

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: **Обґрунтування параметрів технологічного процесу зварювання  
труб з дослідженням зварних з'єднань**

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Ясинський В.І

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Обґрунтування параметрів технологічного процесу зварювання труб з дослідженням зварних з'єднань " складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 71 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, дослідницька, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Для висвітлення питань, які розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 27 рисунків, 17 таблиць, 1 додаток. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 28 першоджерел.

В роботі обґрунтовано параметри технологічного процесу зварювання стиків труб технологічного трубопроводу та запропоновано нове зварювальне устаткування, що дозволяють підвищити продуктивність монтажних робіт та підвищити якість конструкції.

Досліджено дефектність зварних швів методом рентгенографічної дефектоскопії, що підтвердив ефективність запропонованих змін. Також були проведені дослідження на ударну в'язкість та проведено вимірювання твердості зварного шва і біляшовної зони. Характер руйнування зразків ідентичний руйнуванню основного металу і помітних змін в діапазоні досліджуваних температур не відбувалося.

За результатами досліджень підтверджено ефективність застосування запропонованих інженерних рішень, що дозволяють реалізувати даний технологічний процес на практиці .

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, НЕПЛАВКИЙ ВОЛЬФРАМОВИЙ ЕЛЕКТРОД, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ, УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	7
1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи.....	7
1.2 Технічні умови до конструкції виробу.....	8
1.3 Аналіз технологічного процесу зварювання стиків труб.....	11
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	13
2.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.....	13
2.2 Опис запропонованого технологічного процесу.....	31
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....	39
3.1. Дослідження зварних з'єднань на дефектність .....	39
3.2 Дослідження зварного з'єднання на ударну в'язкість.....	41
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	47
4.1 Обґрунтування вибору зварювальних пристосувань .....	47
4.2 Розрахунок елементів зварювального обладнання.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	60
5.1 Оцінка запропонованого технологічного процесу з умов техніки безпеки, електробезпеки, пожежної безпеки .....	60
5.2 Протипожежні заходи, передбачені в технологічному процесі .....	63
5.3 Організація цивільної оборони на об'єктах господарської діяльності.....	64
ВИСНОВКИ .....	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	68
ДОДАТКИ.....	71

## ВСТУП

Зварювання на сьогоднішній час є одним із найбільш широко застосовуваних і затребуваних технологічних процесів, які застосовуються в різних галузях промисловості.

Однією із галузей де широко застосовують зварювання є трубне виробництво. З метою підвищення якості та продуктивності виробництва розроблено багато технологічних процесів зварювання.

Однією із галузей де застосовують трубопроводи є атомна електроенергетика. В даній галузі найчастіше вони застосовуються при охолодженні реакторів. В процесі експлуатації вони працюють у важких умовах і піддаються впливу високих температур, корозії, радіації... Тому, дані трубопроводи виготовляють із високолегованих аустенітних нержавіючих сталей.

Враховуючи відповідальність конструкцій даного призначення висуваються високі вимоги до якості та міцності трубопроводу та до їх зварних з'єднань при монтажі та ремонті.

Зварювання монтажних стиків є відповідальним і найбільш складним та трудомістким процесом. Технологічний процес повинен забезпечувати отримання якісних монтажних швів для надійності та безпеки енергоблоків.

Найбільш широкого застосування при з'єднанні стиків трубопроводів отримали дугові способи зварювання, через відсутність обмежень у товщині зварюваних металів, мобільністю та універсальністю.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи

В даній роботі розглядається питання обґрунтування параметрів технологічного процесу зварювання труб з дослідженням зварних з'єднань.

Труби виготовляють двох типів зварними та безшовними. Зварні труби є зварними конструкціями оболонкового типу, які призначені для транспортування різних матеріалів та сировини [1]. Труби виготовляють малих (5...114 мм), середніх (114...480 мм) та великих (480...2520 мм) діаметрів і товщиною стінки 0,2...32 мм: Сучасні зварні труби за міцністю не поступаються безшовним трубам. Однак безшовні труби мають більшу сферу застосування. Тому виходячи з умов роботи для монтажу магістрального трубопроводу застосовуємо безшовні труби спеціального призначення, які виготовляють із аустенітної високолегованої сталі 12Х18Н10Т діаметром 219 мм з товщиною стінки 12 мм і довжиною 6500 мм (рис.1). Монтаж трубопроводу виконують електродуговими способом.

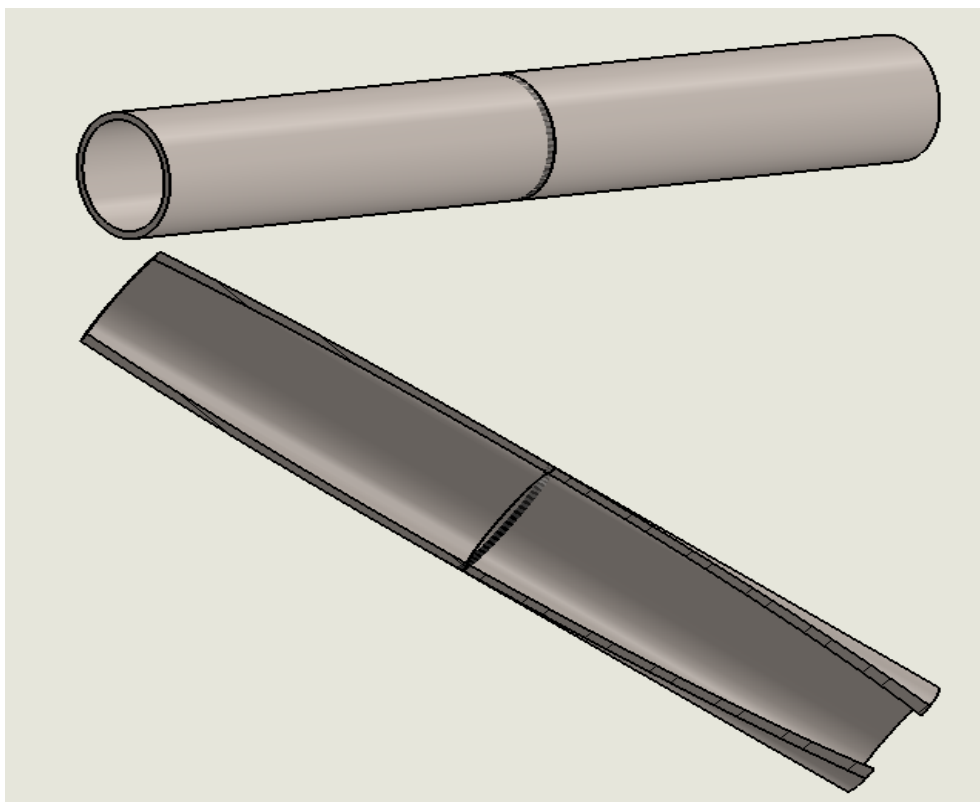


Рис. 1 Стикування труби спеціального призначення

Хімічний склад і механічні властивості матеріалу труби повинні відповідати згідно ГОСТ 9941 – 81. Дані приведено в таблицях 1.1, 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 12Х18Н10Т [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
до 0.12	до 0.8	до 2	9 - 11	до 0.02	до 0.035	17 - 19	до 0.3	0.8

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі 12Х18Н10Т [3]

Сортамент	$\sigma_B$	$\sigma_T   \sigma_{0.2}$	$d_5$
-	МПа	МПа	%
Труби холоднокатані, ГОСТ 9941-81	549	$\geq 196$	35

Таблиця 1.3 Фізичні властивості сталі 12Х18Н10Т [3]

T	$E \cdot 10^{-5}$	$\alpha \cdot 10^6$	$l$	$\rho$	C	$R \cdot 10^9$
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м <sup>3</sup>	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.98		15	7920		725
100	1.94	16.6	16		462	792
200	1.89	17	18		496	861
300	1.81	17.2	19		517	920
400	1.74	17.5	21		538	976
500	1.66	17.9	23		550	1028
600	1.57	18.2	25		563	1075
700	1.47	18.6	27		575	1115
800		18.9	26		596	
900		19.3				

Труби виготовленні із даної марки сталі зварюється без обмежень. Рекомендовані способи зварювання для обладнання Атомних електростанцій рекомендується застосовувати автоматичне аргоно-дугове зварювання неплавким електродом в безперервному режимі; ручне аргоно-дугове зварювання неплавким електродом (з присадковим або без присадочного матеріалу) або за винятком відсутності вищезгаданих способів - ручне дугове зварювання покритими електродами.

## 1.2 Технічні умови до конструкції виробу.

Перед початком зварювально-монтажних робіт потрібно переконатися в тому, що труби, що використовуються мають сертифікати. якості та відповідають проекту, технічним умовам їх постачання, а також вимогам чинних нормативно-

технічних документів. Труби повинні пройти обов'язковий вхідний контроль [2]. Постачання труб здійснюється згідно сертифікату відповідності, в якому повинні бути дані про розмір, номер і дата стандарту по якому виготовлена труба, марка сталі, результати механічних випробувань, результати гідровипробувань та рентгеноскопічної дефектоскопії та хімічний аналіз. Зовнішній діаметар труби повинен бути  $219 \pm 1,5$  мм, а відхилення товщини стінки не перевищувати 5%

Кінці труб обрізають під прямим кутом. Відхилення від перпендикулярності торців не повинно перевищувати 1,2 мм. Кромки труб повинні мати обробку під зварювання, кут скосу фаски  $30^\circ$  і відхиленням до мінус  $5^\circ$  з притуплення в межах 1-3 мм (рис. 2).

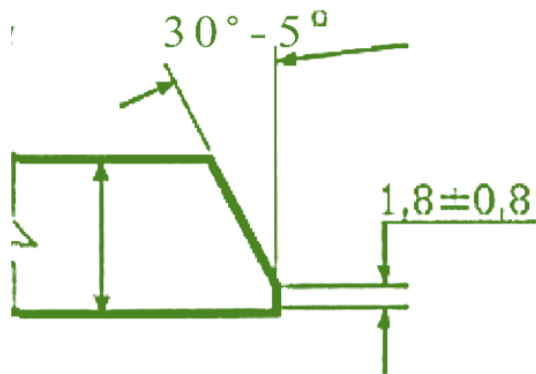


Рис. 2. Типи розкриття кромки труб

Не допускається наявність тріщин, рваних та розшарування. У зоні шириною не менше 40 мм від торців труб не допускаються розшарування, що перевищують 6,5 мм.

Перед складанням труб необхідно їх очистити від ґрунту бруду, снігу, а також очистити до металевому блиску кромки та прилеглі до них внутрішню та зовнішню поверхні на ширину не менше ніж 10 мм [2]. Перед зварюванням необхідно ретельно видалити з кромки різку грат і окалину, а шорсткість кромки не повинна перевищувати 0,32 мм.

Перед початком виконання зварювання стиків труб проводиться сушіння або підігрів торців труб та прилеглих частин.

Трубопровід складається з окремих частин труб і з'єднані між собою кільцевими швами. В місцях найбільшого прогину труби встановлюють роликові або ковзаючі опори.

При складанні частин трубопроводу необхідно забезпечити відповідність лінійних розмірів, витримати необхідні нахили (0,004мм на 1м), виконувати складання стиків згідно вимог проектної документації, відхилення при складанні стикового з'єднання повинно бути не більше ніж 1мм на сторону внутрішньої поверхні трубопроводу.

Довжина прихоплення 20-120мм і відстань між ними 400-600мм. Поперечний переріз прихоплення не більш  $\frac{1}{3}$  поперечного перерізу шва.

До зварних з'єднань трубопроводу висуваються наступні вимоги [1]:

- зварні шви повинні бути багатошаровими, без конструктивного непровару;
- зовнішній вигляд і геометричні параметри швів повинні відповідати нормативній документації, а саме:
  - 1) кореневий шов повинен виконуватись без зовнішніх дефектів;
  - 2) підварюваний шар кореневого шва має виконуватись з плавним переходом до основного металу без утворення підрізів по крайках з шириною 8...10 мм та опуклістю 1...3 мм;
  - 3) внутрішній шар шва, повинен виконуватись з плавним переходом до основного металу без утворення підрізів по крайках;
  - 4) заповнюючі і облицювальні шари шва можуть виконуватись за один або кілька проходів і кожний наступний прохід повинен перекривати попередній не менше ніж на одну третину його ширини;
  - 5) облицювальний шар шва повинен виконуватись з плавним переходом до основного металу без утворення підрізів по крайках і перекривати основний метал в кожний бік на відстань 1.5...3 мм;
  - б) зовнішня поверхня зварних швів і прилеглі ділянки пришовної зони повинні бути зачищені до повного видалення шлаку і бризок наплавленого металу шліфувальними машинками.

В зварних з'єднаннях не допускаються: тріщини, напливи, несплавлення, підрізи, а також пропали металу в місцях торкання електродом поверхні елементів які зварюються. Напливи, не заварені кратери і їх вивід на основний метал не допускаються.



### 1.3 Аналіз технологічного процесу зварювання стиків труб

Технологічний процес зварювання трубопроводу виконується з використанням сучасних методів отримання заготовок, складання і зварювання.

Весь технологічний процес організації виготовлення трубопроводу можливо поділити на чотири етапи:

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

Підготовчі роботи включають в себе:

- а) доставка до місця роботи деталей трубопроводу і їх розвантажування;
- б) оброблення і підготовка кромки деталей трубопроводу;
- в) складання ділянок трубопроводу в проектному положенні і перевірка положення геометрії осі трубопроводу в вертикальній та горизонтальній площині по відношенню до проектних розмірів;
- г) прихоплення електрозварюванням ділянок трубопроводу;

Для виготовлення трубопроводу застосовують спосіб ручного аргоно-дугового зварювання неплавким вольфрамовим електродом із застосування присадкового зварювального дроту марки 04X19H11M3.

Зварювання здійснюють за допомогою зварювального інвертора РАТОН StandardTIG-200 пальником АВІТІГ-26 на режимах які приведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Режими аргоно-дугового ручного зварювання стиків трубопроводу

Товщина, мм	Кількість проходів	Зазор, мм	$d_c$ , мм,	$d_{пр.с}$ , мм	$I_{зв}$ , А	U, В	$V_{зв}$ , м/год	$Q_{г}$ , л/хв
12,0	3-4	2,5	5,0	4,0	240...250	10...15	15...20	4...6

Перед проведенням зварювальних робіт проводяться підготовчі роботи, які займають значно більш часу, ніж сам процес зварювання.

Складання монтажних стиків трубопроводу здійснюється за допомогою зовнішнього центратора. Процес складання проходить наступним чином: труби

встановлюють на необхідний зазор у відповідності до вимог, надівають центратор і проводять центрування стиків труб між собою, фіксують і проводять заварювання кореня шва. Заварювання кореня шва проводять без присадного матеріалу на режимах які наведені в таблиці 1.4, при цьому струм зварювання зменшують на 40-60В. Після проварення кореня шва проводять контроль якості і здійснюють очищення поверхні шва. Накладають наступні шви на заданих режимах, але обов'язково проводять зачищення кожного накладеного валика за допомогою металевих щіток. Це здійснюється для того, щоб зруйнувати утворену окалину шва після зварювання. Після проведення всіх зварювальних операцій проводять ультразвукову дефектоскопію зварного з'єднання.

До основних недоліків можна віднести:

- мала продуктивність;
- невисока якість зварного шва.

Тому з врахуванням вище сказаного необхідно розробити технологічний процес автоматичного аргоно-дугового зварювання монтажних стиків трубопроводу.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.

Зварюваність аустенітних сталей ускладнюється через багатокomпонентне легування. Даний метод легування призводить до появи після зварювання гарячих тріщин. З метою попередження їх виникнення не допускають перегрівання металу, для цього обмежують величину зварювального струму, заповнення зварного з'єднання здійснюють валиками малого перерізу, здійснюють технологічні перерви. Однак однією із найбільш важливих умов є правильний вибір типу зварного з'єднання. Також з метою запобігання утворення гарячих тріщин необхідно обмежувати вміст шкідливих домішок у металі шва та зменшити частку основного металу в шві.

