

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітній рівень)

на тему: Вдосконалення технології зварювання корпусу бойлера ВТН та дослідження структурно-фазових перетворень та стійкості до корозії зварних швів (на замовлення НВП «Теплобак»)

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МПм

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Фараонов А. Ю.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лазарюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Шанайда В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедрою

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТ  
доц., к.т.н. Окіпний І.Б.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 \_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 131 "Прикладна механіка"  
(шифр і назва спеціальності)  
студенту Фараонова Андрія Юрійовича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення технології зварювання корпусу бойлера ВТН та дослідження структурно-фазових перетворень та стійкості до корозії зварних швів (на замовлення НВП "Теплобак")

Керівник проекту (роботи) Лазарюк В.В., к.т.н, доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «16» листопада 2023 року № 4/7-1058

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення виробу; технічні умови на виготовлення; базовий технологічний процес виготовлення виробу

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

Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Науково-дослідна частина.

Конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

Перелік посилань. Додатки.

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

Бойлер. Пристрій для обрізки кромок обичайки та донець. Пристрій для зварювання кільцевих швів. Роликовий стенд. План ділянки. Центратор. Розрахунок роликового стенду. Режими зварювання. Аналіз очікуваних структур.

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Дячун І. Г., доц. каф. МТ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання «\_5\_» \_жовтня\_ 2023 \_\_р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.10.2023	
2	Аналітична частина	17.10.2023	
3	Технологічна частина	20.10.2023	
4	Науково-дослідна частина	31.10.2023	
5	Конструкторська частина	21.11.2023	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	28.11.2023	
7	Висновки	5.12.2023	
8	Графічна частина	19.12.2023	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Фараонов А. Ю. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Лазарюк В.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра, на тему: «Вдосконалення технології зварювання корпусу бойлера ВТН та дослідження структурно-фазових перетворень та стійкості до корозії зварних швів (на замовлення НВП "Теплобак")» складається із 5 частин розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 66 - аркуша формату А4 та графічної частини об'ємом 8 аркушів формату А1. Записка складається із таких частин: аналітичний, технологічний, науково-дослідний, конструкторський, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Мета кваліфікаційної роботи – зниження кількості ручної праці та трудомісткості, покращення якості та експлуатаційних характеристик зварної конструкції корпусу бойлера, підвищення безпеки на ділянці виготовлення виробу.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 18 рисунків, 11 таблиць та додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 25 літературних джерел.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання бойлера. Запропоновано: автоматичного електродугового зварювання у захисному середовищі  $Ar+O_2+CO_2$ ; розраховано режим зварювання; запропоновано раціональне обладнання і пристосування; проведено розрахунки конструкції ролікопор та ланцюгового центратора, проведено дослідження та прогнозування структурно-фазових перетворень в ЗТВ, вплив виду термічного оброблення на структуру, механічні та корозійні властивості зварних з'єднань виробу; розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, КОРОЗИЯ, ВІДПУСК, ОХОРОНА ПРАЦІ

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Аналітична частина	8
1.1 Характеристика виробу	8
1.2 Характеристика матеріалу виробу	10
1.3 Корозія металу в пароводяному тракті бойлера	11
1.4 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції	13
1.4.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів	13
1.4.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні	14
1.4.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу	15
1.4.4 Вимоги до якості виробу	15
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення	15
2 Технологічна частина	16
2.1 Обґрунтування способу зварювання	16
2.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	18
2.3 Розрахунок режиму зварювання стикових з'єднань	19
2.4 Технологічні особливості складання та зварювання бойлера	25
2.6 Контроль якості зварювання бойлера	31
3. Науково-дослідна частина	33
3.1 Розрахунок термічного циклу	33
3.2 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу	35
3.3 Розрахунок прогнозних структур після зварювання	37
3.4 Вплив термічного оброблення на структуру та механічні властивості зварного з'єднання	39
3.5 Вплив термічної обробки на корозійні властивості	45
4. Конструкторська частина	49
4.1 Розрахунок роликпор	49
4.2 Розрахунок центруючого механізму	53
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	56

5.1 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на ді-	
льниці цеху	56
5.2 Розрахунок природного освітлення дільниці цеху	57
5.3 Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта до уда-	
рної хвилі	60
Загальні висновки	63
Перелік посилань	65
Додатки	68

## ВСТУП

Підвищення експлуатаційних властивостей зварних виробів є складною організаційною та технологічною задачею, оскільки потребує як впровадження системи контролю якості виконання процесів на виробництві, так і впровадження інновацій у технологічний процес виготовлення виробу. З іншого боку зменшення собівартості виготовлення конструкції не повинно відбуватися за рахунок погіршення умов праці робітників, спрощення операцій чи їх відміни. Шляхами для вдосконалення технології є зменшення додаткових трудозатратних операцій транспортування та складання виробу, використання автоматизованих установок складання та зварювання, універсальних складально-зварювальних пристосувань.

Використання електродугового зварювання приводить до термодермаційного впливу на метал виробу незалежно від рівня автоматизації технології. Високотемпературне нагрівання викликає однозначну зміну структурно-фазового складу матеріалу, виникнення залишкових напружень, зміну механічних та експлуатаційних властивостей виробу. Сучасні методи аналізу та прогнозування дозволяють проводити розрахунки таких змін в локальних критичних областях зварних з'єднань та надавати технологічні рекомендації щодо виготовлення конструкції в цілому.

Якість виготовлення металовиробу в значній мірі залежить від якості складальних робіт, підготовки зварювальних кромки, наявності поопераційного контролю. Проведення усіх операцій виготовлення на одному місці дозволяє не лише зменшити кількість ручної праці, але і зменшити ризики деформування конструкції та змін зазорів між кромками, зменшити час на виготовлення конструкції в цілому. Підвищення безпеки праці та зменшення ризику від надзвичайних ситуацій є наслідком запровадження системи попереджувальних заходів із впровадженням як загальних підходів зменшення небезпек на робочому місці так і покращення індивідуальних засобів захисту працюючих.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Характеристика виробу

Бойлером називають теплообмінне устаткування підігріву води у системах тепло- чи водопостачання. На теплоцентралях бойлери застосовують для підігріву води до 150 °С для теплофікації.

Процеси теплообміну широко застосовуються у технологічних процесах хімічної, переробної та харчової промисловості. Ефективність роботи різних теплообмінних пристроїв залежить ефективність роботи виробництв. Якість роботи таких пристроїв виявляється процесами теплообміну, а також стійкістю до корозії, збереженням міцності та герметичності. Перспективними приладами теплообміну з водяним теплоносієм як для побутових користувачів, так і для промислових підприємств.

Пристрої постачання води повинні бути надійними, герметичними та служити тривалий час. Так системи для подачі гарячої води розраховані на температуру води до 75°C. Також облаштовують централізовані системи для подачі гарячої води від джерел тепла від міських котелень за відкритою чи закритою схемами. Підігріта вода може безпосередньо подаватися з мережі, а може підігріватися. При централізованому постачанні гарячої води існують дві схеми відкрита та закрита. Напрямку з мережі підігріта вода поставчається за відкритою схемою. У закритих системах здійснюється подача теплоносія (пари чи перегрітої води) до будинку. У малоквартирних будинках можна облаштувати об'єднану систему подачі гарячої води централізовану з внутрішнім опаленням. іноді використовують систему гарячого водопостачання, поєднану з опаленням. В таких системах використовуються джерела підігріву води, які використовують котли та бойлери з двома контурами опалення та гарячої води.

Бойлер ВТН габаритними розмірами 1900x750 мм з об'ємом 750 л для системи централізованого теплопостачання будинку представлено на рис. 1.



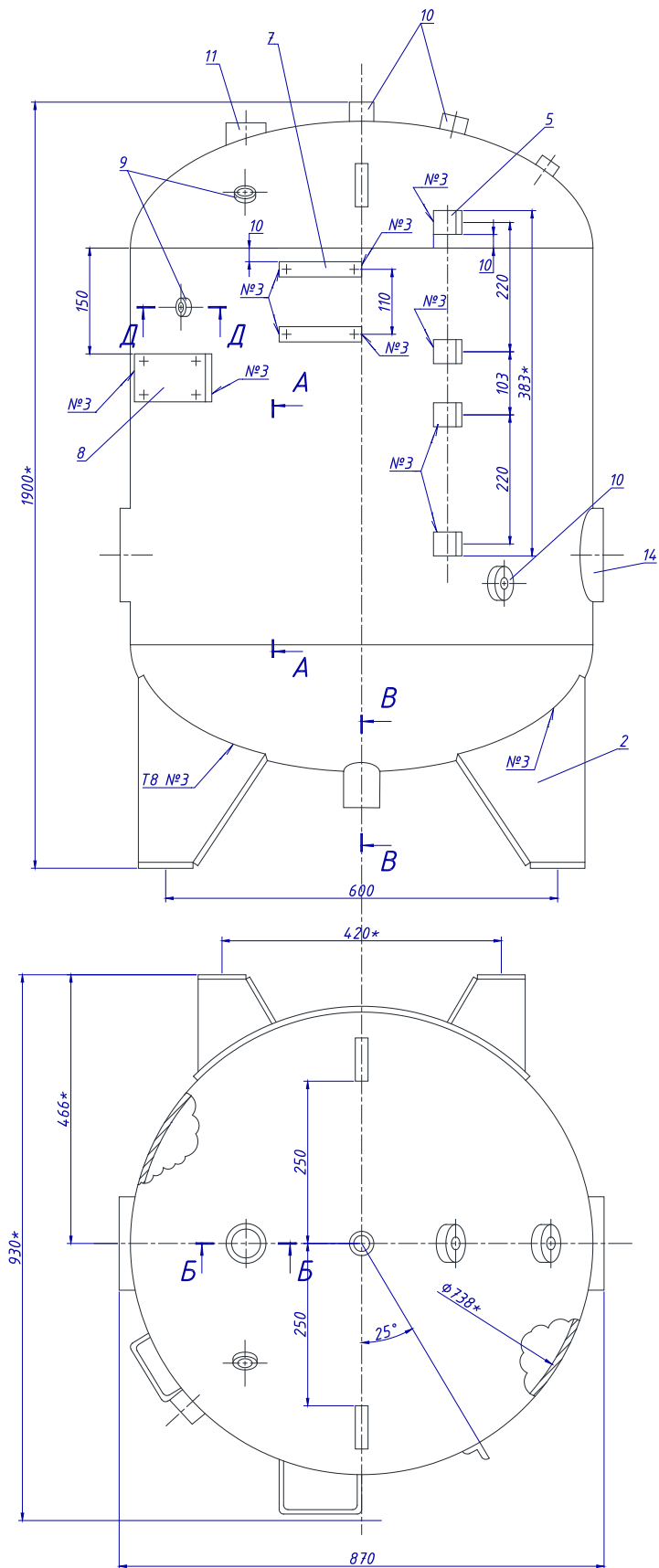


Рисунок 1.1 – Корпус бойлера ВТН

До складу бойлера входять денця та обичайка з фланцями, патрубками, кріпленнями та опорами. Матеріалом для резервуару є Сталь 20 товщиною 4 мм. Максимальна температура експлуатації 150 °С, тиск випробування 8 атмосфер.

