

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології зварювання стиків нафтопроводу з дослідженням впливу наводнювання на в'язкість руйнуванню**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПзм-61
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Собко Є.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Підгурський М.І.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дячун А.Є.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Розроблення технології зварювання стиків нафтопроводу з дослідженням впливу наводнювання на в'язкість руйнуванню" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 86 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, науково-дослідницька, технологічна, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Для висвітлення питань, які розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 41 рисунок, 14 таблиць, 1 додаток. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 21 першоджерел.

В роботі розроблено технологічний процес автоматизованого зварювання стиків за допомогою самозахисного порошкового дроту. Використання цього методу дозволяє значно збільшити продуктивність роботи, покращити якість зварного шва та його механічні характеристики. Порівнюючи переваги та недоліки різних методів зварювання, які можна використовувати для з'єднання стиків у польових умовах, було вирішено віддати перевагу комбінованому підходу. Такий підхід включає механізоване зварювання кореня шва суцільним проводом, далі - заповнення і обробку шва за допомогою автоматизованого зварювання з використанням самозахисного порошкового дроту. Досліджено, що залишкове і усереднене залишкове розкриття тріщини залежить від відстані до вістря тріщини. Найбільшого значення воно досягає на відстані 0,4...0,6 мм від вершини тріщини з подальшим його зменшення по мірі віддалення від вершини тріщини. Виявлено, що циклічна складова за комбінованого ПТН зменшує залишкове розкриття вершини тріщини. Встановлено, що незалежно від режимів навантаження на повітрі чи в агресивному середовищі в усіх випадках опір крихкому руйнуванню досліджуваної сталі підвищувався у порівнянні із K_{Ic} . Однак електролітичне наводнювання понижує ефект ПТН.

Ключові слова: АВТОМАТ, ЗВАРЮВАННЯ, ПРОЦЕС, РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ, САМОЗАХИСНИЙ ПОРОШКОВИЙ ДРІТ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи.....	7
1.2 Технічні умови до конструкції виробу.....	14
1.3 Аналіз технологічного процесу зварювання стиків труб.....	18
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	20
2.1. Вплив ПТН на в'язкість руйнування сталі	20
2.2 Методика попереднє навантаження зразків з тріщиною	22
2.3 Вплив попереднього комбінованого навантаження і наводнення на в'язкість руйнування	28
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Обґрунтування способу зварювання.	33
3.2 Опис технологічного процесу	48
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	62
4.1 Короткий опис конструкції апарата і робота його основних вузлів	62
4.2 Робота візка зварювального апарату	65
4.3 Розрахунок вузлів зварювального апарату	65
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	76
5.1 Протипожежні заходи, передбачені в технологічному процесі	76
5.2 Оцінка технологічного процесу з умов техніки безпеки	77
5.3 Організація цивільної оборони	80
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
ДОДАТКИ.....	86

ВСТУП

Енергетичний сектор є ключовим компонентом економіки. Зі зростанням нафтової індустрії збільшилась необхідність у ефективному переміщенні значних кількостей нафти та її похідних. Основну роль у перевезенні нафти та інших вуглеводневих ресурсів у різноманітних погодних умовах відіграють стратегічні трубопроводи. Важливим аспектом для досягнення економічної вигоди та забезпечення екологічної безпеки у процесі транспортування вуглеводнів є якість зварювання з'єднань в трубопроводах.

Фінансові втрати компанії через нещасні випадки, які пов'язані з витоком нафти, охоплюють не тільки додаткові витрати на придбання ресурсу для його відновлення, але й кошти, необхідні для відновлення забрудненої землі. З огляду на практику, перевезення нафти представляє собою складний процес виробництва, що вимагає створення умов для безперервної довготривалої роботи трубопроводів. Сьогодні велика увага приділяється первинному високоякісному контролю, включно з оглядом кільцевих з'єднань, аби запобігти потенційним нещасним випадкам.

Технологічні процеси виготовлення технологічних трубопроводів ґрунтуються на комплексній механізації заготівельних і складально-зварювальних робіт, в тому числі на максимальному застосуванні автоматизованих та механізованих способів зварювання. В зв'язку з цим, залежно від конкретних умов виробництва і типорозмірів трубопроводів складальні одиниці поставляються на місце монтажу переважно у вигляді готових елементів, вузлів та секцій. Індустріалізація трубопровідних робіт здійснюється шляхом виконання більшості технологічних операцій в заводських (цехових) умовах, чим забезпечується підвищення якості, надійності та довговічності трубопроводів, а також зниження вартості робіт із виготовлення технологічних трубопроводів.[1].

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи

У цьому конкретному випадку об'єктом є трубопровід великого розміру, що використовується для відведення конденсату пари з турбіни для проміжного охолодження. Головним елементом структури є труба (рис.1.1) із розмірами 1020×16 мм. Трубопровід збирається на місці використання у стаціонарних умовах. Об'єкт при зварюванні залишається нерухомим, тобто не може обертатися. В процесі зварювання необхідно врахувати розташування об'єкта, який має нахил від 10 до 15 градусів [1].

Нафтопровід утворений з циліндричних сегментів, максимальна довжина яких досягає 3000 міліметрів, вироблених з металевих пластин товщиною 16 мм. Секції газопроводу з'єднуються зварюванням за допомогою кільцевих з'єднань. У зонах, де спостерігається найсильніше вигинання, використовуються роликові підставки (рис. 1.2), які можна кріпити до газопроводу за допомогою обхватів або безпосереднього зварювання до корпусу циліндра.

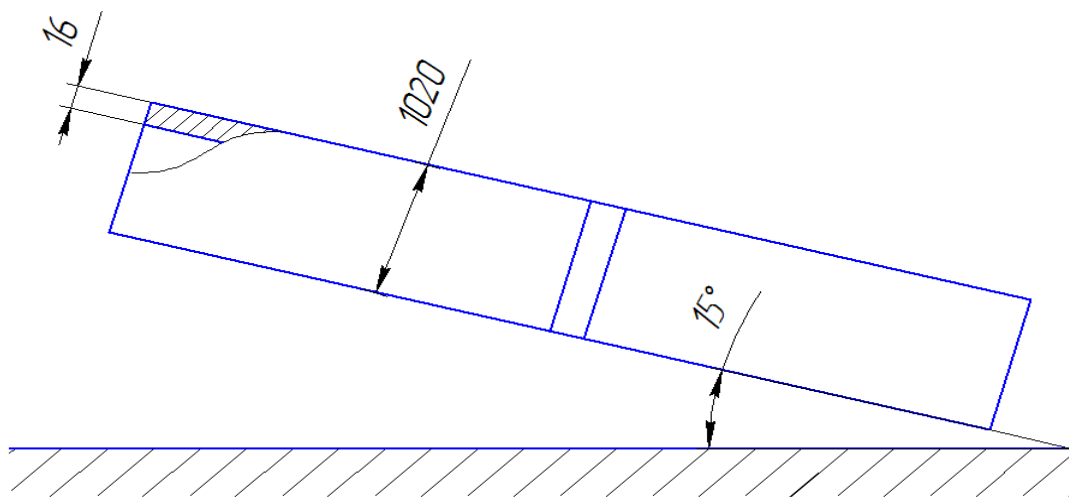
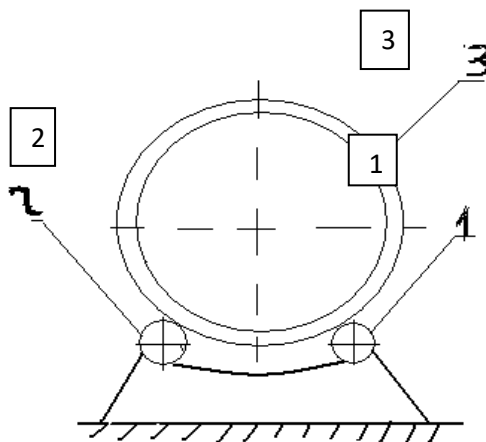


Рис. 1.1 – Зовнішній образ продукту.

У місцях трубопроводу, що розташовуються за виходами та за пристроями для відділення пари, знаходяться зони, найбільш схильні до корозійного впливу. Ці зони потребують систематичного моніторингу за допомогою методів неруйнівного

контролю (наприклад, використання ультразвукового вимірювача товщини). У випадку виявлення зниження товщини стінок труби нижче допустимих норм, проводиться заміна уражених сегментів.



1,2 - роликові опори, 3- виріб

Рис. 1.2 – Установка об'єкта на рухомі підставки

Під час установки трубопровідних систем важливо дотримуватися точних габаритних параметрів, забезпечуючи необхідні ухили (0,004 мм на кожен метр). Монтаж місць з'єднань необхідно здійснювати відповідно до вказівок технічної документації проекту, де допустима розбіжність у з'єднанні не повинна перевищувати 1 мм на внутрішню сторону трубопроводу [2].

Технічні критерії для зварюваного виробу охоплюють:

Реставраційні роботи на ділянках трубопроводу полягають у заміні ушкоджених частин труб за допомогою передових зварювальних та монтажних технік.

Процедуру відновлення ділянок трубопроводу можна розділити на три фази:

- підготовка до ремонту;
- здійснення робіт для зварювання;
- перевірка стандартів якості.
- Підготовчі заходи включають наступні дії:
- транспортування нової труби до місця проведення робіт;

- оцінка відповідності розташування осі трубопроводу у вертикальному та горизонтальному вимірах до проектних параметрів;
- нанесення розмітки на корпусі трубопроводу для установки труби;
- видалення сегмента трубопроводу, що потребує заміни;
- підготовка країв трубопроводу до зварювання;
- монтаж нової ділянки трубопроводу та його акуратне сполучення з основним трубопроводом;
- тимчасове з'єднання замінюваної ділянки з основною трубою за допомогою електрозварювання.

Основна процедура зварювання включає створення шести кільцеподібних з'єднань за різними методиками.

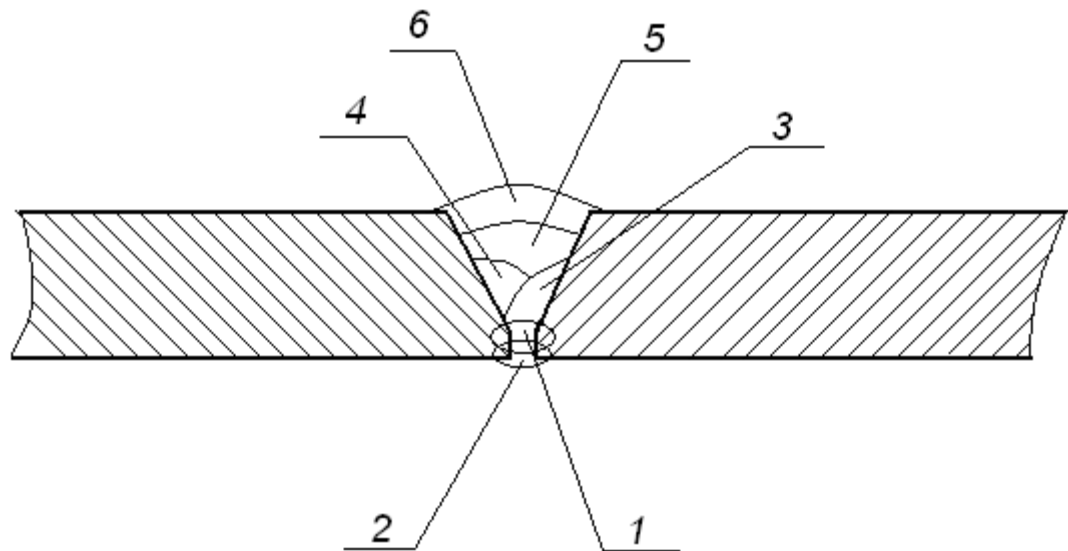


Рис. 1.3 – Секвенція виконання зварювальних швів

Перший шов можливо здійснити застосовуючи зварювання напівавтоматичне у середовищі вуглекислого газу або ж РДЗ. Внутрішній (другий) шов реалізується напівавтоматично за допомогою порошкового дроту [1]. Третій, четвертий та п'ятий шви здійснюються за допомогою автоматизованого зварювання з використанням флюсом. Процес виконання ремонтних зварювальних робіт триває кілька днів.

Перед виконанням зварювальних робіт відбувається підготовка, яка займає значно більше часу, ніж саме зварювання.

Зварювальні роботи на трубах великого розміру проводяться працівниками монтажного відділу у три черги.

Якість зварних сполучень цього об'єкту перевіряється відповідно до стандарту, що включає:

- початкову перевірку;
- контроль при виконанні робіт;
- фінальний контроль.

Елементи перевірки на етапі початкового контролю:

- професійність зварювальника;
- стан зварювальної техніки, обладнання та зварювально-монтажних пристосувань;

- наявність усієї необхідної технічної документації;
- якість сировини для заготовок;
- вимірювальні інструменти та прилади.

- Елементи під час контролю в процесі виконання:

- підготовка елементів для зварювання;
- монтаж;
- процес зварювання.

Методологія фінальної перевірки якості полягає у техніках оцінювання якості швів зварених сполучень, які здійснюються згідно стандартів, враховуючи типи можливих недоліків та технічні критерії, що застосовуються до цих з'єднань.

Перша перевірка якості шва включає візуальний огляд зовні. Рентгенографічне просвічування проводиться для 10% загальної довжини шва. На основі даних рентгенографічного аналізу формується висновок, який прикріплюється до відповідних документів, що складаються після завершення ремонтних робіт на трубопроводі.

Добре налагоджена організація зварювального процесу та ефективна робота команди, яка обслуговує зварювальний апарат, сприяє поліпшенню результатів зварювання труб при ремонтних роботах. Оскільки цей тип продукції є трубопроводом, призначеним для функціонування під високим тиском, необхідно використовувати матеріал із високими механічними властивостями. У цьому

контексті оптимальним є застосування для створення конструкції низьколегованої сталі, яка сприяє зниженню ваги конструкції та підвищує надійність зварних елементів.

Відомо, що низьколеговані сталі володіють високими міцнісними параметрами при стандартних температурах та ефективно при низьких температурах (до -70°C).

В Україні промисловий сектор виробляє сталі, які використовуються для виготовлення листових елементів, котлових установок, оболонок резервуарів та трубопроводів. До цієї категорії належать низьколеговані сталеві типи 09Г2, 14Г2, 10Г2С1Д, 14ХГС, 08ХМФЧА, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 14Г2Д, які ефективно при високих та низьких температурах. Ці сталі також активно застосовуються у будівельній галузі для створення зварювальних конструкцій, що піддаються вібраційному та динамічному навантаженню. Детальні міцнісні характеристики та хімічний склад сталі 08ХМФЧА представлені у табл. 1.1, та 1.2.

Таблиця 1.1 Хімічний склад [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V	N	Al	Cu
0.08	0.2	0.45	до 0.25	до 0.015	до 0.015	0.5	0.1	0.04	до 0.008	0.03	до 0.25
-	-	-				-	-	-		-	
0.13	0.4	0.65				0.7	0.2	- 0.1		0.05	

Таблиця 1.2 Механічні властивості [3]

Сортамент	σ_b	σ_T	δ_5	KCU
	МПа	МПа	%	кДж / м ²
Труби	502-627	372-509	25	980

На протипагу низьковуглецевих сталям, низьколеговані сталі більш схильні до формування твердих структур у зоні зварювального шва і прилеглих областях за умов швидкого охолодження.

Зі збільшенням лінійної енергії зварювання спостерігається значне зниження вмісту мартенситу, бейніту та залишкового аустеніту. Збільшення частки твердих структур у зоні зварювального шва та прилеглих ділянках призводить до зниження пластичності металу і його опору розриву. Таким чином, параметри зварювання

сталей низьколегованих повинні бути чітко контрольовані з точними обмеженнями лінійної енергії.

Низьколеговані сталі менш опірні до утворення кристалічних тріщин. Відтак, важливо використовувати матеріали із зниженим рівнем вуглецю та сірки, а також уважно стежити за порядком виконання зварних робіт.

Досягнення однакової міцності металу біляшовної зони та основного металу можливе через легування з додаванням елементів, які походять із основного металу, а також тих, що додаються через зварювальні матеріали.

Для оцінки можливості створення якісних з'єднань зварюванням із заданої сталі необхідно аналізувати її зварюваність. Цей аналіз охоплює декілька ключових аспектів:

- Важливо визначити чутливість матеріалу до утворення оксидів в процесі зварювання, що може вплинути на якість та довговічність з'єднань;
- Оцінка схильності сталі до формування пор і порожнин при зварюванні;
- Аналіз здатності зварного шва задовольняти стандартам міцності, корозійної стійкості та іншим важливим властивостям, які потрібні для певного застосування;
- Дослідження впливу температури при зварюванні та охолодженні на матеріал.

Цей комплекс параметрів особливо важливий для сталей, де основною характеристикою є опірність до появи тріщин за зварювання.

Гарячі тріщини зазвичай утворюються, коли метал втрачає свою деформаційну спроможність через появу легкоплавких крихких евтектик, структурних дефектів і напружень [4].

Індекс Вілкінсона (H.C.S) використовується як метод для оцінки ймовірності виникнення гарячих тріщин у процесі зварювання, і визначається за певною формулою.

$$H.C.S. = 1000 \cdot C \cdot \frac{(S+P+\frac{Si}{25}+\frac{Ni}{100})}{(3 \cdot Mn+Cr+Mo+V)} \quad (1.1)$$

$$H.C.S. = 1000 \cdot 0,13 \cdot \frac{(0,015+0,015+\frac{0,4}{25}+\frac{0,25}{100})}{(3 \cdot 0,65+0,7+0,2+0,1)} = 2,13.$$

Для сталей, межа міцності яких не перевищує 700 МПа, критичним показником для виникнення гарячих тріщин вважається значення індексу H.C.S., яке перевищує 4. У випадку, що ми розглядаємо, ризик появи гарячих тріщин є дуже малим.

Аналіз здатності сталі протистояти тріщиноутворенню за термічної обробки проводиться за допомогою наступного параметра ΔG :

$$\Delta G = Cr + 3,3 \cdot Mo + 8,1 \cdot V + 10C - 2, \quad (1.2)$$

$$\Delta G = 0,7 + 3,3 \cdot 0,2 + 8,1 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,13 - 2 = 1,47$$

Згідно проведених обчислень, при $\Delta G < 2$, то утворення тріщин повторного нагріву при високому відпуску малоімовірно.

Одночасно, вплив марганцю на схильність до формування тріщин вимірюється через вуглецевий еквівалент $C_{екв}$.

$$C_e = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60}; \quad (1.3)$$

$$C_e = 0,13 + \frac{0,37}{30} + \frac{0,6 + 0,3 + 0,68}{20} + \frac{0,25}{60} + \frac{0,2}{15} + \frac{0,1}{10} + \frac{0,015}{600} + \frac{2,5}{60} = 0,29$$

Таблиця 1.3 – Групи зварюваності сталей

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент C_e , %	Технологічні заходи			
			підігрів		термооброблення	
			перед зварюванням	під час зварювання	перед зварюванням	після зварювання
1	Добра	< 0,38	-	-	-	бажано
2	Задовільна	0,38 - 0,45	необхідний	-	бажано	необхідне
3	Обмежена	0,46 - 0,6	необхідний	бажано	бажано	необхідне
4	Погана	> 0,6	необхідний	необхідний	необхідне	необхідне

На основі проведених розрахунків можна зауважити, що розглянута сталь володіє доброю зварюваністю.

При зварюванні сталей основним завданням є попередження формування холодних тріщин як у самому зварювальному шві, так і в прилеглих до нього зонах. Для цього рекомендується проводити зварювання при підвищених температурах попереднього підігріву, які становлять від 200 до 400°C. Важливо також здійснювати термічну обробку зварних конструкцій відразу після зварювання, не допускаючи їх охолодження до кімнатної температури, або ж провести цю обробку не перевищуючи 72 год. після завершення зварювання.

1.2 Технічні умови до конструкції виробу.