Високолеговані аустенітні сталі мають у 2 рази меншу теплопровідність, ніж вуглецеві. Це означає що при однакових параметрах режиму зварювання глибина проплавлення в перших буде більша, що призводить до короблення деталей, так як такі сталі мають високий коефіцієнт теплового розширення. Це свідчить про те, що для зварювання високолегованих аустенітних сталей з метою зменшення зварювальних деформацій необхідно застосовувати високопродуктивні способи зварювання з максимальною концентрацією введення теплоти у виріб.

Монтаж магістральних трубопроводів здійснюється з'єднанням труб в безперервну нитку шляхом зварювання неповоротних їх стиків безпосередньо на трасі прокладання. Основними способами які застосовуються при монтажу трубопроводів і передбачені нормативною документацією є дугові способи зварювання [1]. До них відносяться:

- ручне дугове зварювання покритими електродами (РДЗ);
- ручне аргоно-дугове зварювання неплавким електродом;
- напівавтоматичне зварювання плавким електродом в середовищі активних газів та сумішах;
- напівавтоматичне зварювання самозахисним порошковим дротом;
- автоматичне зварювання плавким електродом та порошковим дротом в

середовищі захисних газів;

- автоматичне аргано-дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом.

Перший із перелічених способів зварювання здебільшого застосовується при неможливості або недоцільності застосування напіваавтоматичних та автоматичних способів зварювання. Зазвичай даний спосіб застосовують:

- а) під час зварювання кореневого, заповнюючого, облицювального та підварювального шарів шва електродами з основним видом покриття необоротних;
- б) під час зварювання кореневого шару та «гарячого» проходу електродами з целюлозним покриттям.
- в) під час зварювання кореневого шару шва на трубозварювальних базах в оборотному положенні для подальшого однобічного автоматичного зварювання під флюсом;
- г) під час ремонтів зварних з'єднань та кромek труб.

На даний час даний спосіб зварювання застосовують лише при ремонті трубопроводу із за його невеликої продуктивності, що пов'язане здебільшого із необхідністю зачищення зварного шва від шлаку.

Найбільш широкого застосування при зварюванні трубопроводів знайшов спосіб аргано-дугового зварювання. Завдяки даному способу стала можливе складання труб без підкладних кілець та спеціальних виступів. Застосування даного способу дозволило здійснювати проплавлення з'єднань на всю товщину, що підвищило їх якість, особливо стійкість проти лужної корозії.

Спосіб ручного аргано-дугового зварювання неплавким електродом (рис. 2.1) застосовується при зварюванні труб товщиною стінки 2...10 мм діаметром до 150 мм. При даному способі застосовують неплавкий електрод із прутків лантанового вольфраму діаметром 2 мм, заточеного на конус, а в якості захисного газового середовища - аргон вищого гатунку (ГОСТ 10157). Зварювання здійснюють постійним струмом прямої полярності короткою дугою.

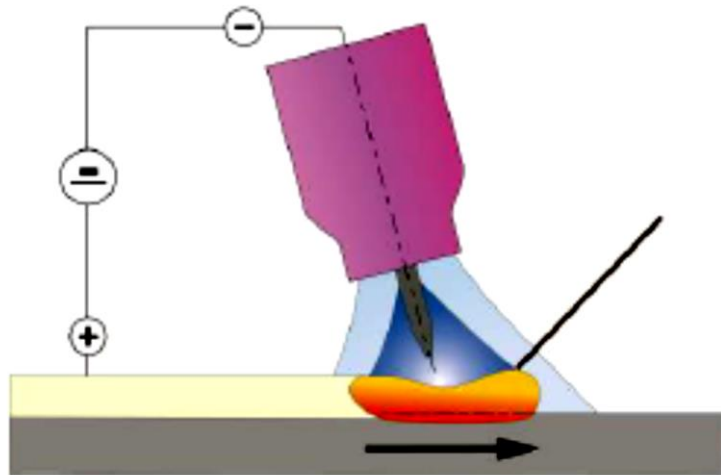


Рис. 2.1 Схема способу ручного аргано-дугового зварювання

В процесі складання стикового з'єднання зазвичай виконуються два прихоплювання довжиною 10... 15 мм, що розміщуються симетрично за периметром крайок зварюваних елементів. Для стикових з'єднань труб з товщиною стінки 2...10 мм зварний шов виконується, як мінімум, в 2...4 шари (висота шару 2,0 до 2,5 мм). Довжина зварених ділянок не повинна перевищувати 200 мм, за більшої довжини ділянки шва він виконується зворотноступінчастим способом [1].

Напівавтоматичний спосіб зварювання при монтажі трубопроводів застосовують при виконанні необоротних кільцевих стикових з'єднань труб з однією товщиною стінки (6...32 мм) з комбінованою технологією зварювання. Дана технологія передбачає, що зварювання кореневого шару шва виконується дротом суцільного перерізу в вуглекислому газі, а зварювання заповнюючого і облицювального шарів шва — самозахисним порошковим дротом [1]. При даному способі складання стиків здійснюється без прихваток за допомогою центраторів, якщо встановлюються прихватки то в процесі зварювання вони повинні бути видалені механічним способом. Зварювання виконують на постійному струмі зворотної полярності напрямком «на спуск».

Збудження дуги має проводитися тільки на крайках зварюваних елементів. Для запобігання утворення пор, обривання дуги слід проводити на одній із

зварюваних крайок. Підварювання видимих дефектів виконується ручним дуговим зварюванням електродами з основним видом покриття [1]. Для виконання заповнюючого і облицювального шарів зварного шва необоротних кільцевих стикових з'єднань труб застосовують напівавтоматичне зварювання самозахисним порошковим дротом.

Напівавтоматичне зварювання самозахисним порошковим дротом застосовують при монтажі трубопроводів із труб з товщиною стінки 14...22 мм. Обов'язковою умовою є розроблення кромки стиків труб, яке зображене на рис. 2.2.

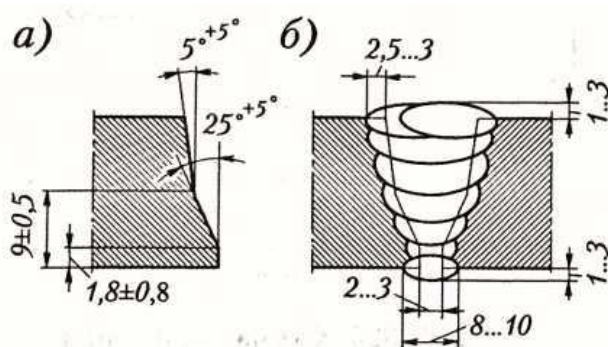


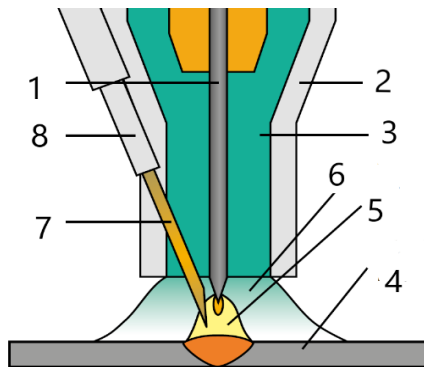
Рис. 2.2 Схема розроблення кромки та її заповнення при напівавтоматичному зварюванні самозахисним порошковим дротом: *a* — геометричні параметри спеціального розкриття крайок труб; *б* — зварний шов [1]

При застосуванні даного способу зварювання виконують методом «на спуск».

При зварюванні стиків труб з товщиною до 14 мм заповнюючий і облицювальний шари шва виконують методом «шар за один прохід», заповнюючі шари, починаючи з третього, виконуються за методом «шар за два проходи», а облицювальний шар шва для товщини більше 14 мм зазвичай виконується за методом «шар за три проходи» [1].

Автоматичне зварювання плавким електродом в захисних газах необоротних кільцевих стиків труб здійснюють двобічним одно- або дводуговим способом дротом суцільного перерізу зварювальними комплексами в складі складально-зварювальних колон [1]. Даний спосіб зварювання застосовується при монтажі трубопроводів діаметром від 630 мм.

Для зварювання стиків труб застосовують спосіб напівавтоматичного і автоматичного аргано-дугового зварювання (рис. 2.3) вольфрамовим електродом з автоматичною подачею присаджувального дроту. Корінь шва зварюють без присаджувального дроту, а зварювання інших швів з присадковим дротом.



- 1 – вольфрамовий електрод;
- 2 – сопло;
- 3, 6 – захисний газ;
- 4 – деталь;
- 5 – зварювальна дуга;
- 7 – присадковий дріт;
- 8 - мундштук

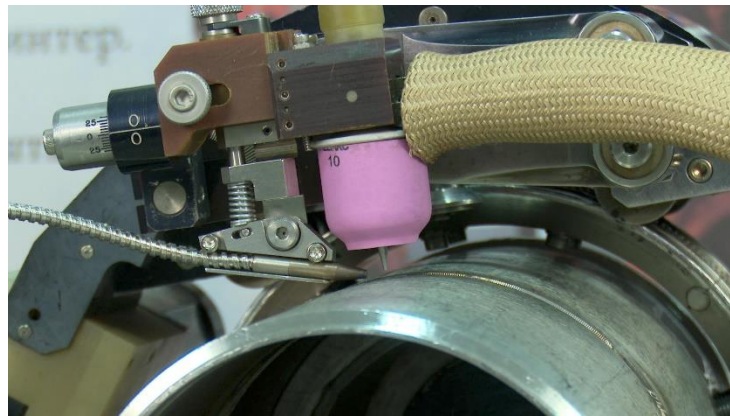


Рис. 2.3 Схема та загальний вид аргано-дугового зварювання неплавким електродом з автоматичною подачею присаджувального дроту [3]

Подача присаджувального дроту в зону дуги здійснюється під кутом не менше  $30^\circ$  до електрода безпосередньо в стовп зварювальної дуги, що дозволяє збільшити швидкість подачі зварювального дроту в 1,5-2 рази в порівнянні з ручним зварюванням. Зварювання з присадним матеріалом забезпечує високу якість наплавленого металу. При зварюванні вольфрамовим електродом як присадковий матеріал застосовують зварювальний дріт і прутки, хімічний склад яких аналогічний основному металу. З метою покращення захисту металу від взаємодії з повітрям процес зварювання здійснюють на мінімальних режимах. Зварювання слід виконувати без перерви. У разі вимушеної перерви слід перекрити виконаний раніше шов на 10-20 мм. Подачу захисного газу слід припинити через 5-15 с після

закінчення зварювання для запобігання окисленню поверхонь, що зварюються. Витрата захисного газу вибирають залежно від положення шва у просторі, наявності повітряних потоків, складу захисного газу та інших факторів. У середньому він становить 6-10 дм<sup>3</sup>/хв. Орієнтовані режими аргоно-дугового зварювання наведені в табл. 2.1 в залежності від товщини металу [3].

Таблиця 2.1. Режимми ручного аргоно-дугового зварювання [4]

Товщина металу, мм	Число проходів	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Витрати аргону, дм <sup>3</sup> /хв
2-6	1-2	1,6-2,0	40-80	10-11	6-8
6-12	2-6	2,0-3,0	80-120	10-11	8-10
12-20	6-16	3,0-4,0	120-200	10-12	9-12

При зварюванні із застосуванням присадкового дроту напругу збільшують на 3 В.

Технологія зварювання вольфрамовим електродом дозволяє отримати шви з добре сформованим зворотним валиком у всіх просторових положеннях. Це особливо важливо при зварюванні трубопроводів, коли доступ до внутрішньої поверхні утруднений.

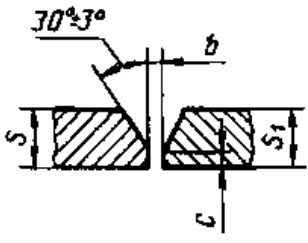
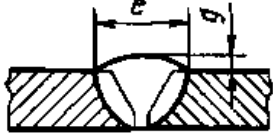
Процес зварювання здійснюють наступним чином: подача аргону здійснюється на 15-20 с раніше моменту запалення дуги і припиняють через 10-15 с після обриву дуги, направляючи струмінь аргону па кратер. При зварюванні пальник слід переміщати праворуч наліво, а дріт подавати назустріч руху. Амплітуда коливання електрода при зварюванні кореневого шару 2-4 мм, наступних - 6-8 мм. Торець присадкового дроту повинен бути постійно в зоні захисту газом.

З врахуванням аналізу і особливостей зварювання високолегованих аустенітних сталей та особливостей вимог до монтажу трубопроводів вибираємо спосіб автоматичного аргоно-дугового зварювання.

Типи зварних з'єднань при складанні і зварюванні стиків труб і повинні відповідати згідно ГОСТ 16037-80 та ПНАЭ Г-7-009-89. Тому в таблиці 2.2 приведено типи і конструктивні розміри зварного шва для аргоно-дугового зварювання монтажних стиків труб.



Таблиця 2.2 – Тип і конструктивні розміри зварного шва

Тип з'єднання	Форма підготовки кромки	Характер зварного шва	Розміри, мм											
			Конструктивні елементи і розміри		Спосіб зварювання	s	b		c		e		g	
			Підготовка кромки	Зварний шов			Номін.	Відхил.	Номін.	Відхил.	Номін.	Відхил.	Номін.	Відхил.
Стикове з'єднання труби з трубою	Із скосом кромки	односторонній			Аргоно-дугове	3	1,0		0,5	+0,5	7	+2	1,5	+1,5 -1,0
						4					8			
						5	1,5	+0,5	1,0	±0,5	9	+3	2,0	+2,0 -1,5
						6					11			
						7					12			
						8					13			
						10					16			
						12					18			
						14	2,0				21			
						16					23			
						18					26			
						20					28			

Із врахуванням конструктивних особливостей зварного з'єднання проведемо вибір параметрів режиму зварювання для автоматичного аргоно-дугового способу зварювання.

Так, як товщина з'єднаних стиків труб становить 12 мм, то зварювання будемо проводити в декілька шарів. З метою цього необхідно забезпечити хороше проварювання кореня шва та накладання інших шарів.

При аргоно-дуговому зварюванні неплавким вольфрамовим електродом важливу роль відіграє діаметр електрода, який залежить від товщини з'єднаних кромки (табл. 2.1).

Так як зварювання проводимо в декілька проходів то для автоматичного аргоно-дугового зварювання вибираємо діаметр вольфрамового електрода 3 мм і діаметр присаджувального дроту 2 мм.

Режим автоматичного зварювання неплавким електродом у захисних газах характеризується діаметром електрода, силою струму, напругою на дузі, швидкістю зварювання, швидкістю подачі присадки та витратою захисного газу.

Режим зварювання першого проходу визначається товщиною зварювання металу і типом з'єднання. Чим менша товщина з'єднання, тим менше струм слід встановлювати при одній і тій же швидкості зварювання. Зі зменшенням напруги на дузі зменшується ширина розігріву кромки та збільшується глибина проплавлення при зварюванні без застосування присаджувального дроту. Кожному поєднанню струму та швидкості зварювання відповідає швидкість подачі присаджувального дроту. При збільшенні ширини наплавленого валика слід підвищити швидкість подачі присаджувального дроту або її діаметр і відповідно збільшити струм при постійній швидкості зварювання [4]. Отже, режим зварювання другого та наступних проходів із застосуванням присаджувального дроту мало залежить від товщини металу і більшою мірою залежить від типу з'єднання.