## 1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення корпусу бойлера використовується якісна конструкційна маловуглецева Сталь 20 [1, 2]. Дана сталь постачається з гарантованими механічними властивостями та хімічним складом за ДСТУ 7809 [3]. Хімічний склад сталі 20 приведено у таблиці 1.1. Сталь виробляється в Україні. Сталь 20 показує добру релаксаційну стійкість. Її конструкції добре зварюються електродуговими способами у газах та під флюсом.

Сталь широко використовується для котельного та теплообмінного устаткування, фланців, труб, елементів корпусів. З заготовок сталі 20 допускається виготовлення енергетичного обладнання з робочим тиском до 3,9 МПа.

Таблиця 4.1 Хімічний склад Сталі 20, % [1, 2, 3]

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	<0,30	<0,035	<0,030	0,25	0,30

Таблиця 4.2 Механічні властивості Сталі 20, [1, 2]

Границя плинності, $\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір, $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Відносне видовження, $\delta_5$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %
380-470	410	25	55

Для перевірки зварюваності Сталі 20 використаємо еквівалент вуглецю  $C_e$  за рекомендаціями [4, 6]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (1.1)$$

$$C_e = 0,24 + 0,65/6 + 0,25/5 + (0,30 + 0,30)/15 = 0,438\%$$

Маємо  $C_e$  рівне 0,438 %, що менше допустимого, тому імовірність щодо утворення тріщин незначна за умови відсутності джерел водню для зварного шва. Проте в умовах роботи 33 бойлера відбувається контакт конструкції з теплоносієм – водою та парою.

Зварні з'єднання маловуглецевих сталей для товщин до 30 мм можна також перевірити на стійкість до утворення гарячих тріщин [5]:

$C_{\text{екв}} = C + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Cr}/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15$ . Умова  $C_{\text{екв}} \leq 0,4$ , працює для сталей із вуглецем до 0,20%, при цьому гарячі тріщини будуть відсутні. На практиці випадки гарячих тріщин спостерігаються для зварних швів товщиною більше 35 мм. Для таких товщин рекомендують проводити підігрівання.

$$C_{\text{екв}} = C + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Cr}/5 + (\text{Ni} + \text{Cu})/15.$$

$$C_{\text{екв}} = 0,24 + 0,65/6 + 0,37/24 + 0,25/5 + (0,3 + 0,3)/15 = 0,45$$

Умова  $C_{\text{екв}} \leq 0,4$  свідчить про імовірність виникнення гарячих тріщин. Для попередження даного явища необхідний ретельний контроль вхідного хімічного складу, а саме максимальних значень вуглецю, оскільки гарячі тріщини для сталей до 0,2 % вуглецю вважаються, що не виникають [5].

### 1.3 Корозія металу в пароводяному тракті бойлера

Бойлери як обладнання для нагрівання води піддаються одночасній дії хімічній та електрохімічній корозії, тобто руйнуванню металу під час проходження фізико-хімічних процесів на межі метал-середовище. Теплоносій бойлера є фактично водяним розчином різних неорганічних та органічних речовин. У складі знайдемо: катіони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ; аніони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ; продукти корозії конструкційних матеріалів (оксиди Fe, Si, Cr, Ni, Zn, Co, Al та ін.); леткі домішки  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  та ін.

При цьому відбуваються явища як загальної корозії усього матеріалу який контактує з теплоносієм, так і локальна корозія, зокрема пітингова, крекінгова, міжкристалітна і т.п. Так крекінг – корозія це руйнування корозійного розтріскування окремих ділянок металу, що знаходяться під напруженнями. Тріщини корозії проходять по границях зерен, або через зерна.

Під час хімічної корозії відбуваються гетерогенні реакції між теплоносієм та металом, якщо теплоносій перестає бути електролітом (сухі гази, пара сильно перегріта). Наведений шар окису заліза при цьому є нестійким та змивається хімі-

чним промиванням. Проте у процесі пуску та роботи обладнання необхідно створити умови для утворення стійкої захисної плівки. Хороша захисна плівка магнетиту повинна бути щільною та мати товщину  $(0,4...1,0) \cdot 10^{-4}$  мм. За більшої товщини оксидів плівка має малу механічну міцність і може руйнуватися.

Оксидна плівка в бойлерах може руйнуватися при попаданні та осадженні на стінках різних солей. Для запобігання руйнуванню оксидних плівок обмежують швидкість протікання пароводяної корозії за рахунок хромування, нікелювання або насичення алюмінієм поверхні сталі, прагнуть не допускати попадання в бойлер їдкого натру, хлоридів та інших домішок.

Різновидом хімічної корозії є електрохімічна корозія, що супроводжується проходженням електричного струму. При цьому теплоносій має бути електролітом і на поверхні металу-теплоносій виникають мікрогальванічні елементи. При цьому протікають катодний і анодний процеси (рис. 1.2).

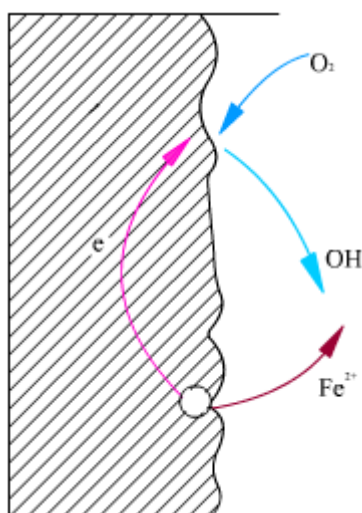


Рисунок 1.2 – Електродні процеси на межі метал-електроліт

При температурі понад  $200^{\circ}\text{C}$  утворення захисної плівки на поверхні металу протікає одночасно за двома механізмами - хімічною та електрохімічною корозією. Різновидами електрохімічної корозії є лужна та кислотна корозії, що визначаються локальною зміною показника рН середовища.

Для захисту бойлерів від корозії застосовують комплекс магнієвого аноду. Магній як більш активний метал ніж корпус бойлера окислюється скоріше. Коли ресурс магнієвого аноду вичерпується його замінюють.

Особливо небезпечним та раптовим видом корозії зварних з'єднань є корозійне розтріскування в умовах одночасної дії агресивного середовища та напружень розтягу. У випадку теплообмінної апаратури важливо уникати контакту конструкції із лужними, аміачними та сірководневими розчинами. Так лужна крихкість є особливими явищем експлуатації парових теплообмінників при концентрації лугу у гарячій воді 10-15%. У ЗЗ тріщини створюються там де максимальні залишкові напруження у місцях неодноріжності хімічного та фазового складу. Такі місця характерні в ЗТВ поблизу лінії сплавлення. Для захисту ЗЗ знижують рівень залишкових напружень через проведення попереднього підігрівання металу, проковування металу шва, дробоструминного оброблення. З метою знімання залишкових напружень рекомендують проводити термічну обробку ЗЗ, нормалізацію або відпуск [7].

Недостатня увага до вирішення проблем корозії у теплообмінних пристроях може стати причиною виходу з ладу устаткування у непередбачений момент, як правило у зимових період, коли бойлерна ємність інтенсивно експлуатується для опалення та підготовки гарячої води. Проведення технологічних операцій направлених на зменшення утворення залишкових напружень та знімання напружень, що виникли у шві як наслідок дії термодформаційного циклу зварювання.

#### 1.4 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

##### 1.4.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів

Проведення розрахунків, виготовлення проєкту та процес виробництва ємності бойлера повинні прооводитися у відповідності до спеціальних правил, щодо водонагрівних котлів та посудин під тиском [1, 2].

Матеріали повинні надійно працювати під час розрахункового періоду експлуатації при заданих умовах, впливі середовища та температури повітря. Зокрема до матеріалу виробу ставляться вимоги, щодо використання вуглецевих сталей, особливо для частин обладнання які працюють при температурі 250 °С, використання легованих сталей вимагає особливого розгляду.

Серед властивостей необхідно приймати до уваги їх комплекс для сертифікації технології зварювання: тимчасовий опір розриву, границю текучості, кут згину ЗЗ, відносне видавження та відносне звуження, ударна в'язкість для металу шва та ЗТВ; тривала та циклічні міцнісні характеристики, температури крихкості; стабільність властивостей ЗЗ, стійкість до окислення. Наявність при експлуатації бойлерів надлишкового тиску, який створюється в системі централізованого теплопостачання до 5 атм, приводить до дотримання додаткових умов, а саме відсутність концентраторів напружень в конструкції, наявність залишкових напружень, ремонтпридатність, стійкість до знакопермінних навантажень та змін температури. Також не допускається неповне проплавлення, проведення робіт при відємній температурі, відхилення від круглості не має перевищувати 1%.

На вибір марки сталі головними чинниками виступають клас міцності та добра зварюваність. Відповідність сталі хімічному складу та механічним властивостям має бути підтверджена сертифікатами заводу – виробника. Поставлений прокат не повинен мати дефектів та тріщин.

#### 1.4.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні

Для ємностей, що працюють під тиском передбачені спеціальні вимоги щодо допусків розмірів конструкції.

Відхилення діаметрів обичайок не має бути більшим  $\pm 1\%$  номінального діаметра. Відносна овальність не має бути більшою 1%. Регламентуються також такі геометричні параметри зварних швів, як відведення та зміщення кромки.

У таблиці 1.3 приведені орієнтовні допустимі відхилення для обичайок.

Таблиця 4.3 - Граничні відхилення обичайок від форми і розмірів

Зовнішній діаметр обичайок, мм	Відхилення, мм		
	На діаметр	На незграбність	На перпендикулярність
$\leq 1000$	$\pm 5$	3	2
1000 - 1500	$\pm 7$	4	2

Документація щодо виготовлення конструкції має містити положення з технології зварювання.

### 1.4.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу

Підготовлення кромки для зварювальних робіт проводиться виключно механічним способом, або термічним різанням, якщо це не впливає на структуру сталі. З метою недопущення додаткових джерел водню для зварного шва, перед складанням поверхня має бути ретельно зачищена від мастила, окалини та бруду.

Прихватки в подальшому або видаляються або переплавляються з основним металом.

На зварні шви ставиться клеймо зварника.

Зварні конструкції повинні зберігати усі завлені властивості під час розрахункового строку служби виробу.

Для зварних швів може проводитись термічна обробка, якщо для цього є покази товщини металу, зниження внутрішніх напружень, можливість корозійного розтріскування, штамповані чи гнуті частини виробу.

