певних категорій працівників, грн;

r_n - чисельність працівників відповідної категорії;

O_m - місячний посадовий оклад одного працівника, грн;

12 - кількість місяців у році.

Додаткова заробітна плата ($З_{он}$) та премії і надбавки ($З_{nn}$) розраховуються так само, як для основних робітників. Затрати по оплаті праці ІТР:

$$З_{оп} = 1 \cdot 15650 \cdot 12 = 187800 \text{ грн};$$

$$З_{дп} = 187800 \cdot 0,35 = 65730 \text{ грн};$$

$$З_{пп} = 187800 \cdot 0,4 = 75120 \text{ грн.}$$

Затрати по оплаті праці МОП:

$$З_{оп} = 1 \cdot 12050 \cdot 12 = 144600 \text{ грн};$$

$$З_{до} = 144600 \cdot 0,35 = 50610 \text{ грн};$$

$$З_{по} = 144600 \cdot 0,4 = 57840 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків затрат по оплаті праці основних, допоміжних, інженерно-технічних робітників та молодшого обслуговуючого персоналу приведені в таблиці 4.5.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.5 – Зведена відомість річного фонду оплати праці

Категорії працівників	Основна зар. плата, грн		Додаткова заробітна плата, грн			
			за шкідливість		інші доплати	
	З	П	З	П	З	П
1	2		3		4	
Основні робітники:						
заготівельники	983595,69	702568,35	344258,49	245898,92	393438,28	281027,34
складальники	463050,72		162067,75		185220,29	
зварювальники	650652,75	332555,85	227728,46	116394,55	260261,1	133022,34
зачищувальники	282864,12		99002,44		113145,65	
контролери	329937,3		115478,06		131974,92	
транспортувальники	450345,06		157620,77		180138,02	
Допоміжні робітники:						
налагоджувальники	108040		37814		43216	
ремонтники	108040		37814		43216	
електрики	108040		37814		43216	
ІТР	187800		65730		75120	
МОП	144600		50610		57840	
Разом	3816965,64	3217841,4	1335937,97	1126244,49	2150480,26	1910830,56

4.5 Калькуляція собівартості виробу

В розрахунках по визначенню порівняльної економічності варіантів використовується калькуляційний розріз затрат, при якому всі затрати на виробництво групуються відносно до калькуляційних одиниць.

Таблиця 4.6 - Калькуляція собівартості виробу

Статті калькуляції	Сума затрат, грн	
	2	3
1	З	П
Основні матеріали:	105092	104056
сталь 09Г2С	99372	98358
зв. дріт ПП-АН24С	5720	5698
Паливо та енергія на технологічні цілі	5668,88	5600,72
Основна заробітна плата основних робітників	1436,57	1164,24
Додаткова заробітна плата основних робітників	502,8	407,48

Продовження таблиці 4.6

Премії та надбавки основних робітників	574,63	465,7
Відрахування на соціальне страхування	35,2	28,52
Відрахування на медичне страхування	62,85	50,94
Витрати на утримання та експлуатацію устаткування	397,78	397,78
Цехові (дільничні) витрати	407,95	407,95
Всього цехова собівартість	114178,66	112579,33

4.6 Розрахунок суми капіталовкладень для розробленого технологічного процесу та його економічної ефективності

Необхідні визначення проектної суми капітальних витрат подано у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Зведена відомість капітальних витрат

Види капітальних затрат	Кількість натуральних одиниць		Вартість одиниці, грн		Затрати на перевезення та монтаж, грн	
	З	П	З	П	З	П
Будови та споруди					-	-
Устаткування:						
заготівельне	6	5	237100	237100	11855	11855
складальне	3	3	305000	305000	15250	15250
зварювальне	3	2	383500	383500	19175	19175
зачищувальне	2	2	2100	2100	105	105
контрольне	2	2	152000	152000	7600	7600
транспортне	3	3	4544000	4544000	227200	227200
Інструменти:						
молоток	11	10	306	306	15,3	15,3
шліфувальний диск	4	4	52	52	2,6	2,6
збільшувальне скло	2	2	180	180	9	9
Разом						