Присаджувальний дріт для автоматичного зварювання застосовується таких же розмірів, як і для ручного аргоно-дугового. Витрата газу підбирається і коригується аналогічно. З огляду на незмінність відстані між соплом і поверхнею

виробу при автоматичному зварюванні, витрати газу зазвичай зменшують на 20–30% порівняно з напівавтоматичним зварюванням такого ж типу з'єднання. Автоматичне аргоно-дугове зварювання неплавким електродом із застосуванням присаджувального дроту при виконанні неповоротних стикових зварних з'єднань типів 1-25-1, 1-25-6 на трубах зі сталей аустенітного класу діаметром 219 мм з товщиною стінки 12 мм наведені в табл. 2.3 згідно СОУ НАЕК 159:2020 .

Таблиця 2.3. Режими автоматичного зварювання стикових з'єднань неплавким електродом з присаджувальним дротом

Номер валика (шва)	Діаметр присаджувального дроту, мм	I <sub>зв</sub> , А		U <sub>д</sub> , В	V <sub>зв</sub> , мм/с	V <sub>п.д</sub> , мм/с	V <sub>кол.ел.</sub> , мм/с	Час витримки електрода біля кромки, с
		базового	з імпульсом біля кромки					
1	-	145 -160	145 -160	8-9	1,7 -1,8	-	-	-
2	1,2	125 - 145	150-160	9-10	0,8 -1,0	3,6-4,2	2,5-3	1-1,4
3	1,6-2,0	160 -200	190-220	9-10	0,6 -0,7	4,2-6,9	2,5 -2,8	0,7-1
4	1,6-2,0	160 -200	160-200	9-10	0,6 -0,7	3,3-4,7	3,0-3,5	0,2 - 0,5

При аргоно-дуговому способі зварювання в якості зварювальних матеріалів застосовують неплавкі електроди та присаджувальний дріт. Найбільш широко в якості електрода застосовують вольфрамові прутки різних діаметрів, в залежності від товщини з'єднуваних кромок (табл. 2.3).

Дані електроди виготовляють шляхом пресування, спікання та кінцевого зварювання. Після цих операцій прутки піддають волочінню для отримання необхідного розміру діаметра. Даний тип електрода застосовують тільки в неагресивному середовищі (вакуум, інертний газ). Для зварювання на змінному струмі використовують прутки із чистого вольфраму діаметром від 0,5 до 8мм. При постійному струмі застосовують лантановані вольфрамові електроди марки ВЛ10У. Такий тип електродів забезпечує добре запалювання дуги та велику щільність струму при незначному витраті електрода. На сьогодні широко

застосовують вольфрамові електроди марки WC-20, зі шліфованною поверхнею, до складу яких входить двоокис церію  $\text{CeO}_2$  (1,88%). Ці електроди відповідають стандарту ISO 6848-1984 [4].

Отже, для зварювання монтажних стиків трубопроводу будемо застосовувати вольфрамові електроди типу WC-20.

Для виключення блокування дуги в процесі зварювання та підвищення інтенсивності нагрівання кінець електроду заточують. Довжина заточування повинна складати біля п'яти діаметрів електрода.

Заточення торця вольфрамового електроду має великий вплив на формування металу шва, особливо це сказується при заваренні кореня шва. Коли заточення електрода є гострим то ширина шва зменшується ніж при тупому загостренні, при зварюванні на однакових режимах (рис. 2.4).

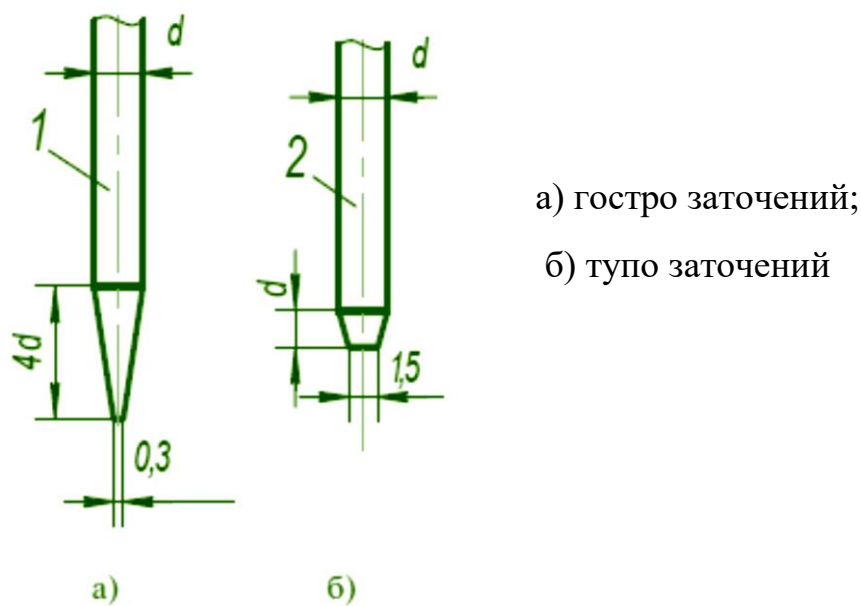


Рис. 2.4. Види заточування вольфрамового електрода

При зварюванні електродом з гострим загостренням умови збудження дуги покращуються, а стовп дуги є стійким. Це дозволяє спростити техніку виконання процесу зварювання. До недоліку слід віднести те, що при такому загостренні електроду є концентроване нагрівання металу, яке може призвести до пропалювання.

Застосування електродів із тупим загостренням призводить до поганого збудження дуги та стовп дуги є не стійким, утворюється так званий ефект «блукуюча дуга». Це ускладнює техніку реалізації процесу зварювання. Кромки з'єднань при такому типі електрода менш схильні до концентрованого нагрівання і зменшує ризик утворення пропалів. Зварний шов при цьому отримують приблизно в 1,5 рази ширшим шва, виконаного електродом з гострим заточуванням.

Отже, з врахуванням вище сказаного застосовуємо електрод із гострим заточенням торця.

Вибір марки присаджувального дроту характеризується такими основними умовами: маркою основного металу, способом зварювання та умовами роботи конструкції. Найбільш поширені марки присаджувального і зварного дроту, які застосовують при зварюванні високолегованих сталей наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Хімічний склад марок присаджувального та зварювального дроту [4]

Марка дроту	Хімічний склад, %							
	C	Si	Mg	Cr	S	P	Інші елементи	залізо
					не більше			
Св-04Х19Н9С2	0,06	2,0-2,75	1,0-2,0	18-20	8,0-10,0	0,018	-	Осн.
Св-06Х19Н9Т	0,08	0,4-1,0	1,0-2,0	18-20	8,0-10,0	0,018	Титан 0,5-1,0	Осн.
<b>Св-04Х19Н11МЗ</b>	<b>0,06</b>	<b>0,6</b>	<b>1,0-2,0</b>	<b>18-20</b>	<b>10,0-12,0</b>	<b>0,018</b>	<b>Молибден 2,0-3,0</b>	<b>Осн.</b>

В деяких випадках застосовують дріт виготовлений згідно технічних умов, погоджений із заводом виробником дроту.

Перед зварюванням присаджувальний дріт очищають та знежирюють ацетоном.

В якості захисного середовища при аргоно-дуговому зварюванні застосовують інертні гази, такі як аргон і гелій. Другий застосовується рідше із за своєї дороговартості. Найбільш широкого застосування для захисту зварювальної ванни в якості захисного середовища отримав аргон. Даний захисний газ має кращі

захисні властивості в порівнянні з гелієм внаслідок більшої питомої ваги і більш стабільною дугою. Для зварювання застосовується аргон різної чистоти. За ступенем чистоти аргон згідно з ГОСТ 10157-79 розділений на два сорти: вищий і перший (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 Хімічний склад аргону

Показники	Сорт (ГОСТ 10157–79)	
	Вищий	Перший
Вміст аргону в %, не менше	99,992	99,987
Вміст кисню в %, не більше	0,0007	0,002
Вміст азоту в %, не більше	0,006	0,01

Враховуючи матеріал основного металу, який підлягає зварюванню, вибираємо присаджувальний дріт марки Св-04Х19Н11МЗ, який застосовують для зварювання високолегованих аустенітних сталей, а в якості захисного середовища – аргон першого сорту.

При виконанні зварювальних робіт крім способу зварювання та зварювальних матеріалів, велика увага приділяється зварювальному устаткуванню.

З врахуванням вище сказаного, до зварювального обладнання висуваються наступні вимоги:

- слід застосовувати повністю справні, укомплектовані та налагоджені установки, апаратуру та пристрої, що забезпечують дотримання всіх, а також контроль за дотриманням заданих режимів;
- пост автоматичного аргоно-дугового зварювання (наплавлення) повинен бути підключений до самостійного джерела живлення зварювальним струмом;
- устаткування для аргоно-дугового зварювання (наплавлення) має забезпечувати можливість плавного гасіння дуги.

Автоматичне зварювання неплавким електродом в захисному інертному газі широко застосовується в авіа- та суднобудуванні, енергомашинобудуванні,

хімічній та харчовій промисловості, ракетобудуванні, атомній енергетиці та промисловості.

Найпростіші автомати для аргоно-дугового зварювання забезпечують горіння зварювальної дуги між електродом і виробом, газовий захист електрода, зварювальної ванни і прилеглого до неї металу від впливу повітря, пересування дуги вздовж кромки, що зварюються. Автомати для зварювання з присадкою здійснюють ще подачу дроту присадки.

Загальний вигляд зварювального поста автоматичного аргоно-дугового зварювання неплавким електродом представлено на рисунку 2.5. Він складається з джерела зварювального струму, балона із захисним газом і автомата, що включає трубокзварювальну головку і апаратуру управління.

Зварювальна головка найпростішого автомата складається з зварювального пальника та оснащена механізмами переміщення та слідкування, а також регулювання довжини дугового проміжку. У міру ускладнення головка оснащується механічними копірами або автоматичними пристроями підтримання довжини дуги, механізмом коливання пальника, механізмом подачі присадного дроту із системами переміщень мундштука та пристроєм його переміщення вздовж стика шва.

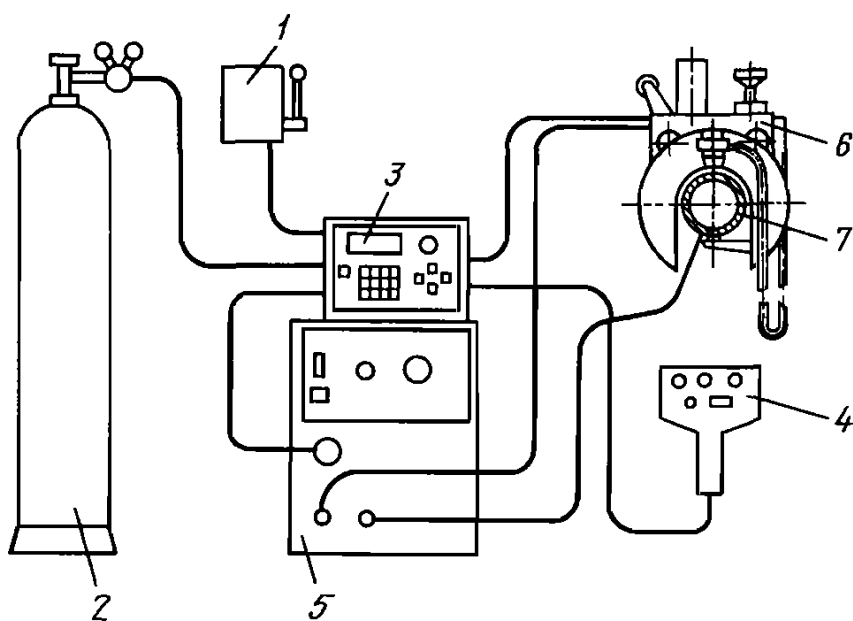


Рис. 2.5 Загальний вигляд зварювального поста автоматичного аргоно-дугового зварювання неплавким електродом [5]

Типовими спеціалізованими автоматами є багато автоматів, що випускаються для зварювання при монтажі та ремонті конкретних з'єднань атомних реакторів. Тільки для монтажу трубопроводів реакторів типу РБМК є 13 спеціалізованих автоматів, кожен із яких призначений для зварювання конкретних типів з'єднань.

Багато спеціалізованого обладнання для автоматичного аргано-дугового зварювання розробляють і виробляють авіаційна промисловість і підприємства ракетобудування.

Основними варіантами такого роду зварювання є зварювання без та з подачею присадного дроту.

Автомати для зварювання без подачі присадного дроту використовуються або для зварювання труб з товщиною стінок до 4 мм, або для зварювання корневих проходів більш товстостінних труб, заповнення оброблення яких виконується ручним дуговим зварюванням покритими електродами, ручним або автоматичним аргано-дуговим зварюванням з присадковим дротом .

В таких автоматах зварювальний пальник обертається навколо зварюваного з'єднання. Дуга, що горить між закріпленим в пальнику вольфрамовим електродом, та кромками з'єднання, оплавляє останні, утворюючи зварне з'єднання.

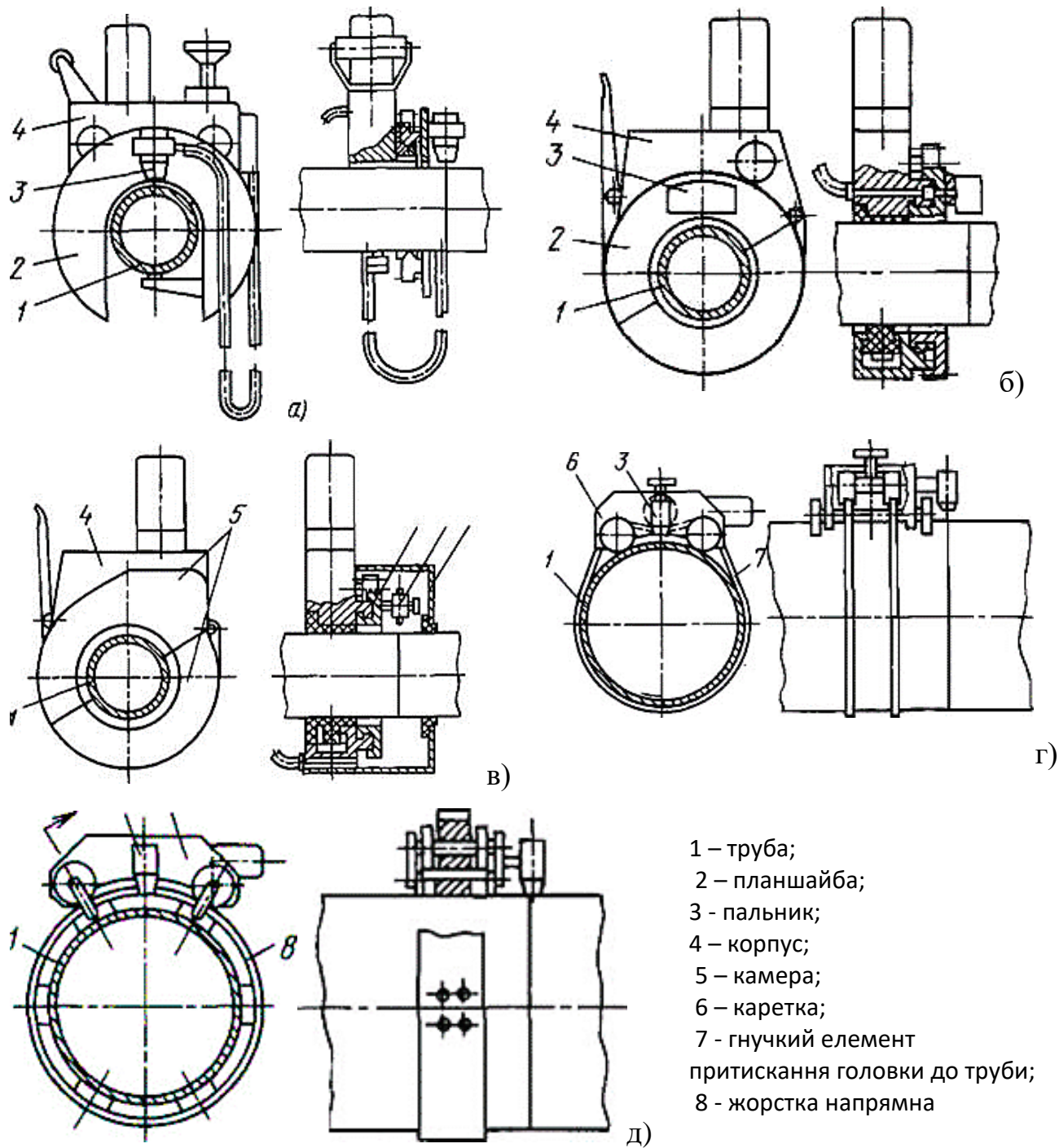
Конструкція головок для зварювання без присадного дроту може бути найпростішою: мати тільки пристрій фіксації на трубі, С-подібну або роз'ємну планшайбу, що обертається навколо труби, з жорстко закріпленим на ній пальником і шланговим підведенням струму і газу.