### 1.4.4 Вимоги до якості виробу

В першу контроль якості виробу залежить від якості виконання зварних швів, тому монтажне підприємство повинно виконувати якісний контроль для виявлення та попередження дефектів.

Контрольні операції включають як організаційні заходи зодо атестації персоналу та вимірювального інструменту, перевірки матеріалів та заготовок, так і поопераційний та кінцевий контроль ЗЗ під час виготовлення виробу. Контроль впровадять як візуально, так і з використанням приладів неруйнівного та руйнівного контролю, наприклад ультразвукову та кольорову дефектоскопію. Дефекти у зварному шві та металі ЗТВ не допускаються.

### 1.5 Аналіз базового техпроцесу виготовлення

У базовому техпроцесі було виявлено декілька недоліків:

а) зведення зварювальних кромки проводиться вручну без допоміжних центруючих пристроїв та отримується нерівномірність зміщення кромки;

- б) для зварювання поздовжніх швів використовується напівавтоматичне зварювання в вуглекисному газі;
- в) термічне оброблення зварних швів не проводиться;
- г) контрольні операції проводяться лише візуальним оглядом та гідровипробуванням.

З метою підвищення якості та ефективності технології виготовлення виробу запропоновано використати аргонну захисну суміш, механізоване складально-зварювальне оснащення. Для уникнення корозійного розтріскування та зменшення імовірності утворення технологічних тріщин рекомендовано зварювання проводити з попереднім підігріванням та наступною термічною обробкою. Такі нововведення дозволять зменшити кількіть ручної праці, ефективність виробництва, точність складання та якість виробу.



## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обґрунтування способу зварювання

З метою вибору оптимального способу зварювання бойлера з товщиною корпусу 4 мм із маловуглецевої якісної конструкційної Сталі 20 можемо розглянути декілька способів електродугового зварювання, ручне, в захисних газах та під флюсом.

Перевагами РДЗ є простота процесу, нескладність обладнання, можливість зварювати з малою собівартістю. Проте мала продуктивність, недостатня якість, зварювання короткими швами.

Зварювання в вуглекисному газі має суттєві переваги, оскільки дозволяє проводити механізоване зварювання з високою продуктивністю, висока степінь концентрації дуги забезпечує мінімальну область структурно-фазових змін та невисокі деформації самої конструкції, добрий захист зварювальної ванни, відсутність шлаку на поверхні шва, хороша область спостереження зварником за відкритою дугою, низька собівартість робіт, можливість виконання швів в усіх просторових положеннях. До недоліків способу відносять сильне випромінювання відкритої дуги, розбризування електродного металу, провдення зварювання на постійному струмі. Для зменшення приведених недоліків використовують захисні суміші на основі аргону та вуглекисного газу [12].

Порівнюючи приведені способи із зварюванням під флюсом можна віднести до його переваг високу продуктивність, швидкість зварювання, надійний захист зварювальної ванни, однорідні зварні шви, отримання овного пропалення металу шва, зменшення втрат металу на розбризування, економія енергії за рахунок кращого використання дуги, відсутня потреба захисту від випромінювання, легкість у автоматизації та контролі параметрів процесу зварювання. Серед недоліків відмітимо: важкість спостереження за виконанням шва, неможливість зварювати в усіх просторових положеннях, необхідність видалення шлаку після зварювання [13].

Для зварювання обичайок корпусу бойлера та донець обираємо автоматичне зварювання в середовищі суміші газів  $Ar+CO_2$ . Короткі шви виконуємо напівавтоматичним зварюванням. Прихоплювання виконуємо ручним дуговим зварюванням.

## 2.2 Вибір зварювальних матеріалів

Для механізованого та автоматичного зварювання у вуглекисному газі нелегованих маловуглецевих сталей обираємо зварювальний дріт Св08Г2С, який легований марганцем та кремнієм. Перевагами даного дроту є високі технологічні характеристики, невисока вартість, стабільність горіння дуги, підвищені механічні властивості, зменшене розбризкування, висока якість оміднення. Даний дріт рекомендований для зварювання ємностей, що працюють під тиском [10].

Таблиця 2.1 - Хімічний склад зварювального дроту Св08Г2С, ГОСТ 2246-70, [10]

Вуглець	Кремній	Марганець	Хром	Нікель	Сірка	Фосфор
0,05-0,11	0,70 - 0,95	1,80-2,10	<0,20	<0,25	<0,025	<0,03

Таблиця 2.2 - Механічні властивості зварювального дроту Св08Г2С, [10]

Діаметр, мм	Тимчасовий опір розриву, Н/мм <sup>2</sup>
0,8-1,5	882 -1323
1,6	882 -1274

Зварювання в аргонних сумішах на відміну від зварювання у вуглекисному газі дозволяє використовувати кероване дрібнокрапельне перенесення металу у зварювальній ванні [25]. Накладання імпульсів дозволяє зменшити зварювальний струм для дрібнокрапельного перенесення. Однією з прогресивних інновацій у зварюванні є застосування захисної суміші  $Ar+5\%O_2+15\%CO_2$ , яка володіє кращою окислювальною здатністю, ніж  $Ar+CO_2$ . Крім меншого розбризкування та кра-

щого виду шва у даній суміші спостерігається понижена схильність швів до утворення пор та гарячих тріщин. Також вищими виявилися і механічні властивості швів, особливо ударна вязкість [11]. Якщо для сумішей Ar+CO<sub>2</sub> рекомендують використовувати дорогий аргон підвищеної чистоти, то у випадку Ar+O<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> використовується «сира» аргоно-киснева суміш, що вже вміщує до 5% кисню і таким чином значно здешевлює вихідну захисну суміш.

Для РДЗ обираємо електроди з умовним позначенням У з тимчасовим опором розриву до 600 МПа типу Е42А УОНІ 13/45 А. Дані електроди дозволяють зварювання в усіх просторових положеннях. Вони містять покриття основного типу. Наплавлений метал при цьому має добру стійкість до утворення гарячих тріщин з мінімальним вмістом азоту та кисню.

### 2.3. Розрахунок режиму зварювання стикових з'єднань

Поздовжній стиковий шов зварюємо на підкладці з одностороннім V-подібним формуванням кромки автоматичним зварювання у захисній суміші Ar+O+CO<sub>2</sub>. Заварювання кореня зварного шва проводимо механізованим зварюванням у Ar+O+CO<sub>2</sub>.

Приймаємо дрiт  $d_s = 1,2$  мм;  $i=210$  А/мм<sup>2</sup>.

$$I_{33} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot i \quad (4.1)$$

$$I_{33} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 210 = 237 \text{ А}$$

За умови стабільності горіння дуги знаходимо:

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{CB}}{d_s^{0,5}} - 1 \quad (4.2)$$

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot 240}{1,2^{0,5}} - 1 = 29 \text{ В}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{CB} = \frac{A}{I_{CB}} \quad (4.3)$$

$$V_{CB} = \frac{4 \cdot 1000}{240 \cdot 36} = 0,44 \text{ см/с}$$

$$A \cdot 10^3 = 4 \text{ м/год}$$

Погонну енергію дуги,  $q_n$ :

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta_i}{V_{CB}} \quad (4.4)$$

$\eta_i = 0,65 \dots 0,7$  для зварювання в захисному газі

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 250 \cdot 31 \cdot 0,7}{0,44} = 2842 \text{ кал/см}$$

Тоді глибина провару  $H$  на прийнятому режимі буде:

$$H = A \sqrt{\frac{q_n}{\psi}} \quad (4.5)$$

$A = 0,0165$  для зварювання у вуглекислому газі;

$\psi$  - коефіцієнт форми провару, обумовлений по формулі:

$$\psi = k_2 (19 - 0,01 \cdot I_{CB}) \cdot \frac{d_s \cdot U_D}{I_{CB}} \quad (4.6)$$

$k_2$  – коефіцієнт залежний від роду струму, його полярності і діаметра електрода. Величину  $k_2$  можна визначити за графіком (рисунок 3 [5]).

$$k_2 = 0,96$$

$$\psi = 0,96 (19 - 0,01 \cdot 250) \cdot \frac{1,2 \cdot 31}{250} = 2,3$$

$$H = 0,0165 \sqrt{\frac{2842}{2,3}} = 0,58 \text{ см}$$

Ширину шва визначаємо по формулі:

$$e = H \cdot (1,8 \dots 2,1) = 1,34 \text{ см}$$

Площа наплавленого металу за один прохід:

$$F_{H_1} = \frac{\alpha_n \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{CB}} \quad (4.7)$$

$\alpha_n = 13$  г/(А·год), [5].

$$F_{H_1} = \frac{13 \cdot 250}{3600 \cdot 7.8 \cdot 0.44} = 0,26 \text{ см}^2$$

Висоту валика  $g$  визначимо по формулі:

$$g = \frac{F_{H_1}}{0,73 \cdot e} \quad (4.8)$$

$$g = \frac{0,26}{0,73 \cdot 1,34} = 0,26 \text{ см}$$

Загальна висота валика  $c$  визначиться по формулі:

$$c = H + g \quad (4.9)$$

$$c = 0,58 + 0,26 = 0,84 \text{ см}$$

Площа наплавленого металу розподіляється між лицьовою і зворотною сторонами шва у відношенні, рівному:

$$F_{н.лиц.}/F_{н.обр.} \approx 1,3 \quad (4.10)$$

Визначимо площу наплавленого металу з лицьової сторони:

$$F_{н.лиц.} = 1,3 \cdot (F_{H_1} - H \cdot b) / (1 + 1,3) = 1,3 \cdot (26 - 5,8 \cdot 0) / 2,3 = 14,6 \text{ мм}^2$$

Визначимо площу наплавленого металу зі зворотної сторони:

$$F_{н.звор.} = F_{н.лиц.} / 1,3 = 14,6 / 1,3 = 11,2 \text{ мм}^2$$

$H$  – глибина провару крайок, що зварюються, мм;

$b$  – величина зазору, мм.

Ширину зворотної сторони валика визначимо, як

$$e' = \frac{e}{\psi} \quad (4.11)$$

$$e' = \frac{1,34}{2,3} = 0,58 \text{ см}$$

Висоту валика  $g'$  з зворотної сторони визначимо по формулі:

$$g' = \frac{F_{H.обр}}{0,73 \cdot e'} = \frac{11,2}{0,73 \cdot 5,8} = 2,66 \text{ мм}$$

Визначимо висоту заповнення оброблення наплавленим металом:

$$g'' = \sqrt{\frac{F_{H_1} - c \cdot b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}} \quad (4.12)$$

$$g'' = \sqrt{\frac{0,26 - 0,84 \cdot 0}{\operatorname{tg} \frac{30}{2}}} = 0,98 \text{ см}$$

Глибина проплавлення притуплення складе:  $H' = c - g'' = 0,1 \text{ см}$

Для визначення кількості проходів, необхідних для заповнення оброблення й утворення шва з коефіцієнтом форми валика  $\psi_y = 10$  площа оброблення визначиться:

$$F_p = h^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (4.13)$$

$$F_p = 8^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} = 36,9 \text{ мм}^2$$

$h$  – глибина оброблення.