Продовження таблиці 4.7

Види капітальних затрат	Загальна вартість, грн		Норма амортиз. відрах, %	Річна сума амортиз. відрах., грн	
	З	П		З	П
Будови та споруди	121000000	121000000	5	6050000	6050000
Устаткування:					
заготівельне	1434455	1197355	7	121928,68	101775,18
складальне	930250	930250	7,5	65117,5	65117,5
зварювальне	1169675	786175	8,5	87725,63	58963,13
зачищувальне	4305	4305	8,5	365,93	365,93
контрольне	311600	311600	6,5	20254	20254
транспортне	13859200	13859200	7,5	1039440	1039440
Інструменти:					
молоток	3381,3	3381,3	15	507,2	461,3
шліфувальний диск	210,6	210,6		31,59	31,59
збільшувальне скло	369	369		55,35	55,35
Разом	138713445,9	138092539,9		7385425,86	7336463,96

4.7 Основні техніко-економічні показники розробленого технологічного процесу

Річний економічний ефект визначається за формулою [11,с.26]:

$$E_{\phi} = ((C_{nz} + E_n \cdot \Phi_{mz}) - (C_{nn} + E_n \cdot \Phi_{mn})) \cdot B, \quad (4.10)$$

де C_{nz} - повна собівартість виробу за заводськими даними, грн ($C_{nz}=182447,58$ грн);

C_{nn} - повна собівартість виробу за проектними даними, грн ($C_{nn}=180059,87$ грн);

Φ_{mz} - фондомісткість продукції за заводськими даними, грн/шт ($\Phi_{mz}= 114178,66$ грн/шт);

Φ_{mn} - фондомісткість продукції за проектними даними, грн/шт ($\Phi_{mn} = 112579,33$ грн/шт);

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, ($E_n = 0,15$).

$$E_{\phi} = ((182447,58 + 0,15 \cdot 114178,66) - (180059,87 + 0,15 \cdot 112579,33)) \cdot 2200 = 5780740,9 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень визначається за формулою [11, с.27]:

$$T_{ок} = \frac{\Phi_{осз} - \Phi_{осп}}{E_{yp}}, \quad (4.11)$$

де $\Phi_{осз}$ - вартість основних виробничих фондів за заводським варіантом, грн ($\Phi_{осз} = 382521172$ грн);

$\Phi_{осп}$ - вартість основних виробничих фондів за проектним варіантом, грн ($\Phi_{осп} = 378430646$ грн);

E_{yp} - умовна річна економія, грн, яка розраховується за формулою [11, с.26]:

$$E_{yp} = B \cdot (C_{пз} - C_{пн}), \quad (4.12)$$

$$E_{yp} = 2200 \cdot (182447,58 - 180059,87) = 5252962 \text{ грн;}$$

$$T_{ок} = \frac{382521172 - 378430646}{5252962} = 0,78 \text{ р.}$$

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників показано у таблиці 4.8.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.8 - Основні техніко-економічні показники розробленого технологічного процесу

Показники	Одиниця виміру	Величина	
		З	П
1	2	3	4
Річна програма випуску продукції	шт	2200	2200
Кількість технологічного устаткування	шт	14	12
Собівартість товарної продукції	грн	182447,58	180059,87
Чисельність промислово-виробничого персоналу:			
- всього	чол	24	22
- основних робітників	чол	19	17
Фондомісткість продукції	грн/шт	114178,66	112579,33
Умовна річна економія	грн	-	5252962
Річний економічний ефект	грн	-	5780740,9
Термін окупності капітальних вкладень	роки	-	0,78
Місячний оклад основних робітників:			
- заготівельники	грн	23812,35	20410,58
- складальники	грн	22420,44	22420,44
- зварювальники	грн	31503,94	24153,02
- зачищувальники	грн	20543,99	20543,99
- контролери	грн	23962,84	23962,84
- транспортувальники	грн	21805,25	21805,25