Більш складні варіанти головок такого типу мають плаваючий пальник з копіром, механізм аксіального та поперечного коригування пальника. Існують конструкції головок, оснащених системою АРНД та механізмом коливання пальника. При цьому регулювання розмаху коливань пальника та його поперечне коригування мають електромоторні приводи та керуються дистанційно. Є конструкції, в яких рукоятки ручних аксіальних і поперечних коригувань винесені на частини голови, що не обертаються. Деякі головки оснащуються волоконо-оптичними або телевізійними системами спостереження за налаштуванням



електрода, процесом зварюванням і слідкування за стиком. Розрізняються за ступенем складності також автомати для зварювання з дротом.

Орбітальні трубозварювальні автомати відрізняються великою різноманітністю конструктивних схем, основні з яких представлені на рис. 2.6.



а - С-подібна відкрита головка; б та в - корпусні роз'ємні головки відкрита та камерна; г - тракторна головка, що переміщується поверхнею труби; д - тракторна головка, з нерухомою напрямною

Рис. 2.6 конструктивні схеми головок орбітальних трубозварювальних автоматів

Найбільш широкого застосування для автоматичного аргоно-дугового зварювання застосовують наступні зварювальні головки, технічна характеристика яких представлена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика зварювальних головок для аргоно-дугового зварювання неповоротних стиків труб [5]

Тип головки	Конструктивна схема головки	Діаметр зварних труб, мм	Радіус поворотних частин, мм	Установочна довжина, мм	Максимальні			Маса головки, кг
					$I_{зв}$ , А	$V_{зв}$ , об/хв	$V_{п.е.д.}$ , м/год	
ОКА-2И	С-подібна	133...219	180	140	200	0,8	Зварювання без присаджувального дроту	18,0
ГНС-220М2		180...220	177					20,5
ГНС-270М		220...270	198	98	300	16	56	22,5
ГНС-3 ЮМ		270...310	220,5					
ГНС-330		290...330	261					25
ГНС-390		350...391	291	93	250	15	40	27
ГНС-220АМ*		170...230	180					8
ГНС-270АМ*		210...280	205	50	200	18	100	12,5

В таблиці 2.7 приведено технічні характеристики зварювальних пальників для автоматичного аргоно-дугового зварювання неплавким електродом.

Таблиця 2.7 Технічна характеристика зварювальних пальників для автоматичного аргоно-дугового зварювання неплавким електродом [6]

Марка	$I_{зв}$ , А	$d_{we}$ , мм	Вид охолодження	Розміри, мм		Маса, кг
				висота	діаметр	
1ГНА-160-100	160	1,5...4,0	повітряне	100	9; 12	0,156
1ГНА-160-140	160	1,5...4,0	повітряне	140	9; 12	0,236
1ГНА-160-180	160	1,5...4,0	повітряне	180	9; 12	0,317
2ГНА-160-140	160	1,5...4,0	повітряне	140	9; 12	0,210
2ГНА-160-180	160	1,5...4,0	повітряне	180	9; 12	0,236

Для зварювання неповоротних стиків труб, які застосовуються в на атомних електростанціях, авторами роботи [7] розглядається обладнання для GTAW орбітальні автомати які були розроблені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

типу АДЦ 627 УЗ.1, АДЦ 625 УЗ.1 та АДЦ 626 УЗ.1. Вони призначені для зварювання труб діаметром від 7 до 76 мм з товщиною стінки 4 мм. Для зварювання неповоротних стиків труб більших діаметрів (до 219 мм) та товщиною 12 мм, було розроблено автомати типу АДЦ 628 УХЛ4 та АДЦ 629 УХЛ4 для орбітального аргоно-дугового зварювання трубопроводів із застосуванням присаджувального дроту. Дані автомати містять у собі джерело живлення із крутоспадаючими зовнішніми вольт-амперними характеристиками (ВАХ). Так як діаметре труби в нашому випадку складаю 219 мм то вибираєм автомат типу АДЦ 629. Технічні характеристики даних автоматів приведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика зварювального автомата [7]

Найменування параметра	Позначення автомата
	АДЦ 629 УХЛ4
Діаметр труб, що зварюються, мм	114-159
Найменша міжтрубна відстань, мм	180
Межі регулювання швидкості зварювання, м/год	4,0-39,6; 7,2-71,6
Діаметр вольфрамового електрода (марки ВЛ, ВИ або VT), мм	3,0; 4,0
Найбільше радіальне переміщення пальника, мм	35,5
Найбільше переміщення пальника впоперек стику, мм	±12,0
Охолодження пальника	рідинне
Межі регулювання зварювального струму, А	8-250
Межі регулювання напруги дуги, В	6-20
Точність підтримання зварювального струму, %, не гірше	±2
Точність підтримання напруги дуги, В, не гірше	±0,15
Найбільша швидкість переміщення пальника відносно АРНД, мм/с	10,0
Розташування електроприводу обертання планшайби	Паралельне до осі труби
Маса головки зварювальної (без маси шлангів й кабелів), кг, не більше	16,0
Електрична потужність, що споживається автоматом, кВА, не більше	6,0

Для живлення даного типу автоматів застосовуємо джерело живлення типу УДГУ-251 (рис. 2.7).

Дане джерело живлення забезпечує дотримання наступних основних процесів[6]:

- програмне керування циклом зварювання;
- універсальна установка для зварювання всіх видів металів та сплавів;
- широкий діапазон регулювання зварювального струму;

- легке збудження та стійке горіння дуги;
- безперервний і пульсуючий режим зварювання;
- безконтактний підпал дуги в режимі ТІГ на змінному та постійному струмі.



Рис. 2.7 – Загальний вигляд джерела живлення типу УДГУ-251 [6]

Таблиця 2.9 Технічна характеристика зварювального джерела живлення

Параметри	Значення
	ТІГ (AC / DC)
Напруга мережі, В	2 x380
Частота мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм, А (при ПВ=35%)	250
Межі регулювання струму, А	10-250
Напруга холостого ходу, В, не більше	80 100
Споживча потужність при номінальному струмі, кВА, не більше	21
Діаметр електрода, мм	0,8-5
Маса, кг	110
Габаритні розміри, мм, не більше	750x390x770

Із врахуванням запропонованих режимів зварювання та вимог зварних з'єднань вибираємо установку для автоматичного аргано-дугового зварювання типу АДЦ 629 УХЛ4 із джерелом живлення УДГУ-251.

## 2.2 Опис запропонованого технологічного процесу

Технологічний процес зварювання стиків трубопроводів включає в себе підготовлення труб до зварювання, складання стиків, сам процес зварювання та контроль якості.

На стадії підготовлення труб до зварювання здійснюють підготовчі операції:

- зачищення торців труб із внутрішньої і зовнішньої сторони не менше 20 мм;
- розроблення кромки у відповідності до типу зварного з'єднання С17, з розробленням кромки з одного торця на  $30^\circ$ , з притупленням  $+1,5..2$  мм;
- розроблення кромки проводять за допомогою плазмового різання з обов'язковим механічним обробленням торця не менше ніж на 1 мм в глибину.

Зачищення торців труб проводимо механічним способом за допомогою кутошліфувальних машин абразивними кругами. Підготовлення кромки проводять за допомогою машини CG2-11В (рис. 2.8). Даний тип машини призначений для різання труб діаметром 150...1420 мм з високолегованих сталей, алюмінію і титану. Технічна характеристика приведена в табл. 2.11. Внутрішня та зовнішня поверхні труб не повинні мати окисну плівку на відстані не менше 30 мм від зварюваних кромки.

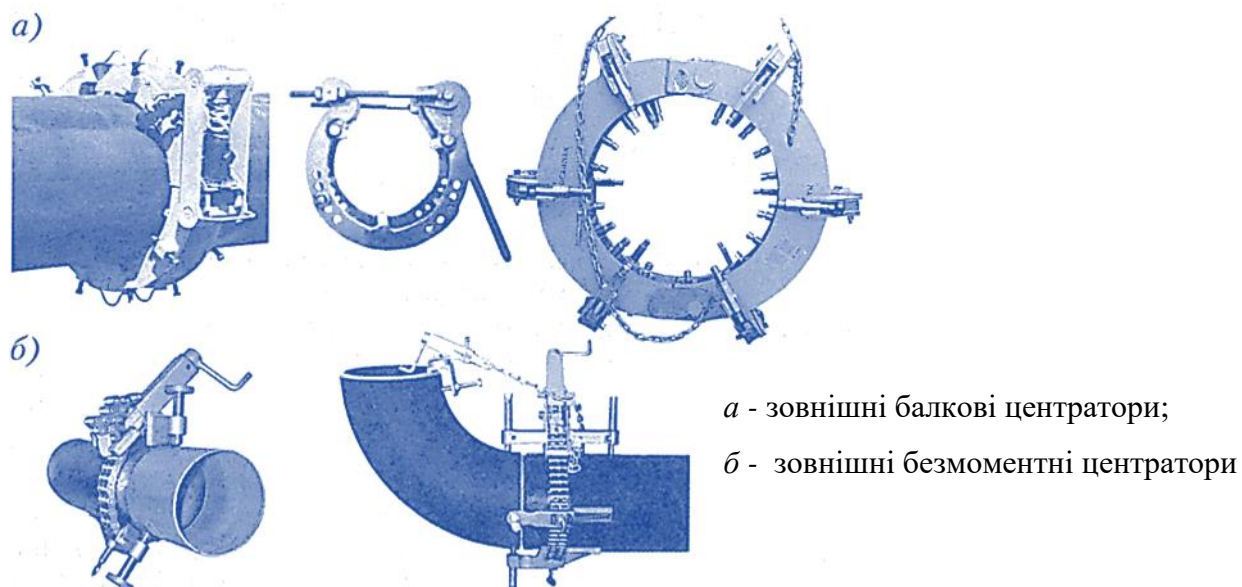
Після підготовлення стиків труб, труби поступають на операцію складання. На даній операції проводять стикування торців у відповідності до типу з'єднання С17. Складання торців здійснюють за допомогою спеціальних зовнішніх центраторів. Зовнішні центратори (рис. 2.7, а та б) поділяються на балкові і безмоментні. Під час складання вони розкриваються і встановлюються на торцях стиків труб. Їх випускаються під певний діаметр труб в діапазоні 108...530 мм [1].



Рисунок 2.8 Загальний вигляд машини для плазмового різання типу CG2-11B [8]

Таблиця 2.9 Технічна характеристика машини CG2-11B [8]

Найменування	CG2-11B
Мережа живлення, В / Гц	220 / 50
Споживана потужність, кВА	0.05
Швидкість різання, мм/хв	5 - 2300
Товщина різання, мм	залежить від плазмотрона
Діаметр труби, мм	150 - 1420
Газ	Повітря
Точність позиціонування різачка, мм	+/- 1,0
Граничне відхилення розрізу, мм/м	0.5
Установлення кута скошу кромки різучого	0 - 45°
Тип різачка	Плазма
Тип приводу	Електро
Маса, кг	14.5
Габарити (Д х Ш х В), мм	265 x 420 x 450

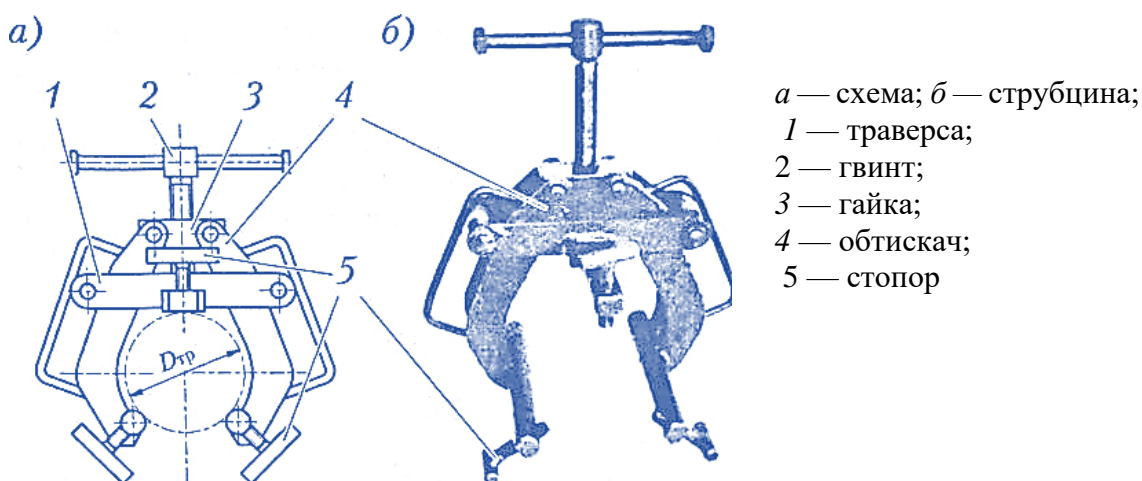


*a* - зовнішні балкові центратори;

*б* - зовнішні безмоментні центратори

Рис. 2.9. Центратори для складання та зварювання труб [1]

Для центрування торців труб також застосовують струбцини (рис.2.10). Вони представляють собою шарнірно-гвинтові пристрої. Струбцина встановлюється на кінець першої труби шляхом обертання гвинта. Потім у струбцину вставляється кінець іншої труби, який фіксується стопорами, після чого виконується прихоплення. При виконанні зварювальних операцій струбцини знімаються [1].



*a* — схема; *б* — струбцина;

1 — траверса;

2 — гвинт;

3 — гайка;

4 — обтискач;

5 — стопор

Рис. 2.10. Струбцина для центрування торців труб [1]

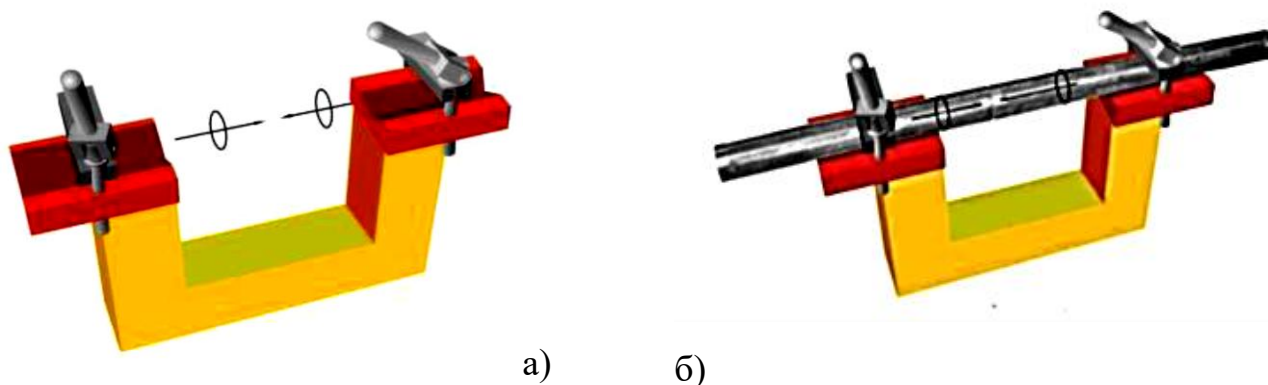
Також для складання стиків трубопроводів існують і інші типи центраторів, які застосовують із врахуванням умов монтажу та протяжності трубопроводу.