Ширина шва після остаточної заварки оброблення може бути знайдена по формулі:

$$e_{TP} = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 2 \cdot (2 \dots 3) \quad (4.14)$$

$$e_{TP} = 2 \cdot 8 \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} + 2 \cdot 2,5 = 14,2 \text{ мм}$$

Необхідну площу поперечного переріза валика:

$$F_{B.T.P} = 0,73 \frac{e_{TP}^2}{\psi_y} \quad (4.15)$$

$$F_{в.т} p = 0,73 \frac{14,2^2}{10} = 14,8 \text{ мм}^2$$

Тоді загальна площа наплавленого металу повинна складати

$$F_H = 36,9 + 14,8 = 51,7 \text{ мм}^2$$

Площа поперечного перерізу металу, що повинна бути наплавлена другим і наступним проходами, буде складати

$$F'_H = F_H - F_{H1} = 51,7 - 26 = 25,9 \text{ мм}^2$$

Приймаємо для другого проходу  $d_2 = 1,2 \text{ мм}$   $i = 220 \text{ А/мм}^2$ .

$$I_{CB} = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot i \quad (4.16)$$

$$I_{CB} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 220 = 250 \text{ А}$$

Швидкість зварювання  $V_{CB}$ , необхідну для забезпечення за один прохід необхідної площі наплавленого металу  $F'_H = 25,9 \text{ мм}^2$ , обчислимо по формулі

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot F'_H} \quad (4.17)$$

$$\alpha_H = 14 \text{ г/(А год)} [5].$$

$$V_{CB} = \frac{14 \cdot 250}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,259} = 0,48 \text{ см/с}$$

Необхідну величину напруги на дузі знаходимо з умови стабільного горіння по формулі:

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{CB}}{d_2^{0,5}} \pm 1 \quad (4.18)$$

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot 250}{1,2^{0,5}} \pm 1 = 32 \text{ В}$$

Теплова потужність дуги складе:

$$q = 0,24 \cdot I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta_H \quad (4.19)$$

$$q=0,24 \cdot 250 \cdot 32 \cdot 0,8=1546 \text{ кал/с}$$

Глибина провару безкосого стикового з'єднання на даному режимі

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{q}{\psi \cdot V_{CB}}} \quad (4.20)$$

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{1546}{2,6 \cdot 0,48}} = 0,55 \text{ см}$$

$$\psi = k_2 (19 - 0,01 \cdot I_{CB}) \cdot \frac{d_s \cdot U_{Д}}{I_{CB}} = 2,6$$

Ширину шва визначимо по наступній формулі:

$$e = H \cdot \psi = 0,55 \cdot 2,6 = 1,43 \text{ см}$$

що більше, ніж було потрібно  $e_{тр} = 1,42 \text{ см}$

Отримані режими і геометричні параметри зварного шва приведені на рисунку 2.1 і в таблиці 2.3.

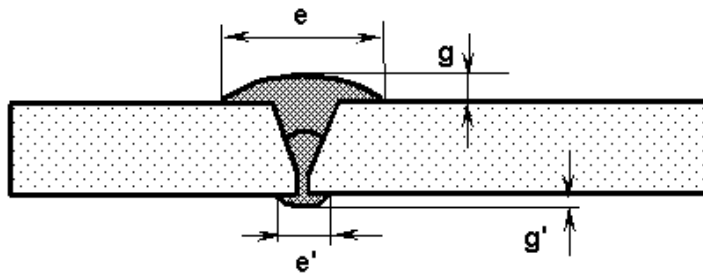


Рисунок 4.1 Геометричні параметри стикового з'єднання з обробленням кромки

Таблиця 4.3 Режими зварювання стикового з'єднання.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	I <sub>зв</sub> , А	d <sub>с</sub> , мм	U <sub>д</sub> , В	V <sub>зв</sub> , м/год	F <sub>н</sub> , мм <sup>2</sup>	лицьова сто- рона			зворотна сто- рона		
						e, мм	g, мм	Ψ <sub>л</sub>	e', мм	g', мм	Ψ <sub>об</sub>
Корінь шва (механізо- вана в Ar+O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> )	240	1,2	29	15,5	25,8	--	--	--	5,8	2,7	2.2
Другий прохід (механі- зована в Ar+O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> )	240	1,2	30	16,5	26	1,4	1,4	10	--	--	--



Таким чином, за один прохід напівавтоматом у  $\text{Ar}+\text{O}_2+\text{CO}_2$  (при зварюванні кореню шва) і один прохід напівавтоматом в  $\text{Ar}+\text{O}_2+\text{CO}_2$  забезпечується зварювання стикового шва з V-подібним формуванням кромки.

#### 2.4 Технологічні особливості складання та зварювання бойлера

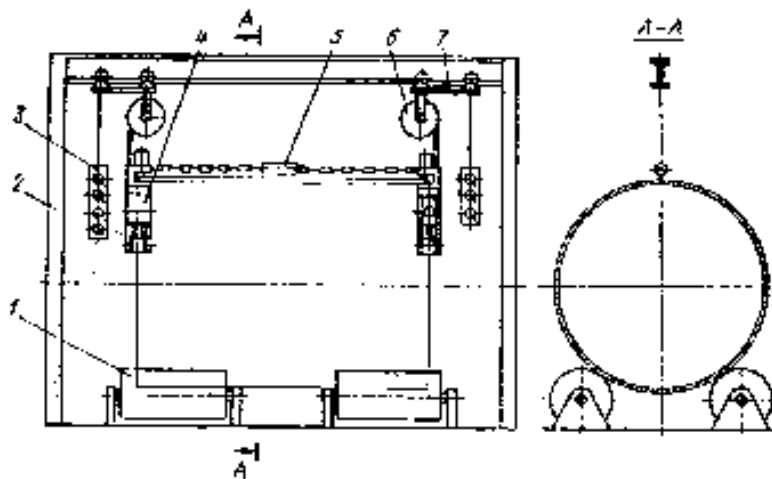
Удосконалення технології виготовлення бойлера проводиться з метою підвищення якості вироб та зменшення його собівартості.

Загальна послідовність операцій виготовлення бойлера складається з наступних етапів: складання та подальше зварювання подовжніх стиків обичайки, обрізання торців ; складання кілець обичайки та донець, зварювання кільцевих зварних з'єднань, приварювання деталей корпусу, контрольні операції [16].

Для стикового зварного з'єднання розглянемо порядок складання:

- провести підготовку зварювальних кромки через механічне зачищення,
- стягнути кромки з допомогою ланцюгового центратора,
- провести прихвачування ручним способом,
- встановити на кінцях стику планки вхідну та вихідну,
- встановити керамічні підкладки та провести автоматичне зварювання у  $\text{Ar}+\text{O}_2+\text{CO}_2$ .

Відповідно до існуючої технології подовжній стик обичайки складається вручну. Для підвищення продуктивності і поліпшення умов праці доцільне застосування спеціалізованого складального стенда, що дозволяє: сполучати подовжні кромки обичайки в одній площині з заданим зазором; вирівнювати торцеві кромки обичайки.



1 – роликів опора; 2 – портална рама; 3 – пульт керування;  
 4 – гідравлічна стяжка; 5 – гідроциліндр; 6 – підвіска; 7 – візок.

Рисунок 2.2 Стенд для складання подовжнього стику обичайки

Стенд змонтований на порталній рамі (рисунок 2.2) для складання і сполучення подовжніх кромки. Для стягування кромки використовується ланцюговий центратор. Пристрій для приведення торцевих кромки у необхідне положення складається із гідроциліндрів, які через систему ланцюгів притягують кромки та вирівнюють їх. Обичайка знаходиться на роликів опорах [14].

Перед складанням циліндричну заготовку кладемо стиком догори, вирівнюємо стягування торцеві кромки. Далі стягуємо подовжні кромки за заданим зазором. Після цього фіксуємо кромки прихоплювання, але починаємо прихоплення із середини.

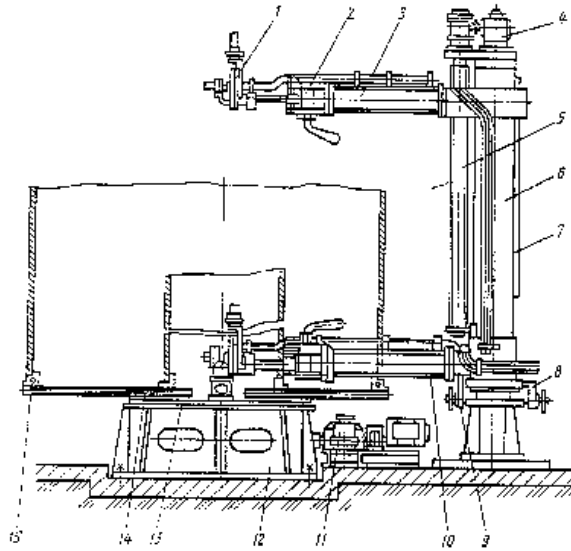
Технічна характеристика спеціалізованого стенду для складання подовжніх стиків обичайок

Розміри обичайок, мм:

Довжина . . . . .	500 - 2100
Діаметр . . . . .	500 - 1500
Товщина стінки . . . . .	до 16
Габарити установки, мм:	
Висота . . . . .	2800
Ширина . . . . .	1800
Довжина . . . . .	2500
Величина зусилля стяжки, кН. . . . .	12
Маса, кг . . . . .	300

Під час складання обичайки торці розмішуються нерівномірно із певними зміщеннями, тому для точності складальних робіт проводиться обрізання торців або вручну, або на спеціальних верстатах. Масою переваг перед верстатною обрізкою має операція термічної обрізки торців.

Установка термічного обрізання торців корпусу (рисунок 2.5), має у складі колону, консолі, станину, плашайбу. На консолях через кронштейни з головками закріплюються різальні апарати. Рухливі супорти головки та копіювальні родини дозволяють регулювати зазори між соплами різаків та поверхнями різку. Існує можливість різання двох торців одночасно. На консолях можна закріплювати як газові та к і плазмові різакі.