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз нормативно-правових документів, що регламентують дотримання вимог охорони праці на підприємстві

Правові та організаційні основи охорони праці є тією базою, яка забезпечує соціальний захист працівників і на якій будуються санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складові охорони праці. Правова база охорони праці в галузі ґрунтується на національному законодавстві та міжнародних нормах. Законодавство України про охорону праці – це система взаємопов'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у сфері соціального захисту громадян у процесі трудової діяльності. Основними законодавчо-нормативними документами з питань охорони праці є: Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю України, Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів [12 – 14].

Законодавство України про охорону праці базується на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України [15]. Цією ж статтею встановлено заборону використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах. Ст. 45 Конституції гарантує право всіх працівників на щотижневий відпочинок та щорічну оплачувану відпустку, а також встановлення скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи в нічний час [15].

Основоположним документом у галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [12], у якому визначено правила реалізації права на охорону життя і здоров'я в процесі трудової діяльності; роз'яснено відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці на

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

виробництві; встановлено єдиний порядок організації охорони праці на підприємствах в Україні. Цей закон відповідає чинним конвенціям і рекомендаціям Міжнародної організації праці, іншим міжнародним правовим нормам у цій галузі. У ньому викладено принципи державної політики в галузі охорони праці, визначено порядок управління охороною праці на всіх рівнях, а також систему державного нагляду і контролю у сфері охорони праці [16, с. 271].

Окрім вирішення ключових правових питань, законодавство [12] визначає соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи з охорони праці на підприємствах різних форм власності [16, с. 271].

До тексту розділу колективного договору вносяться трансформовані під зобов'язання власника (адміністрації підприємства) і працівників норми статей 13 – 18, 22, 23 Закону України «Про охорону праці» [12], а також, низку питань Закон про охорону праці вимагає узгодити з трудовим колективом. Тому до тексту договору вносяться пункти про створення (за необхідності) комісії про охорону праці, кількість обраних уповноважених трудового колективу з питань охорони праці і затвердження відповідних положень. Також необхідно зазначити порядок і строки звільнення від основної роботи (зі збереженням середнього заробітку) уповноважених і членів комісії для виконання ними своїх громадських обов'язків [17, 19, 20].

Звичайно, що переліки професій і списки працівників потрібно адаптувати до умов конкретного підприємства, зазначивши, працівники яких професій повинні в обов'язковому порядку проходити медогляд, профілактичний наркологічний огляд, які професії потребують професійного добору. Витрати на реалізацію заходів з охорони праці відносять до валових витрат, які необхідно зазначити в колдоговорі, зокрема списки тих працівників, хто має право на відпустку за ненормований робочий день або

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

шкідливі умови праці, кому і з якою періодичністю слід видавати спецодяг, миючі засоби, спецхарчування тощо [17, 19, 20].

До розділу колективного договору також вносяться: гарантії постраждалим на виробництві, порядок надання більш легкої роботи як потерпілим; обумовлюється періодичність проведення атестації робочих місць за умовами праці, а після її проведення встановлюється перелік заходів щодо поліпшення умов праці, їх доведення до необхідних нормативів безпеки, гігієни праці, підвищення рівня охорони праці. У колдоговорі можна визначити загальну суму коштів (як в абсолютних, так і у відносних показниках), що виділяється на ці заходи, з урахуванням обмежень, встановлених для віднесення витрат на валові витрати [17].

При розробці розділу колдоговору необхідно врахувати ст. 19 Закону України «Про охорону праці», зокрема, для підприємств, незалежно від форм власності, або фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, витрати на охорону праці становлять не менше 0,5 відсотка від фонду оплати праці за попередній рік [12].

У колективному договорі доцільно обумовити умови і порядок заохочення осіб, які працюють над поліпшенням стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Тим більше що таку можливість прямо передбачає ст. 25 Закону про охорону праці [12].