Із врахуванням вимог складання неповоротних кільцевих стикових з'єднань

труб потрібно виконувати із застосуванням спеціалізованих зовнішніх центраторів, що дозволяють виконувати зварювання кореневого шару шва по повному периметру стика. У випадках коли застосування центраторів неможливе то слід виконувати складання прихвачування за допомогою ручного аргоно-дугового зварюванням неплавким електродом.

При монтажі трубопроводів застосовують спеціальні центратори, які дозволяють здійснювати складання і зварювання стиків труб (рис. 2.11).

При складанні стиків зовнішнє зміщення кромки, що зварюються, не регламентується, однак при виконанні облицювального шару шва повинен бути забезпечений плавний перехід поверхні шва до основного металу, а внутрішнє зміщення кромки, що стикуються, не повинно перевищувати 1,5 мм. Величина зазору між з'єднуваними торцями повинна становити  $2^{\pm 1}$  мм.



а) зовнішнього центратора; б) складання труб в центраторі;

Рисунок 2.11 – Складання та зварювання труб на зовнішньому центраторі

Після проведення складальних операцій проводять автоматичне аргоно-дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом із застосуванням присаджувального дроту. Зварювання кожного шару зварного шва виконується за один повний оборот із перекриттям раніше виконаного зварного шва (замку) не менше ніж на 5,0 мм. Подача присаджувального дроту в процесі зварювання може здійснюватися як лівим так і правим способом.

Для отримання якісних з'єднань при зварюванні стиків труб, процес слід розпочинати у положенні  $4^{00}$  –  $5^{00}$  або  $7^{00}$  -  $8^{00}$  на підйом при «лівому способі». В



разі виникнення вимушеної зупинки автомата при зварюванні заповнювальних та облицювальних шарів шва слід виконати зачищення закінчення шва із забезпеченням плавного переходу зварного шва; і після цього продовжити зварювання.

Після завершення процесу зварювання всіх шарів зварного шва, його при необхідності зачищають і піддають контрольним операціям.

Контрольні операції включають в себе перевірку матеріалів перед зварюванням, в процесі складання та зварювання і кінцевого контролю з'єднання.

Початковий контроль елементів які підлягають зварювання проводять з метою запобігання виникнення дефектів в процесі зварювання. Основними етапами такого контролю є контроль чистоти поверхні, який здійснюють з метою виявлення на поверхні виробу і кромки масла, бруду, іржі та окалини. Вразі виявлення таких забруднень їх необхідно усунути.

Наступним етапом є контроль процесу складання та зварювання стиків труб. На даному етапі здійснюють перевірку розкриття кромки, дотримання необхідного зазору згідно креслень та притуплення (рис. 2.12) за допомогою шаблонів марки ШС-2. Також перевіряють зміщення кромки стиків одна відносно іншої.

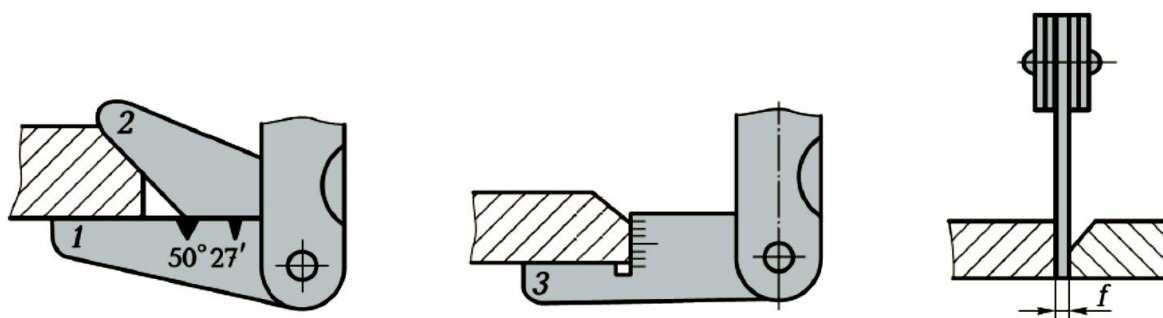


Рис. 2.12 Шаблони марки ШС-2

Після проведення етапу перевірки складальних операцій проводять візуальний контроль якості зварного з'єднання. Даний контроль проводять в процесі зварювання для виявлення поверхневих дефектів в кожному шарі зварного шва, з метою виправлення дефектів перед початком накладання наступного шару. Після заповнення зварного шва перевіряють наявність зовнішніх дефектів, якість зачищення металу, а також перевіряють розміри зовнішніх дефектів, розміри

зварного шва, глибини підрізів та інші дефекти. Для цього застосовують спеціальні шаблони (рис. 2.13).

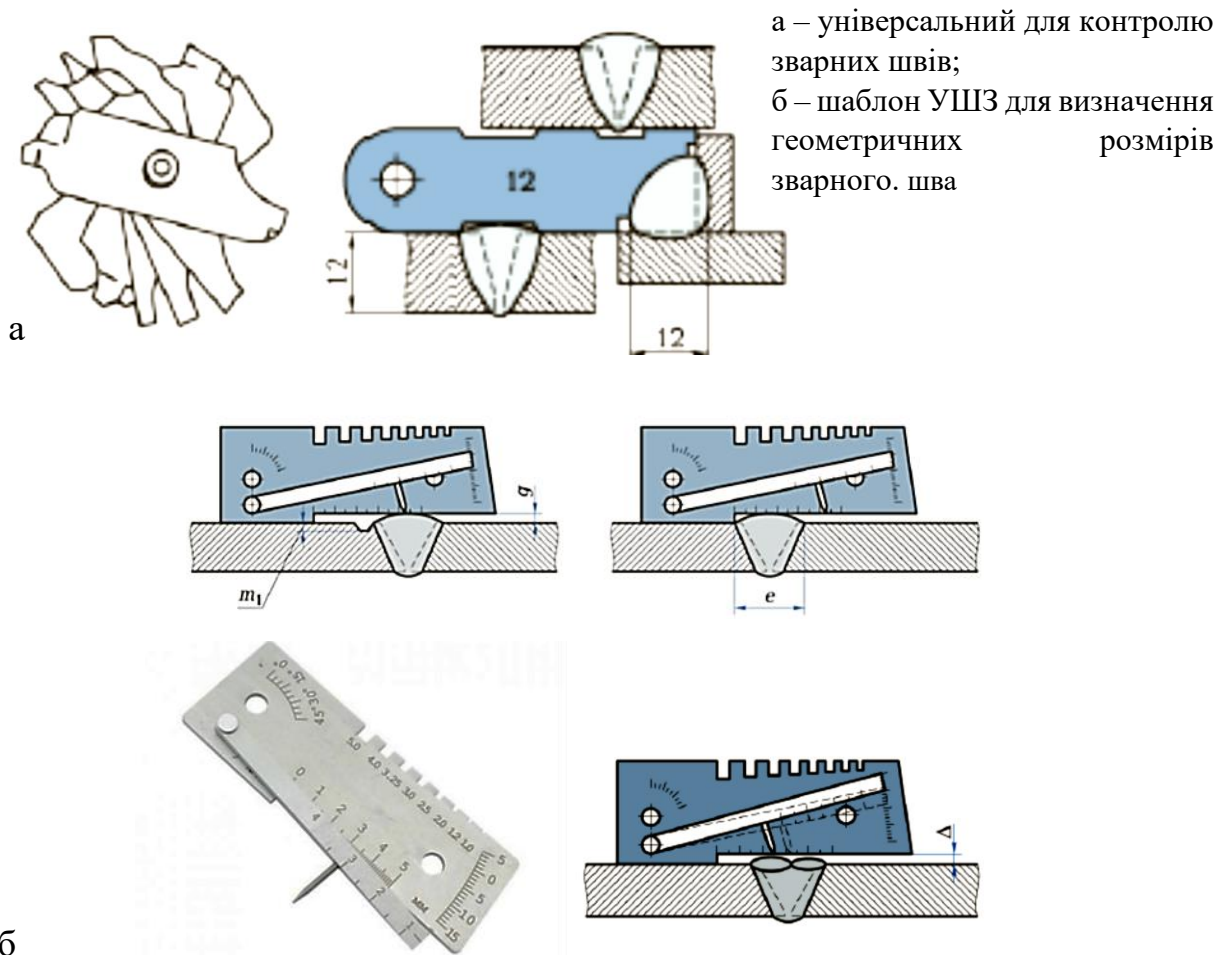
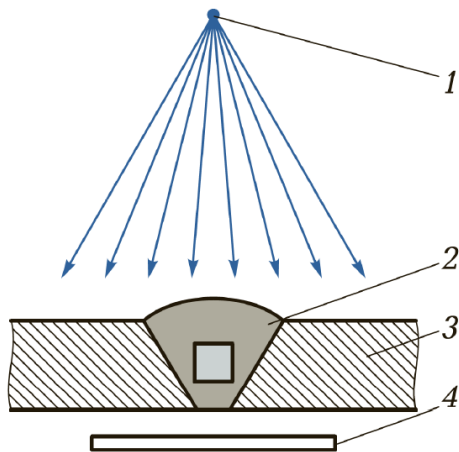


Рис. 2.13 Шаблони для контролю зварних з'єднань

З метою виявлення внутрішніх дефектів зварних з'єднань трубопроводів на АЕС застосовують радіографічну дефектоскопію. Даний спосіб заснований на здатності рентгенівських променів або гама-випромінювання проникати через матеріал і поглинатися в ньому в залежності від товщини і енергії випромінювання. Схема контролю зварних з'єднань приведена на рисунку 2.14.

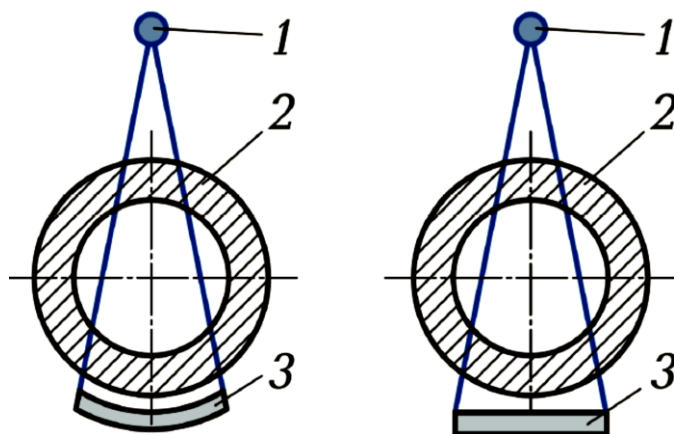


- 1 – джерело випромінювання;
- 2 – дефект;
- 3 – зварне з'єднання;
- 4 - детектор

Рис. 2.14 Схема просвічування зварного з'єднання

За допомогою даного методу контролю перевіряють наявність не суцільності і різних включень в металі шва і зварного з'єднання, непровари і тріщини.

Оскільки в даній роботі розглядається зварювання стиків труб то для контролю всього кільцевого шва необхідно застосовувати схему рентгенографічної дефектоскопії представлену на рисунку 2.15.



- 1 – джерело випромінювання;
- 2 – досліджувана частина з'єднання;
- 3 – касета з плівкою.

Рис. 2.15 Схема радіографічного контролю труб

При проведенні рентгеноскопії необхідно враховувати, що відстань між з'єднанням не повинна бути більше 150 мм. Довжина знімків повинна забезпечувати перекриття зображень суміжних ділянок не більше 100 мм. Для реалізації контролю застосовуємо рентгенівський апарат типу Памир-200,

призначеного для просвічування сталі товщиною до 40 мм (рис. 2.16). Технічна характеристика приведена в таблиці 2.10.



Рис. 2.16 Загальний вигляд рентгенівського апарату типу Памир-200

Таблиця 2.10 Технічна характеристика апарату Памир-200

Параметри	значення
Амплітуда напруги на рентгенівській трубці, кВ	200
Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані (500±20) мм від торця рентгенівського блоку у прямому пучку за 1,5 хв, не менше, мкКл/кг (мР)	155 (600)
Товщина сталі, доступна для рентгенографування за допомогою висококонтрастних рентгенівських плівок з флуоресцентними екранами, що підсилюють, мм	до 40
Діаметр фокусної плями, мм	3
Напруга живлення	однофазна мережа змінного струму (220 ± 22) В, (50 ± 1) Гц, батарея акумуляторів (12 ± 3) В
Потужність, Вт, не більше	300

### **3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА**

Враховуючи те, що технологічний процес розробляється для зварювання стиків труб трубопроводу, який застосовується для охолодження реактора АЕС то до них висуваються високі вимоги стосовно міцності та без дефектності. Даний тип конструкцій працює при різних значеннях температури та можуть піддаватися гідравлічним ударам в процесі експлуатації. З метою виявлення якісних характеристик стикових зварних з'єднань труб необхідно провести їх дослідження.

#### **3.1. Дослідження зварних з'єднань на дефектність**

Для трубопроводів які призначенні для охолодження реакторів АЕС висуваються високі вимоги щодо без дефектності зварних з'єднань. Наявність дефектів в зварних з'єднаннях такого роду конструкцій проводять за допомогою рентгенографічного методу.

Даний метод контролю дозволяє виявити у зварних з'єднаннях тріщин, непроварів, пор, вольфрамових та оксидних включень, пропалів, підрізів, а також для оцінки опуклості та увігнутості кореня шва.

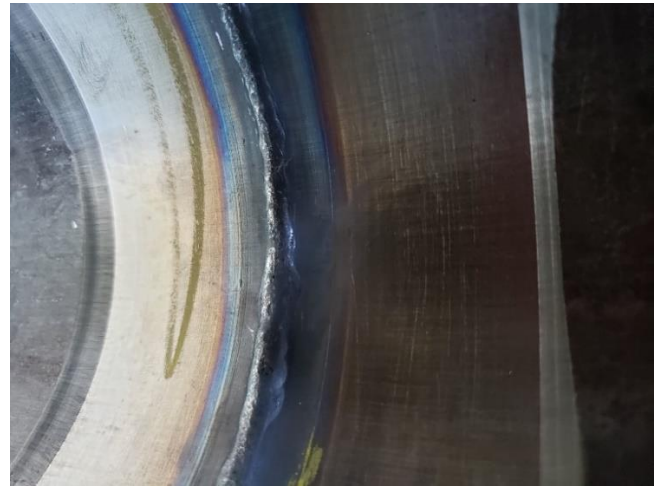
Для проведення досліджень застосовували апарат типу Памир-200 для рентгенографічного контролю та застосовували універсальну екранну плівку РТ-2. Просвічування зразків проводили за схемою представленою в розділі 2 рис. 2.13, тобто просвічування виконували через дві стінки, так як внутрішній діаметр труби є не великим. Напрямок поширення випромінювання здійснювали під кутом  $20^\circ$ . Такий кут вибрали із метою того, щоб зображення протилежних ділянок зварного шва на знімку не накладалися один на одного. Відстань від плівки до зварного шва складала 50 мм, а фокусна відстань становила 500 мм.

Перед проведення м контролю зварний шов і біляшовна зона були очищені від можливих забруднень різного роду, і здійснювали просвічування.

Для проведення досліджень були зварені стики труб із сталі 12X18H10T діаметром 219 мм з товщиною стінки 12 мм (рис. 3.1)



а



б



в



г

Рис. 3.1 Загальний вигляд зварених зразків для досліджень із сталі 12Х18Н10Т:  
а – зварений корінь шва; б – внутрішня сторона труби із зворотнім валиком кореня шва; в – загальний вигляд зварених зразків; г – вигляд облицювального шва

Просвічені плівки проявляли, проводили проміжне промивання, фіксування зображення та промивання в непроточній воді. Після цього проводили остаточне промивання водою протягом 20...30 хв та сушіння плівки 3...4 годин при температурі, що не перевищує 35 °С.