1- поворотний пристрій; 2- планшайба; 3- башмак; 4- привод обертання планшайби; 5- нижня консоль; 6- пружинний фіксатор; 7- поворотна колона; 8- направляюча шпонка; 9- верхня консоль; 10- привод верхньої консолі; 11- кронштейн; 12- головка; 13- ходовий гвинт; 14- станина

Рисунок 2.3 Установка для термічної обрізки торців обичайок

Технічна характеристика установки для термічного обрізання торців

Розміри обичайок, мм:

Довжина . . . . . до 2500

Діаметр . . . . . 1000 - 3600

Товщина стінки . . . . . 6 - 30

Швидкість різання, мм/хв. . . . . 330 - 4000

Габаритні розміри, мм:

Ширина . . . . . 3800

Довжина . . . . . 5725

Висота . . . . . 5020

Маса, кг . . . . . 9250

Для автоматичного зварювання обираємо зарювальну установку АСТА, якою можна зварювати поздовжні та кільцеві шви, при цьому установка дозволяє

підтримувати довжину дуги, змінювати амплітуду коливання пальника, проводити зварювання як плавким так і неплавким електродами. До складу установки входять: рама, колони, приводи головок зварювання, роликкоопори, шафи керування. На кінцях рами рухаються два візки з колонами та штангами їх зварювальними головками.

Головною перевагою застосування установки АСТА є поведіння складання та зварювання на одному місці без переміщення та кантування обичайки.

#### Технічна характеристика автомата АСТА

Розміри корпусів, що зварюються, мм:

Довжина . . . . .	700 – 3200
Діаметр . . . . .	400 - 1200
Зварювальний струм, А. . . . .	400 – 500
Діаметр електродного дроту, мм . . . . .	1,20 - 2,0
Швидкість зварювання, м/год . . . . .	4,5 – 90,0
Витрата захисного газу, л/хв. . . . .	до 20
Частота коливань пальника, кол/сек. . . . .	1 – 3
Тип джерела живлення . . . . .	ВДУ-506

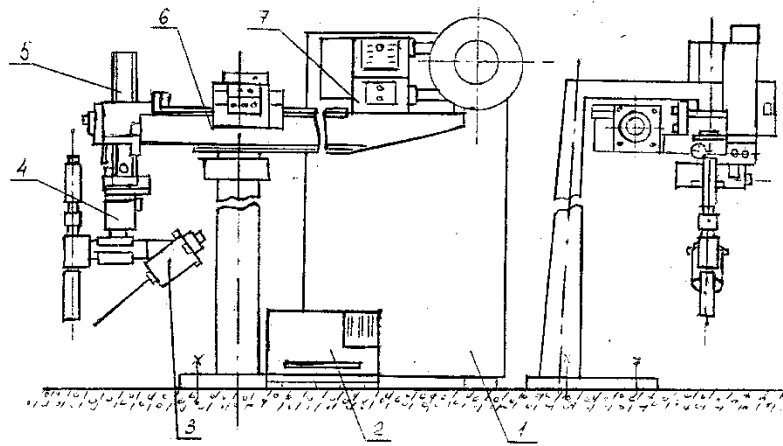
Габаритні розміри, мм:

Шафа керування . . . . .	1500 x525 x1560
Установки при відведених штангах . . . . .	2500 x 9000 x 330

У установці АСТА для зварювання застосовується зварювальна головка АД-135 (рисунок 2.4), яка має механізм переміщення та привід [15].

Технічні характеристики зварювальної головки АД-135

Швидкість подачі електродного дроту, м/год	90 – 800
Діаметр електродного дроту, мм	0,8 – 1,6
Швидкість зварювання (регулювання плавна), м/год	12 – 120
Коректування електродів, мм не менш:	
вертикально	60
горизонтально	46
Напруга живильної мережі, В	380
Зварювальний струм при ПВ = 60%, А не більш	700
Хід зварювальної головки, мм не менш	1000
Габаритні розміри, мм:	
зварювальної головки	2170 x 500 x 600
разом з блоками керування та переміщення	600 x 600 x 1000
Маса головки, кг	200.



1- шафа керування; 2- блок живлення; 3- система пошуку і система спостереження за швом; 4- зварювальна головка; 5- механізм вертикального переміщення; 6- механізм прямолінійного переміщення; 7- подаючий пристрій

Рисунок 2.4 Зварювальна установка АД-135

### 2.5 Контроль якості зварювання бойлера

Перед проведення технологічних операцій зварювання проводимо перевірку сертифікатів на метал та зварювальні матеріали, зварювальне обладнання, інструменти та оснащення.

При проведенні зварювання контролюємо якість підготовки кромки, якість прихоплювання та складання обичайки, а також виконання операцій технології.

Зварні шви проходять візуальний контроль з використанням лупи та освітлення, кольорову дефектоскопію, усі шви проходять ультразвуковий контроль. На заключенні на окремій установці проводиться гідравлічне випробування. Крім того виріб проходить контроль відповідності креслення замовника.

Під час контролю зварних швів проводиться вимірювання геометричних розмірів швів, а саме ширини, висоти підсилення, довжини, глибини подрізи, неспівпадіння стикових з'єднань. Не допускаються пори, подрізи 0,5-1 мм.

Виявлення внутрішніх дефектів, тріщин, включень, несплавлень, несправів проводиться з допомогою ультразвукового контролю дефектоскопом УД4-76.

Даний прилад дозволяє проводити автоматизовані вимірювання для виявлення суцільності та однорідності матеріалів, вимірювання амплітуд сигналів від дефектів, глибини та координат залягання.

Кольорова дефектоскопія є простим та ефективним методом виявлення поверхневих та наскрізних дефектів невидимих розмірів біля 1 мкм. Метод заснований на ефекті проникнення зафарбованих рідин у тонкі капіляри тріщини з подальшим виявленням та реєстрацією слідів. Дослідження даного методу капілярного контролю проведено у особистій дослідницькій роботі з використанням комплекту індикаторних рідин фірми Колоран [17].

Перевірка зварних швів на міцність проводиться через наповнення корпусу бойлера водою з тиском 8 атм. Після витримки область навколо зварних швів постукують молотком та проводять обстеження для виявлення течі.



### 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок термічного циклу

Для оцінки характеру впливу зварювання на властивості зварного з'єднання важливо встановити характер термоциклів металу і їх вплив на структуру та властивості металу. Якщо термооброблення легко керувати через температуру нагрівання, то у зварюванні для зміни термічного циклу необхідну змінювати параметри зварювання та умови в яких воно відноувається. Маловуглецеві сталі добре зварюються та суттєвої зміни властивостей зони термічного впливу не відбувається. Проте, характер структур ділянок металу, які нагріваються вище температури Ас<sub>3</sub>, визначається степінню переохолодженню аустеніту, а продуктами його розпаду можуть бути як перлітні та і гартівні стурктури.

При зварюванні розподілення температури можна порахувати за відомими рішеннями рівняння теплопровідності, враховуючи схематизацію джерела нагрівання та тіла, що нагрівається [13, 18]. При зварюванні за один прохід пластини потужним джерелом, що видко рухається, можемо застосувати рівняння [13]:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (3.1)$$

$\delta$  - товщина зварних листів, см;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К;

$c\gamma$  – об'ємна теплоємність, Дж/см<sup>3</sup> К;

$y_0$  - відстань від джерела до розглянутої точки, см;

$b$  – коефіцієнт температуровіддачі,  $b = \frac{2 \cdot \alpha}{c\gamma \cdot \delta}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну поверхні пластини,

$T_0$  – початкова температура виробу.

Максимальна температура термічного циклу важлива, оскільки дозволяє визначити критичне місце зони термічного впливу де відбувається перегрівання структури.

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c\gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2y_0} \quad (3.2)$$

Приймаємо  $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$ , що відповідає ділянці перегрівання.

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot v (T_m - T_0)} \quad (3.3)$$

Також важливо знати величину тривалості охолодження  $\tau$

$$\tau = \frac{q^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.4)$$

Проведемо розрахунок розподілу температури для стикового з'єднання без підігрівання та з проведенням підігрівання.

Початкові дані розрахунку:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
температура підігрівання, °С	250
коефіцієнт температуропровідності	0,08
величина струму дуги, А	240
напруга дуги, В	29
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,8
ефективна теплова потужність джерела	2851
швидкість зварювання, см/с	0,43
товщина листів, що зварюються, см	0,4

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot v (T_m - T_0)} = 0,39 \text{ см (без підігрівання)}$$

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot v (T_m - T_0)} = 0,48 \text{ см (з підігріванням)}$$

Миттєва швидкість охолодження без підігрівання рівна 17,52 град./с, а з підігріванням 3,18 град/с.

Результати розрахунку термічного циклу приведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Нагрів та охолодження стикового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T°С без підігріву	1236	1187	783	382	277	201	167	132	96	70
T°С з підігрівом	1089	1281	986	609	506	431	397	362	326	300

Для точки  $y_0$  близько лінії сплавлення на ділянці перегріву представимо у графічній формі залежності температури від часу охолодження., рисунок 3.1. Далі переносимо дані у логарифмічних координатах дані термічного циклу на С-подібну діаграму розпаду переохолодженого аустенітуу для тсалі 20. рисунок 3.2.

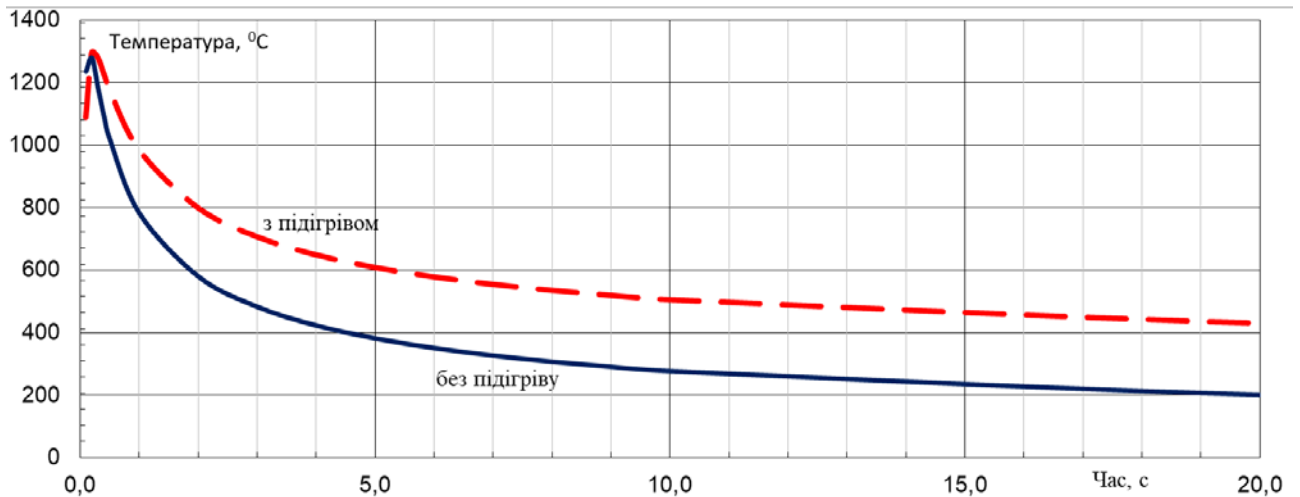


Рисунок 3.1 - Термічний цикл зварювання

### 3.2 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу

Розпад аустенітної структури під час охолодження зварного з'єднання відбувається при швидкому переохолодженні. Від ступеня охолодження залежить швидкість самого перетворення. Аустенітно-перлітне перетворення проходить за дифузійним механізмом через перетворення ґраток аустеніту у ґратку фериту, зародження центрів для кристалізації цементиту та ріст самих зерен цементиту. Таким чином ростуть кристали фериту та цементиту та перлітні колонії. Проте значне переохолодження приводить до утворення сорбітної та тро-

оститної структури. Дані структури відрізняються товщиною пластинок цементиту та температурою утворення. Перлітне перетворення відбувається у області від температури  $A_1$  до приблизно  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  [19].