Ключові критерії для виробництва зварного виробу охоплюють:

- специфікації матеріалів та напівфабрикатів, використовуваних для створення зварного виробу;
- правила складання;
- стандарти для зварених з'єднань;
- процедури перевірки якості зварних швів.

Специфікації для матеріалів та напівфабрикатів. Метал для трубопроводу та його компоненти мають відповідати стандартам нормалізації або бути у вдосконаленому стані.

Легкість зварювання сталі залежить від методу її виробництва та хімічного складу. Під час створення цього виробу враховуються різноманітні характеристики, які повинні володіти матеріали виробу для забезпечення міцності, довговічності та технологічності конструкції [5].

Вимоги до процесу складання охоплюють:

- припустимі відхилення розмірів труб від проектних значень включають:
- нерівномірність круглості $\pm 0,2 \dots 0,5\%$;
- відхилення за довжиною до 3 мм на кожен метр;

- по відхиленню від вертикалі торців відносно осі трубопроводу до $\pm 1,5$ мм;
- неспівпадіння товщини стінок труб допускається у межах $\pm 0,5$ мм від внутрішнього діаметра.

Обробка кромки можлива за допомогою механічних або газополум'яних способом. На кінцях труб має бути фаска. Кут фаски до торця труби повинен становити $25-30^\circ$. Під час зняття фаски слід передбачити притуплення (торцеве кільце). Для труб діаметра менше 1020 мм ширина притуплення 10-30 мм. Для труб діаметром понад 1020 мм ширина притуплення 1,0-5,0 мм. Величина кута скосу фаски має становити $30-35^\circ$. У труб, товщина стінки яких перевищує 15 мм, обробку кромки виконують відповідно до рис. 1.3.[5]

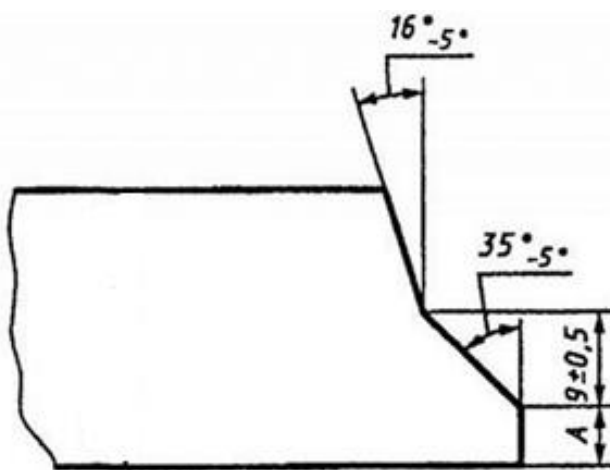


Рис. 1.3 - Розроблення кромки труб із товщиною стінки понад 15 мм

Труби, що надходять до місця зварювання трубопроводу, піддаються вхідному контролю. Перевіряють сертифікати (паспорти). Крім того, сертифікати перевіряють на деталі трубопроводів, зварювальні матеріали. Труби, що витримали перевірку, складуються, і при необхідності транспортуються на ділянку зварювання трубоукладачами. Під час транспортування стежать, щоб не пошкодити поверхню фасок. Вже на ділянці зварювання, перед збиранням, проводять очищення внутрішніх порожнин труб від забруднень, снігу, ґрунту. Виконують зачищення кромки, внутрішніх та зовнішніх та прилеглих поверхонь до металевих блиску на ширину 15 мм. За наявності дефектів глибиною від 0,2 мм до 5% товщини стінки труби їх усувають шліфуванням.

Якщо глибина дефектів не перевищує 5 мм для їх ремонту застосовують наплавлення електродами з основним видом покриття, [5].

Відремонтовані поверхні слід зачищати абразивним інструментом відновлення заводської обробки. Товщина труби після виконаного ремонту повинна знаходитись у межах мінусового допуску, який відображений у документі на труби.

Якщо на кінцях труби виявлені дефекти, глибина яких за результатами виміру перевищує 5 мм, або виявлені вм'ятини, глибина яких досягає 3,5% від діаметра труби, слід відрізати кінець труби проконтролювавши ділянку ультразвуковим методом контролю для виявлення розшарування, прилеглих до обрізаного торця. При виявленні такого дефекту трубу необхідно обрізати на відстані не менше 300 мм від торця і повторно виконати контроль.

Згодом придатні труби вимогам, подають на операцію стикування. Після стикування труб використовуючи центратори поєднують кромки труб, виставляють необхідні зазори. Для визначення допустимої величини усунення кромки використовують дані таблиці 1.4. Величину усунення кромки визначають за допомогою шаблону типу УШС-3.

Для складання труб діаметром більше 530 мм та в інших випадках, якщо дозволяють умови виконання монтажних робіт, застосовують внутрішні центратори пневматичного або гідравлічного типу.

При зварюванні стиків, або з'єднань труба-кран, труба-фітинг, у разі неможливості застосування внутрішніх центраторів, складання здійснюється на зовнішніх ексцентрикових або ланкових центраторах [5].

Таблиця 1.4 - Допустима величина зміщення кромки

Діаметр, мм	Зварювальні елементи	Товщина стінки нормативна, мм	Допустима величина зміщення зовнішніх поверхонь кромки зовні
більше 89 мм до 1020 мм	Труби електрозварювальні, або труба електрозварювальна + деталь	10 і більше	До 20% вкл. від нормативної товщини стінки труби, але не більше 3мм.

Причому зміщувати заводські шви, поздовжні та спіральні, відносно один одного слід на відстань понад 100 мм. Слід прагнути до того, щоб поздовжні заводські шви розташовувалися у верхній частині напівпериметра труб, що з'єднуються.

Фіксувати величину складального зазору можна установкою прихваток. Потім при зварюванні кореневого шару прихватки повністю видаляють.

Прихватки слід рівномірно розподіляти по стику. Прихватки не можна здійснювати ближче ніж 100 мм поздовжніх швів. Параметри режиму технологічного процесу зварювання прихваток повинні відповідати параметрам режиму технологічного процесу зварювання кореневого шару шва.

Для визначення кількості та розмірів прихваток можна орієнтуватися на відомості у таблиці 1.5.

Прихватку після зварювання слід зачистити. Після зачистки прихваток виконують кореневий шар шва.

Безпосередньо після того, як кореневий шар шва виконаний, зачищають його шліфувальним кругом зовні труби. Для труб діаметром понад 1020 мм кореневий шар зачищають зсередини труби та виконують візуальний контроль.

Таблиця 1.5 - Кількість прихваток та їх розміри

Виконувана робота	Діаметр стику, мм	Мінімальне число прихваток, шт	Довжина прихваток, мм	примітка
Складання стиків труб	більше 1000 до 1400	4	100-200	При складанні на внутрішньому центраторі допускається не виконувати прихватки

Початок зварювання кожного проходу труб або деталей слід починати і закінчувати, дотримуючись наступних мінімальних відстаней від поздовжніх швів 100 мм для діаметра понад 1020 мм. При зварюванні стику кожен шар слід зачищати від бризок металу та шлаку.

За товщини стінки труби більше 10 мм допускається залишити з'єднання незакінченим терміном не більше 24 год, за умови, що зварний шов виконаний більш ніж на 2/3 товщини стінки труби. Незавершені стики, одразу після зварювання, накривають спеціальними поясами для повільного та рівномірного охолодження. Перш ніж відновити зварювання незавершений стик, слід просушити нагріваючи до 50°C.

При виконанні зварного шва не допускаються переміщення або інші зовнішні впливи на стик, що зварюється, доти, як не буде повністю виконаний кореневий шар шва. Місця на облицювальному шарі шва з перевищенням гребенів над западинами понад 1 мм і більше (груба лускатість поверхні) і з розмірами посилення, що перевищують вимоги стандартів, слід обробити напилком або шліфувальним кругом [5].

При виконанні зварювання режими повинні відповідати зазначеним у технологічній карті на зварювання стику.

Виконуючи облицювальний шар зварювальник повинен забезпечити перекриття основного металу на обох сторонах обробки на величину 2,5-3,5 мм. При цьому висота облицювального шару має бути від 1 до 3 міліметрів.

Після виконання стику його контролюють. Стик контролюють 100% візуально, 100% УЗК та 100% радіографічним методом.

1.3 Аналіз технологічного процесу зварювання стиків труб

Процес організації будівельних та ремонтних робіт на ділянці трубопроводу можна розділити на три основні фази: підготовчі заходи, зварювальні роботи, перевірка якості.

Зварювання стиків трубопроводу проводять традиційним ручним дуговим методом. Даний метод зварювання передбачає створення шести кільцеподібних швів за різними техніками. Спосіб РДЗ широко застосовують при будівництві магістральних трубопроводів. Тому, що ця технологія універсальна, добре освоєна на підприємствах трубопровідного будівництва, порівняно проста. Крім того,

порівняно з технологіями автоматичного зварювання, спосіб характеризує відносна дешевизна.

Однак такі недоліки як порівняно низькі продуктивність та якість зварного з'єднання, залежність якості з'єднань від кваліфікації та сумлінності працівників. Тільки робітники високого рівня підготовки можуть звести до мінімуму вплив зовнішніх факторів та свого суб'єктивного стану на якість виконаної роботи. Тому, з метою підвищення продуктивності та якості зварюваних з'єднань використовують технології механізованого та автоматичного дугового зварювання. Застосування механізації та автоматизації у різних варіантах зменшує стомлюваність зварювальника, покращує умови його праці тощо.

Підвищити темпи та якість зварювальних робіт при будівництві нафтопроводів можна за допомогою механізованих та автоматичних способів зварювальних робіт..

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1. Вплив ПТН на в'язкість руйнування сталі

Попереднє термомеханічне навантаження тіл з тріщинами полягає в навантаженні тіла при температурі, яка більша температури в'язкокрихкого переходу, і значно підвищує опір матеріалів до крихкого руйнування [6]. Ця проблема досить актуальна для нафтогазової промисловості, оскільки в процесі експлуатації метал корпусу трубопроводу піддається окрихченню і підвищенню температури а також зміни характеру руйнування. Внаслідок цього крихке руйнування матеріалів трубопроводів є можливе при аварійних режимах роботи.

Також треба врахувати вплив адсорбованого водню на зміну пластичності, тобто швидше матеріал переходить до крихкого стану. Джерелами наводнювання матеріалу нафтопроводу є водень, який утворюється внаслідок електрохімічних реакцій, а також водень металургійного і технологічного походження [7].

Проблемі збільшення опірності крихкого руйнування сталей після ПТН присвячено ряд робіт. Як досліджено авторами [8 - 9] опір крихкому руйнуванню після ПТН підвищується завдяки зміні напружено-деформівного стану у вершині тріщини, тобто: впливу залишкових стискуючих напружень, затуплення вершини тріщини і деформаційне зміцнення матеріалу попереду тріщини.

У загальному випадку ефект ПТН зумовлений наступними чинниками: а) при високих температурах утворюється холоднодеформована структура, яка стійкіша до руйнування сколювання, тобто попередня деформація розтягу зміцнює матеріал; б) після ПТН змінюється геометрія тріщини, так як вона затуплюється і змінює НДС зразка; в) на стадії розвантаження в околі тріщини виникають залишкові стискуючі напруження.

Одержані експериментальні дані [6] свідчать про неоднозначний характер впливу рівня ПТН на опір крихкому руйнуванню сталей. Що пов'язано, очевидно, з складною взаємодією факторів, які визначають зміну НДС матеріалу у вершині тріщини під час ПТН, а саме: затуплення вершини тріщини, поява залишкових напружень і зміцнення матеріалу в вершині тріщини при різних режимах ПТН.

Підвищення тримкої здатності крихкому руйнуванню після ПТН спостерігається навіть у випадку стабільного підростання тріщини в процесі термосилового навантаження. У роботі [6] встановлено, що часткове розвантаження або його відсутність за ПТН не завжди призводить до підвищення стійкості до крихкого руйнування.

Літературні дані показали, що поведінка матеріалу після ПТН може бути передбачена за допомогою локальних критеріїв руйнування. Вплив ефекту ПТН у випадку маломасштабної текучості виконав Curry D.A. на основі RKR моделі. Досить достовірні розрахунки для загальної текучості виконав Ф. Беремін, використавши розподіл Вейбула і результати числового аналізу. Г. Челл розробив підхід до прогнозування впливу ПТН на тримку здатність крихкому руйнуванню в умовах маломасштабної текучості. В праці [10] показано, що основним механізмом пластичного деформування є рух дислокацій. Згідно запропонованого критерію, руйнування в пластичній і залишковій зонах буде відбуватися, коли досягається критичне навантаження на всіх активних дислокаціях при низьких температурах.

В пластичній зоні після ПТН утворюється область залишкових пластичних деформацій, де при низьких температурах пластична текучість не буде проходити доти, поки напруження від зовнішнього навантаження не перевищать границі текучості. Ця зона називається залишковою зоною, і відрізняється від пластичної зони, відсутністю пластичної текучості. Пластичне деформування може бути представлена через рухомі і нерухомі дислокації. Згідно запропонованого критерію Chell G., руйнування в залишковій і пластичній зонах буде мати місце, якщо сила на всіх активних дислокаціях при низьких температурах досягне свого критичного значення.

В роботі Hedner G. досліджено вплив підростання тріщини за циклічного навантаження на ефект теплового перевантаження сталі A533, і виявлено, що коли при перевантаженні втомна тріщина росте, тоді для прогнозування значення КІН K_f потрібно використати кінцеву довжину тріщини і максимальний КІН циклу.

Метод описаний в роботі [11] дає можливість підвищити крихку міцність конструкції за рахунок затуплення вістря тріщини методом наведення в її околі напружень, які більші межі плинності матеріалу.

Яснієм П.В. з співавторами запропоновано більш ефективний у порівнянні із статичним, комбінований метод ПТН, який полягає у тому, що на сходинці перевантаження додатково до статичного розтягу накладається низько амплітудна циклічна складова. Виявлено, що за температури попереднього навантаження 623 К, яка значно вища від температури в'язко-крихкого переходу для досліджуваної сталі, комбіноване ПТН на 30% підвищує критичний КІН K_f сталі 15Х2МФА у порівнянні із статичним ПТН. Однак за температури попереднього навантаження 423К комбіноване ПТН суттєво понижує K_f сталі порівняно з статичним ПТН. Накладання додаткової циклічної складової на ділянці перевантаження майже не впливає на залишкове розкриття вершини тріщини в сталі при температурі 423К, проте істотно його збільшує при температурі 623К. Збільшення амплітуди циклічного навантаження від 20 МПа $\sqrt{м}$ до 30 МПа $\sqrt{м}$ збільшує у 2...3 рази залишкове розкриття вершини тріщини в залежності від максимального КІН при перевантаженні.

Аналіз існуючих моделей, що описують вплив ПТН на тримку міцність крихкому руйнуванню, свідчить, про їх певну обмеженість, так як враховують тільки один або два визначальні параметри процесу. В більшості випадків вчені враховують лише температурну зміну напружень текучості, а також розміри залишкових пластичних зон на різних сходинках ПТН. Модель Curry D.A враховує залишкові стискувальні напруження, а також вплив на критичний КІН K_f деформаційного старіння. Найбільш повною є модель Veremin F.M., яка враховує крім залишкових пластичних зон ще й затуплення вістря тріщини, температурну залежність порогу текучості та модуля пружності.

2.2 Методика попереднє навантаження зразків з тріщиною

Зразки (рис. 2.1) виготовляли з прямокутного бруса розміром 19x50x48 мм, який вирізався із темплету розміром 120x65x120 мм (рис. 2.9).

Точність виготовлення зразків та чистота поверхні регламентувались відповідно до нормативних вимог.

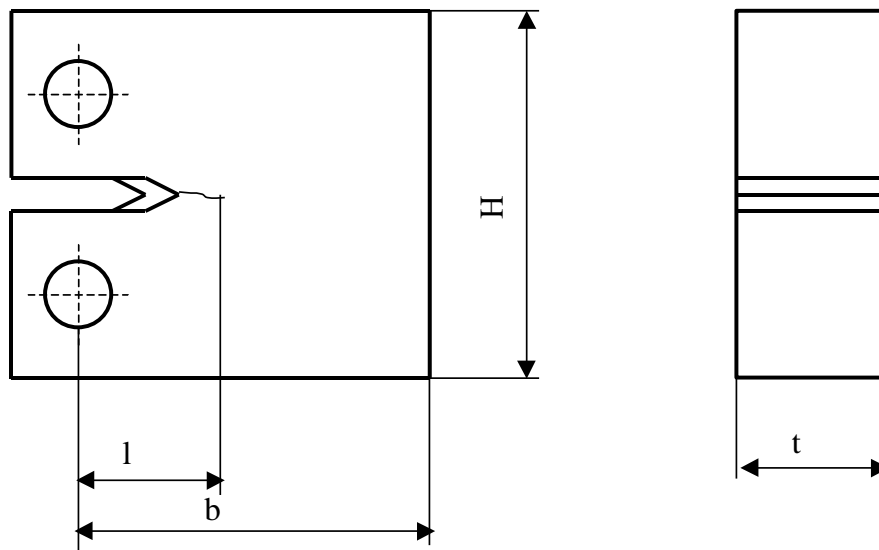


Рис. 2.1. Зразок для визначення критичного КІН.

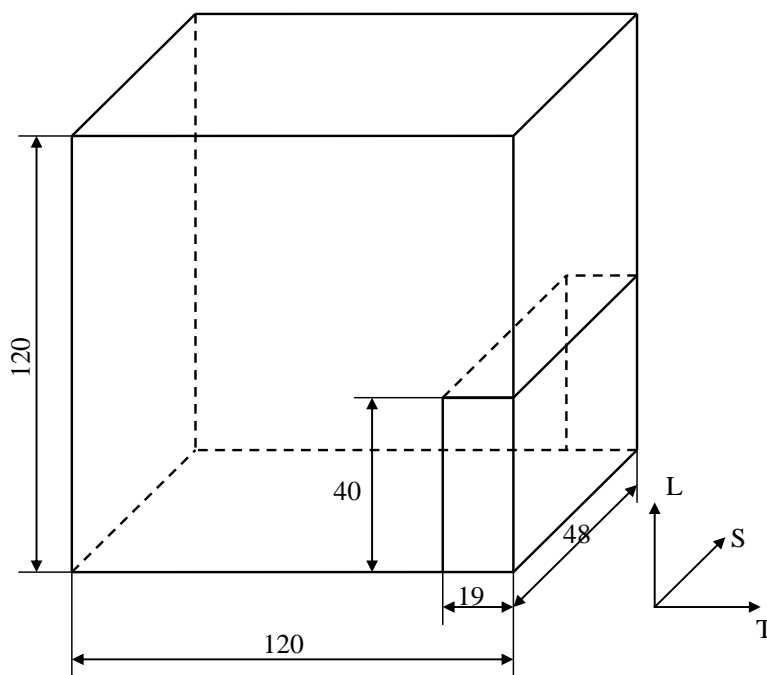


Рис. 2.2. Схема вирізки компактних зразків.

КІН визначали за формулою:

$$K_I = \frac{P}{t\sqrt{b}} Y_1, \tag{2.1}$$

$$Y_1 = \sqrt{l/b} \left[29,6 - 185(l/b) + 655(l/b)^2 - 1017(l-b)^2 + 639(l-b)^4 \right], \quad (2.2)$$

де P —зусилля;

t, b —відповідно товщина і ширина зразка;

l —довжина тріщини.

Основні розміри компактних зразків подано в табл. 2.4.

Таблиця 2.1 - Основні розміри компактних зразків

t, мм	b, мм	H, мм
19	40	48

Попередньо на всіх зразках вирощували первинні втомні тріщини при коефіцієнті асиметрії циклу навантажування $R = K_{\min}/K_{\max} = 0,1$ та частоті навантажування 40 Гц згідно з нормативними рекомендаціями (K_{\min}, K_{\max} – найменший і найбільший КІН). Відносна довжина первинної тріщини становила $(0,45 \dots 0,55)b$. Придатність зразків для подальших досліджень визначали рівновіддаленістю кінців втомної тріщини від осі прикладання сили. Нерівність тріщини не перевищувала 5%.