Для визначення наявних дефектів та їх розмірів застосовували вимірювальну лупу та прозору вимірювальну лінійку.

Знімки рентгенографічного контролю досліджуваних зразків приведені на рисунку 3.2.

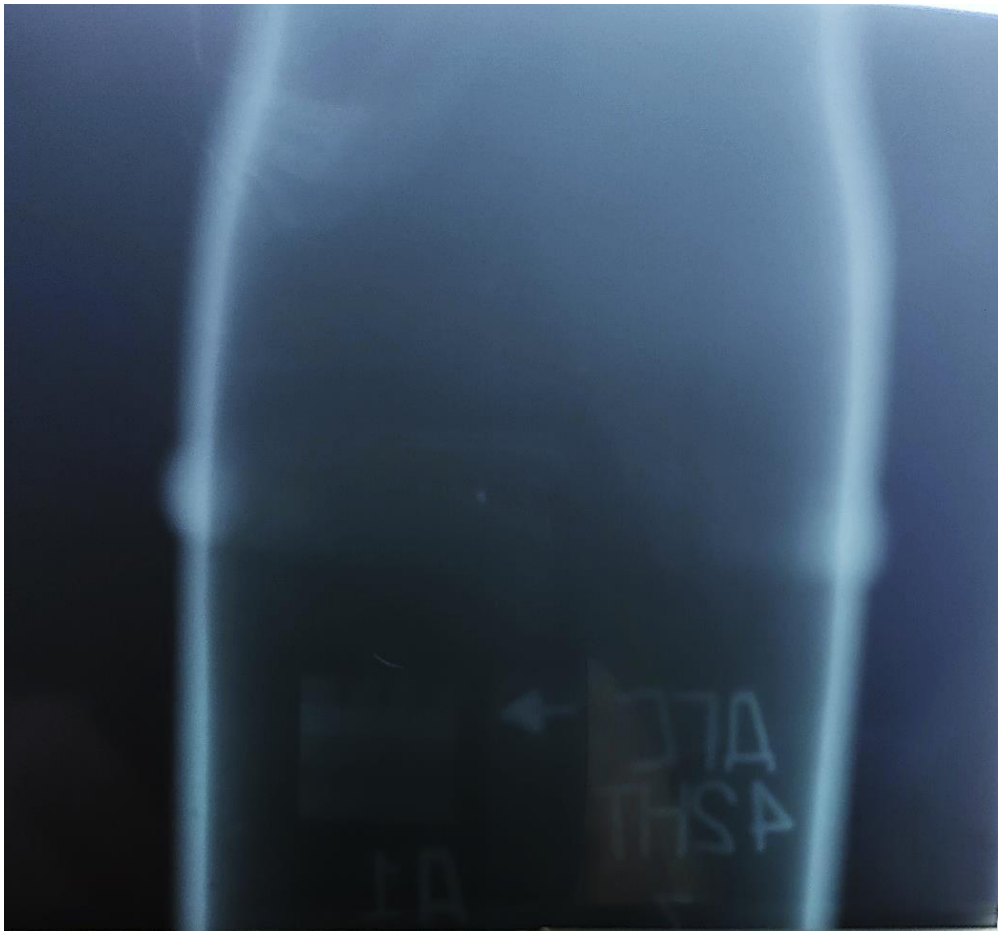


Рис. 3.2 Рентгеноскопічне зображення зварного шва.

За результатами рентгенографії в зварному шві наявність дефектів є в межах допуску для конструкцій такого типу, що свідчить про результат добре запропонованого технологічного процесу.

### **3.2 Дослідження зварного з'єднання на ударну в'язкість**

Згідно літературних даних [13-16] відомо, що наявність легуючих елементів призводять до погіршення процесу зварювання що призводить до появи зон структурних перетворень. Це супроводжується зниженням властивостей зварного шва і конструкції в цілому опору руйнування. Це виникає в наслідок того, що в процесі зварювання відбувається перехід легуючих елементів із зварного шва в

основний метал і навпаки, а також супроводжується структурними перетвореннями в біляшовній зоні. Метал зварного шва може також містити різні дисперсні включення. В даному випадку це можуть бути вольфрамові та оксидні включення. Як відомо з літературних джерел [17-19] зварні шви є концентраторами напружень, а біля шовна зона є найслабшою зоною з'єднання, так як проходять структурні перетворення що супроводжуються перегрівом основного металу. Тому, при розробленні технологічного процесу зварювання, важливим є проведення руйнівних методів контролю якості зварних з'єднань.

Одним із таких методів контролю є метод дослідження на ударну в'язкість.

Для проведення досліджень були виготовленні із вище представлених зразків. Зварювання яких виконували за допомогою автомату для аргоно-дугового зварювання неплавким вольфрамовим електродом з подачею присадкового дроту типу АДЦ 629. В якості присаджувального матеріалу застосовували високолегований дрот марки Св-04Х19Н11МЗ. Із зварених труб вирізали заготовки для виготовлення Шарпі. Розміри зразків для дослідження на ударну в'язкість становили  $8 \times 10 \times 55$  мм. Також на них наносили U - подібний надріз. Глибина надрізу складала 2 мм.

Дослідження на ударну в'язкість проводили в діапазоні температур  $-40$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ . Зразки вирізали механічним способом з основного металу (ОМ) та зварного шва (МШ) [20-22] (рис. 3.3). Температуру випробувань вибирали із врахуванням умов роботи.

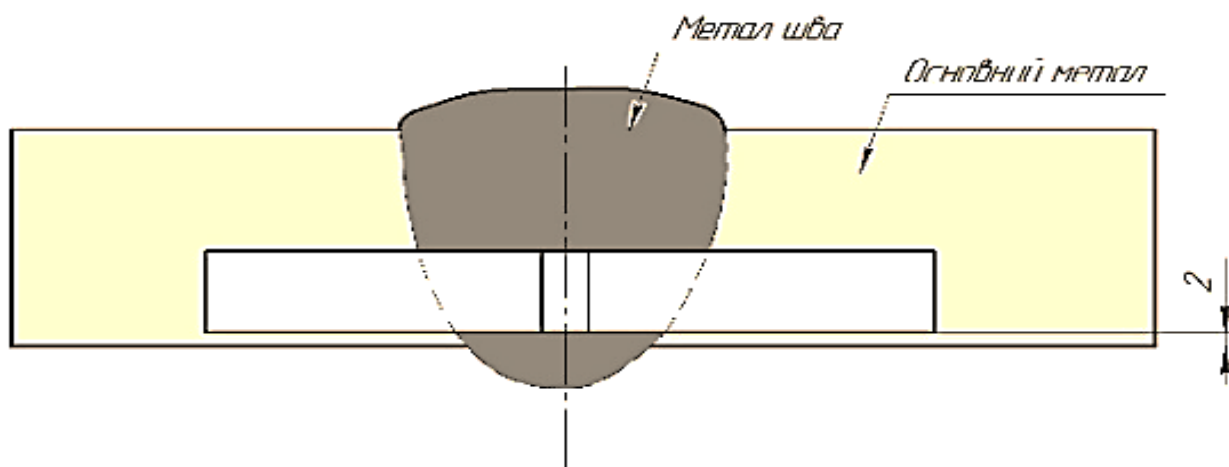


Рис. 3.3. Схема вирізання зразків



Для випробувань застосовували копір RKP-300 «AMSLER». Даний копір дає максимальну силу удару 300Дж.

Випробувань на ударну в'язкість показали, що зразки мають достатньо високі показники. Характер руйнування є характерним для даної сталі. Злами зразків мають типову в'язку ямкову будову, як металу шва так і зони термічного впливу (рис. 3.4).

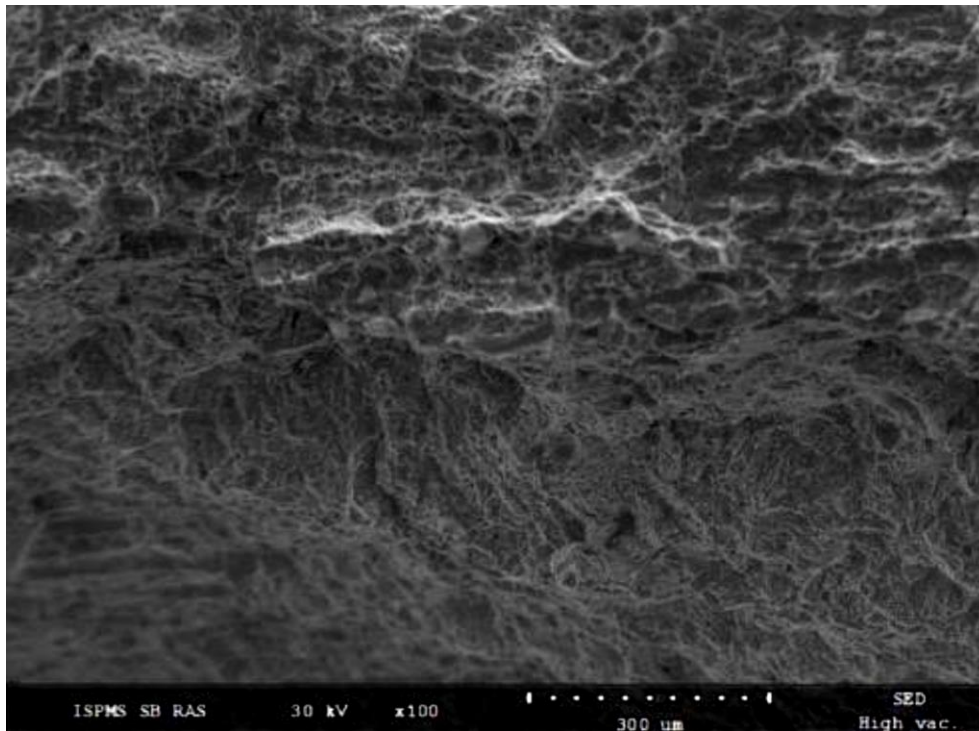


Рис. 3.4 Вигляд поверхні руйнування зварного шва після випробувань

Результати випробувань представлено графічно на рисунку 3.5. З графіку можна побачити, що із зменшенням температури ударна в'язкість, як основного металу, так і металу зони зварного шва майже не змінюється.

Ударна в'язкість основного металу знаходиться на рівні 215-250 Дж/см<sup>2</sup> в діапазоні температур випробувань +20...-40°C, а металу шва та біляшовної зони 128-102 Дж/см<sup>2</sup> та 128-105 Дж/см<sup>2</sup> відповідно. Як можна побачити, що ударна в'язкість досліджуваних зразків є досить висока і перевищує допустиме мінімальне значення більш ніж в 2 рази.

Також було побудовано графічні залежності впливу температури досліджень на значення  $A_p$ ,  $A_i$  та  $A$  (рис. 3.6, 3.7 та 3.8 відповідно).

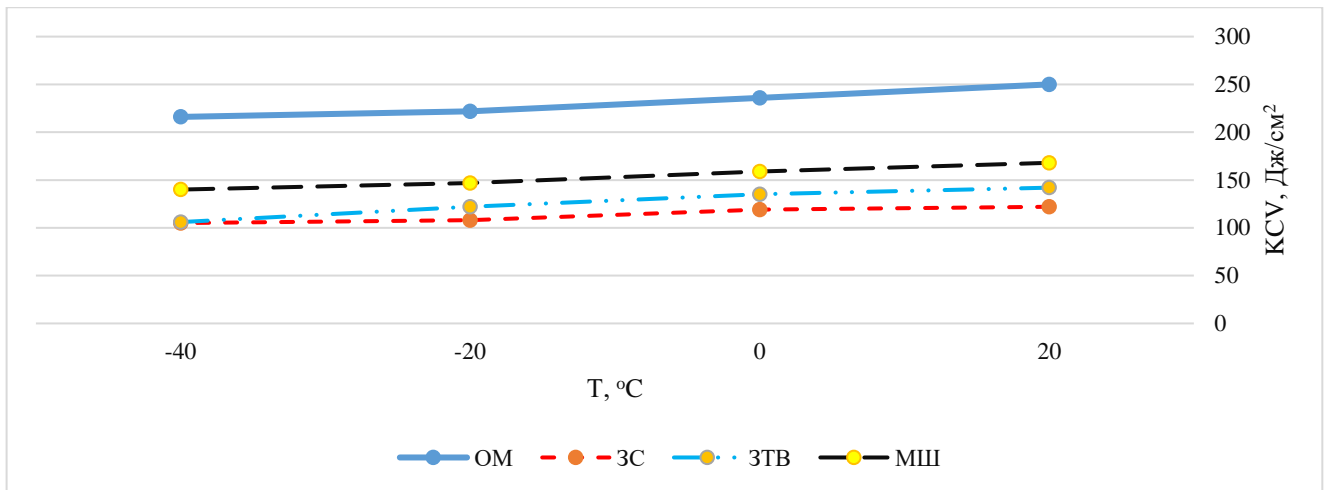


Рис. 3.5. Вплив температури на ударну в'язкість сталі: ОМ – основний метал; МШ – зварний шов; ЗС – зона сплавлення; ЗТВ – зона термічного впливу.

За отриманими даними можна спостерігати те, що ударна в'язкість зварного шва є значно меншою основного металу не зважаючи на температуру випробувань, це саме можна сказати і про зону сплавлення і зону термічного впливу. Характер їх зміни є ідентичний зміні руйнування основного металу.

Значення ударної в'язкості металу шва і біляшовної зони є більшою  $KCV > 100$  Дж/см<sup>2</sup>, а основного металу не опускається нижче 200 Дж/см<sup>2</sup>. При наявності дефектів в зоні зварного шва величина  $KCV$  не перевищують 30 Дж/см<sup>2</sup>.

За отриманими результатами можна вважати, що з'єднання відповідають встановленим вимогам. Тобто запропонована технологія зварювання є обґрунтованою.