Кінетичні криві ізотремичного перетворення аустеніту будуються на основі відомостей про зміну твердості та структури для конкретної марки сталі. Використовуючи термічні цикли в подальшому від зарзків даної марки можна передбачати структури сталі. Відлік проводять нижче температури  $A_{c3}$ . [13, 19].

C-подібна діаграма для сталі 20 приведена на рисунку 3.2. На діаграмі привдено гарфіки термічних циклів без підігрівання та з підігріванням. Бачимо, що без підігрівання синя крива попадає на лінії перетворення аустеніту у перліт знаходиться з переохолодженням більше  $600$  градусів, що означатиме утворення гартівних структур бейніту чи мартенситу. Оскільки дане явище є небажане можна рекомендувати для відповідальної конструкції проводити підігрівання як у нашому варіанті до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Як результат, червона крива термічного циклу попадає у область утворення сорбіту з орієнтовної твердістю близько  $195\text{ HV}$ , що дозволяє рекомендувати її для застосування.

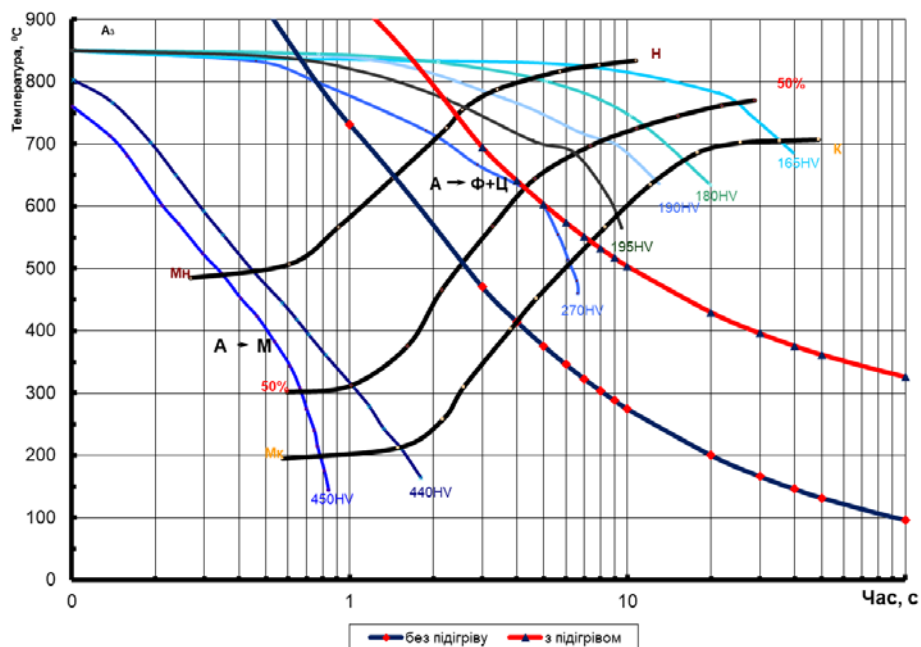


Рисунок 3.2 – Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту для Сталі 20 та термічні цикли

### 3.3 Розрахунок прогнозних структур після зварювання

Для кількісного прогнозування структурного стану після зварювання у ІЕЗ ім. Патона, було розроблено емпіричний склад рівнянь розрахунку кількості фазових складових. Розраховуються за хімічним складом показники  $\tau_M$ ,  $S_M$ ,  $\tau_\phi$ ,  $\tau_{\phi+\Pi}$ ,  $s_\phi$ ,  $s_{\phi+\Pi}$  [20]:

$$\begin{aligned} \ln \tau_M = & -2,1 + 15,5 C + 0,96 Mn + 0,84 Si + 0,65 Cr + 0,74 Mo \\ & + 0,55 Ni + 0,3 V \\ & + 4,0 Al + 0,5 W + 0,8 Cu - 0,25 Nb - 13,5 C2 - 0,8 Si2; \quad (3.5) \\ \ln \tau_M = & 1,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln S_M = & 0,56 - 0,41 C + 0,1 Mn + 0,14 Cr - 0,3 Mo + 2,7 Ti - 1,1 Nb \\ & + 0,5 Cu + \\ & + 1,7 C Mo; \quad (3.6) \end{aligned}$$

$$\ln S_M = 0,57$$

$$\begin{aligned} \ln \tau_\phi = & 0,66 + 10 C + 1,3 Mn - 0,48 Si + 1,3 Cr + 1,5 Mo + \\ & 0,8 Ni - 1,4 W + \\ & + 3,5 C Mn - 50 C V - 5,9 C2 + 0,8 Si2; \quad (3.7) \\ \ln \tau_\phi = & 3,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln s_\phi = & 1,23 + 0,17 Mn - 0,34 Si + 0,3 Cr - 0,5 Mo + 0,31 Ni + 0,09 Nb \\ & - 0,43 W - \\ & - 0,3 Cu; \quad (3.8) \end{aligned}$$

$$\ln s_\phi = 1,42$$

$$\begin{aligned} \ln \tau_{\phi+\Pi} = & 0,34 + 5,2 C + 1,8 Mn + 0,53 Si + 0,33 Cr + 2,9 Mo \\ & + 0,86 Ni + 1,5 W + \\ & + 1 Cu - 60 C V - 5,1 C2 + 0,7 Si2; \quad (3.9) \\ \ln \tau_{\phi+\Pi} = & 2,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln s_{\phi+\Pi} = & 0,91 - 0,9 C + 0,09 Mn + 0,08 Cr + 0,34 Mo + 0,15 Ni \\ & + 0,85 V + \\ & + 2,2 Ti + 0,43 W; \quad (3.10) \end{aligned}$$

$$\ln s\phi + \Pi = 0,84$$

Тривалість охолодження  $\tau$  визначимо з термічних циклів ЗТВ, [10, 17]

$$\tau = \frac{q^2}{4\pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.11)$$

Відсотковий вміст структурних складових у ЗТВ:

- к-сть мартенситу [18]:

$$M(\tau) = 100 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_M}{lg s_M} \right) \right], \% \quad (3.12)$$

$\tau$ - тривалість охолодження, що відповідає утворенню структури металу з 50% – м змістом мартенситу;

$s_M$ - константа, що характеризує крутість спаду кривої змісту мартенситу в міру збільшення тривалості  $\tau$ .

- к-сть фериту [18]:

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\max} \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_\phi}{\ln s_\phi} \right), \% \quad (3.13)$$

$\Phi_{\max}$  - максимальна кількість фериту, що може виділитися з аустеніту при дуже повільному охолодженні.

$$\Phi_{\max} = 100 \left[ \frac{1 - (C - 0,02)}{0,81 - 0,11Mn - 0,05Mo} \right], \% \quad (3.14)$$

- сумарна кількість фериту і перліту [18]:

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 100 \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_{\phi+\Pi}}{\ln s_{\phi+\Pi}} \right) \% \quad (3.15)$$

- кількість бейніту:

$$B(\tau) = 100 - M(\tau) - [\Phi + \Pi](\tau), \% \quad (3.16)$$

- кількість перліту:

$$P(\tau) = [\Phi + \Pi](\tau) - \phi(\tau), \% \quad (3.16)$$

Результати розрахунку структурних складових у варіантах з підігріванням та без підігрівання приведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Складові структури для різних варіантів зварювання

Найменування	Без підігріву	З підігрівом
Тривалість охолодження, с	1,96	8,99
Кількість мартенситу, %	92	9
Макс. кількість фериту, %	76	76
Кількість фериту, %	1	7
Кількість фериту та перліту, %	2	30
Кількість бейніту, %	6	61
Кількість перліту, %	1	23

Розрахунок термічного циклу показує, що при зварюванні стикових з'єднань структура ЗТВ на ділянці перегрівання при зварюванні без підігрівання може мати значну кількість гартувальних структур, а при зварюванні з підігріванням утворюється структура типу сорбіту з орієнтовної твердістю 195 HV та добрим поєднанням міцнісних характеристик.

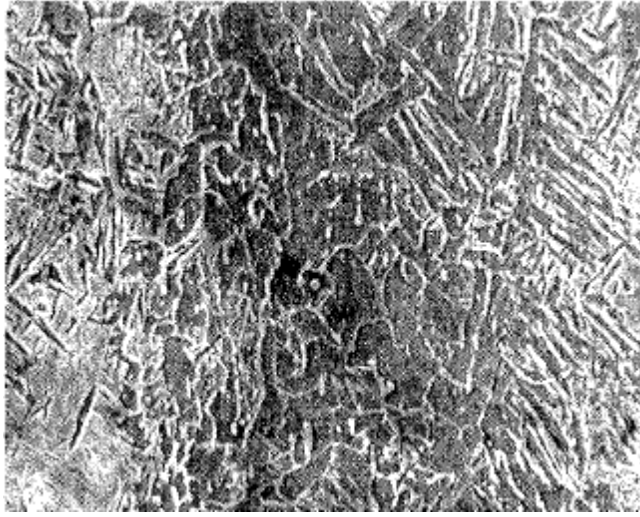
#### 3.4 Вплив термічного оброблення на структуру та механічні властивості зварного з'єднання

Дослідження термічного впливу зварювання на зварне з'єднання малоуглецевої Сталі 20 показує, що її основний метал біля ділянки сплавлення має неоднорідну структуру з різними ділянками. В зоні термічного впливу виділяють ділянки викликані сильним ростом зерна в результаті надмірного перегрівання, процесами перекристалізації та рекристалізації. Проте найбільш критичною ділянкою, структура якої в результаті перекристалізації не встигає подрібнитися та як результати значно погіршити механічні властивості металу, є ділянка перегрі-

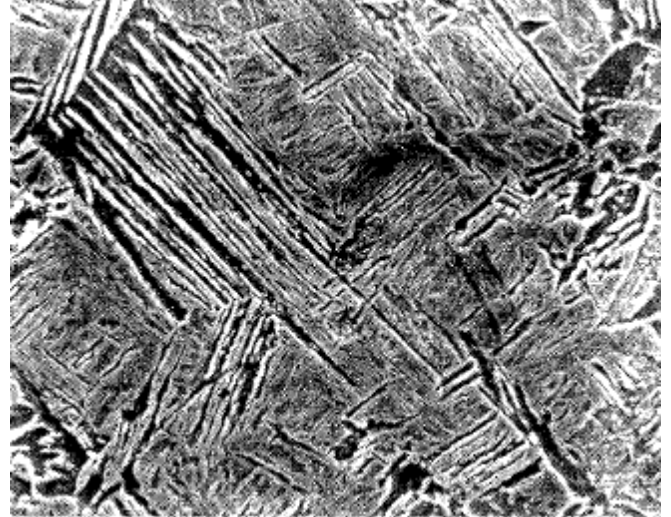
вання. Значні швидкості охолодження також можуть приводити до утворення гартівних структур мартенситу та бейніту [19]. Для виправлення даних дефектів та для зняття механічних залишкових напружень зварні з'єднання піддають термічному обробленню, відпуску чи нормалізації. Досліджено структуру зразків даної сталі після термічної обробки за такими варіантами: нормалізація при  $920\pm 10^\circ\text{C}$ ; високотемпературна відпустка  $700\pm 10^\circ\text{C}$ .