Дослідження проводили при позацентровому розтязі компактних зразків товщиною 19 мм (рис. 2.3).

Зразки випробували на сервогідравлічній машині СТМ-100, яка керувалась за допомогою персонального комп'ютера. Циклічну складову задавали від генератора стандартних електричних імпульсів типу ГЗ-112.

Попереднє термомеханічне навантаження проводили за температури 623К згідно схеми з повним розвантаженням (рис. 2.4) при $\bar{K} = \frac{K_{1ПТН}}{K_Q^{5\%}} = 0,85$, де $K_{1ПТН}$ - максимальне значення КІН при термомеханічному перевантаженні; $K_Q^{5\%}$ - значення КІН, визначеного за допомогою 5% січної з діаграми руйнування при температурі 623 К.

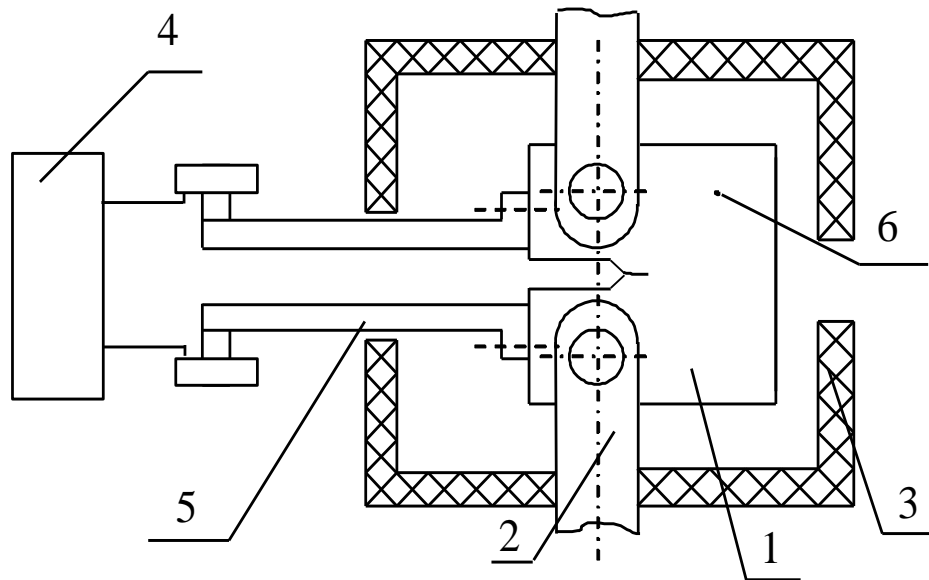


Рис. 2.3. Схема вимірювання берегів тріщини і нагріву зразка:

1 – зразок, 2– захоплювачі, 3 – піч, 4 – тензометр, 5– подовжувачі, 6 – термопара.

Параметри випробувань представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Параметри ПТН

$T_{\text{ПТН}}, \text{K}$	\bar{K}_1	Схема	ΔK	$f, \text{Гц}$	$T_{\text{руйнування}}, \text{K}$
623	0,85	ДК	20	25	293
623	0,85	ДКН	20	25	293
623	0,85	Д	0	-	293
623	0,85	ДН	0	-	293
-	-	Н	-	-	293
-	-	Н	-	-	623
-	-	-	-	-	623

Згідно таблиці 2.2: Д – деформування; К – комбіноване (розтяг з накладанням низькоамплітудної циклічної складової); Н – наводнення.

K, K_{Ic}

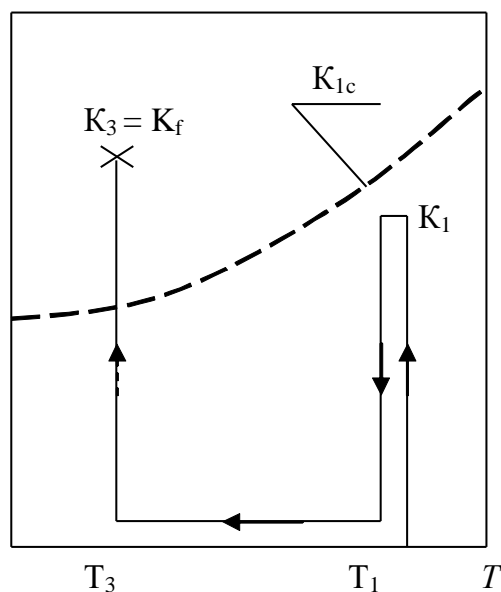


Рис. 2.4. Схема проведення попереднього термомеханічного навантаження з повним розвантаженням.

Упродовж випробувань контролювали переміщення із записом вимірювальних даних зусилля і деформація на комп'ютер і діаграм деформування (зусилля-деформація).

Перед наводнюванням зразки хімічно обезжирювали у водному розчині. Обезжирювання проводили за температури 353 К впродовж 30 хв. Після цього зразки промивали спочатку в гарячій воді, а потім в холодній. Згодом зразки електролітично наводнювали в кислоті H_2SO_4 (рН0) з добавкою 2 г/л стимулятора – тіомочевини за густини струму 10 А/дм² при температурі 298 К впродовж 2 год. Якісне мідне покриття, як бар'єр для виходу абсорбованого водню з металу, неможливо нанести безпосередньо на сталь. Тому з метою створення підложки для міді зразок після наводнювання покривали нікелем електрохімічним способом. Нікелювали у водному розчині, склад якого приведений в таблиці 2.2, при температурі 308 К, густині струму 5 А/дм², впродовж 30 хв. Потім зразки міднили у водному розчині склад якого приведений в таблиці 2.3, за температури 298 К, густини струму 5 А/дм², впродовж 30 хв.

При руйнуванні зразків за температури 293 К вимірювали розкриття вершини тріщини по двох давчачах місткового типу. Схема їх встановлення наведена на рис. 2.5.

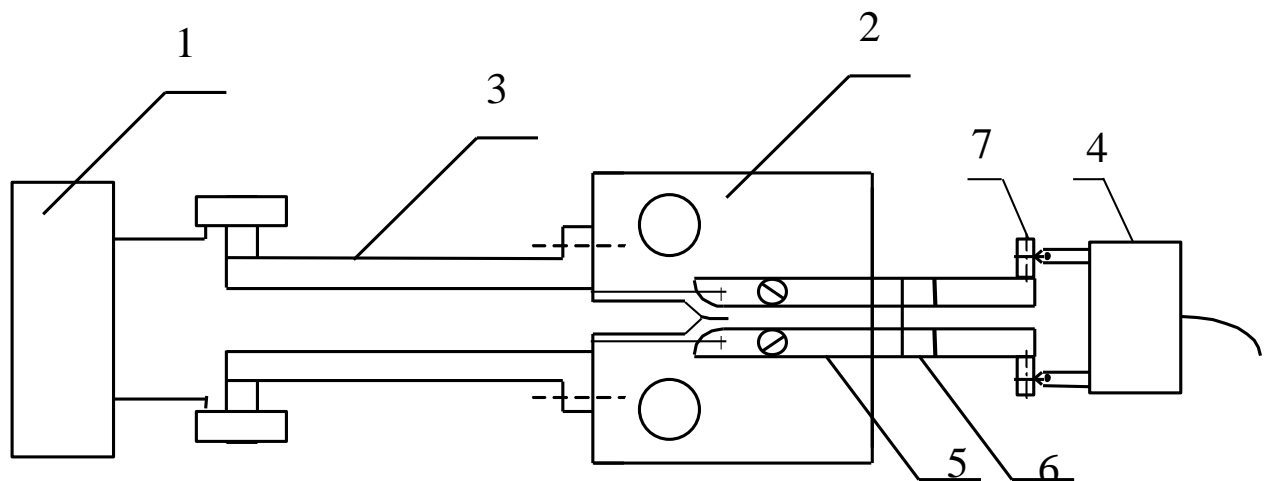


Рис. 2.5. Конструктивна схема встановлення тензодавчачів при вимірюванні розкриття вершини тріщини.

Тензодавчач 1 кріпиться на боковій стороні зразка 2 через подовжувачі 3. Для встановлення біля вершини тріщини другого давчача 4 використано спеціальне пристосування, яке складається з двох корпусних вилок 5 з'єднаних плоскими пружними елементами 6. Ці елементи одночасно виконують роль циліндричного шарніра. На корпусних вилок жорстко встановлені циліндричні штоки 7, до яких пружними скобами зафіксовано робочі пластини тензометричного давчача 4.

Конічні лунки наносили при симетричній розмітці на віддалі $b_1 = 4 \pm 0,1$ мм від лінії поширення тріщини на однакових відстанях від торця зразка.

Використана схема встановлення давчачів забезпечила достатньо високу точність вимірювання (рис. 2.6).

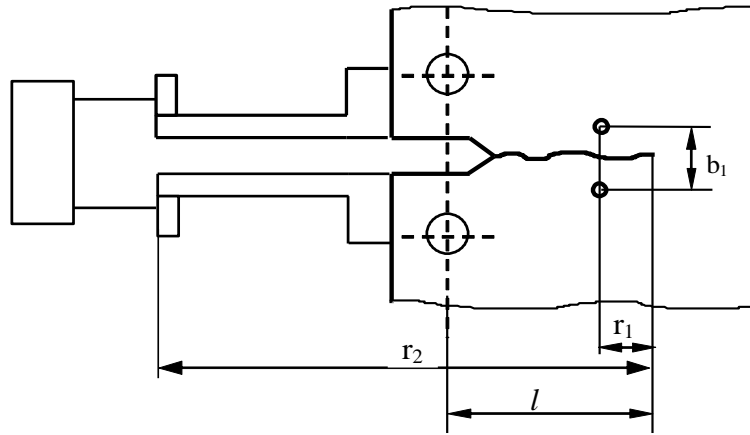


Рис. 2.6. Схема вимірювання розкриття тріщини.

Після ПТН на металографічному мікроскопі типу МІМ-10 при 293К вимірювали залишкове розкриття берегів тріщини на віддалі до 2 мм від її вершини з кроком 0,2 мм.

Залишкове розкриття вістря тріщини δ_{res} після розвантаження при 623К визначали з діаграми $P - \Delta_1$ і перераховували в вершину за формулою:

$$\delta_{res} = \frac{0,4(b-l)}{0,4b + 0,6l + r_2} \Delta_1 \quad (2.3)$$

де: r_2 – віддаль від осі прикладання сили до лінії вимірювання переміщення Δ_1 ; l – довжина тріщини.

Критичне розкриття вершини тріщини визначали за формулою:

$$\delta_f = \Delta_1 \frac{(l_1/r_1 - \Delta_2/\Delta_1)}{l_1/r_1 - 1}, \quad (2.4)$$

де: Δ_1 і Δ_2 - покази давачів на відстані r_1 і r_2 від вершини тріщини.

2.3 Вплив попереднього комбінованого навантаження і наводнення на в'язкість руйнування

Вплив попереднього навантаження на в'язкість руйнування досліджували на зразках сталі 08ХМФЧА.

На рис. 2.7 наведено залежність залишкового розкриття вершини тріщини після ПТН від відстані до її вістря.

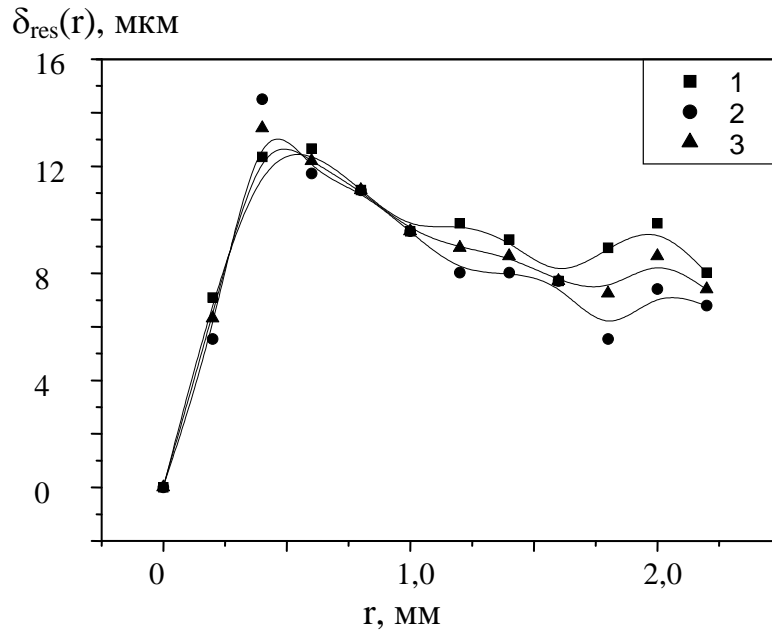


Рис. 2.7. Залежність $\delta_{res}(r)$ після ПТН за температури 623К від відстані до її вістря. Лицева поверхня зразка (1); зворотна поверхня зразка (2); усереднені значення (3).

Залишкове $\delta_{res}(r)$ і усереднене залишкове розкриття тріщини на поверхні зразка, виміряне на мікроскопі МІМ-10, залежить від відстані до вістря тріщини (рис. 2.7). Найбільшого значення $\delta_{res}(r)$ досягає на відстані 0,4...0,6 мм від вершини тріщини (r).

В подальшому спостерігається зменшення залишкового розкриття тріщини по мірі віддалення від вершини тріщини. Слід зазначити що на рис. 2.7 подано лише дані по одному зразку після комбінованого ПТН при 623К і $\bar{K}_1 = 0,85$. Для інших режимів ПТН отримано подібні залежності.

Залишкове розкриття тріщини також обчислювали за формулою (2.3), залежність якого від розмаху КІН при ПТН представлено на рис. 2.8. Максимальний КІН при ПТН був в межах до $80 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

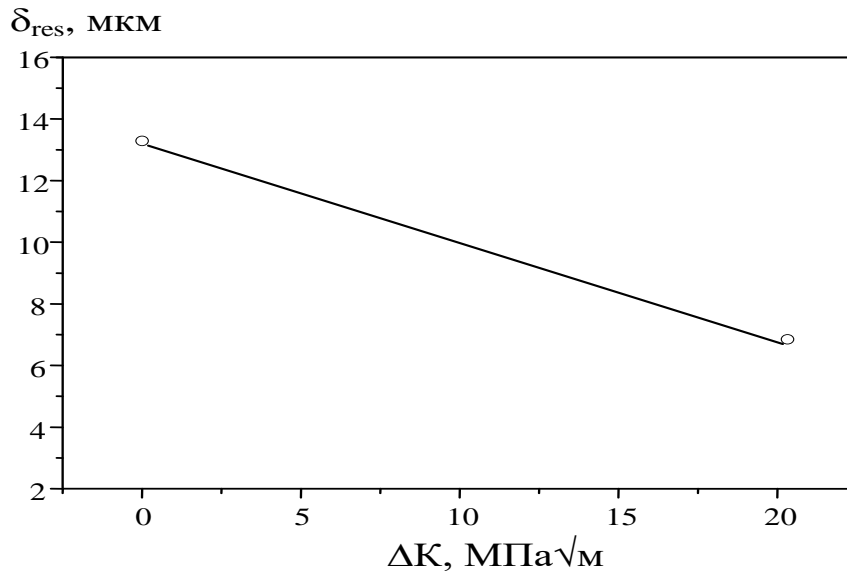


Рис. 2.8. Залежність δ_{res} при 623К обчислене за формулою (2.3) від розмаху напружень ΔK при ПТН

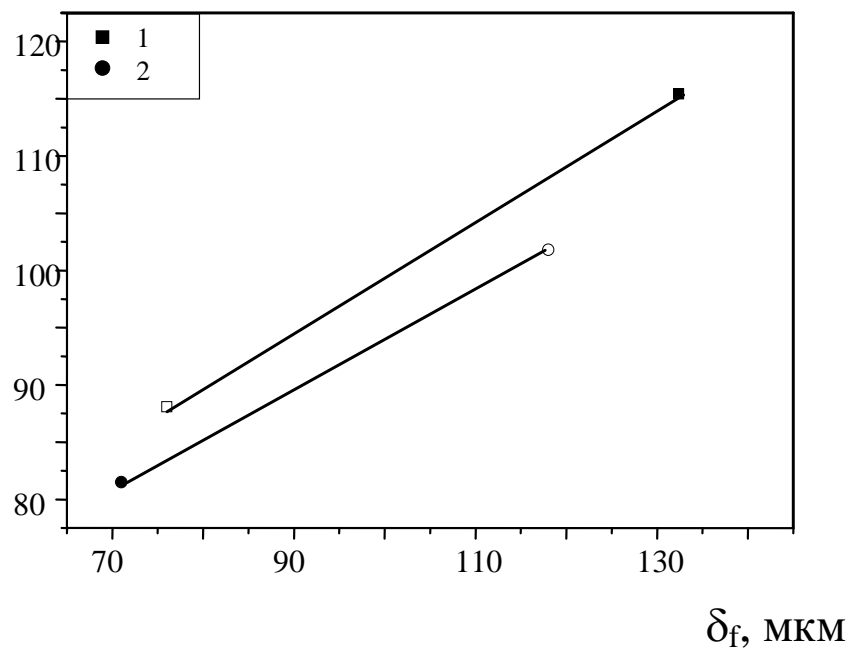
Циклічна складова за комбінованого ПТН ΔK зменшує залишкове розкриття вершини тріщини (рис. 2.8).

Існує чітка залежність критичного КІН K_f після ПТН від критичного розкриття вершини тріщини, обчисленого як без врахування (а), так і з врахуванням залишкового розкриття вершини тріщини (б) (рис. 2.9).

Що більше зростають внаслідок ПНТ δ_f чи $\delta_f + \delta_{\text{res}}$ наводнених і ненаводнених зразків, то більші значення критичного K_f отримано при їх руйнуванні.

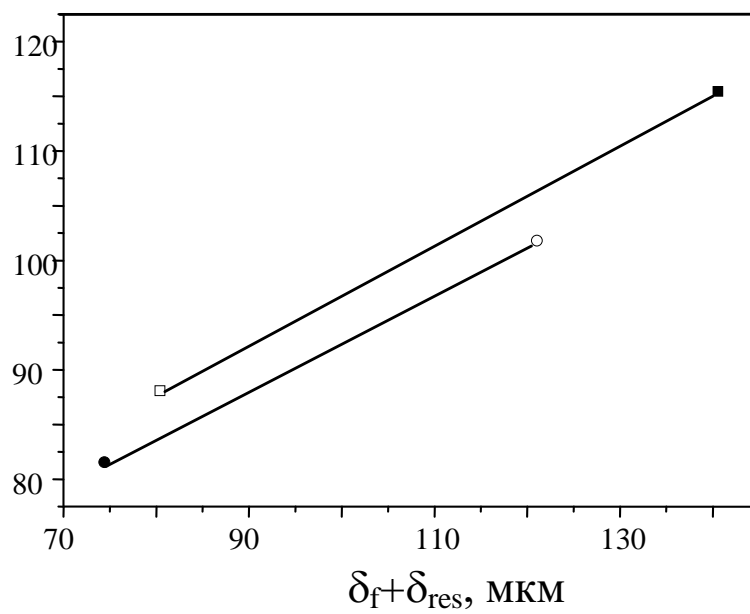
На рис. 2.10 подано залежність критичного КІН від розмаху КІН при ПТН. Критичний КІН K_f вказаної сталі після комбінованого ПТН майже не чутливий до наводнення. Зазначимо, що додаткова циклічна складова зменшує критичний КІН K_f ненаводненої сталі і дещо підвищує K_f наводненої порівняно з ПТН.

$K_f, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$



а

$K_f, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$



б

Рис. 2.9. Залежність K_f наводненої (2) і ненаводненої (1) сталі при 293 К від δ_f (а) і від $\delta_f + \delta_{\text{res}}$ (б), обчислених за формулою (2.4).