Основними нормативними документами на підприємстві є інструкції з охорони праці на підприємстві, які містять загальні положення щодо охорони праці, організаційні та технічні вимоги безпеки, які визначаються на основі [18]:

- законодавства України про працю та охорону праці, положень, стандартів, правил, інших нормативних та організаційно-методичних документів з охорони праці;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

- наявних і ймовірних небезпек, які потенційно можуть призвести до травмування, погіршення стану здоров'я чи смерті людини під час трудової діяльності, завдати шкоди майну або навколишньому середовищу;

- аналізу документів з охорони праці стосовно відповідного виробництва, професії (виду робіт);

- характеристики робіт, що виконуються працівником конкретної професії відповідно до її кваліфікаційної характеристики;

- вимог безпеки до технологічного процесу, виробничого устаткування, інструментів і пристроїв, що застосовуються під час виконання відповідних робіт, а також вимог безпеки, що містяться в експлуатаційній та ремонтній документації і в технологічному регламенті;

- виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для професії зварювальника дугового зварювання як при нормальному проходженні технологічного процесу, так і при відхиленнях від оптимального режиму, визначення заходів та засобів захисту від них, вивчення конструктивних й експлуатаційних особливостей та ефективності використання цих засобів;

- аналізу обставин і причин найбільш ймовірних аварійних ситуацій, нещасних випадків і професійних захворювань, характерних для професії зварювальник (різноманітні види зварювання);

- вивчення успішного досвіду організації безпечної праці та виконання відповідних робіт із зварювання, визначення найбезпечніших методів і прийомів їх виконання [18].

Колективний договір може передбачати положення, зокрема щодо [19]:

- організації виробництва і праці та/або змін в їх організації, підвищення ефективності виробництва та забезпечення продуктивної зайнятості, запобігання масовому вивільненню;

- професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації працівників, зокрема, професії зварювальник;

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- нормування та оплати праці, встановлення та зміни форм, систем і строків виплати заробітної плати, встановлення міжкваліфікаційних (міжпосадових) співвідношень в оплаті праці, встановлення та зміни норм праці, систем оплати праці, розмірів заробітної плати та інших видів виплат (у тому числі доплат, надбавок, премій, гарантійних та компенсаційних виплат) з урахуванням норм законодавства про оплату праці;

- режиму роботи, тривалості робочого часу і відпочинку;
- умов праці, у тому числі розумного пристосування для працівників, які його потребують, зокрема осіб з інвалідністю;
- безпеки, охорони і гігієни праці;
- умов виробничого побуту;
- страхування працівників;
- медичного обслуговування, оздоровлення і відпочинку працівників, членів їх сімей;
- гарантій діяльності профспілкових організацій;
- гарантій та компенсацій працівникам, які беруть участь у колективних переговорах;
- форм участі у визначенні напрямів соціально-економічної політики розвитку підприємства;
- заходів щодо запобігання та протидії дискримінації у сфері праці;
- запобігання та протидії мобінгу (цькуванню);
- забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків;
- організації культурно-масової, фізкультурної роботи [19, 20].

Таким чином, проаналізувавши законодавчі, нормативно-правові документи, що регламентують дотримання охорони праці на підприємстві можна зробити висновок, що вони є обов'язковими для виконання, тому що застосування їх положень регулюється законодавством України. Дотримання вимог положень, інструкцій з безпеки праці на підприємстві дасть змогу

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищити ефективність роботи працівників і підприємства з охорони праці, зменшити показник травматизму.

5.2 Правила охорони праці та пожежної безпеки під час виготовлення трубопроводу Ø1020x16

Трубопровід Ø1020x16 є металевою конструкцією, яка виготовляється методом зварювання. Тому потрібно взяти до уваги основні правила охорони праці та пожежної безпеки стосовно основних вимог до проведення зварювальних робіт. До зварювальних робіт, відповідно чинного законодавства України, допускаються працівники, не молодше 18 років, визнані придатними для цієї роботи медичною комісією, які пройшли спеціальне навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму та щорічну перевірку знань.