Мікроструктура зварного з'єднання без термічної обробки (рис. 3.3) складається із таких значних областей, як лінія сплавлення (рис. 3.3 а), прошарок сплавлення (рис. 3.3 б, так звана «біла смуга» довжиною до 40мкм), або ділянка неповного розплавлення, та зонами, що примикають до неї, з переважно мартенситною структурою, які утворюються в результаті інтенсивного охолодження. Далі можна описати ділянки зони термічного впливу. Це зони з перехідними структурами. Зона великого зерна, або ділянка перегрівання, що прилягає до зони сплавлення, має складну структуру мартенсито-бейнітного типу (рис.3.3, в). Зона бейнітної структури переходить у зону великого нерівновісного ферито-перлітного зерна, що є проміжним станом (рис.3.3 г). У наступній зоні на ділянці неповної перекристалізації маємо справу з з зернами фериту, що пройшли перекристалізацію і тими, що не встигли розчинитися в аустеніті, частина зерен подрібнюється (рис.3.3 д) і структура є поєднанням феритних зерен з перлітними мають пластичний цементит і розташованими по межах феритних зерен. Феритне зерно за величиною нерівномірне: там, де феритні зерна вільні від граничного оточення перлітом - вони значно більші. Остання зона термічного впливу (рис.3.3 е) є наслідком процесу рекристалізації подрібнених зерен фериту пластичною деформацією, і є дрібнозеренною ферито-перлітною структурою перехідною до основного металу.

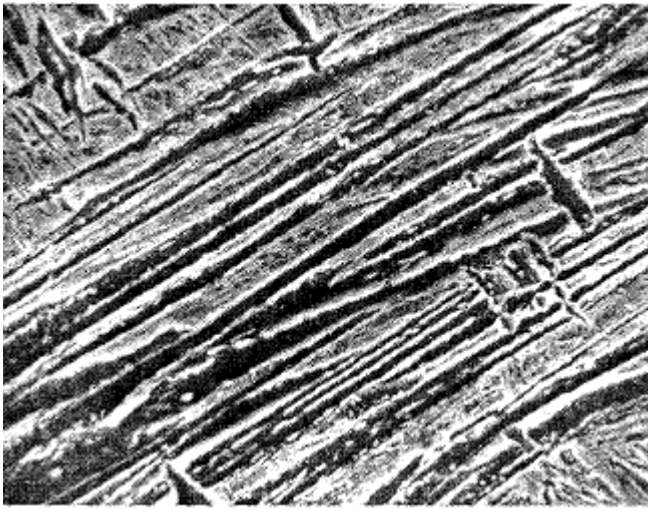




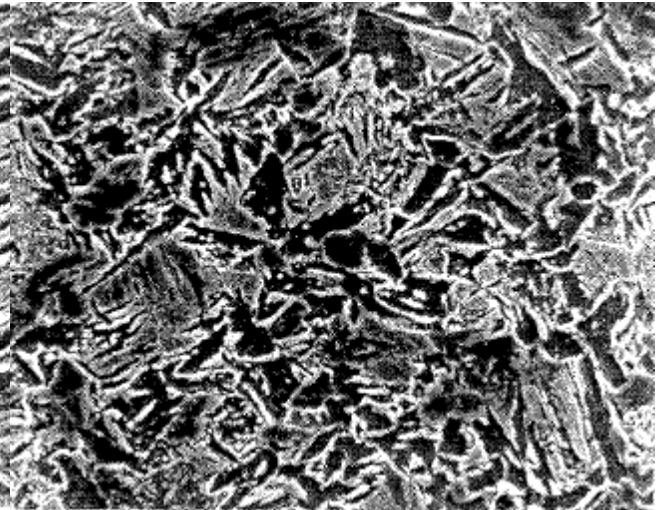
а) x1000



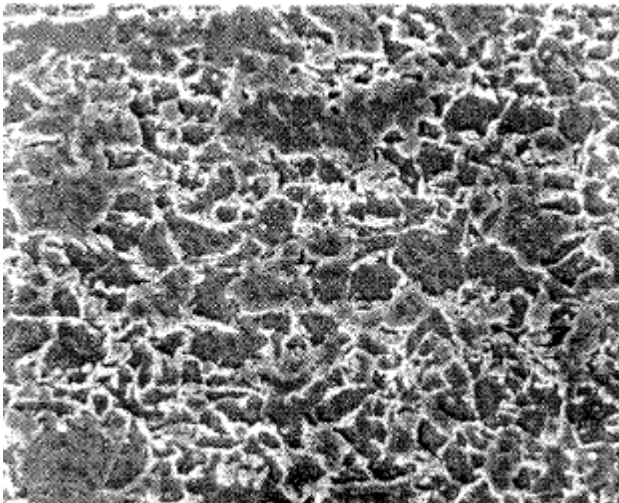
б) x2000



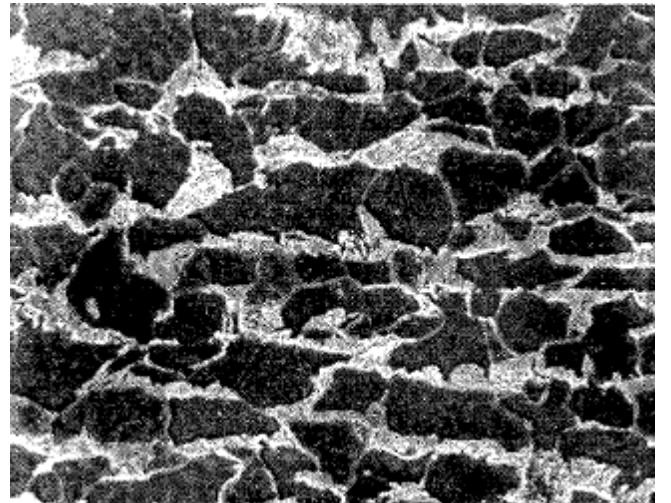
в) x6000



г) x2000



д) x2000

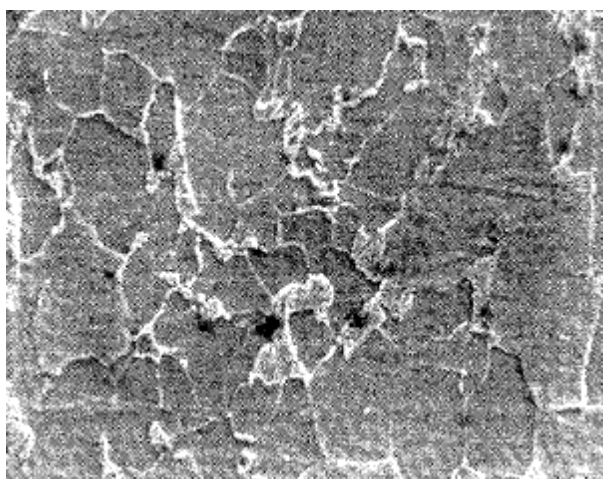


е) x2000

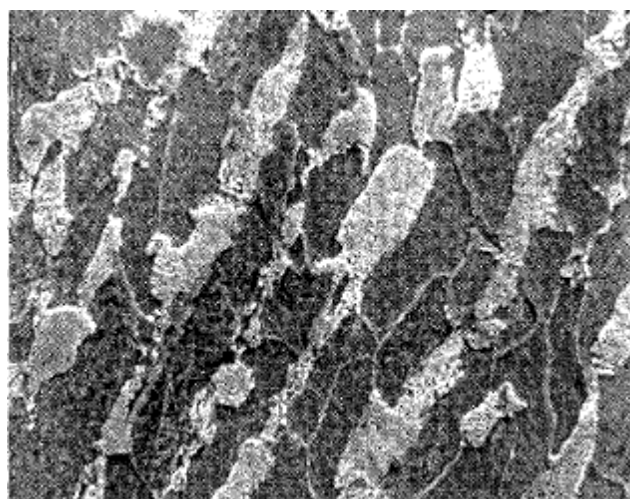
Рисунок 3.3 – Мікроструктура металу зварного з'єднання без термічного оброблення

Виявлені зони з характерною мартенситною структурою, що примикають до лінії сплавлення, привели до ідеї можливості використання високотемпературної відпустки для поліпшення структури навколошовної зони і збереження в основному металі структури контрольованої прокатки [7].

Нормалізація призводить до формування смугастої ферито-перлітної структури по всьому перерізу зварної сполуки та основного металу. В області, що примикає до безвуглецевої лінії сплавлення, волокно згинається, повторюючи напрямки деформації волокон при зварюванні. Міцнісні властивості зварного з'єднання практично не відрізняються від властивостей основного металу, хоча незначне зміцнення, за даними оцінки мікротвердості, поблизу лінії сплавлення зберігається. На ділянці перегрівання (рис.3.4 а) кількість перліту значно менша, ніж у наступних зонах. Тобто виявлений ефект обезвуглецювання при зварюванні зберігається і після нормалізації.