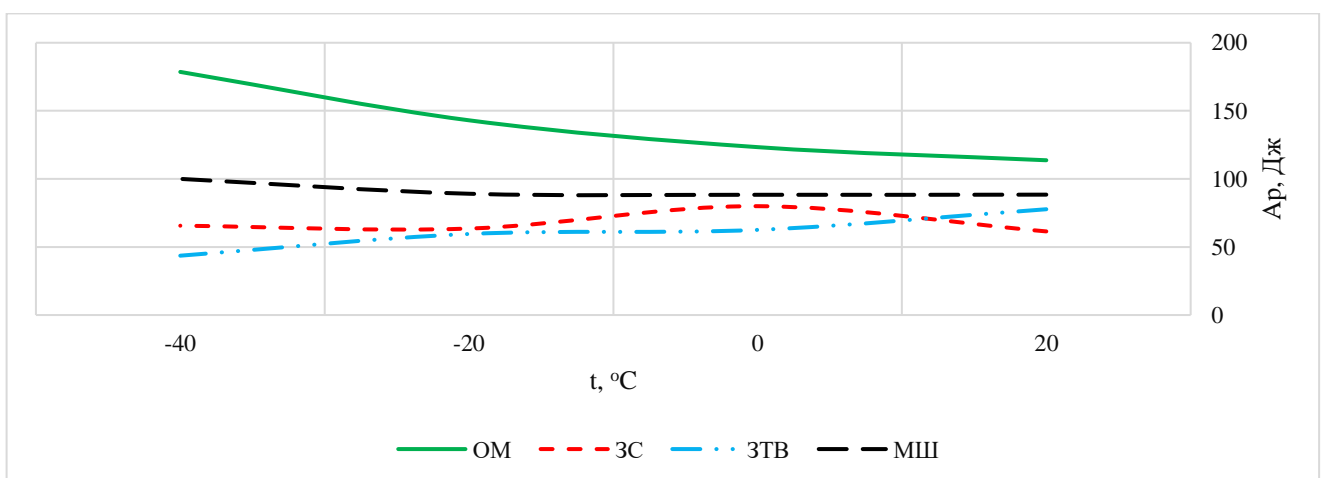


Рис. 3.6. Зміна  $A_p$  від температури випробувань

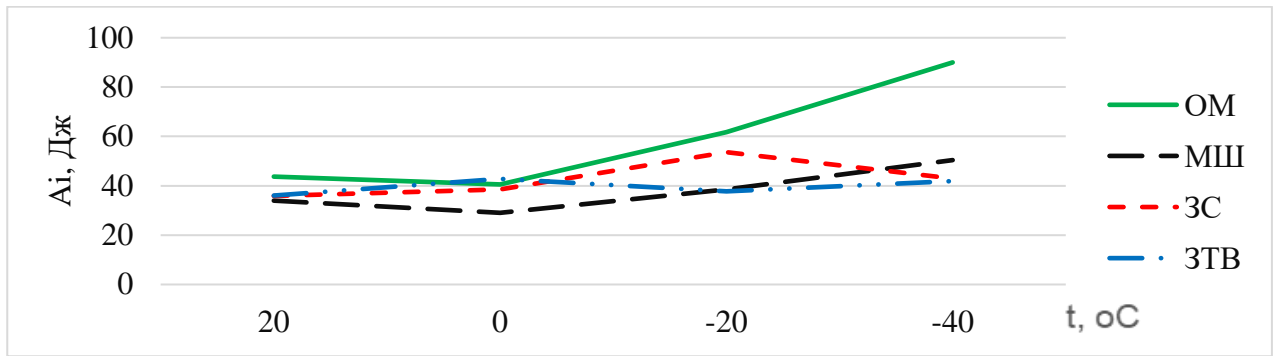


Рис. 3.7. Значення  $A_i$  для досліджуваних зразків

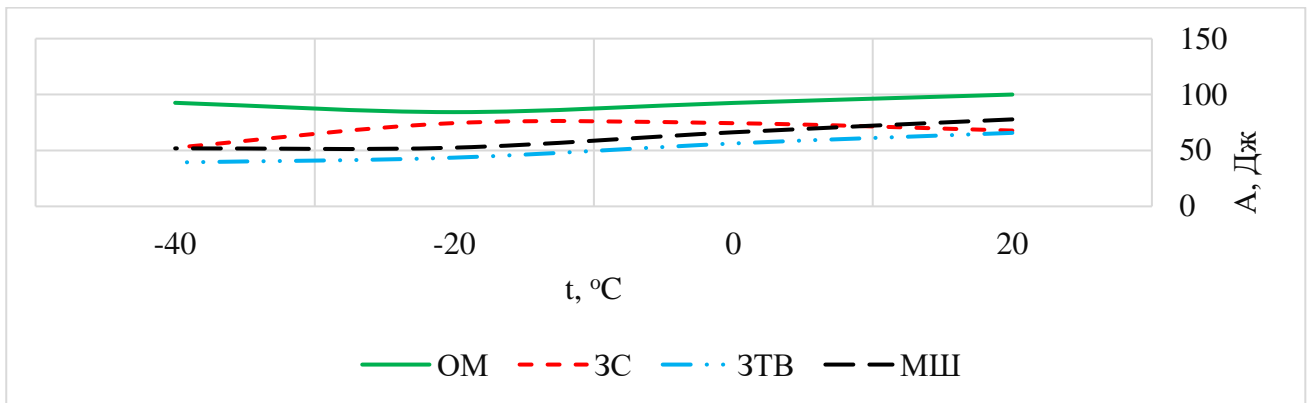


Рис. 3.8. Вплив температури на значення  $A$  сталі

На рис. 3.9 представлено зміну питомої ваги ( $A_p/A$ ) в роботі руйнування. Як можна побачити що із зниженням температури випробувань її значення зростає, і цей характер є однаковий як для металу шва так і основного металу.

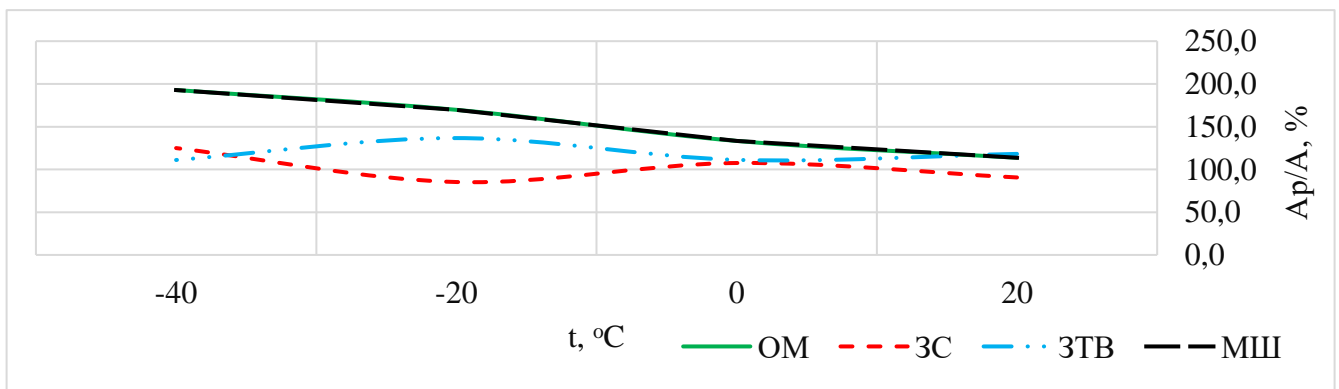


Рис. 3.9. Вплив температури випробувань на значення ( $A_p/A$ )

Для зварних з'єднань із сталі 12Х18Н10Т характерним є високе значення мікротвердості у зоні зварного шва і біляшовній зоні. Мікротвердість зварного шва

може знаходитись на рівні основного металу або біляшовної зони і не перевищувати 15% мікротвердості основного металу (рис. 3.10). В нашому випадку вимірювання показали що мікротвердість зони зварного з'єднання знаходиться в межах 2,2...2.5 ГПа.

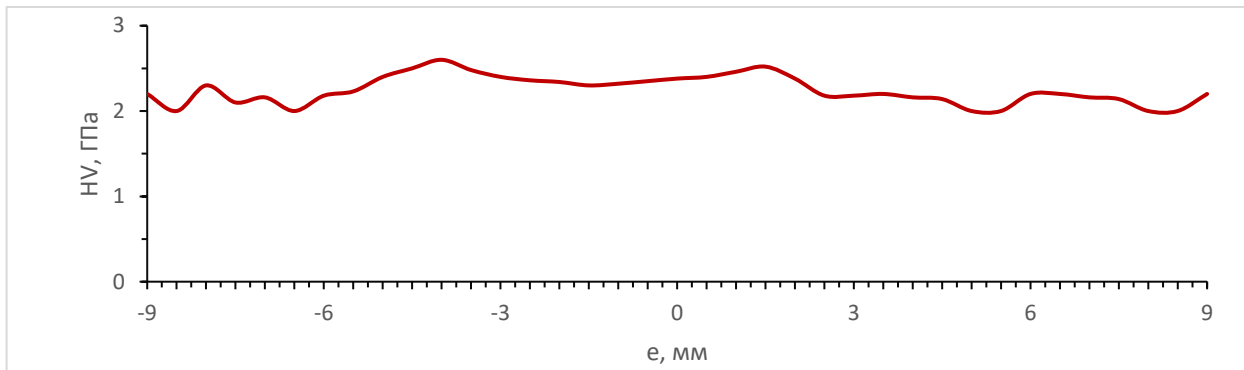


Рисунок 3.10 – Зміна мікротвердості центральній частині зварного з'єднання труб із сталі 12X18H10T

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Обґрунтування вибору зварювальних пристосувань

В роботі розглядається технологія зварювання стиків труб технологічного трубопроводу, який призначений для охолодження реактора АЕС. З урахуванням конструктивних особливостей та вимог до даного трубопроводу було запропоновано спосіб автоматичного орбітального аргоно-дугового способу неплавким вольфрамовим електродом із застосування присаджувального дроту. Запропонований спосіб використовується для зварного з'єднання стаціонарних труб або трубопроводів вольфрамовим електродом закріпленим у зварювальній головці, що обертається по колу зварного шва.

Для цього було запропоновано орбітальну автоматичну зварювальну головку. Зварювальні головки при єдиній технологічній структурі можуть істотно відрізнитися ступенем складності. Конструкція головок для зварювання без присаджувального дроту є найпростішою і має тільки пристрій фіксації на трубі, С-подібну або роз'ємну планшайбу, що обертається навколо труби, з жорстко закріпленим на ній пальником і шланговим підведенням струму і газу [5].

Більш складні варіанти головок такого типу мають плаваючий пальник з копінгом, механізм аксіального та поперечного коригування пальника. Регулювання розмаху коливань пальника та його поперечне коригування мають електромоторні приводи.

Розрізняються за ступенем складності також автомати для зварювання з дротом. При цьому не слід ототожнювати рівень складності автомата з його технічною досконалістю. Для зварювальних робіт, що характеризуються простим та нетривалим циклом зварювання при великій кількості однакових стиків, вибирається порівняно нескладне та надійне обладнання, що забезпечує багаторазове повторення однієї і тієї ж операції зварювання. У разі тривалого процесу зварювання стиків товстостінних труб, що супроводжується змінами

режимів зварювання, найбільше підходить максимально автоматизоване обладнання високого ступеня складності.

Орбітальні трубозварювальні автомати відрізняються великою різноманітністю конструктивних схем рис. 2.6 [5]. Корпусні головки кріпляться на одній з труб, а планшайба з зварювальним пальником обертається вздовж стика. Дані головки бувають як С-подібні так і роз'ємні. С-подібний виріз у корпусі та планшайбі призначений для установки головки на зварювані труби збоку. Вона має зубчастий вінець і обертається за допомогою двох провідних шестерень, що синхронно обертаються. Шестерні розміщені у корпусі приводу, який складається з двигуна, редуктора і подвоювача для синхронізації обертання шестерень. Головки оснащують призмо-кліщовими механізмами фіксації на трубі. Рукоятка механізму поперечного коригування винесена на корпусну частину, що не обертається. Головка має муфту зчеплення для прискореного ручного розмотування шлангів та швидкодіючий важільний привід механізму фіксації.

Апаратура управління забезпечує повністю автоматичний цикл зварювання з управлінням зварювання та швидкістю подачі присадного дроту синхронно з коливаннями пальника.

Роз'ємні голівки не вимагають подвоювача із синхронними шестернями. Крім того, відсутність вирізу дозволяє виконувати колекторне підведення до пальника зварювального струму та захисного газу без шлангів, обов'язкових у С-подібних головках. Вони мають рознімні планшайби. Така конструкція головки дозволяє отримати найменші технологічні розміри, а також відсутність шлангового токогазопідводу позбавляє необхідності стежити за шлангами і розмотувати їх після закінчення процесу зварювання. Їх виконують, як правило, лише для зварювання без подачі присадного дроту.

У камерних головках зварювання виконується всередині нерухомої камери, що переміщується уздовж шва, заповненої інертним газом. Камерними найчастіше бувають головки з роз'ємними, але зустрічаються і з С-подібними корпусами. Такі головки забезпечують зварювання в контрольованій атмосфері

інертного газу і застосовуються там, де потрібно отримати якісніший газовий захист: для зварювання труб з легко-окислювальних сплавів.

Атомна промисловість відрізняється великою кількістю трубних з'єднань, що зварюються безпосередньо на монтажі. На одному блоці реактора кількість тільки монтажних стиків може досягати 250 000 м. Тому використовувані автомати повинні задовольняти насамперед таким вимогам, як ресурс, безвідмовність та продуктивність. Цим відрізняються орбітальні зварювальні автомати, що використовуються різними галузями.

Однією із умов при застосуванні орбітальних головок, є забезпечення точності складання стиків труб перед зварюванням із можливістю її переміщення по стику. З метою забезпечення таких умов будемо застосовувати для складання стиків труб зовнішній центратор (рис. 3.1). В даному центраторі відбувається складання та зварювання стика.

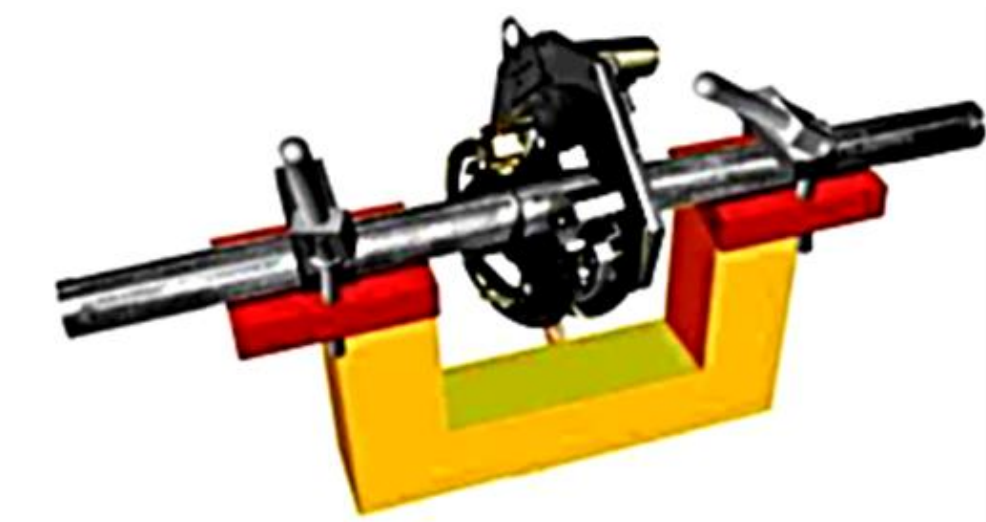


Рис. 3.1 Зварювання орбітальною головкою стика трубопроводу із застосуванням зовнішнього центратора

Так, як в роботі запропоновано зварювальну орбітальну С-подібну головку, то необхідно провести розрахунок механізму переміщення зварювального пальника.

## 4.2 Розрахунок елементів зварювального обладнання

Так, як привід зварювального автомата складається з чотирьох-ступеневого редуктора, з приставкою, яка підвищує передаточне відношення .

Приставка це є циліндрична зубчата передача яка входить в щеплення з шестернею візка.

Потужність на ведучому валу  $P_1=1\text{кВт}$ , при його кутовій швидкості  $\omega_1=100\text{рад/с}$ ; передаточне число передачі  $u=1,42$ ; режим навантаження (СН) середній нормальний; можливі короточасні перевантаження до 150 від середнього; строк служби передачі  $h=20000\text{год}$ .

Номінальний обертовий момент на ведучому валу [25]:

$$T_1 = T_{1H} = T_{1F} = \frac{P_1}{\omega_1}, \quad (3.1)$$

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

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

$$T_{1\text{max}} = 2 \times T_1, \quad (3.2)$$

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

Кутова швидкість веденого вала:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u}, \quad (3.3)$$

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

Сумарне число циклів навантаження зубців шестерні та колеса за строк служби передачі:

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1800 \times \omega_1 \times h}{\pi}, \quad (3.4)$$

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



$$N_{\Sigma_2} = \frac{1800 \times \omega_2 \times h}{\pi}, \quad (3.5)$$

$$N_{\Sigma_2} = \frac{1800 \times 70,422 \times 20000}{3,14} = 8,07 \times 10^8$$

Еквівалентні числа циклів навантаження зубців шестерні та колеса для розрахунку на контактну втому  $N_{HE}$  і для розрахунків на втому при згині  $N_{HF}$  і для розрахунків на втому при згині  $N_{FE}$  із коефіцієнтами інтенсивності  $K_{HE}=0,18$  і  $K_{FE}=0,07$ :

$$N_{HE1} = K_{HE} \times N_{\Sigma_1}; \quad (3.6)$$

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

$$N_{HE2} = K_{HE} \times N_{\Sigma_2}; \quad (3.7)$$

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

$$N_{FE1} = K_{FE} \times N_{\Sigma_1}; \quad (3.8)$$

$$N_{FE1} = 0,7 \times 11,46 \times 10^8 = 8,25 \times 10^7;$$

$$N_{FE2} = K_{FE} \times N_{\Sigma_2}; \quad (3.9)$$

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

Для виготовлення шестерні та колеса вибираємо леговану сталь 45 із термообробкою поліпшення, для шестерні твердість поверхні зубців  $H1=269\dots302$  (найбільш ймовірна твердість  $H1=280\text{HB}$ ),  $\sigma_{B1}=890\text{МПа}$ ,  $\sigma_{T1}=650\text{МПа}$ , для колеса твердість поверхні зубців  $H2=235\dots262$  (найбільш ймовірна твердість  $H2=245\text{HB}$ ),  $\sigma_{B2}=780\text{МПа}$ ,  $\sigma_{T2}=540\text{МПа}$ .