Перед початком роботи зварювальник проходить вступний інструктаж з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки, а також безпосередньо на робочому місці первинний інструктаж, який слід проводити при кожному переході на іншу роботу або при зміні умов праці. Технологічне обладнання, на якому передбачається проведення зварювальних робіт, повинне бути приведене в пожежовибухобезпечний стан до початку цих робіт.

Під час перерв у роботі, а також у кінці робочої зміни зварювальна апаратура повинна відключатися, зокрема, від електромережі, шланги від'єднуватися і звільнятися від горючих рідин та газів, а у паяльних лампах тиск повинен бути повністю знижений. Після закінчення робіт уся апаратура й устаткування мають бути прибрані в спеціально відведені приміщення (місця).

Місце для проведення зварювальних та різальних робіт у будівлях і приміщеннях, у конструкціях яких використані горючі матеріали, має бути обгороджене суцільною перегородкою з негорючого матеріалу.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Під час проведення вогневих робіт у вибухопожежонебезпечних місцях має бути встановлений пильний контроль за станом повітряного середовища шляхом проведення експрес-аналізів із застосуванням газоаналізаторів.

Для проведення зварювальних робіт облаштовують постійні і тимчасові місця. Постійні місця визначаються наказами або інструкціями власника підприємства. Вільна площа постійного місця (без обладнання) повинна бути не менше 3 м² для кожного зварювального поста, підлога щільна, з вогнестійких матеріалів, стіни пофарбовані світлою матовою фарбою, стіл заземлений, стілець на ніжках з регулятором висоти сидіння, під ногами килимок.

Робочі місця зварювальників мають бути відокремлені від інших робочих місць та проходів негорючими екранами (ширмами, перегородками) з висотою не менше 1,8 м. Для запобігання розлітання розпечених часток зазор між перегородкою та підлогою повинен бути не більше 50 мм, огорожений сіткою з негорючого матеріалу з розміром отворів не більше 1 мм х 1 мм.

Для виготовлення трубопроводу $\varnothing 1020 \times 16$ використовується спосіб зварювання під флюсом. Так як цей спосіб відноситься до електродугового класу зварювання, тому основною небезпекою для зварювальника є ураження електричним струмом. З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися таких правил [21]:

1) надійна ізоляція всіх проводів, пов'язаних із живленням джерела струму і зварювальної дуги, пристрій герметично закритих пристроїв увімкнення, заземлення корпусів зварювальних апаратів (заземленню підлягають: корпуси джерел живлення, апаратного ящика, допоміжне електричне обладнання; перетин заземлювальних проводів повинен бути не менше 25 мм²);

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) застосування в джерелах живлення автоматичних вимикачів високої напруги, які в момент холостого ходу розривають зварювальний ланцюг і подають на тримач напругу 12 В;

3) надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварювальним виробом або руками зварювальника;

4) робота у чистому, сухому спецодязі і рукавицях. Під час роботи в тісних відсіках і замкнених просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6–12 В.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ВИСНОВКИ

У роботі проведено аналіз діючої технології зварювання трубопроводу діаметром $\varnothing 1020$ мм і товщиною стінки 16 мм, а також розглянуто обладнання, що застосовується для його виготовлення.

Вивчено особливості процесу зварювання неповоротних стиків, включаючи підготовку кромки, початок і завершення зварювання, техніку стикування швів, а також вплив геометричних деформацій труби на якість з'єднання.