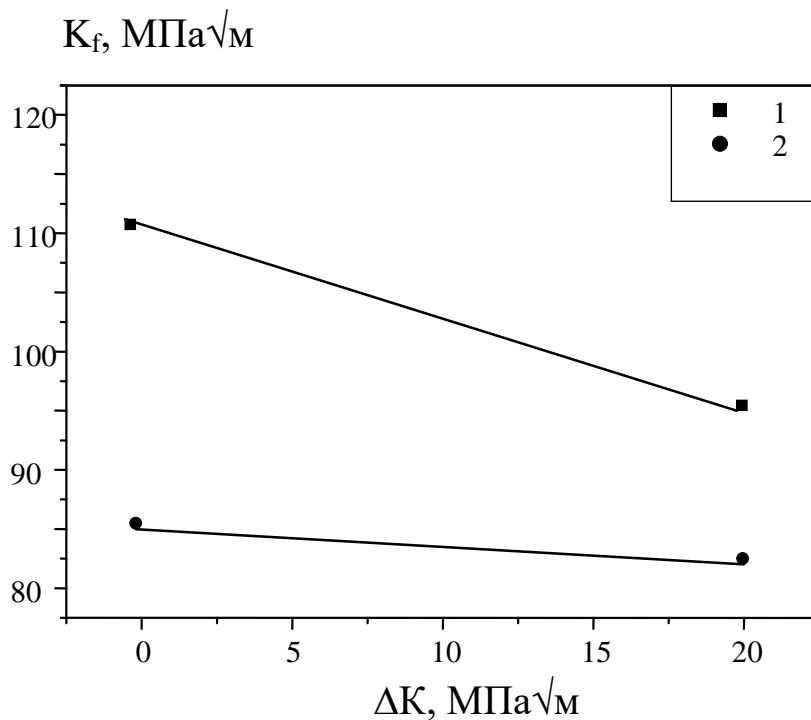


Рис. 2.10. Залежність K_f при 293К ненаводненої (1) і наводненої (2) від розмаху КІН ΔK . Товщина 19 мм.

За величину в'язкості руйнування сталі при статичному навантаженні було взято значення $K_{1c} = 70$ МПа $\sqrt{м}$ отримане на зразках товщиною 25 мм.

Незалежно від режимів навантаження (ПТН чи комбіноване ПТН) на повітрі і в агресивному середовищі (електролітичний водень) в усіх випадках опір крихкому руйнуванню досліджуваної сталі підвищувався у порівнянні із K_{1c} . Так за статичного ПТН опір крихкому руйнуванню збільшився на 40 % для ненаводненого матеріалу і на 30 % для наводненого матеріалу. Отже за статичного ПТН електролітичне наводнювання знижує критичний КІН K_f у порівнянні із ненаводненим матеріалом. За комбінованого ПТН опір крихкому руйнуванню збільшився на 20 % для ненаводненого матеріалу і на 15 % для наводненого матеріалу. Отже електролітичне наводнювання за комбінованого ПТН дещо підвищує опір крихкому руйнуванню у порівнянні із комбінованим ПТН ненаводненого матеріалу, що може бути пов'язане із розкидом його властивостей, однак залишається меншим у порівнянні із статичним ПТН ненаводненого матеріалу.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування способу зварювання.

Вибір конкретного методу зварювання для створення цього виробу базується на таких чинниках: тип матеріалу, який використовується у виробництві, технічні та економічні критерії, товщина зварюваних елементів, легкість зварювання матеріалу, а також можливість механізації та автоматизації процесу зварювання.

Під час виробництва цього продукту можна застосувати такі методи зварювання:

- Ручне дугове зварювання;
- Напівавтоматичне зварювання у середовищі інертних газів;
- Напівавтоматичне зварювання за допомогою флюсу;
- Газове зварювання;
- Автоматичне зварювання за допомогою порошкового дроту.

В цьому випадку для об'єднання деталей ми вибираємо метод напівавтоматичного зварювання під захистом газів, а також автоматичне зварювання за допомогою порошкового дроту. Основні переваги напівавтоматичного методу зварювання в газовому середовищі включають: відносно високий рівень автоматизації процесу, відмінну якість зварних з'єднань, здатність спостерігати за рухом електричної дуги і лазні розтопленого металу через відкритість дуги, можливість виконання зварювання у різноманітних просторових позиціях, а також здатність з'єднувати метали з різною товщиною – від 0,2-0,9 мм до 10-20 мм. Основним недоліком цього методу є інтенсивне розпилення металу електрода. Автоматизоване з'єднання металів за допомогою порошкового проводу застосовується для роботи з усіма видами сталевих сплавів [12].

Головні переваги цієї технології перед іншими зварювальними матеріалами полягають у тому, що для досягнення необхідних механічних характеристик, таких як міцність і гнучкість зварних швів, не потрібно додаткової теплової обробки. Це досягається шляхом адекватного вибору наповнювачів, відповідно до специфічних технічних вимог. Використання техніки зварювання з використанням порошкового проводу приносить наступні переваги:

- Зростання ефективності зварювальних процесів;

- Легкість у використанні та хороші практичні характеристики;
- Здатність виконувати зварювання без використання додаткового газу або флюсу завдяки самозахисним порошковим проводам;
- Придатність для використання в умовах монтажу.

Таким чином, для з'єднання трубних стиків ми використовуємо напівавтоматичне зварювання в умовах захисних газів та автоматизоване зварювання за допомогою порошкового проводу.

Процедура створення звареного виробу охоплює виконання п'яти етапів зварювання, використовуючи два методи: напівавтоматизоване зварювання у газовому захисному середовищі та автоматизоване зварювання за допомогою порошкового проводу.

Як опції для захисного газу, можливе використання інертних газів, діоксиду вуглецю, або їхніх комбінацій.

Для захисту розтопленого металу від впливу атмосфери під час зварювання, найчастіше вибирають діоксид вуглецю або його суміші з іншими газами (наприклад, киснем або аргоном). Це особливо ефективно при роботі з м'якими та низьколегованими сталями. У цьому випадку ми проводимо зварювання у суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. При напівавтоматизованому методі зварювання застосовується зварювальний провід із монолітного перерізу, типу проводу Golden Bridge JQ.MG50-6. Під час створення зварних з'єднань № 3, 4, 5, ми застосовуємо автоматизоване зварювання за допомогою порошкового проводу, використовуючи апарат АД-142 і систему "Стик-2". Ефективне формування зварного з'єднання досягається за допомогою самозахисного порошкового проводу Innershield NR-207 діаметром 3 мм. Характеристики дроту, який застосовується при зварюванні приведено в таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості дротів [13]

Марка дроту	Властивості металу шва			
	σ_B	δ ,	КСУ, кДж/м ²	
	МПа	%	20 °С	-20 °С
Golden Bridge JQ.MG50-6	520	22	1200	500
Innershield NR-207	530	25	1400	530

Таблиця 3.2 - Хімічний склад застосовуваних дротів [13]

Марка дроту	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al	Cu
Innershield NR-207	0,05	0,85	0,24	0,73	0,03	0,02	0,01	1,06	-
Golden Bridge JQ.MG50	0.077	1.45	0.87	-	-	-	-	-	0.125

Для зварювання стику трубопроводу проведемо розрахунок режимів зварювання [4]. При застосуванні V-подібної форми розкриття кромки, об'єм нанесеного металу з товщиною 16 мм (рис. 3.1) приблизно становить $F_H = 200$ мм².

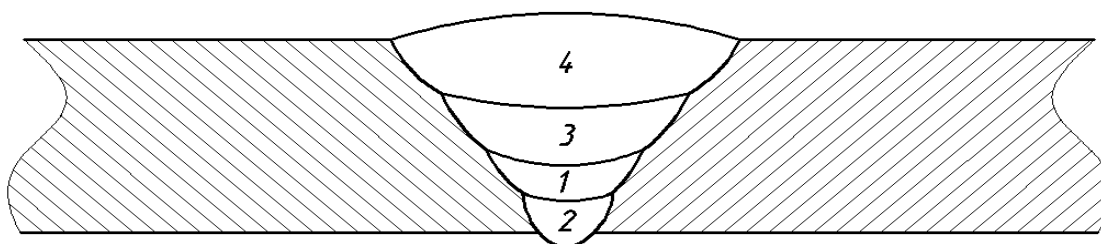


Рис. 3.1 - Розташування шарів зварного шва

За умови, що об'єм металу в одному шарі F_{1H} становить 50 мм², кількість шарів обраховується наступним чином:

$$n = \frac{F_H}{F_{1H}} = \frac{200}{50} = 4. \quad (3.1)$$

Під час процесу зварювання застосовуються порошкові дроти діаметром 3 мм.

Визначаємо струм зварювання

$$I_{3B} = \frac{\pi \times d^2 \times i}{4}, \quad (3.2)$$

де, d – діаметр порошкового дроту, мм;

i – густина струму, $i = 50$ А/мм².

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

Встановлюємо значення струму 350 А.

Напруги дуги

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d^{0.5}} \times I_{3B} \pm 1, \quad (3.3)$$

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{3^{0.5}} \times 350 \pm 1 = (31.5 \pm 1)B.$$

Встановлюємо напругу дуги 32 В.

Визначаємо швидкість зварювання:

$$V_{3B} = \frac{\alpha_{н} \times I_{3B}}{100 \times F_{в} \times \rho}, \quad (3.4)$$

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

$F_{в}$ – площа перетину одного валика, см²;

$\alpha_{н}$ – коефіцієнт наплавлення, г/А × год;

$$\alpha_{н} = \alpha_{р} \cdot (1 - \psi),$$

де, ψ – коефіцієнт втрат, $\psi = 0,02 \dots 0,03$.

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

Приймаємо швидкість зварювання 9 м/год.

Швидкість подавання електродного дроту:

$$V_{\text{П.ДР}} = \frac{4 \times \alpha_p \times I_{\text{ЗВ}}}{\pi \times d^2 \times \rho}, \quad (3.5)$$

де, d – діаметр дроту;

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

α_p – коефіцієнт розплавлення, $10 \dots 12 \text{ г/А} \times \text{год}$.

$$V_{\text{П.ДР}} = \frac{4 \times 12 \times 350}{3.14 \times 3^2 \times 7.8} = 274.2 \text{ м/Год.}$$

Режими заповнення стика з'єднуваного трубопроводу приведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Режимы зварювання кільцевих з'єднань

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

Зауваження: Параметри для зварювання кільцевих швів, вказані у табл. 3.3, носять наближений характер.

Для виконання напівавтоматичного зварювання кореневого шва стику трубопроводу застосовуємо джерело ВДГ-303-У3 (рис. 3.2) та подаючий механізм ПДГ-312-5 (рис.3.3) [14].

Випрямляч моделі ВДГ-303-У3 був спеціально розроблений для використання у поєднанні з механізмами подачі дроту серії ПДГ, а також з іншими аналогічними механізмами. Як частина напівавтоматичної зварювальної системи, випрямляч призначений для зварювання сталевих конструкцій за допомогою постійного струму. Зварювання може бути виконане як з використанням суцільного дроту, так і дроту з порошковим наповненням.

Детальні технічні характеристики моделі ВДГ-303-УЗ представлені в табл.3.3, а апарату ПДГ-312-5 в табл. 3.4. [14]

Таблиця 3.3- Технічні дані ВДГ-303-УЗ

Назва параметра	Значення
Напруга мережі живлення, В	3x380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (ПВ,%)	315 (60%)
Межі регулювання зварювального струму, А	40-315
Кількість ступенів регулювання напруги	3
Межі регулювання зварювальної напруги, В	16-38
Напруга холостого ходу, В, не більше	60
Потужність що споживається з мережі, кВА, не більше	21
Маса, кг, не більше	200
Габаритні розміри, мм, не більше	735x605x750

Таблиця 3.4 – Характеристика апарату ПДГ-312-5 [14].

Параметр	Значення
Напруга мережі живлення, В	220;380
Потужність приводу, Вт	200
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	120-960
Діаметр, електродного дроту, мм	0.8-1.6
Маса, кг, не більше	12
Габаритні розміри, мм, не більше	310x715x355



Рис. 3.2 – Випрямляч зварювальний ВДГ-303 УЗ



Рис. 3.3 – Зварювальний апарат ПДГ-312-5

Пальник є центральною частиною будь-якої зварювальної системи. Він відіграє критичну роль у запалюванні зварювальної дуги та регулюванні потоку захисного газу для створення зварного шва. Дизайн пальника повинен забезпечувати безпеку користувача під час експлуатації, надійність робочого процесу, ефективний захист області зварювання, а також простоту заміни

зношених деталей. Вибір пальника, в даному випадку моделі ГДПГ-305 (рис. 3.4), базується на аналізі зварювальних режимів та унікальних конструктивних характеристик (рис. 3.4). Характеристика ГДПГ-305 представлена в табл.3.5 [14].



Рис. 3.4 – Пальник ГДПГ-305

Таблиця 3.4- Характеристика ГДПГ-305 [14].

Параметри	Значення
Номінальний зварювальний струм, А	315 А 260 А
ПВ при циклі 5 хв,%	60
Діаметр сталюного дроту, мм	1,0..1,4
Довжина рукава, м	3,0+0,02
Інтервал робочих температур, С	від-10 до+40
Маса пальника, кг, не більше	3,0

Для зварювання основних швів стика трубопроводу застосовуємо автоматичне зварювання самозахисним дротом, для цього необхідно підібрати зварювальний автомат.

На даний момент розроблено та виготовляється серія пристроїв для автоматизованого зварювання з активним формуванням зварних з'єднань. Ці пристрої можуть бути адаптовані для виконання зварювання фіксованих стиків

труб великого діаметру шляхом модифікації деяких елементів їхньої конструкції. До цих пристроїв відносяться моделі А-1150 (рис. 3.5) та А-1325 [15].



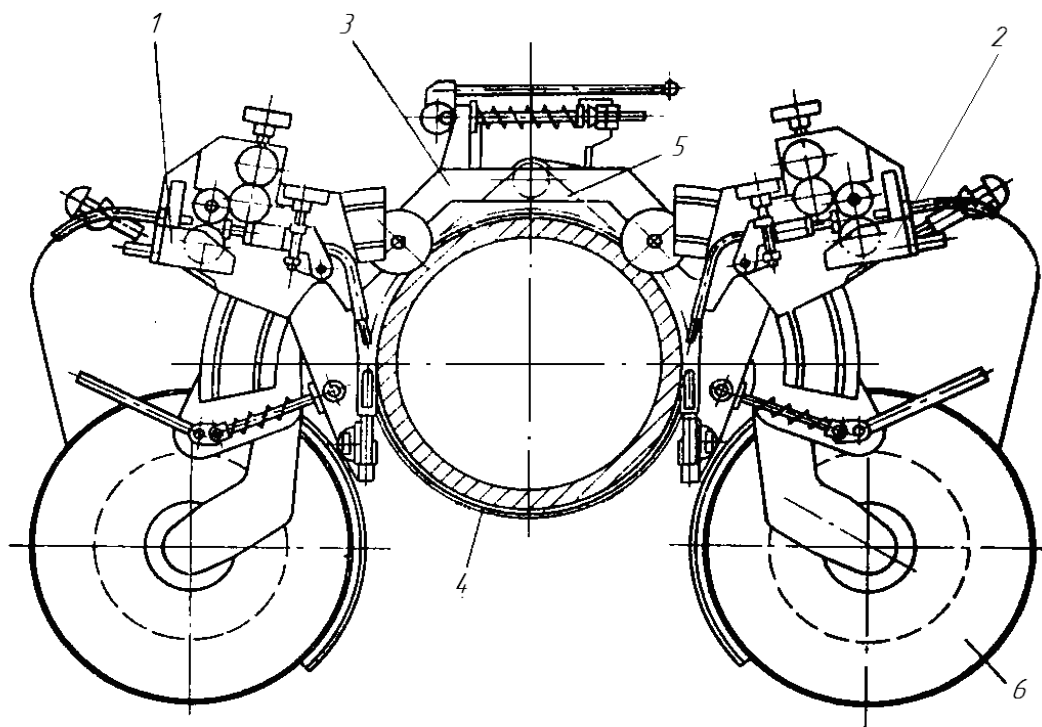
Рис. 3.5 – Автомат А-1150

Особливий інтерес викликає пристрій А-1150. Цей пристрій розроблено для зварювання вертикальних кругових швів з радіусом не менше 2 метрів.

Цей пристрій здатний здійснювати зварювання швів під кутом, який не перевищує 45 градусів відносно вертикальної осі. Проте, виконання робіт на стельових швах за допомогою цього апарату є складним завданням.

Науковцями Інституту імені Е.О. Патона було розроблено набір систем для зварювання трубопроводів великого діаметру, включаючи комплекси "Дуга" та "Стик". Головки зварювальних агрегатів у цих комплексах відрізняються високою маневреністю та надійністю. На відміну від попередніх моделей, ці головки можуть бути легко адаптовані для роботи зі стиками великих діаметрів, потребуючи лише невеликих змін, переважно в механізмі коригування [15].

Оптимальним вибором для автоматизованого зварювання фіксованих стиків труб з розмірами 1020×16 є зварювальний агрегат АД-142 із системи "Стик 02" (рис. 3.6), розроблений для з'єднання трубопроводів як у процесі нового будівництва, так і під час проведення ремонтних робіт, де умови значно відрізняються від стандартних умов при будівництві трубопроводів. Через наявність значної кількості труб необхідне повторне налаштування агрегату, а розташування стиків на монтажній площадці або при ремонті не дозволяє пересувати агрегат між стиками за допомогою переміщувальних механізмів. Таким чином, агрегат сконструйований з модулів, які легко монтуються і можуть бути зібрані на трубі без спеціального обладнання. У зібраному стані агрегат можна встановити на трубу, використовуючи прості механічні пристрої.



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

Рис. 3.6 – Зварювальний пристрій АД-142

Розміщення пристрою АД-142 на з'єднанні труб розпочинається з розташування прямої смуги на певній відстані від стику за допомогою

спеціалізованого шаблону, який є частиною комплекту пристрою. Кріплення візка до смуги здійснюється за допомогою дворядкового ланцюга, один кінець якого має крюк, а інший проходить через зажим на смугі. Після відпускання пружини виштовхувального механізму монтують ліву та праву зварювальні головки та касету з порошковим проводом. Переносну консоль розміщують на трубі якомога ближче до місця стику (за вибором оператора). Консоль утримується на трубі за допомогою постійних магнітів.

Після підключення зварювального кабелю до джерела енергії, пристрій готовий до використання. Для демонтажу пристрою використовують іншу напрямну смугу, що входить у комплект пристрою, проводячи процес у зворотному порядку.

Підготовка зварювальних головок. Підготовчий етап до роботи зварювальних головок включає монтаж подавальних роликів з урахуванням типу порошкового проводу, який буде застосовуватися. Інтенсивність зварювального струму регулюють за допомогою шкали на регуляторі струму, при необхідності вносячи корективи під час зварювання. Натиск подавальних роликів налаштовують, спираючись на візуальний огляд стану поверхні порошкового проводу. Вм'ятини на поверхні порошкового проводу мають бути не глибшими за 0,1 мм, щоб не порушувати його геометрію та забезпечити належний контакт з контактним наконечником для передачі струму. Довжина вільного кінця порошкового проводу повинна бути в межах 30–40 мм.

За допомогою налаштувань механізму вібрації задають розмах вібрацій порошкового проводу в проекті так, що кінчик порошкового проводу наближається до країв труби на максимальну відстань 2 мм. Частоту вібрацій регулюють в діапазоні від 0,5 до 2 Гц.

Конструювальні елементи, що формують шов, такі як повзуни та опорна підкладка, а також механізми для їх точного розміщення на стику та ефективного прижимання, разом із системами регулювання температури, становлять комплекс для контрольованого формування зварного шва.

Повзуни використовуються для створення шва на зовнішній стороні стику. Вони класифікуються на заповнювальні та облицювальні, різняться за

конструкцією формуючих поверхонь. Формуюча поверхня облицювального повзуна має вигляд сферичної борозни з шириною 22...24 мм і глибиною 2...2,5 мм, як показано на рис. 3.7. Ширина борозни зазвичай на 6...10 мм більша за ширину кромки, що дозволяє формувати шов із плавним переходом від основного металу до наплавленого без створення вирізів чи нерівностей.