Допустимі контактні напруження. Границі контактної витривалості зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$\sigma_{Hlimb1} = 2 \times H_1 + 70 \quad (3.10)$$

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

$$\sigma_{Hlimb2} = 2 \times H_2 + 70 \quad (3.11)$$

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

Базу випробувань для матеріалу шестерні та колеса визначаємо:

$$N_{H01} = 30 \times H_1^{2,4} \quad (3.12)$$

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

$$N_{H02} = 30 \times H_2^{2,4} \quad (3.13)$$

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

Якщо  $N_{H01} < N_{HE1}$  і  $N_{H02} < N_{HE2}$ , то коефіцієнт довговічності для зубців шестерні та колеса  $K_{HL}=1$ .

Допустимі контактні напруження для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті  $Z_R=1$  (шорсткість поверхонь зубців  $Ra=1,25 \dots 0,63$ ) та коефіцієнті запасу  $s_H=1,1$  знаходимо

$$[\sigma]_{H1} = \frac{\sigma_{Hlimb1} \times Z_R \times K_{HL}}{s_H} \quad (3.14)$$

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

$$[\sigma]_{H2} = \frac{\sigma_{Hlimb2} \times Z_R \times K_{HL}}{s_H} \quad (3.15)$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{560 \times 1 \times 1}{1,1} = 509 \text{ МПа.}$$

Для зубців передачі розрахункове допустиме контактне напруження

$$[\sigma]_H = 0,45 \times ([\sigma]_{H1} + [\sigma]_{H2}) \quad (3.16)$$

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

Допустиме граничне контактне напруження:

$$[\sigma]_{Hmax} = 2,8 \times \sigma_{T2} \quad (3.17)$$

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

Допустимі напруження на згин. Границі витривалості зубців при згині для бази випробувань  $N_{FO}=4 \times 10^6$

$$\sigma_{Hlimb1} = 1,8 \times H_1 \quad (3.18)$$

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

$$\sigma_{Hlimb2} = 1,8 \times H_2 \quad (3.19)$$

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

Оскільки  $NF_0 < NFE_1$  і  $NF_0 < NFE_2$  то коефіцієнт довговічності для зубців шестерні та колеса  $K_{FL}=1$ .

Допустиме напруження на згин для зубців шестерні та колеса при коефіцієнті  $K_{Fc}=1$  і коефіцієнті запасу  $s_F=2,2$  визначаємо

$$[\sigma]_{F1} = \frac{\sigma_{Flimb1} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{s_F} \quad (3.20)$$

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

$$[\sigma]_{F2} = \frac{\sigma_{Flimb2} \times K_{Fc} \times K_{FL}}{s_F} \quad (3.21)$$

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

Для зубців шестерні та колеса граничне допустиме напруження на згин

$$[\sigma]_{F1max} = \frac{4,1 \times H_1}{s_F} \quad (3.22)$$

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

$$[\sigma]_{F2max} = \frac{4,8 \times H_2}{s_F} \quad (3.23)$$

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

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  $\psi_{bd}$ ,  $KH\beta=1,07$

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

Мінімальну міжосьову відстань передачі

$$\alpha_{\omega\min} = K_a \times (u + 1) \times \sqrt[3]{\frac{T_{1H} \times K_{H\beta}}{(u \times \psi_{ba} \times [\sigma]_H^2)}} \quad (3.24)$$

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

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

$$m_n' = \frac{2 \times \alpha_{\omega} \times \cos \beta}{(z_1 + z_2)} \quad (3.25)$$

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

Стандартний модуль зубців  $m_n=0,7$  за ГОСТ9563-60. фактичний кут нахилу лінії зубців:

$$\cos \beta = \frac{m_n \times (z_1 + z_2)}{(2 \times \alpha_{\omega})} \quad (3.26)$$

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

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

Попередні значення параметрів передачі. Ділильні діаметри шестерні та колеса будуть такі:

$$d_1 = \frac{m_n \times z_1}{\cos \beta} \quad (3.27)$$

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

$$d_2 = \frac{m_n \times z_2}{\cos \beta} \quad (3.28)$$

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

Ширина

$$b_2 = \psi_{ba} \times \alpha_w \quad (3.29)$$

$$b_2 = 0,4 \times 52 = 20,8 \text{ мм}$$

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

$$b_1 = 20,8 \times 2 = 22,8 \text{ мм.}$$

Колова швидкість зубчастих коліс:

$$v = 0,5 \times \omega_1 \times d_1 \quad (3.31)$$

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

Вибираємо 8-й ступінь точності (пст=8) для всіх показників точності зубчастих коліс та передачі.

Еквівалентні числа зубців шестерні та колеса будуть такими:

$$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta} \quad (3.32)$$

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

$$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta} \quad (3.33)$$

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

Коефіцієнт торцевого перекриття

$$\varepsilon_\alpha = \left[ 1,88 - 3,2 \times \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right] \times \cos \beta \quad (3.34)$$

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

Коефіцієнт осьового перекриття зубців

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b_2 \times \sin \beta}{(\pi \times m_n)} \quad (3.35)$$

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

Колова сила у зачепленні зубчастих коліс:

$$F_t = F_{Ht} = F_{Ft} = \frac{2 \times T_1}{d_1} \quad (3.36)$$

$$F_t = \frac{2 \times 10 \times 10^3}{61,31} = 326 \text{ Н}$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну втому. Для розрахунку попередньо визначимо такі коефіцієнти:

$ZM=275 \text{ МПа}^{1/2}$  – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів зубчастих коліс;

$ZH=1,77 \times \cos \beta = 1,77 \times 0,9019 = 1,596$  – коефіцієнт форми спряжених поверхонь зубців;

$Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_{\alpha}}} = \sqrt{\frac{1}{1,60}} = 0,79$  - коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній при

$\varepsilon_{\beta} > 0,9$ .

$KH_{\alpha}=1,03$  – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями;

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

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

Питома розрахункова колова сила

$$W_{Ht} = \left( \frac{F_{Ht}}{b_2} \right) \times K_{H\alpha} \times K_{H\beta} \times K_{H\nu} \quad (3.37)$$

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

Розрахункове контактне напруження

$$\sigma_H = Z_M \times Z_H \times Z_\varepsilon \times \sqrt{\frac{\left(\frac{W_{Ht}}{d_1}\right) \times (u + 1)}{u}} \quad (3.38)$$

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

Стійкість зубців проти втомного викришування їхніх активних поверхонь забезпечується:

$$\sigma_H = 291 \text{ МПа} < [\sigma]_H = 486 \text{ МПа}.$$

Розрахунок активних поверхонь зубців на контактну міцність під час дії максимального навантаження

$$\sigma_{H_{\max}} = \sigma_H \times \sqrt{\frac{T_{1_{\max}}}{T_{1H}}} \quad (3.39)$$

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

Контактна міцність зубців також забезпечується, оскільки:  
 $\sigma_{H_{\max}} = 411 \text{ МПа} < [\sigma]_{H_{\max}} = 1512 \text{ МПа}.$

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;

$K_{F\alpha} = [4 + (\varepsilon\alpha - 1) \times (\text{ncr} - 5)] / (4 \times \varepsilon\alpha) = [4 + (1,6 - 1) \times (8 - 5)] / (4 \times 1,6) =$

$= 0,91$  – коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями;

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

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

Питома розрахункова сила:

$$W_{Ft} = \left( \frac{F_{Ft}}{b_2} \right) \times K_{F\alpha} \times K_{F\beta} \times K_{Fv} \quad (3.40)$$

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

Розрахункове напруження згинину у зубцях шестерні та колеса:

$$\sigma_{F1} = \frac{Y_{F1} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n} \quad (3.41)$$

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

$$\sigma_{F2} = \frac{Y_{F2} \times Y_{\varepsilon} \times Y_{\beta} \times W_{Ft}}{m_n} \quad (3.42)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{3,60 \times 1 \times 0,87 \times 17,57}{0,7} = 78,61 \text{ МПа}$$

Стійкість зубців проти втомного руйнування при згині забезпечується, оскільки розрахункові напруження згину менші від відповідних допустимих напружень  $[\sigma]_{F1}=229 \text{ МПа}$  та  $[\sigma]_{F2}=229 \text{ МПа}$ .

Розрахунок зубців на міцність при згині максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F1\max} = \sigma_{F1} \times \left( \frac{T_{1\max}}{T_{1F}} \right); \quad (3.43)$$

$$\sigma_{F1\max} = 78,83 \times \left( \frac{20}{10} \right) = 157,66 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{F2\max} = \sigma_{F2} \times \left( \frac{T_{1\max}}{T_{1F}} \right) \quad (3.44)$$

$$\sigma_{F2\max} = 78,61 \times \left( \frac{20}{10} \right) = 157,22 \text{ МПа.}$$

Міцність зубців при згині при дії максимального навантаження також забезпечується, бо максимальні розрахункові напруження менші від граничних допустимих напружень  $[\sigma]_{F1\max}=610 \text{ МПа}$  та  $[\sigma]_{F2\max}=534 \text{ МПа}$ .

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  $d_1=42,68 \text{ мм}$  і  $d_2=61,31 \text{ мм}$ ;

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

$$F_r = \frac{F_t \times \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta} \quad (3.45)$$

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

В) осьова сила:

$$F_{\alpha} = F_t \times \operatorname{tg} \beta \quad (3.46)$$

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

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Оцінка запропонованого технологічного процесу з умов техніки безпеки, електробезпеки, пожежної 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.

## 5.2 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-технічному 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 сталеві 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 виконанні 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 [27].

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

### **5.3 Організація цивільної оборони на об'єктах господарської діяльності**

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 [14, с.409].

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 [28].



## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто питання обґрунтування технологічного процесу зварювання стиків труб технологічного трубопроводу охолодження та проведено його оцінку з дослідженням якості зварних з'єднань.

З метою підвищення якості зварних з'єднань стиків труб та ефективності процесу зварювання запропоновано спосіб автоматичного орбітального зварювання із застосуванням спеціалізованого устаткування. Для реалізації даного процесу застосовано автомат для аргоно-дугового зварювання неплавким вольфрамовим електродом із застосуванням присаджувального дроту типу АДЦ 629 із зовнішнім центратором стиків. Це дозволить забезпечити точність складання та усунути операцію встановлення прихоплень.

Також, було дослідження дефектності зварних швів рентгенографічним методом, який підтвердив ефективність запропонованих змін. З метою дослідження якості зварювання також були проведені дослідження на ударну в'язкість та проведено вимірювання твердості зварного шва і біляшовної зони. Ударна в'язкість основного металу знаходиться на рівні 215-250 Дж/см<sup>2</sup> в діапазоні температур випробувань +20...-40°C, а металу шва та біляшовної зони 128-102 Дж/см<sup>2</sup> та 128-105 Дж/см<sup>2</sup> відповідно. Характер руйнування зразків ідентичний руйнуванню основного металу.

За результатами досліджень підтверджено ефективність застосування запропонованих інженерних рішень, що дозволяють реалізувати даний технологічний процес на практиці .

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст]/ Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
2. Сварка трубопроводов: Учеб. пособие / Ф. М. Мустафин, С 24 Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковский и др. — М.: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2002.— 350 с.
3. Масаков, В.В. Сварка нержавеющей сталей : учеб. Пособие / В.В. Масаков, Н.И. Масакова, А.В. Мельзитдинова. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 184 с.
4. ПНАЭ Г-7-009-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок сварка и наплавка. основные положения – 183 с.
5. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. и.п. Алешина, Г. Г. Чернышова. - М.: Машиностроение, 2004. Т. 1 / и.п. Алешин, Г.Г. Чернышов, Э. А. Гладков и др. - 624 с.
6. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
7. 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
8. <https://www.i-e.com.ua/ua/catalog/svarochnoe-oborudovanie-huawei/oborudovaniye-rezki-trub/machini-cepnim-privodom.html>
9. СОУ НАЕК 159:2020. СВАРКА И НАПЛАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С РЕАКТОРАМИ ВВЭР. Технические требования. – 133 с.
10. Думов С.И. Технологияэлектрической сварки плавлением [Текст]: учеб. / С.И. Думов. – Л.: Машиностроения, 1987. – 640 с.
11. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] : учеб. / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.– 432 с.

12. Биковский, О.Г. Довідник зварника [Текст]: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
13. Фридман Я.Б. Механические свойства. Деформация и разрушение / Я.Б. Фридман. - М.: Машиностроение, ч. I, 1974. - 472 с.
14. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Механические испытания. Конструкционная прочность / Я.Б. Фридман -М.: Изд-во Машиностроение. 1974. ч. II. - 368 с.
15. Bonora N. A Nonlinear cdm model for ductile failure / N. Bonora // Engineering Fracture Mechanics. – 1997. - Vol. 58, No. ½. – P. 11-28.
16. Качанов Л.М. Основы механики разрушения / Л.М. Качанов. М.: Наука, 1974. - 312 с.
17. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. М.: Наука, 1979. - 744 с.
18. Макклиток Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклиток, А. Аргон . М.: Мир, 1970. - 443 с.
19. Шестериков С.А. Избранные труды / С.А. Шестериков. М.: Изд-во Московского университета, 2007. - 242 с.
20. Rice J.R. On the ductile enlargement of voids in triaxial stress fields / J.R. Rice, Tracey D.M // Mech. Phys. Solids. – 1969. - Vol. 17. - P. 201-217.
21. Minimizing Losses During Natural Gas Transportation / Poberezhny L., Hrytsanchuk A., Okipnyi I., Poberezhna L., Stanetsky A., Fedchyshyn N. // Journal of mechanical engineering – Strojnicky časopis, Vol. 69 (2019), № 1, pp. 97 – 108.
22. Impact of Long-Term Operation on the Reliability and Durability of Transit Gas Pipelines / Okpnyi I., Poberezhny L., Zapukhliak V., Hrytsanchuk A., Poberezhna L., Stanetsky A., Kravchenko V., Rybinskyi I. // Journal of mechanical engineering – Strojnicky časopis, Vol. 70 (2020), № 1. pp. 115 – 126.
23. Н. Б. Пугачева. ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ AISI 321/Cu/Ta/Ti / Н. Б. Пугачева, , А. М. Оришич, А. Н. Черепанов, Е. И. Сенаева, Е. Б. Трушина//

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ, 2020, том 121, № 11, с. 1213–1219.

24. Походня, И.К. Дуговая сварка неповоротных стыков магистральных трубопроводов [Текст] / И.К. Походня, И.К. Шейкин, В.Н. Шлепаков. – М.: Недра, 1987–190с.

25. Павлище, В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] / В.Т. Павлище – К.: Вища школа, 1993 – 556с.

26. Гирнис, В.В. Контроль качества монтажных и сварочных работ на АЭС [Текст] / В.В. Гирнис, П.М. Корольков – М.: Энергия, 1980 – 96с.

27. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. [Текст] / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.

28. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.

# ДОДАТКИ