Окрему увагу приділено конструкції зварювального візка, формуючого повзуна, механізмів подачі дроту та управління переміщенням. Результати аналізу дозволяють оцінити ефективність застосовуваного обладнання та технологічних прийомів, а також визначити напрямки для їх удосконалення з метою підвищення якості зварних з'єднань.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
2. Зварні конструкції. Виготовлення зварних конструкцій: веб-сайт. URL: <https://j.twirpx.link/file/2166069/> (дата звернення: 21.05.2026).
3. Сталь 09Г2С. Продукція, характеристики, хімічний склад, механічні властивості, аналоги, застосування, зварювання: веб-сайт. URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s> (дата звернення: 21.05.2026).
4. Квасницький В.В. Теорія процесів зварювання. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 181 с.
5. Розрахунок режимів електричного зварювання і наплавлення. Сумський державний університет: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/396344/> (дата звернення: 25.05.2026).
6. Технологія електричного зварювання плавленням. Загальна література по зварюванню: веб-сайт. URL: <http://drawings.zp.ua/index.php/literatura/87-metallurgiya/zwariuvannia-i-sporidneni-protsessy/zahal-na-literatura-po-zwariuvanniu/337-D-s-i-tekhnologiya-elektriynogo-zwariuvannia-plavlenniam> (дата звернення: 25.05.2026).
7. Технологія і обладнання зварювання плавленням. Зварювання і споріднені процеси: веб-сайт. URL: <http://drawings.zp.ua/index.php/literatura/87-metallurgiya/zwariuvannia-i-sporidneni-protsessy/zahal-na-literatura-po-zwariuvanniu/558-A-a-i-tekhnologiya-i-obladnannia-zwariuvannia-plavlenniam> (дата звернення: 25.05.2026).
8. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. Київ: Техніка, 2002. 336 с.

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

9. Контроль якості монтажних і зварювальних робіт на АЕС.
Бібліографічний список: веб-сайт. URL:
<https://studfile.net/preview/9915783/page:19/> (дата звернення: 25.05.2026)

10. ДСТУ 3159-95. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання. [Чинний від 1996-07-01]. Київ, 1995. 36 с. (Держстандарт України).

11. Редьква О.З. Економіка та організація виробництва: методичні вказівки до виконання дипломного проекту. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2022. 30 с.

12. Закон України «Про охорону праці» / Відомості Верховної Ради України. – 1992. - № 49. - ст.668 (із змінами, внесеними згідно із Законом № 2849-IX від 13.12.2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 10.06.2026).

13. Кодекс законів про працю України / Затверджено Законом N 322-VIII від 10.12.71 ВВР. - 1971, додаток до N 50, ст. 375 (із змінами, внесеними згідно із Законом № 2839-IX від 13.12.2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text> (дата звернення: 10.06.2026).

14. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, N 46-47, ст.403 (із змінами, внесеними згідно із Законом із змінами, внесеними згідно із Законом № 2849-IX від 13.12.2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14#Text> (дата звернення: 10.06.2026).

15. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р. // Відомості Верховної Ради України. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр> (дата звернення: 10.06.2026).

16. Охорона праці та цивільний захист: підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / Левченко О.Г., Полукаров О.І., Зацарний В.В.,

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Полукаров Ю.О., Землянська О.В.; за ред. О.Г. Левченка. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 420 с.

17. Охорона праці у колективному договорі. Право і відповідальність: веб-сайт. URL: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/khr/uk/publish/article/97487;jsessionid=0B184971892BFDD99EE0AB38E8BF733C> (дата звернення: 11.06.2026).

18. Закон України «Про затвердження Положення про розробку інструкцій з охорони праці» від 30.03.2017. № 526. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-98#Text> (дата звернення: 11.06.2026).

19. Закон України «Про колективні угоди та договори» від 23.02.2023 р. № 2937-IX. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/T232937?an=116> (дата звернення: 11.06.2026).

20. Новий Закон «Про колективні угоди та договори»: топ нововведень. URL: https://biz.ligazakon.net/analitics/219518_noviy-zakon-pro-kolektivn-ugodi-ta-dogovori-top-novovveden (дата звернення: 11.06.2026).

21. Техніка безпеки при виконанні електрозварювальних робіт. Охорона праці: веб-сайт. URL: <https://oppb.com.ua/news/tehnika-bezpeky-pry-vykonanni-elektrozvaryuvalnyh-robit> (дата звернення: 11.06.2026).

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КР.422.05.00.00.000.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		