Створення заповнювальних шарів шва здійснюється за допомогою повзуна, оснащеного формуючою поверхнею, що має вигляд випуклого елемента або зубця, зображеного на рис. 3.8, який відповідає конфігурації зварюваного стику.

Висоту зубця підбирають з урахуванням глибини проплавлення під час зварювання, при цьому його ширина на 2...3 мм менша за ширину стику, щоб уникнути його перегріву. Для формування вигнутої форми шва з плавним переходом між наплавленим і основним металом, зубець має радіус закруглення 3...4 мм.

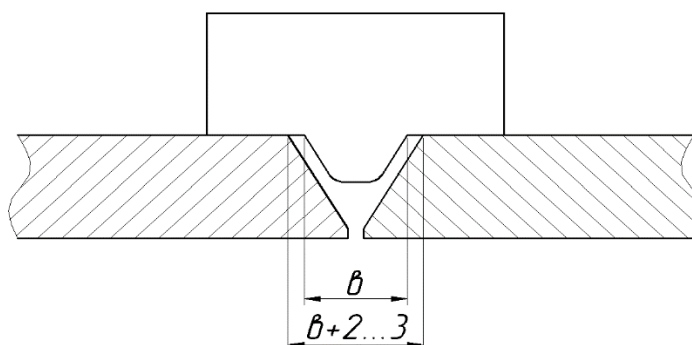


Рис. 3.7– Мідний водяний охолоджувальний заповнювальний рухливий елемент

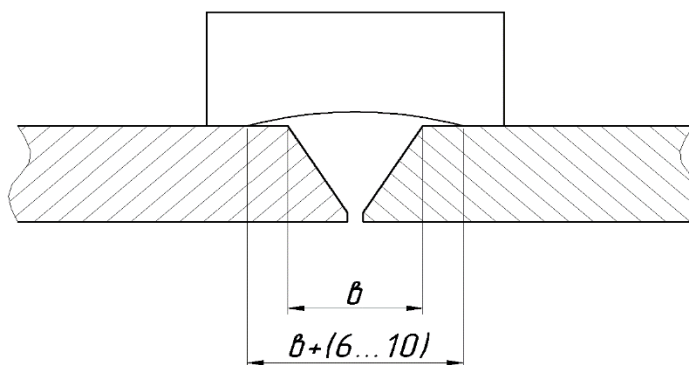
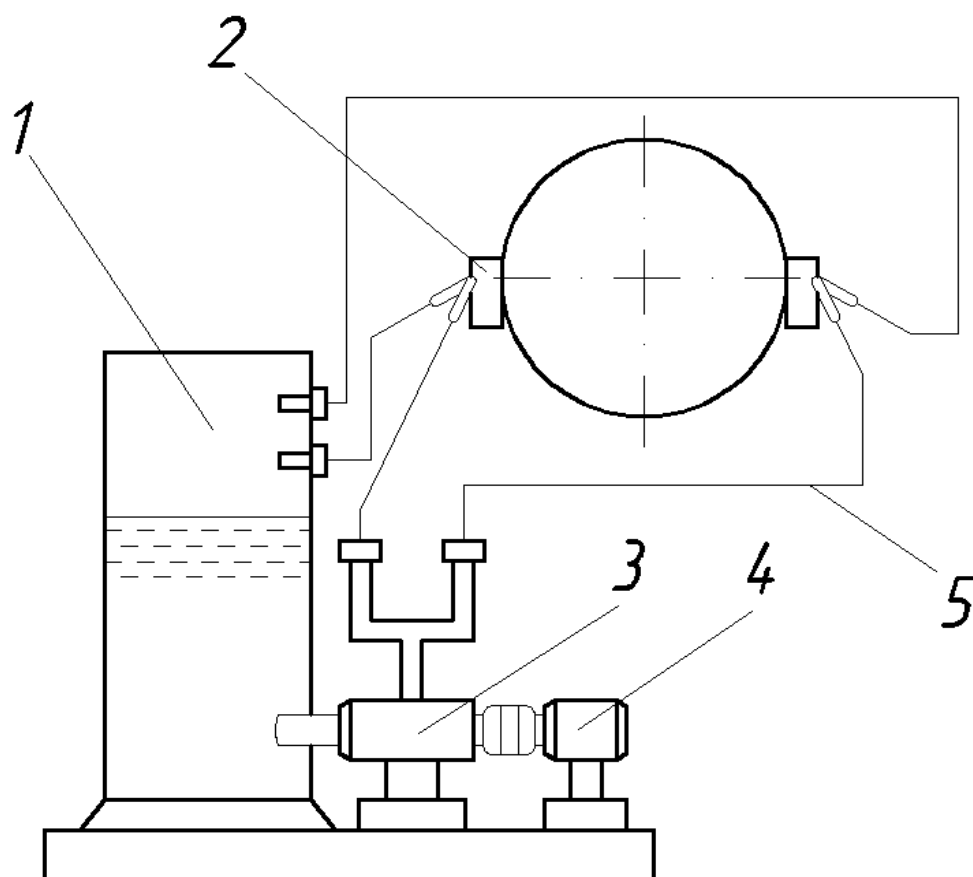


Рис. 3.8 –Мідний водоохолоджуваний облицювальний повзун

В залежності від температури навколишнього середовища для охолодження повзунів використовують воду або незамерзаючу рідину типу тосол. Охолодження мідних формуючих повзунів проводять з використанням замкнутої циркуляційної системи, при якій охолоджуюча рідина подається до повзунів за допомогою насоса, а після охолодження повертається в посудину. Система охолодження мідних формуючих повзунів показана на рис. 3.8.



1 – посудина з охолоджуючою рідиною; 2 – мідні водоохолоджувані формуючі повзуни; 3 – водяний насос; 4 – електродвигун; 5 – з’єднувальні шланги

Рис. 3.8 – Схема охолодження формуючих повзунів

Температура охолоджувальної рідини в формуючих повзунах має істотне значення для правильного формування шва. При занадто високій температурі (наближена до кипіння) швидко підвищується нагрів повзунів, що призводить до підтікання шлаку і розплавленого металу, погіршенню зварювального процесу внаслідок накопичення рідкого шлаку в зоні зварювання. Продовження зварювання при киплячій воді навіть під час короткого проміжку часу (2...3хв)

призводить до неможливості використання повзунів із-за горіння шлангів і ущільнення.

Застосування порошкового проводу має певні унікальні характеристики, що підкреслюють необхідність використання джерела зварювального струму постійного типу зі стабільною, а в деяких ситуаціях і зі збільшеною вихідною характеристикою.

Ці особливості включають:

- а) підвищену реактивність на коливання умов зварювання;
- б) посилення вольт-амперної характеристики дуги;
- в) ускладнення ініціації дуги, особливо при низьких струмах;
- г) потребу у застосуванні вищої щільності струму.

Підвищена реакція порошкового проводу на зміни умов зварювання, особливо на коливання напруги дуги, свідчить про необхідність застосування джерела енергії, яке мінімізує ці коливання під час зварювання. У ситуації використання джерела енергії з падаючою або підвищувальною характеристикою, коливання струму спричиняють різні зміни напруги на дузі. Зі скороченням довжини дуги, струм зварювання зростає, що веде до прискореного плавлення електродного проводу (ефект саморегуляції дуги). Оскільки подача електродного дроту в зону зварювання відбувається з постійною швидкістю, кінець проводу плавиться швидше, збільшуючи довжину дуги та відновлюючи режим. Застосування джерела енергії з жорсткою характеристикою дозволяє мінімізувати коливання напруги, забезпечуючи швидке зростання зварювального струму, що веде до різкого підвищення темпів плавлення і швидкого відновлення режиму.

Ключовою перевагою використання джерела енергії з стабільною характеристикою є простота ініціації дуги, що має велике значення при зварюванні порошковим проводом при низьких струмах.

Отже, рекомендується застосування джерел енергії з стабільною характеристикою для зварювання порошковим проводом. До таких джерел енергії належать: ПСГ-350, ПСУ-500, ПСГ500, ВС-300, ВС-500, ВС-600, ВС-1000, ВДУ-506С.

Розглянувши характеристики вище описаних джерел зварювальної дуги, будемо застосовувати ВДУ-506С (рис. 3.9). Характеристика ВДУ-506С приведена в табл. 3.5 [14].



Рис. 3.9 - Випрямляч ВДУ–506С

Таблиця 3.5 - Технічні дані ВДУ – 506С [14]

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

3.2 Опис технологічного процесу

Підготовчі роботи. Перед початком робіт з монтажу мають бути виконані такі підготовчі роботи:

- очищений котлован чи приямок від снігу чи води;
- очищені зовнішні поверхні труб на відстань 2 м від торця, і внутрішні порожнини труб від таких забруднень як ґрунт, сніг, лід та ін.;
- проведення візуального огляду.

Загальні вимоги до зварювання стиків такі. Складання та зварювання стиків необхідно проводити у світлий час доби при температурі навколишнього повітря не нижче мінус 40 °С.

Зварювання стиків має виконуватися без перерв. Залишати зварні з'єднання стиків незакінченими не допускається.

Змінювати положення зібраних ділянок, зафіксованих на момент завершення складання при зварюванні стику не можна. Опускати підняту під час монтажу ділянку трубопроводу допускається тільки після виконання зварювання стику.

Не дозволяється зварювання стиків із труб різної товщини.

Операції з підготовки заготовок охоплюють:

- транспортування на робоче місце нової секції труби;
- перевірка розташування осі трубопроводу у вертикальній та горизонтальній площинах згідно з проектними параметрами;
- нанесення розмітки на корпус трубопроводу для монтажу труби;
- видалення частини трубопроводу, що підлягає заміні;
- обробка кромки трубопроводу для зварювання;
- монтаж нової частини трубопроводу та її точне з'єднання з основним трубопроводом.

Складальні операції. Підготовка кінців труб до зварювання має бути проведена за допомогою автоматизованого кисневого різання. Для цього реалізують за допомогою машини для різання труб Huawei CG2-11S (рис. 3.10). Дана машина

дозволяє проводити різання труб діаметром до 1200 мм із одночасним розробленням кромки.

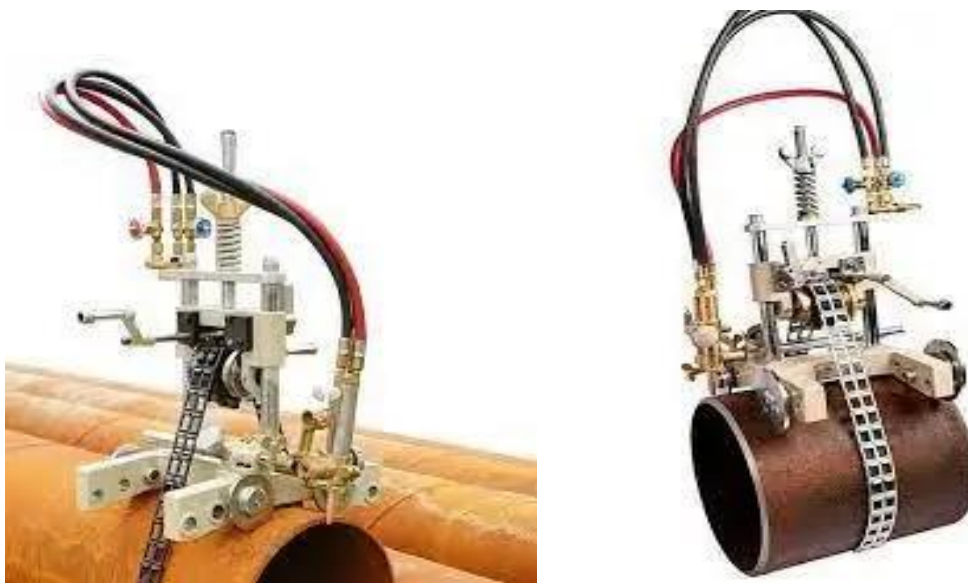


Рис. 3.10 – Машина для кисневого різання труб Huawei CG2-11S [16]

Тип розроблення кромки трубопроводу представлено на рис. 3.11.

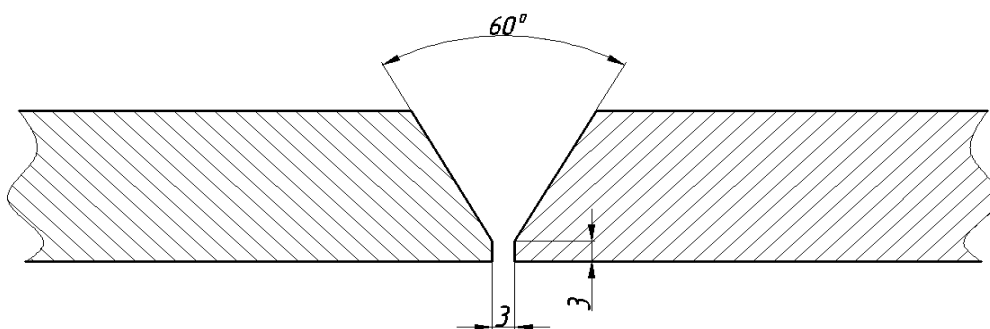


Рис. 3.11 – Формування кромки труб для зварювання

Після виконання підготовчого кисневого різання кінців кромки труб, їх необхідно обробити за допомогою обладнання для обробки кромки ISY 1050-2 (рис. 3.12). Суміжні внутрішні та зовнішні поверхні труб слід очистити до металічного блиску на ширину 15 мм за допомогою спеціалізованого обладнання для очищення. Кромки, що зварюються, не мають включати зубців чи вм'ятин глибшими ніж 2 мм.

Технологічний проміжок між краями труб під час зварювання має бути не більшим ніж 3 мм.



Рис. 3.12 – Кромко знімач ISY 1050-2 [16]

Дозволене відхилення країв у зібраному стикі не має перевищувати 0,5–1 мм.

Під час підготовки труб до зварювання спочатку здійснюють очистку внутрішньої порожнини від сторонніх об'єктів та забруднень. Трубні кінці з вм'ятинами глибше 5 мм необхідно видалити. Для малих пошкоджень передбачається ремонт шляхом випрямлення та зварювання за допомогою електродів з базовим покриттям. Кромки зварюваних труб і суміжні поверхні шириною щонайменше 10 мм, а також укріплення внутрішніх та зовнішніх швів мають бути очищені до стану металевого блиску за допомогою механізованого обладнання. Кромки, підготовлені газовим чи плазмовим різанням, також очищають за допомогою шліфувальної машини. При плазмовому різанні важливо видалити поверхневий шар завтовшки не менше 0,1...0,2 мм через його азотацію, щоб запобігти зниженню механічних властивостей зварного з'єднання та уникнути пористості, спричиненої азотом.

Після обробки труб однією з найбільш критичних технологічних процедур є їх монтаж, який проводять за допомогою стандартних внутрішніх або зовнішніх центраторів, а також спеціалізованих внутрішніх центраторів з мідним опорним кільцем.

Для труб допустимі відхилення від проектних параметрів:

- а) По периметру довжини до 3 мм на 1 м;
- б) Еліптичність до $\pm 0,2 \dots 0,5\%$;
- в) Відхилення від перпендикулярності торців до осі трубопроводу до $\pm 1,5$ мм;
- г) Толеранція товщини стінки труби $\pm 0,5$ мм від внутрішнього діаметра.

Монтажно-зварювальні роботи. Здійснення зварювання знизу догори, контроль над об'ємом розплавленого металу в нижній та стельовій позиціях, різноманітність діаметрів та товщин стінок труб, а також можливості зварювального обладнання впливають на методику зварювання фіксованих стиків труб. Під час зварювання порошковим проводом на трубах з розмірами 1020×16 , перша зварювальна головка розпочинає роботу з найнижчої точки стика (6 годин) і продовжує зварювання безперервно до найвищої точки (12 годин), охоплюючи весь напівпериметр. Друга зварювальна головка починає зварювання так само, як і перша, після завершення напівпериметра. Заклучні шви робляться тільки в стельовій та нижній позиціях.

Залежно від товщини стінки труби та застосованої методики зварювання, зварювання з'єднань здійснюється у кілька етапів. Визначення кількості етапів базується на критичній висоті зварювальної ванни, при якій у з'єднанні можуть виникати технологічні недоліки через розпливання металу зварювальної ванни.

Під час зварювання наступних шарів шва, замикання швів розміщують на відстані не менше ніж 100 мм один від одного.

Зварювання фіксованих стиків труб з діаметром 1020×16 порошковим проводом проводять почергово з кожного боку. Схема зварювання шва представлена на рис. 3.13.

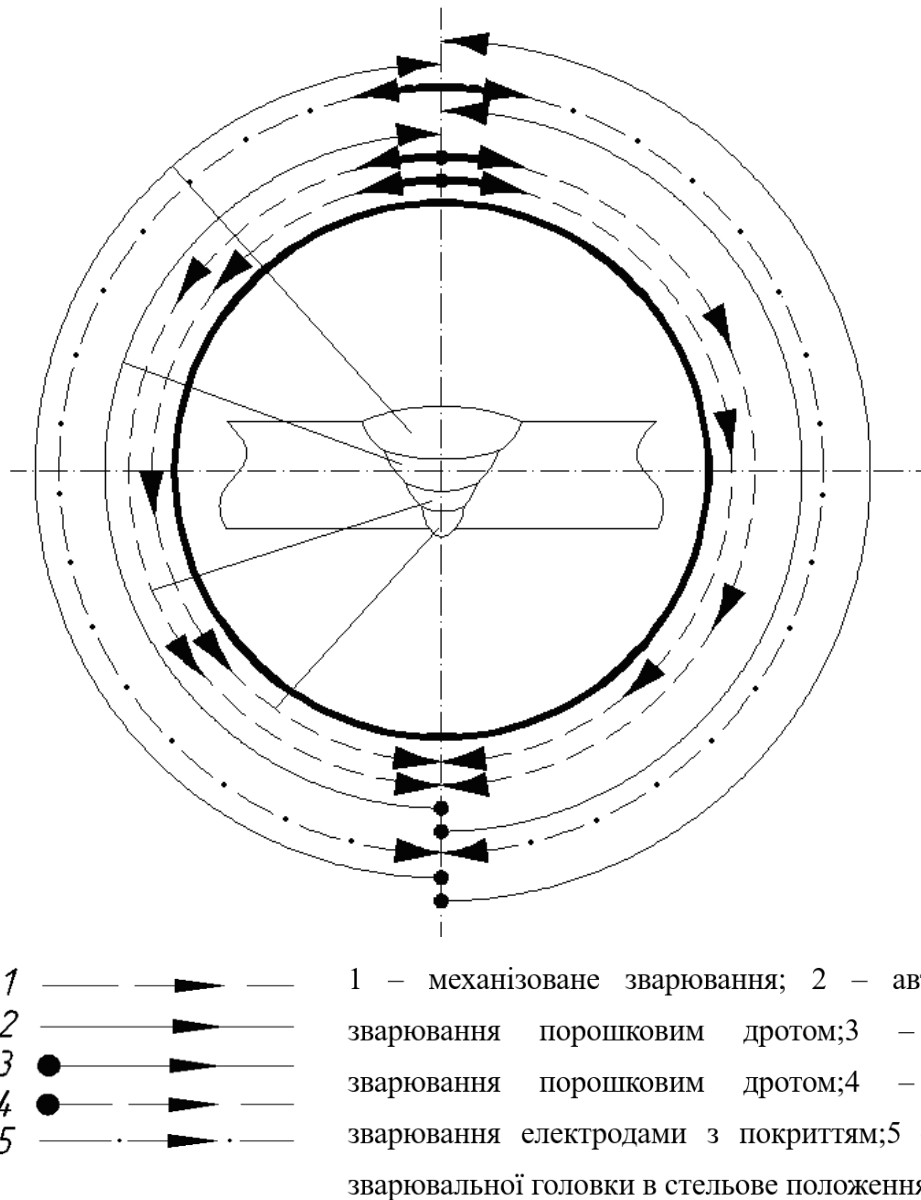


Рис. 3.13 – Схема зварювання кільцевих неповоротних стиків труб $\text{Ø}1020 \times 16 \text{ мм}$ за допомогою порошкового проводу [1]

Процес зварювання реалізують наступним чином:

- а) Закладення основи шва за допомогою електродів із газовим захистом або базовим покриттям;
- б) Попереднє зварювання з внутрішньої сторони нижньої частини периметра труби під час закладення основи шва за допомогою електродів із базовим покриттям;
- в) Зварювання порошковим проводом заповнюючих та фінішних шарів згідно з вищеписаною схемою.

Управління процесом зварювання: один з ключових аспектів зварювання фіксованих стиків труб - це ініціація зварювання. Важливо забезпечити однорідне просмільчування основного металу на етапі початку зварювання для уникнення місцевих неплавлень. Методика запуску зварювання включає в себе кілька важливих кроків. Перед стартом зварювання в стельовому положенні електрод розташовують під кутом 20...30 градусів до труби, так що точка контакту електрода з кромками та попереднім шаром наплавленого металу розташовується усередині розплавленої зони на відстані 10...15 мм від переднього краю формуючого повзуна, як показано на рис. 3.14.

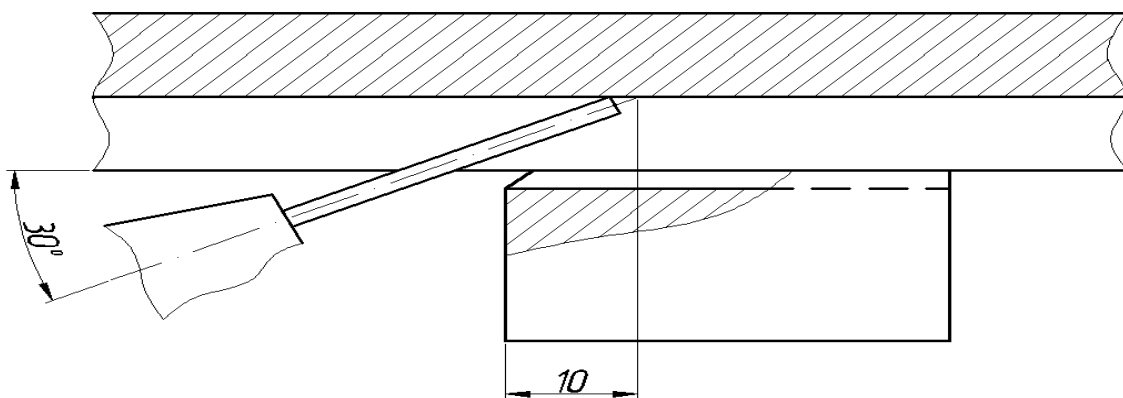


Рис. 3.14 – Схема розміщення порошкового дроту на старті зварювання

Через 2...3 секунди після запалювання зварювальної дуги, електрод встановлюють паралельно до поверхні труби. Згодом, під час формування зварювальної ванни, рухають формуючий елемент зі швидкістю, що відповідає заповненню області розплавленням.

На етапі початку зварювання в стельовому положенні, коли формується зварювальна ванна, під впливом газодинамічного тиску дуги, розплавлений метал перетікає на основний метал або на попередній шар металу, як показано на рис. 3.15, що може спричинити неплавлення.

Перед тим, як розпочати зварювання другої половини стика, цю частину очищають шліфувальним інструментом під кутом 30 градусів, створюючи плавний перехід між наплавленим металом та основним металом. Це сприяє створенню умов для високоякісного сплавлення в зоні з'єднання швів, як показано на рис. 3.16.

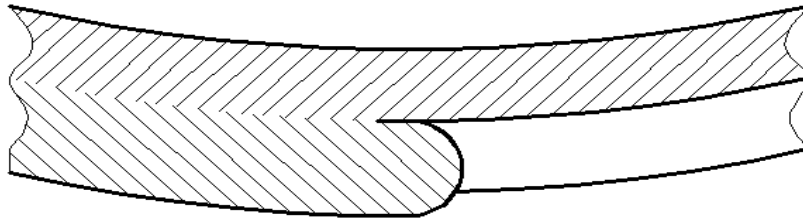


Рис. 3.15 – Зовнішній вигляд перетікання металу в області зварювання

З'єднання двох швів (в замок) у стельовому положенні виробляють, розташувавши електрод паралельно поверхні труби. Формувальний механізм встановлюють таким чином, щоб початок попереднього шва був на відстані 11 мм від його фронтальної кромки. Початок руху формувального механізму здійснюють після створення зварювальної ванни. Попередня обробка місця з'єднання швів забезпечує плавне зростання об'єму розплавленої зони, що сприяє рівномірному нагріву та проплавленню його стінок, а також високій якості у місцях з'єднання швів.

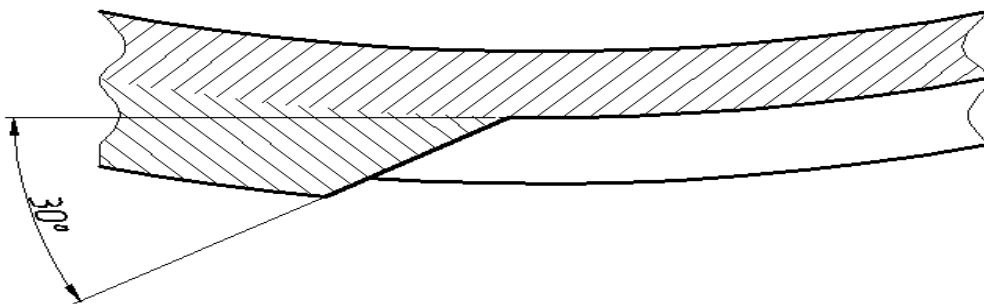


Рис. 3.16 – Зовнішній вигляд очищення зони початку зварювання

При зварюванні неповоротних стиків модифікують процес плавлення кромки зварюваних труб. Протягом зварювання фіксованого стика кут нахилу порошкового проводу відносно труби поступово зростає від 0 до 45 градусів в нижній позиції (сегмент від 11 до 12 годин), що зменшує протікання металу та шлаку під зварювальну дугу та покращує умови нагріву кромки труб, як показано на рис. 3.17. Таке регулювання нахилу електрода сприяє однорідному проплавленню кромки зварюваних труб у всіх секціях стика.

Під час зварювання формувальний елемент притискають до труби таким чином, що точка контакту труби розміщується на відстані 10...15 мм від його фронтальної частини, як зображено на рис. 3.18.

Таке розташування формувального елемента створює умови для накопичення шлаку на поверхні шва.

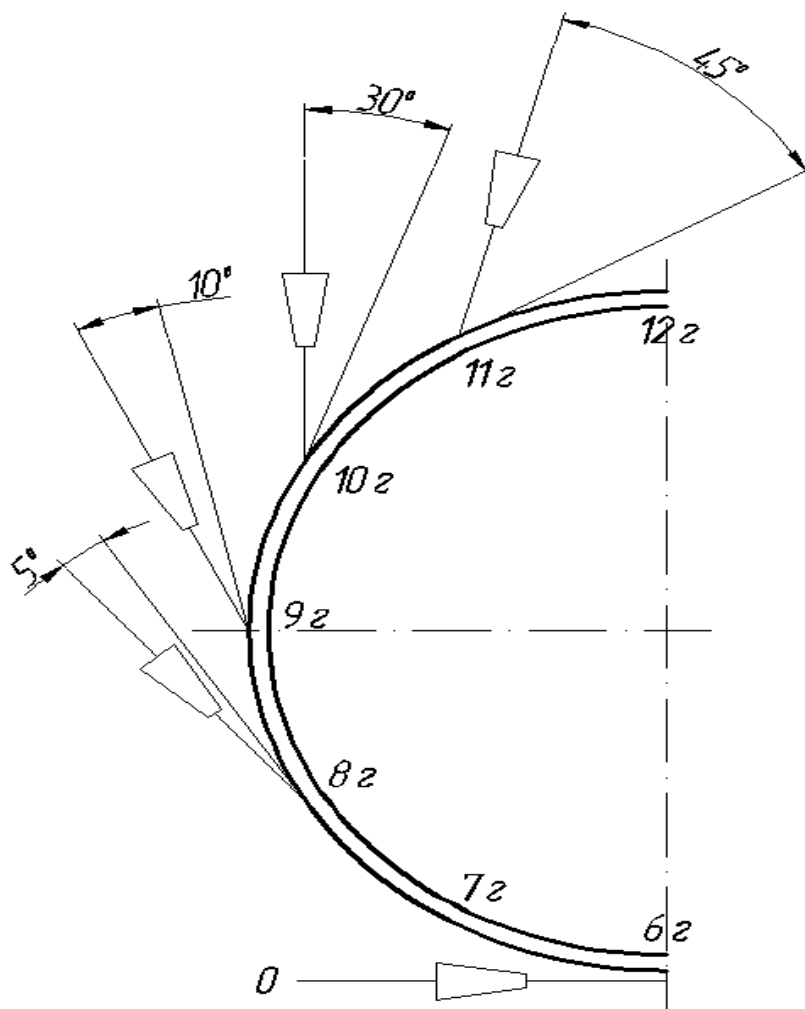
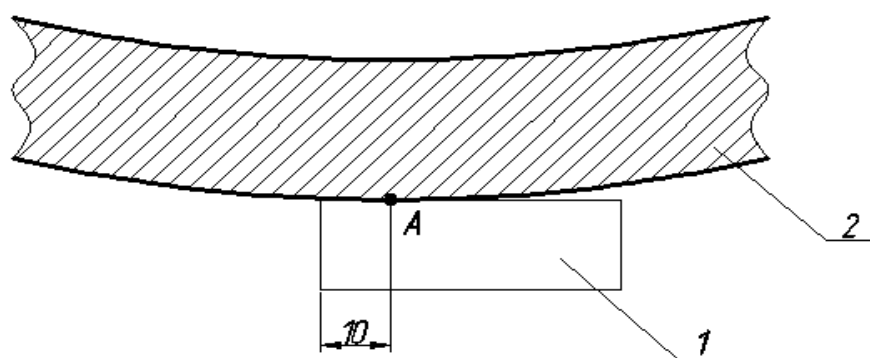


Рис. 3.17 – Схема коригування кута нахилу під час зварювання

Зміна форми труби, така як випуклості або увігнутості, веде до зміни положення формувального елемента відносно поверхні труби, що впливає на процес формування шва. На випуклих сегментах може бути потрібне підвищення кута нахилу формувального елемента до межових значень, що на ділянках стика в просторовому положенні від 6 до 10 годин може призводити до проблем із

формуванням шва, таких як витікання металу з розплавленої зони або перегрів попередніх шарів шва.

Коли кут нахилу перевищує критичне значення, це може привести до надмірного збільшення шва, що негативно впливає на його зовнішній вигляд, збільшує споживання порошкового проводу та тепловий внесок у деталь. На ділянках, де форма є викривленою, зростає розмір розплавленої зони перед точкою контакту формувального елемента з трубою. Це створює умови для відштовхування формувального елемента кристалізованим металом. Для уникнення цього ефекту, коригують кут нахилу формувального елемента під час зварювання, аби забезпечити його правильне орієнтування відповідно до дотичної до поверхні труби.



1 – формуючий повзун; 2 – труба; А – місце дотику.

Рис. 3.18 – Схема розміщення формувального елемента на старті з

Завершення зварювання проводять у найвищій точці. Перед фінішуванням першої половини стика, сегмент довжиною 2...3 см зварюють із швидкістю, яка на 1,5...2 рази перевищує нормальну швидкість наповнення, щоб забезпечити розтягування кратера та створити плавний перехід до попереднього шару металу.

У ситуаціях, коли створення плавного переходу є неможливим, завершення зварювання очищують під кутом 30 градусів відносно дотичної лінії труби. Під час завершення зварювання другої половини стика, цю секцію шва перекривають.

Формувальний елемент зупиняють на відстані 1...1,5 см до кінця очищеної ділянки, щоб забезпечити її якісне проплавлення.

Перевірка процесу складання та зварювання стиків здійснюється з метою контролю за дотриманням правильного розкриття кромки, забезпечення належного зазору та достатнього ступеня притуплення. Для цього використовуються спеціальні інструменти, такі як шаблони ШС-2 (рис. 3.19).



Рис. 3.19 - Шаблон ШС-2 [17]

Після завершення усіх вимірювальних робіт, пов'язаних із підготовкою кромки, проводиться візуальний огляд якості складання стику трубопроводу, а також контроль якості зварювання під час його виконання. По завершенню зварювання, виконується детальний огляд шва на предмет зовнішніх дефектів, а також проводяться виміри розмірів шва відповідно до встановлених вимог. Для цих цілей застосовується шаблон WG-2. (рис. 3.20).

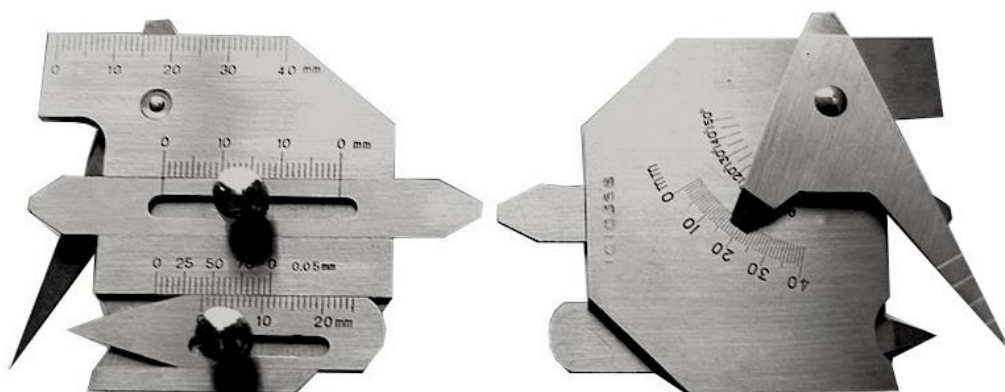


Рис. 3.20 - Шаблон WG-2 [17]

Для контролю внутрішньої частини зварного стика, на наявність внутрішніх дефектів застосовуємо спосіб радіаційна дефектоскопія (рис. 3.21). Даний метод заснований на просвічуванні об'єктів іонізуючим випромінюванням з подальшою реєстрацією та аналізом випромінювання, що пройшло різними детекторами. У структурну схему радіаційного контролю входять три основні елементи:

- Джерело іонізуючого випромінювання;
- Контрольований об'єкт (зварне з'єднання);
- детектор, який реєструє дефектоскопічну інформацію.

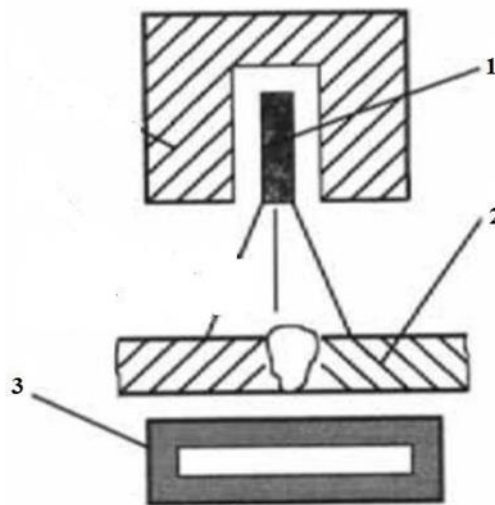


Рис. 3.21 – Схема радіаційного контролю: 1 – рентгенівський випромінювач; 2 – об'єкт контролю; 3 – детектор [18]

Проходячи через речовину виробу, іонізуюче випромінювання слабшає, це пов'язано з поглинанням та розсіюванням випромінювання у матеріалі об'єкта. Те, наскільки ослабне випромінювання, залежить від щільності та товщини об'єкта контролю, а також від енергії самого випромінювача. При проходженні випромінювання, наприклад, через включення, що виникло при зварюванні, інтенсивність його різко знижується. Іншими словами, випромінювання, що пройшло за об'єкт контролю, несе в собі інформацію про внутрішню структуру просвіченого об'єкта, яка представлена у вигляді тіньового радіаційного зображення.

На рис. 3.22-3.24 наведено основні схеми просвічування зварних з'єднань

(стикових та кутових) нафтопроводів, технологічних та допоміжних трубопроводів. На малюнках використовуються такі позначення: Ис та Пс – джерело випромінювання та пристрій, що приймає.

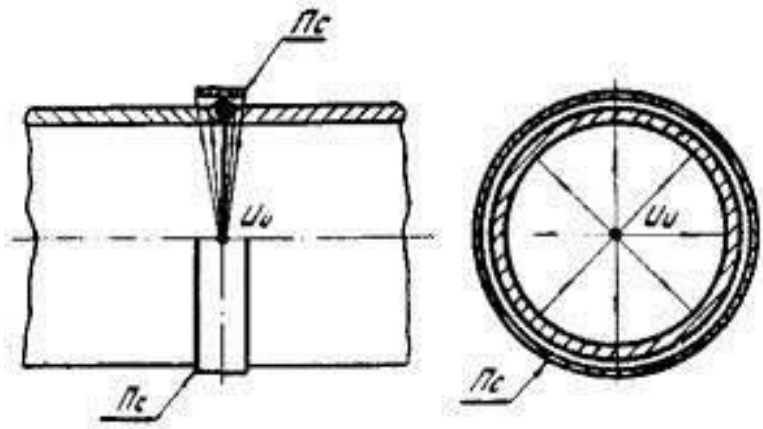


Рис. 3.22 - Панорамна схема просвічування

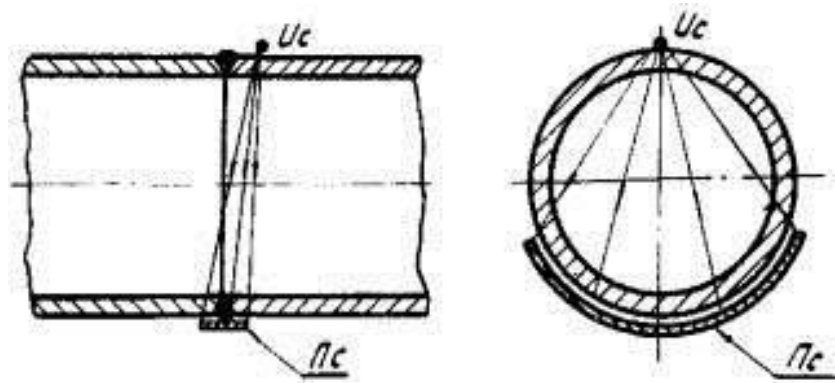


Рис. 3.23 - Фронтальна схема просвічування

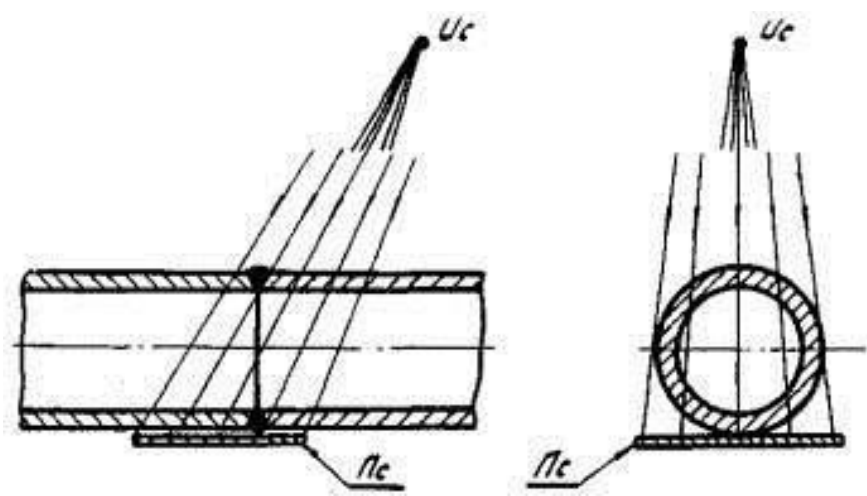


Рис. 3.24 - Схема просвічування "на еліпс"

Кільцеві шви трубопроводів, переходів і трубних вузлів (приварювання трийників, відводів) просвічують по одній з чотирьох схем залежно від геометричних розмірів труб, типу та активності джерела випромінювання, що застосовується.

Кільцеві зварні шви виробів, що зварюються, в яких можливий вільний доступ всередину, контролюють за одну установку випромінювання за схемою, представленою на рис. 3.21 (панорамне просвічування). Надалі нас цікавитиме саме ця схема просвічування, оскільки вона актуальніша, для вирішуваних проблем відросли, озвучених у цій дипломній роботі. Для реалізації контролю за схемою, показаному малюнку 6, необхідно наявність можливості запуску кроулера з джерелом випромінювання, тому цей метод зазвичай застосовується при будівництві трубопроводу.

У практиці радіаційної дефектоскопії знайшли застосування рентгенівські апарати двох видів: з постійним навантаженням та імпульсні. У свою чергу апарати з постійним навантаженням використовуються трьох типів:

- Апарати-моноблоки, у яких рентгенівська трубка і трансформатор змонтовані в єдиний блок-трансформатор, залиті маслом або заповнені газом;
- стаціонарні апарати кабельного типу, що складаються з самостійного генераторного пристрою, рентгенівської трубки та пульта керування;
- Високочастотні апарати, що складаються з моноблоку, блоку живлення та пульта управління.

До апаратів 1-го типу відносять портативні апарати, призначені як для фронтального просвічування виробів спрямованим пучком випромінювання, так і панорамного просвічування кільцевим пучком випромінювання в польових та монтажних умовах. У цих апаратах використовують рентгенівські трубки з нерухомим анодом і напівхвильову схему живлення з високовольтним випрямляючим діодом. Рентгенівська трубка працює тільки протягом першого напівперіоду, а потім у процесі другого напівперіоду діод замикає струм.

Апарати 2-го типу випускалися зазвичай пересувними. Вони призначені для цехових та лабораторних умов.

В апаратах кабельного типу застосовують рентгенівські трубки із звичайним анодом та з винесеним анодом. У трубках з винесеними анодом, за рахунок додаткового фокусування електронного пучка, забезпечуються малі розміри фокусної плями, що досягає діаметра 0,3 мм. Це дозволяє збільшити чіткість знімків. Для живлення рентгенівської трубки широко застосовується схема двонапівперіодного випрямлення: у перший період струм проходить через одну пару вентилів, у другій – через іншу. Використання випрямлячів з паралельно включеною ємністю дозволяє подавати на трубку згладжену випрямлену напругу. Це сприяє отриманню максимальної вихідної потужності випромінювання.

Радіометричний метод забезпечує можливість автоматизації процесу контролю та здійснення автоматичного зворотного зв'язку контролю та коригування технологічного процесу виготовлення виробів. Тому для контролю швів будемо застосовувати обладнання орбітального переміщення японського виробника «WeldROVER». Конструкція механізму орбітального переміщення, реалізована на магнітних колесах компанії «WeldROVER», в даний момент за допомогою нього реалізований ультразвуковий дефектоскопічний комплекс (рис. 3.24). Основою є магнітне колесо, що містить шайбоподібний магніт, укладений між двома полюсними наконечниками, що знаходяться в контакті.



Рис. 3.24 – Установка для орбітального контролю «WeldROVER»

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Короткий опис конструкції апарата і робота його основних вузлів

Зварювальний пристрій, призначений для виконання зварювання фіксованих стиків труб великих діаметрів, включає наступні компоненти:

- а) дві зварювальні головки: ліва та права;
- б) механізм приводу;
- в) розподільчий блок;
- г) тележка для лівої та правої головок;
- д) ланцюговий механізм передачі.

Функціонування та структура зварювальної головки

Зварювальна головка сконструйована з різних збірних елементів та компонентів, які за своїм функціоналом можна поділити на:

- а) систему подавання електродного проводу;
- б) механізм вібрації зварювального наконечника;
- в) механізм фіксації мідних формувальних елементів.

Система подавання електродного проводу сконструйована з провідного та фіксуєчого роликів. Обидва ролики мають зубці та паз для електродного проводу. Фіксуєчий ролик розроблений як відкидний для полегшення заправки проводу. Натискання та відкидання ролика здійснюється за допомогою важеля та пружини. Провідний ролик приводиться в рух за допомогою чотирьохшвидкісного циліндричного редуктора.

Механізм коливань зварювального наконечника включає вал-шестерню з косим скісом на кінці. Цей вал-шестерня приводиться в рух згаданим редуктором. Коливання зварювального наконечника досягається шляхом зміни положення опори від центру косоного валу-шестерні до його периферії. Регулювання положення здійснюється за допомогою гвинта з ручкою-маховиком.

Зварювальний наконечник складається з основної частини наконечника та регулювальних ручок-маховиків. Ці маховики використовуються для

налаштування напряму подачі електродного проводу, як у глибину, так і вшир стику.

Механізм фіксації елементів складається з важеля, на якому встановлено дугоподібний напрямний елемент та кріпильний пристрій. Дугоподібний напрямний елемент дозволяє обертати зварювальний наконечник у зоні дуги для різних діаметрів зварюваних труб. Кріпильний пристрій призначений для фіксації елемента, який використовується для формування шва під час зварювання.

Формувальний елемент обладнаний водяним охолодженням, а його притискання та фіксація в потрібному положенні здійснюється наступним способом: підняття важеля знімає тягу з зачеплення з напрямною, важіль обертає напрямну на потрібний кут, важіль опускається, і тяга з її встановленим кінцем вставляється у наступні отвори на бічній поверхні напрямної.

Привід, що використовується для переміщення візка з зварювальною головкою вздовж корпусу труби, складається з чотирьохшвидкісного редуктора з додатковою передачею для збільшення передаточного числа.

Додатковий пристрій представляє собою циліндричну зубчасту передачу, при цьому зубчасте колесо цього пристрою зчіплюється з шестернею візка.

У пристрої є шліцева муфта для ручного обертання візка на трубі. Ця муфта може виводитися з зачеплення з шліцями зубчастого колеса за допомогою важелів.

Розподільчий блок призначений для забезпечення живлення від пульта управління до систем подачі електродного проводу та приводів візка, а також для підведення зварювальної напруги до наконечника. На блоку розміщені перемикачі для управління подачею електрода "вгору – вниз".

Візок утворений зварюванням шасі, на яке монтовані кріпильні бруски за допомогою з'єднувальної муфти.

Кріплення брусків використовується для установки на них зварювальних головок та касет з електродним проводом.

У комплект обладнання входить пульт керування з панеллю. За допомогою цього пульта та панелі виконуються такі команди:

а) керування механізмом переміщення візка з зварювальною головкою (у тому числі загальне керування та точне регулювання робочої швидкості);

б) припинення подачі електродного проводу;

в) зупинка візка.

Під час зварювання пульт управління з панеллю перебуває в руках зварювальника.

Все електричне обладнання встановлене в шафі управління. Ця шафа також виконує функцію електричного з'єднання всіх елементів апарату відповідно до схеми електричних з'єднань. У шафі управління розташований тиристорний привід.

Огляд електричної частини обладнання.

Електрична складова установки містить:

а) Електромотор для подавання електродного проводу моделі КПА-563, потужністю 120 Вт, 48 В, швидкістю обертання 5000 об/хв;

б) Електродвигун для руху візка моделі КПА-563, потужністю 120 Вт, 48 В, швидкістю обертання 5000 об/хв;

в) Управлінське обладнання та керувальні пристрої;

г) Контрольно-вимірювальне обладнання.

Управлінське обладнання установки встановлене в окремій шафі, тоді як керувальні елементи знаходяться на портативному пульті, який кріпиться до корпусу труби за допомогою постійних магнітів і містить панель керування зварювальною головкою.

Для електропостачання апарату використовується трифазна мережа з напругою 380 В та частотою 50 Гц. Мережа управління та сигналізації живиться від джерела напругою 36 В.

За допомогою кнопок та перемикачів, розташованих на пульті, ручці-пульті, приводах та зварювальних головках, реалізують наступні функції:

- активація зварювальної напруги;
- вмикання мотора подачі електродного проводу;
- керування електродвигунами подачі електродного проводу;
- зупинка мотора руху зварювальної головки;

- управління переміщенням візка.

4.2 Робота візка зварювального апарату

Візок з закріпленою на йому зварювальною головкою пересувається по ланцюгу. Пересування виконується за рахунок передачі обертання від зубчатої шестерні, яка входить в зачеплення з ланцюгом до коліс візка. Щоб не було перекосу друга пара коліс (парних) рухається по направляючій стрічці.

Натягування ланцюгів і направляючих стрічок виконується двома натягувальними пристроями.

Ланцюг закріплений в затискачі, який має форму прямокутного паралелепіпеда.

Направляюча стрічка закріплюється в фіксаторі який має секторну форму.

Основний елемент апарату - візка, що курсує по трубі, використовуючи колеса для керування по направляючій стрічці. Візок фіксують на трубі за допомогою подвійного ланцюга, розміщеного на направляючій стрічці, яка проходить через привідну зірочку. На візку монтують дві зварювальні головки - ліву та праву. Візок призначений для транспортування зварювальних головок уздовж шва. Вона обладнана кареткою з пружинно-важільним механізмом для кріплення механізму переміщення з привідним роликом. Як механізм переміщення використовується електродвигун КПА-563 із чотирьохступеневим редуктором, що має пристрій для від'єднання привідного ролика, дозволяючи переміщати зварювальний апарат по трубі вручну.

4.3 Розрахунок вузлів зварювального апарату

Пристрій приводу зварювального автомата сконструйований із чотирьохступеневого редуктора, доповненого спеціальною приставкою, яка збільшує передаточне відношення.

Ця приставка представляє собою циліндричну зубчасту передачу, яка зачіпається з шестернею візка. На ведучому валу розвивається потужність P_1 , що

становить 1 кВт, при кутовій швидкості ω_1 рівній 100 рад/с; передаточне число цієї передачі – $i=1,42$. Режим навантаження визначений як середній нормальний (СН) із можливістю короткочасних перевантажень до 150% від середнього рівня.

Номинальний обертовий момент на ведучому валу [19]:

$$T_1 = T_{1H} = T_{1F} = \frac{P_1}{\omega_1}, \quad (4.1)$$

$$\frac{P_1}{\omega_1} = 1 \times \frac{10^3}{100} = 10 \text{ Н} \times \text{м}.$$

При короткочасному перевантаженні до 150% максимальний обертовий момент на ведучому валу:

$$T_{1\max} = 2 \times T_1, \quad (4.2)$$

$$T_{1\max} = 2 \times 10 = 20 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Кутова швидкість веденого вала:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u}, \quad (4.3)$$

$$\omega_2 = \frac{100}{1,42} = 70,422 \text{ рад / с}$$

Сумарне число циклів навантаження зубців шестерні та колеса

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \times \omega_1 \times h}{\pi}, \quad (4.4)$$

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \times 100 \times 20000}{3,14} = 11,46 \times 10^8.$$

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1800 \times \omega_2 \times h}{\pi}, \quad (4.5)$$

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1800 \times 70,422 \times 20000}{3,14} = 8,07 \times 10^8$$

Еквівалентні числа циклів навантаження для шестерні та колеса важливі для проведення точних розрахунків на втому. Ці числа дозволяють оцінити, скільки циклів навантаження зубці шестерні та колеса можуть витримати до появи втомних пошкоджень. Для розрахунків на контактну втому

використовується показник N_{HE} , для розрахунків на втому при згині використовуються показники N_{HF} і N_{FE} . Коефіцієнти інтенсивності K_{HE} та K_{FE} , які становлять відповідно 0,18 та 0,07, є важливими для оцінки цих навантажень, оскільки вони вказують на рівень стресу, який може витримати матеріал. Ці показники використовуються для визначення довговічності зубців шестерні та колеса, забезпечуючи надійність та довготривалу експлуатацію обладнання.:

$$N_{HE1} = K_{HE} \times N_{\Sigma 1}; \quad (4.6)$$

$$N_{HE1} = 0,18 \times 11,46 \times 10^8 = 2,12 \times 10^8;$$

$$N_{HE2} = K_{HE} \times N_{\Sigma 2}; \quad (4.7)$$

$$N_{HE1} = 0,18 \times 8,07 \times 10^8 = 1,45 \times 10^8;$$

$$N_{FE1} = K_{FE} \times N_{\Sigma 1}; \quad (4.8)$$

$$N_{HE1} = 0,7 \times 11,46 \times 10^8 = 8,25 \times 10^7;$$

$$N_{FE2} = K_{FE} \times N_{\Sigma 2}; \quad (4.9)$$

$$N_{FE2} = 0,7 \times 8,07 \times 10^8 = 5,6 \times 10^8.$$

Для виготовлення шестерні та колеса вибираємо леговану сталь 45: $\sigma_{B1} = 890 \text{ МПа}$, $\sigma_{T1} = 650 \text{ МПа}$, для колеса $\sigma_{B2} = 780 \text{ МПа}$, $\sigma_{T2} = 540 \text{ МПа}$.

Допустимі контактні напруження.

Границі контактної витривалості зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \times H_1 + 70 \quad (4.10)$$

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \times 280 + 70 = 630 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 2 \times H_2 + 70 \quad (4.11)$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 2 \times 245 + 70 = 560 \text{ МПа}.$$

Базу випробувань для матеріалу шестерні та колеса визначаємо:

$$N_{H01} = 30 \times H_1^{2,4} \quad (4.12)$$

$$N_{H01} = 30 \times 280^{2,4} = 2,24 \times 10^7;$$

$$N_{H02} = 30 \times H_2^{2,4} \quad (4.13)$$

$$N_{H02} = 30 \times 245_1^{2,4} = 1,63 \times 10^7.$$

Якщо $NH01 < NHE1$ і $NH02 < NHE2$, то коефіцієнт довговічності для зубців шестерні та колеса $KHL = 1$.

Допустимі контактні напруження для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті $ZR = 1$ та коефіцієнті запасу $sH = 1,1$ знаходимо

$$[\sigma]_{H1} = \frac{\sigma_{Hlimb1} \times Z_R \times K_{HL}}{s_H} \quad (4.14)$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{630 \times 1 \times 1}{1,1} = 572 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{\sigma_{Hlimb2} \times Z_R \times K_{HL}}{s_H} \quad (4.15)$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{560 \times 1 \times 1}{1,1} = 509 \text{ МПа.}$$

Для зубців передачі розрахункове допустиме контактне напруження

$$[\sigma]_H = 0,45 \times ([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}) \quad (4.16)$$

$$[\sigma]_H = 0,45 \times (572 + 509) = 486 \text{ МПа.}$$

Допустиме граничне контактне напруження:

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \times \sigma_{T2} \quad (4.17)$$

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \times 540 = 1512 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження на згин.

Границі витривалості зубців при згині для $NF0 = 4 \times 10^6$

$$\sigma_{Hlimb1} = 1,8 \times H_1 \quad (4.18)$$

$$\sigma_{Hlimb1} = 1,8 \times 280 = 501 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 1,8 \times H_2 \quad (4.19)$$

$$\sigma_{Hlimb2} = 1,8 \times 245 = 441 \text{ МПа}$$

Оскільки $NF0 < NFE1$ і $NF0 < NFE2$ то коефіцієнт довговічності $KFL = 1$.

Допустиме напруження на згин дприкоефіцієнті запасу $sF = 2,2$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{\sigma_{F1imb1} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{S_F} \quad (4.20)$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{504 \times 1 \times 1}{2,2} = 229 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{\sigma_{F1imb2} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{S_F} \quad (4.21)$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{441 \times 1 \times 1}{2,2} = 200 \text{ МПа.}$$

Для зубців шестерні та колеса граничне допустиме напруження на згин

$$[\sigma]_{F1max} = \frac{4,1 \times H_1}{S_F} \quad (4.22)$$

$$[\sigma]_{F1max} = \frac{4,8 \times 280}{2,2} = 610 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F2max} = \frac{4,8 \times H_2}{S_F} \quad (4.23)$$

$$[\sigma]_{F2max} = \frac{4,1 \times 245}{2,2} = 534 \text{ МПа.}$$

Проектний розрахунок передачі.

Для проектного розрахунку попередньо беремо коефіцієнт ширини вінця

$\psi_{ba} = 0,40$ і відповідно:

$\psi_{bd} = 0,5 \times \psi_{ba} \times (u + 1);$

$\psi_{bd} = 0,5 \times 0,4 \times (3,8 + 1) = 0,96.$

Визначаємо коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині зубчастих вінців згідно графіка залежно від ψ_{bd} , $K_H\beta = 1,07$

Допоміжний коефіцієнт K_a

$= 495 \text{ МПа}^{1/3}$ для сталевих прямозубих зубчатих коліс.

Мінімальну міжосьову відстань передачі

$$\alpha_{\omega min} = K_a \times (u + 1) \times \sqrt[3]{\frac{T_{IH} \times K_{H\beta}}{(u \times \psi_{ba} \times [\sigma]_H)^2}} \quad (4.24)$$

$$\alpha_{\omega \min} = 495 \times (1,42 + 1) \times \sqrt[3]{\frac{10 \times 1,07}{(1,42 \times 0,40 \times 486^2)}} = 51,56 \text{ мм.}$$

Вибираємо фактичну міжосьову відстань $a\omega = 52 \text{ мм.}$

Кут нахилу зубців попередньо беремо $\beta = 15^\circ$.

Число зубців шестерні $z_1 = 55$, а число зубців колеса $z_2 = u \times z_1$,
 $z_2 = 1,42 \times 55 = 78,1$. Вибираємо $z_2 = 79$, тоді фактичне передаточне
число $u = z_2/z_1$, $u=79/55=1,436$.

Модуль зубців

$$m_n' = \frac{2 \times \alpha_{\omega} \times \cos \beta}{(z_1 + z_2)} \quad (4.25)$$

$$m_n' = \frac{2 \times 52 \times \cos 15^\circ}{(55 + 79)} = 0,74 \text{ мм.}$$

Стандартний модуль зубців $m_n = 0,7$:

$$\cos \beta = \frac{m_n \times (z_1 + z_2)}{(2 \times \alpha_{\omega})} \quad (4.26)$$

$$\cos \beta = \frac{0,7 \times (55 + 79)}{(2 \times 52)} = 0,9019$$

$$\beta = 25^\circ 36' 4''$$

Попередні значення параметрів передачі.

Ділильні діаметри шестерні та колеса будуть такі:

$$d_1 = \frac{m_n \times z_1}{\cos \beta} \quad (4.27)$$

$$d_1 = \frac{0,7 \times 55}{0,9019} = 42,68 \text{ мм}$$

$$d_2 = \frac{m_n \times z_2}{\cos \beta} \quad (4.28)$$

$$d_2 = \frac{0,7 \times 79}{0,9019} = 61,31 \text{ мм.}$$

Ширина

$$b_2 = \psi_{ba} \times \alpha_\omega \quad (4.29)$$

$$b_2 = 0.4 \times 52 = 20.8 \text{ мм}$$

$$b_1 = b_2 \times 2 \quad (4.30)$$

$$b_1 = 20,8 \times 2 = 22.8 \text{ мм.}$$

Колова швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,5 \times \omega_1 \times d_1 \quad (4.31)$$

$$v = 0,5 \times 100 \times 42,68 \times 10^{-3} = 2,13 \text{ м / с}$$

Вибираємо 8 – й ступінь точності ($n_{ст} = 8$).

Еквівалентні числа зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} \quad (4.32)$$

$$z_{v1} = \frac{55}{0,9019^3} = 74,97$$

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} \quad (4.33)$$

$$z_{v2} = \frac{79}{0,9019^3} = 107,68$$

Коефіцієнт торцевого перекриття

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \times \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \times \cos \beta \quad (4.34)$$

$$\varepsilon_\alpha = \left[1,88 - 3,2 \times \left(\frac{1}{55} + \frac{1}{79} \right) \right] \times 0,9019 = 1,606$$

Коефіцієнт осьового перекриття зубців

$$\varepsilon_\beta = \frac{b_2 \times \sin \beta}{(\pi \times m_n)} \quad (4.35)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{22,8 \times \sin 25^\circ 36' 4''}{(3,14 \times 0,74)} = 4,23$$

Колова сила у зачепленні зубчастих коліс:

$$F_t = F_{Ht} = F_{Ft} = \frac{2 \times T_1}{d_1} \quad (4.36)$$

$$F_t = \frac{2 \times 10 \times 10^3}{61.31} = 326 \text{ Н}$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну втому.

$$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$$

$$Z_H = 1,77 \times \cos \beta = 1,77 \times 0,9019 = 1,596$$

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1,60}} = 0,79 \quad \varepsilon\beta > 0,9.$$

$K_{H\alpha} = 1,03$ – коефіцієнт розподілу навантаження між зубцями;

$K_{H\beta} = 1,07$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження;

$K_{H\nu} = 1,03$ – коефіцієнт динамічного навантаження.

Питома розрахункова колова сила

$$W_{Ht} = \left(\frac{F_{Ht}}{b_2} \right) \times K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{H\nu} \quad (4.37)$$

$$W_{Ht} = \left(\frac{326}{20,8} \right) \times 1,03 \times 1,07 \times 1,03 = 17,79 \text{ Н / мм}$$

Розрахункове контактне напруження

$$\sigma_H = Z_M \times Z_H \times Z_\varepsilon \times \sqrt{\frac{\left(\frac{W_{Ht}}{d_1} \right) \times (u + 1)}{u}} \quad (4.38)$$

$$\sigma_H = 275 \times 1,596 \times 0,79 \times \sqrt{\frac{\left(\frac{17,79}{42,68} \right) \times (1,436 + 1)}{1,436}} = 291 \text{ МПа}$$

Стійкість зубців проти втомного викришування їхніх активних поверхонь забезпечується.

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну міцність

$$\sigma_{H\max} = \sigma_H \times \sqrt{\frac{T_{1\max}}{T_{1H}}} \quad (4.39)$$

$$\sigma_{H\max} = 291 \times \sqrt{\frac{20}{10}} = 411 \text{ МПа}$$

Контактна міцність зубців також забезпечується.

Розрахунок зубців на втому при згині.

Розрахункові коефіцієнти будуть такими:

$Y_{F1} = 3.61$; $Y_{F2} = 3.60$ – коефіцієнт форми зубців;

$Y_{\varepsilon} = 1$ – коефіцієнт перекриття зубців;

$Y_{\beta} = 1 - \beta/140 = 1 - 25/140 = 0.87$ – коефіцієнт нахилу зубців;

$K_{F\alpha} = [4 + (\varepsilon\alpha - 1) \times (n_{ст} - 5)] / (4 \times \varepsilon\alpha)$

$$= [4 + (1,6 - 1) \times (8 - 5)] / (4 \times 1,6) = 0,91;$$

$K_{F\beta} = 1,12$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині вінців;

$K_{Fv} = 1,10$ – коефіцієнт динамічного навантаження.

Питома розрахункова сила:

$$W_{Ft} = \left(\frac{F_{Ft}}{b_2} \right) \times K_{F\alpha} \times K_{F\beta} \times K_{Fv} \quad (4.40)$$

$$W_{Ft} = \left(\frac{326}{20,8} \right) \times 0,91 \times 1,12 \times 1,10 = 17,57 \text{ Н / мм.}$$

Розрахункове напруження згини у зубцях шестерні та колеса:

$$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n} \quad (4.41)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{3,61 \times 1 \times 0,87 \times 17,57}{0,7} = 78,83 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2} = \frac{Y_{F2} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n} \quad (4.42)$$

$$\sigma_{F2} = \frac{3,60 \times 1 \times 0,87 \times 17,57}{0,7} = 78,61 \text{ МПа}$$

Стійкість зубців проти втомного руйнування при згині забезпечується.

Розрахунок зубців на міцність при згині максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F1max} = \sigma_{F1} \times \left(\frac{T_{1max}}{T_{1F}} \right); \quad (4.43)$$

$$\sigma_{F1max} = 78,83 \times \left(\frac{20}{10} \right) = 157,66 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2max} = \sigma_{F2} \times \left(\frac{T_{1max}}{T_{1F}} \right) \quad (4.44)$$

$$\sigma_{F2max} = 78,61 \times \left(\frac{20}{10} \right) = 157,22 \text{ МПа.}$$

Міцність зубців при згині $[\sigma]F1max = 610 \text{ МПа}$ та $[\sigma]F2max = 534 \text{ МПа}$.

Розрахунок параметрів зубчастої передачі.

Розміри елементів зубців:

а) висота головки зубця;

$$h_{\alpha} = m_n = 0,7 \text{ мм};$$

б) висота ніжки;

$$h_f = 1,25 \times m_n = 1,25 \times 0,7 = 0,87 \text{ мм};$$

в) радіальний зазор;

$$h = 2,25 \times m_n = 2,25 \times 0,7 = 1,57 \text{ мм};$$

г) кут профілю зубців;

$$\alpha_n = 20^\circ.$$

Розміри вінців зубчастих коліс:

а) ділильні діаметри $d1 = 42,68 \text{ мм}$ і $d2 = 61,31 \text{ мм}$;

б) діаметри вершин зубців;

$$d_{\alpha 1} = d_1 + 2 \times m_n = 42,68 + 2 \times 0,7 = 44,08 \text{ мм};$$

$$d_{\alpha 2} = d_2 + 2 \times m_n = 61,31 + 2 \times 0,7 = 62,71 \text{ мм};$$

в) діаметри впадин;

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \times m_n = 42,68 - 2,5 \times 0,7 = 40,93 \text{ мм};$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5 \times m_n = 61,31 - 2,5 \times 0,7 = 59,56 \text{ мм};$$

Міжосьова відстань передачі:

$$\alpha_w = \frac{0,5 \times m_n \times (z_1 + z_2)}{\cos \beta} = \frac{0,5 \times 0,7 \times (55 + 79)}{0,9019} = 52,0 \text{ мм.}$$

Розрахунок сил у зачепленні зубців передачі:

А) колова сила $F_t = 326 \text{ Н}$;

Б) радіальна сила

$$F_r = \frac{F_t \times \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta} \quad (4.45)$$

$$F_r = \frac{326 \times \operatorname{tg} 20}{0,9019} = 131,56 \text{ Н}$$

В) осьова сила:

$$F_\alpha = F_t \times \operatorname{tg} \beta \quad (4.46)$$

$$F_\alpha = 326 \times \operatorname{tg} 25^\circ 36' 4'' = 326 \times 0,4791 = 156 \text{ Н.}$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Протипожежні заходи, передбачені в технологічному процесі

Відповідальність за дотримання необхідного протипожежного режиму і своєчасне виконання протипожежних заходів в дільниці покладається на керівника підприємства і на начальника дільниці. Вони зобов'язані:

а) забезпечити повне і своєчасне виконання правил протипожежної безпеки і протипожежних вимог будівельних норм при проектуванні, будівництві і експлуатації об'єктів;

б) організувати на підприємстві пожежну охорону, добровільну пожежну дружину і пожежно-технічну комісію і керувати ними.

На підприємстві відповідними наказами або розпорядженнями встановлюється порядок проведення протипожежного інструктажу і занять по пожежно-технічну мінімуму з зварниками та іншими працівниками.

Протипожежний інструктаж проводять в два етапи. На першому етапі інструктаж проводить начальник місцевої пожежної охорони, або інженер по охороні праці.

Під час проведення повторного інструктажу зварників та інших працівників ознайомлюють з загальними правилами пожежної безпеки для виконання робіт з автоматичного зварювання труб великого діаметра, з пожежною небезпекою технологічного устаткування.

В дільниці цеху, де виконуються зварювальні роботи, для швидкої ліквідації пожеж, які можуть виникнути, є первинні засоби пожежогасіння: вогнегасник, бочки з водою, відра, ящики з піском лопати, сокири та інше.

Підвищення вогнетривалості дільниці і всього підприємства можливо облицюванням або оштукатурюванням металевих конструкцій. Перевагою користуються облицювальні матеріали, які володіють мінімальною масою і мінімальним коефіцієнтом температуропровідності. Так при облицюванні

сталевій колони гіпсовими плитами товщиною 60мм границя вогнетривалості підвищується від 0,25 до 3,3 годин. В дільниці також існують протипожежні перешкоди, до них відносять стіни, перегородки, перекриття, двері, люки, вікна. Протипожежні стіни повинні бути виконані із негорючих матеріалів, мати границю вогнетривалості не менше 2,5 годин і опиратись на фундаменти. Двері, вікна, люки в протипожежних стінах повинні мати границю вогнетривалості не менше 1,2 годин, а перекриття – 1 годину. В дільниці також повинен висіти на стіні план евакуації людей на випадок виникнення пожежі. При виникненні пожежі працівники повинні покинути дільницю і будівлю на протязі мінімального часу, який визначається короткою відстанню від місця їх знаходження до виходу на зовні.

Використання на підприємстві, зокрема і в дільниці, автоматичних засобів визначення пожежі являється одним із основних умов забезпечення пожежної безпеки, так як дозволяє повідомити черговий персонал про пожежу і місце її виникнення [20].

Під час обіду, або відпочинку, куріння працівники повинні проводити в спеціально відведених для цього місцях, туалетах, на вулиці.

5.2 Оцінка технологічного процесу з умов техніки безпеки

Розглянутий вище спосіб зварювання потребує дотримання визначного комплексу правил охорони праці, які знайшли відображення в технологічному процесі і суворо дотримуються при виконанні зварювальних робіт. При виконанні робіт на зварювальному автоматі з метою охорони праці всі технологічні процеси виконуються згідно вимог інструкції з безпечної експлуатації устаткування:

- 1) вимоги техніки безпеки до експлуатації устаткування:
 - а) устаткування повинно бути заземлено. Заземлено повинно бути джерело живлення і шафа керування;
 - б) при роботі і ремонті устаткування існують джерела небезпеки:

- електричний струм;

- механічна дія;

в) забороняється допускати до ремонту сторонніх працівників;

г) при ремонті устаткування використовують тільки справний інструмент;

2) перед початком роботи устаткування зварник– оператор проводить технічний огляд устаткування:

а) перевірити комплектацію зварювального апарату;

б) виконати, при необхідності, змащування ходової частини;

3) під час роботи устаткування, необхідно дотримуватись таких вимог з техніки безпеки і слідкувати за:

а) витіканням води і температурою води в системах охолодження;

б) струмопередаючими деталями вторинного контуру;

в) кількістю мастила на деталях, які труться;

г) станом різьбових з'єднань;

д) станом насосної установки згідно її експлуатаційним документам;

е) не доторкатись і не перевіряти руками місця ходової частини при роботі устаткування;

ж) не проводити підтягування різьбових з'єднань під час роботи устаткування;

При роботі на зварювальному автоматі, забороняється:

а) доторкатись до струмоведучих частин і електроустаткування ;

б) працювати при несправностях в одному із механізмів;

в) знаходитись стороннім предметам в зоні рухомих частин машини.

По закінченні роботи, необхідно вимкнути на зварювальний автомат від мережі і джерела живлення.

Заходи боротьби з несправностями машини і їх попередженнями:

а) періодично змащувати поверхні, які труться, не рідше одного разу на місяць;

б) місце де зварювальні роботи повинно бути просторовим і освітленим;

в) ремонт електроустаткування дозволяється проводити бригаді чисельністю не менше двох чоловік, із яких один має кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче четвертої, при цьому використовувати тільки відповідний інструмент;

г) місце де буде виконуватися зварювання повинно бути чистим і охайним, загороджене огорожею;

д) періодично проводити профілактичний огляд електроустаткування не рідше одного разу в місяць;

е) для захисту очей від виплесків розплавленого металу зварювальної ванни і іскор, зварник–оператор який обслуговує машину повинен мати захисний щиток;

ж) для захисту тіла від попадання виплесків розплавленого металу зварювальної ванни і іскор, зварник –оператор повинен мати спецодяг із брезентової тканини;

з) для захисту рук і ніг – брезентові, або гумові рукавиці і черевики на гумовій підошві, на підлозі перед зварювальним автоматом повинен лежати гумовий килимок;

і) для забезпечення нормального повітряного середовища має працювати місцева вентиляція;

к) освітлення робочої зони на робочому місці досягається за допомогою природного і штучного освітлення.

Правилами техніки безпеки категорично забороняється доторкатись до струмоведучих частин устаткування, не дозволяється відкривати двері шаф і джерела живлення під час роботи устаткування. Найбільша небезпека виникає при випадковому контакті з елементами первинного контуру джерела живлення, який знаходиться під напругою 380В, чи у випадку прибирання, чи замикання обмотки на вторинний виток зварювального випрямляча. Для

попередження від ураження струмом, вторинний виток і корпус джерела живлення надійно заземлюють.

Всі органи керування – кнопки, регулятори, рубильники живляться напругою 36 В.

Причини пожеж, які можуть виникнути при зварюванні труб можуть бути різноманітними:

- а) недотримання вимог і експлуатації промислового устаткування;
- б) куріння працівників в забороненій зоні.

При автоматичному зварюванні джерелом пожеж можуть бути виплески розплавленого металу зварювальної ванни і іскри. В місці, де проходить зварювання не повинно бути легкозаймистих предметів і матеріалів.

В дільниці де виготовляється виріб, для швидкої ліквідації пожеж, які можуть виникнути, є засоби гасіння: пожежний щит, вогнегасник, лопата, відро, сокира і ящик з піском [20].

5.3 Організація цивільної оборони

Цивільна оборона України є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Цивільна оборона України організується за територіальним виборним принципом на всій її території і виявляє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться по всій території держави, як правило заздалегідь з врахуванням особливостей кожного регіону.

Згідно із Законом кожен громадянин має право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, пожеж, стихійного лиха та має право на надання гарантій забезпечення реалізації цього права.

Основним завданням цивільної оборони є:

а) запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру, проведення заходів щодо зменшення збитків і втрат під час аварій, катастроф, великих пожеж та стихійного лиха;

б) оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, постійне інформування про наявну ситуацію та його захисту від наслідків;

в) організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійного лиха та у воєнний час;

г) організація та проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у районах лиха і осередках ураження;

д) створення систем аналізу і прогнозування управління. Оповіщення і зв'язку, спостереження і контролю за ради активними, хімічними, бактеріологічними зараженнями;

е) підготовка і перепідготовка керівного складу цивільної оборони, її органів управління та сил, навчання населення вмінню використовувати засоби індивідуального захисту і діяти в надзвичайних ситуаціях.

На всіх об'єктах народного господарства, цивільна оборона організовується з метою попередньої підготовки їх до захисту робітників, службовців в надзвичайних ситуаціях в мирний і воєнний час, створення умов, що підвищують стійкість роботи підприємства своєчасне створення умов для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт.

Робота об'єкта в цілому складається з роботи окремих галузей виробництва. Тому необхідно розглянути стійкість у надзвичайних умовах окремих галузей виробництва.

Оцінюючи стійкість електропостачання, необхідно знати за яких надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу об'єкт може залишатися без

постачання електроенергії. Визначити мінімальні потреби в електроенергії для забезпечення основних невідкладних робіт, подача води в житлові будинки, квартири, для цехів і освітлення робочих місць.

Оцінюючи стійкість матеріально–технічного і енергетичного постачання, необхідно визначити запаси палива, можливість використання місцевої сировини і енергії, автономні джерела електрозабезпечення, запаси сировини, стан поставки готової продукції споживачам, умови зберігання готової продукції, спроможність транспорту і засобів механізації [21].

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи об'єктів, і оцінки стійкості елементів і галузей виробництва проти вражаючих факторів ядерної, хімічної і біологічної зброї, стихійних лих і виробничих аварій, необхідно своєчасно організовувати і впровадити організаційні, інженерно технічні рішення.

Інженерно–технічні заходи мають забезпечити підвищену стійкість виробничих споруд, технологічних ліній, устаткування, комунікацій об'єкта до вливу вражаючих факторів під час надзвичайних ситуацій. При проведенні цих заходів необхідно враховувати конкретні умови об'єкта народного господарства. Проте є загальні інженерно – технічні заходи, які мають проводитись на всіх об'єктах [21].

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено технологічний процес автоматизованого зварювання стиків за допомогою самозахисного порошкового дроту. Використання цього методу дозволяє значно збільшити продуктивність роботи, покращити якість зварного шва та його механічні характеристики.

Порівнюючи переваги та недоліки різних методів зварювання, які можна використовувати для з'єднання стиків у польових умовах, було вирішено віддати перевагу комбінованому підходу. Такий підхід включає механізоване зварювання кореня шва суцільним проводом, далі - заповнення і обробку шва за допомогою автоматизованого зварювання з використанням самозахисного порошкового дроту.

Досліджено, що залишкове і усереднене залишкове розкриття тріщини залежить від відстані до вістря тріщини. Найбільшого значення воно досягає на відстані 0,4...0,6 мм від вершини тріщини з подальшим зменшення залишкового по мірі віддалення від вершини тріщини. Виявлено, що циклічна складова за комбінованого ПТН зменшує залишкове розкриття вершини тріщини.

Встановлено, що незалежно від режимів навантаження на повітрі чи в агресивному середовищі усіх випадках опір крихкому руйнуванню досліджуваної сталі підвищувався у порівнянні із К1с. Однак електролітичне наводнювання понижує ефект ПТН.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.- 896 с.
2. Сусак О.М. Трубопровідний транспорт газу: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Сусак О. М., Касперович В. К., Андріішин М. П. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – 345 с.
3. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=993
4. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
5. ДСТУ 8753:2017 Магістральні нафтопроводи. Лінійна частина. Ремонт ділянок нафтопроводів діаметром до 1220 мм. Основні положення.
6. Покровский В.В., Иванченко А.Г. Влияние режимов предварительного термомеханического нагружения на повышение сопротивления хрупкому разрушению теплоустойчивых сталей // Проблемы прочности. – 1999. - №2. – С. 126-138.
7. Мелехов Р.К., Похмурський В.І. Конструкційні матеріали енергетичного обладнання. Властивості і деградація. – К.: Наук. думка, 2003. – 384 с.
8. Pokrovsky V. V., Troshchenko V. T., Kaplunenko V. G., et al. A promising method for enhancing resistance of pressure vessels to brittle fracture // Int. J. Pres. Ves. s Piping. – 1994. – 58. – P. 9 – 24.
9. Reed P.A.S., Knott J. F. An investigation of the warm prestressing (WPS) effect in A533B weld metal // Fatigue Fract. Engin. Mater. Struc. – 1992. -15, №12. – P. 1251 – 1270.
10. Chang S., Garg S.B.L. Variation of effective stress range ratio, under simple variable amplitude loading / Proc. 6th Int. Conf. Fract.- New Dehli, 1984.-3.- P.1711-1718.

11. Пат. № 23231А Україна, МКВ F16L57/00. Спосіб підвищення стійкості елемента конструкції до поширення тріщин: Пат. № 23231А Україна, МКВ F16L57/00 П.В. Ясній, В.Ю. Подкозьін, Я.О. Ковальчук (Україна). - № 96072851; Заявл. 16.07.96; Опубл. 19.05.98.
12. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
13. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
14. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
15. Н.М. Махлін Апаратно-програмні комплекси для автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів атомних електростанцій / Н.М. Махлін, О.Є. Коротинський, А.О. Свириденко.// Наука та інновації. 2013. Т. 9. № 6. С. 31—45.
16. <https://svartech.com.ua/ua>
17. <http://standart-m.com.ua/izmeritelnyj-instrument/shablony-svarcshika/>
18. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
19. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
20. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
21. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.

ДОДАТКИ