а) x2000

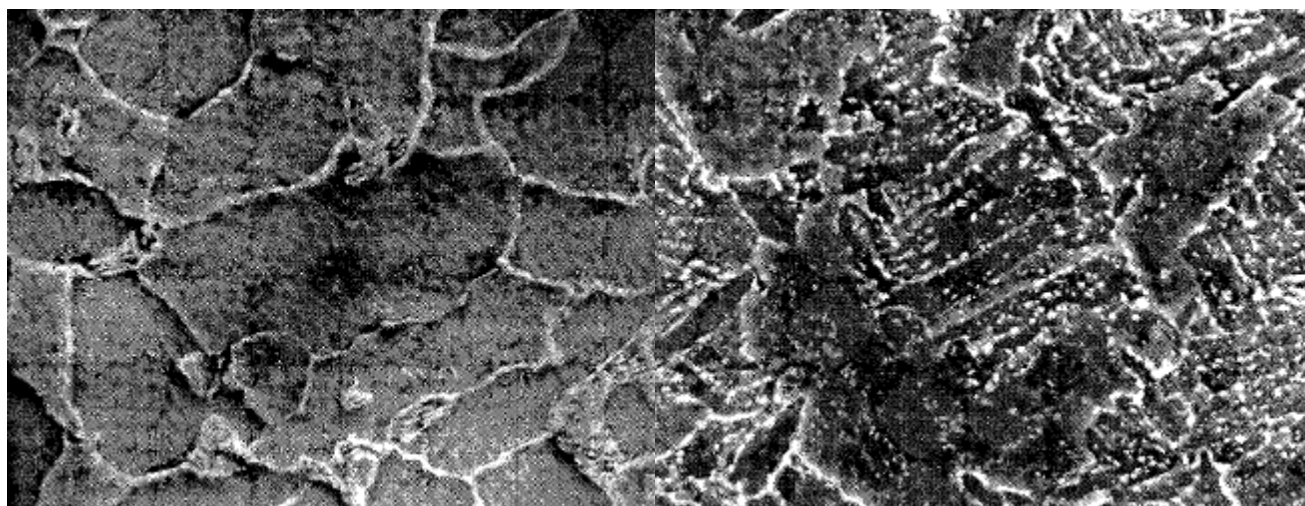


б) x2000

Рисунок 3.4 – Мікроструктура металу зварного з'єднання після нормалізації

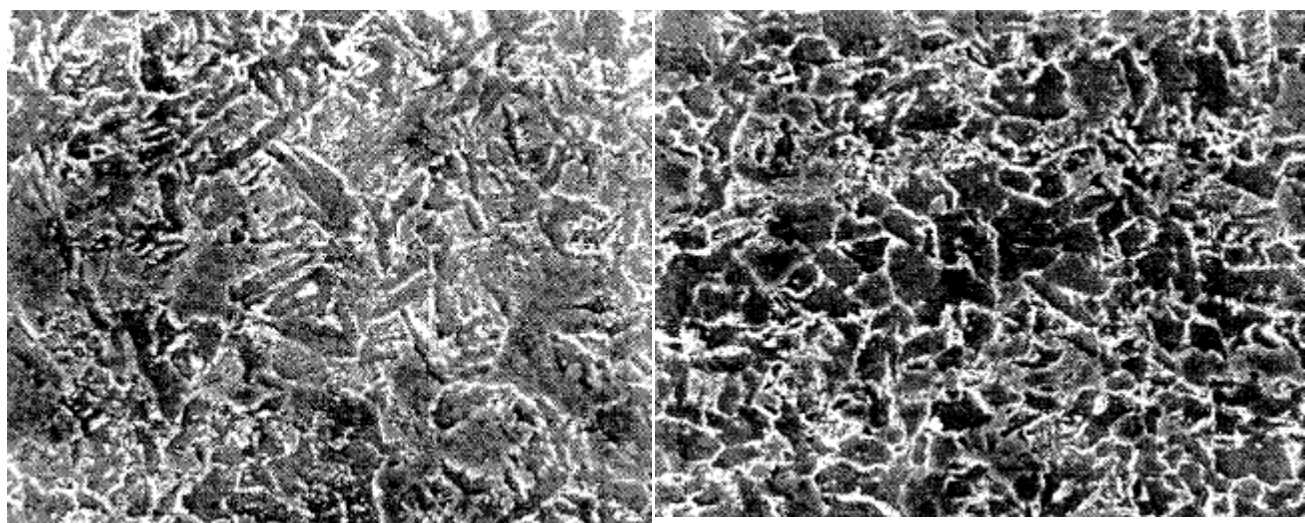
Структура за зонами зварного з'єднання після високотемпературного відпуску 700°C показано на рис.3.5. Високотемпературний відпуск призводить до перетворення загартованої структури зони термічного впливу на структуру сорбіту відпустки (рис. 3.5 б). Ділянка перегрівання має більш рівноважену структуру в якій більше нормально розподіленого фериту та перліту. Відмінності у розподілі мікротвердості між нормалізованим та відпущеним варіантами мінімальні.

Структура ділянки перегрівання після відпуску (рис.3.5 б) характерна для загартованої та відпущеної структури і є сорбітом відпуску. Ця зона перетворюється на наступну зону (рис.3.5 в) рівноосного феритного і перлітного зерна. Наступна ділянка рекристалізації з подрібненим зерном на рис. 3.4г.



а) x4000

б) x2000



в) x2000

г) x2000

Рисунок 3.5 – Мікроструктура металу зварного з'єднання після високотемпературного відпуску

Для виявлення ступеня зміцнення зон зварної сполуки було проведено вимірювання мікротвердості. Дослідження показали, що рівень зміцнення кожної

зони залежить від її структури. Причому для оцінки напруженого стану по перерізу зварного шва однією з важливих характеристик є перепад мікротвердості по різних зонах. З рис.3.6 видно, що найбільший перепад мікротвердості зварного шва спостерігається у варіанта без термічної обробки, що свідчить про значні градієнти напруг між зварним з'єднанням і основним металом. У нормалізованого та зразка після високотемпературної відпустки значення мікротвердості в зоні термічного впливу нижче за вихідний варіант. Ці дані добре узгоджуються з даними мікроструктурного аналізу зварного з'єднання зон термічного впливу.

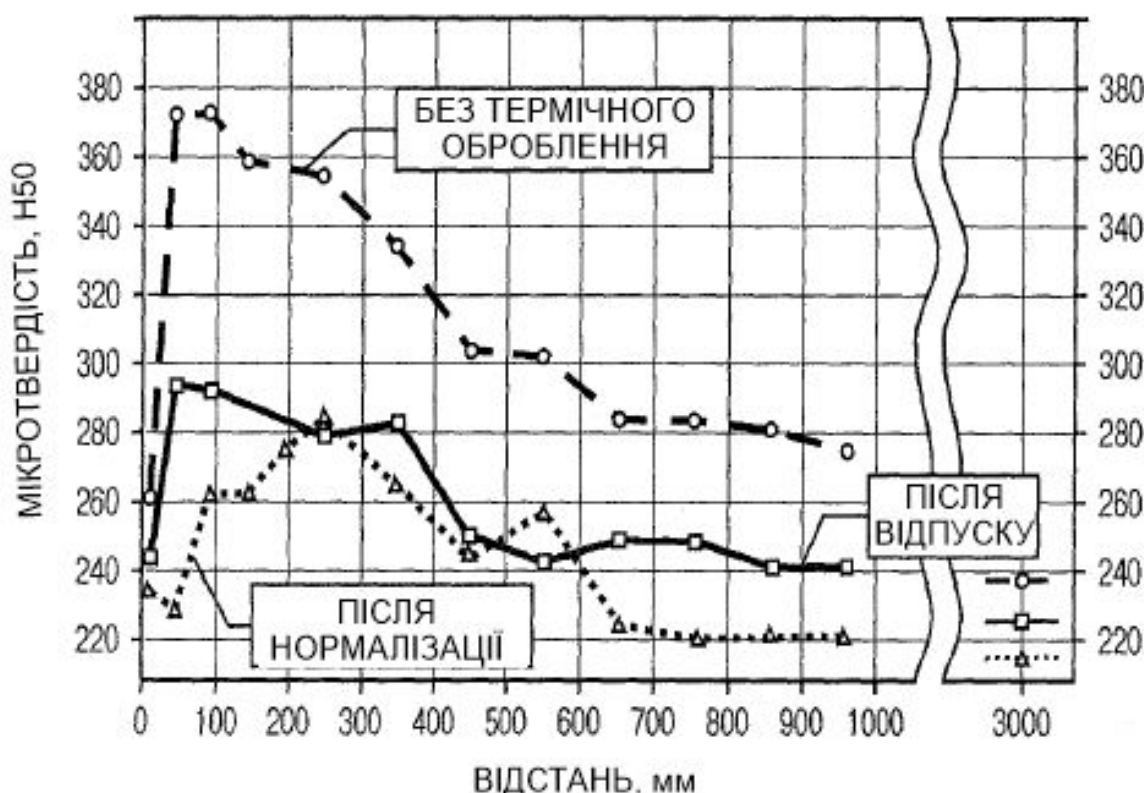


Рисунок 3.6 – Розподіл мікротвердості за ділянками ЗТВ

Отже термічна обробка зварного з'єднання призводить до зміни його структури, причому найбільші зміни спостерігаються у нормалізованих зразків, структура яких набуває сильної смужкості та орієнтації. Високотемпературний відпуск створює більш сприятливу структуру перехідних зон зварного шва, не що має, як

у початковому варіанті, гартівних голкоподібних структур. Термічна обробка зварного з'єднання призводить до вирівнювання механічних властивостей по ширині зварного шва та основного металу.

### 3.5 Вплив термічної обробки на корозійні властивості ЗЗ

Сталь 20 не є стійкою до корозії. Проте для виявлення переваг високотемпературного відпуску над нормалізацією було проведено декілька експериментальних перевірок. Для дослідження впливу водневої корозії були проведені випробування на водневе розтріскування, на сульфідне корозійне розтріскування під напругою. Результати випробувань на водневе розтріскування наведені в табл. 3.4 показали, що у всіх зразках утворюються різні за розміром водневі тріщини.

Таблиця 3.4 - Результати корозійних випробувань

Термообробка	Корозійні властивості									
	Час до руйнування поздовжнього зразка із зварного шва при навантаженні P, % від межі плинності матеріалу, годину (стандарт NACE TM0177-96)				Водневе розтріскування (стандарт NACE TM02-84)					
					зварне з'єднання			основний метал		
	30	60	65	70	CSR	CLR	CTR	CSR	CLR	CTR
без т/о	720	-	-	-	4	20	18	9	32	29
Норм. 920°C		720	105	-	10	57	19	7	22	28
Відп. 700°C		720	720	135	1	11	6	6	11	24

У металі після високотемпературної відпустки водневі тріщини мають довжину в кілька разів меншу, ніж у вихідного та особливо у нормалізованого зразка.

Вид та розміри тріщин водневого розтріскування на поверхні поперечних шліфів показані на рис.3.7. Найбільш значні за розміром тріщини формуються в металі зварної сполуки варіанта після нормалізації (CLR=57, CTR=19, рис.3.11 б). У металі зварного з'єднання без термічної обробки розміри тріщин водневого ро-

зтріскування дещо менші ( $CLR=20$ ,  $CTR=18$ , рис.3.7 а). Найменші за розміром тріщини утворилися в металі зварної сполуки після високотемпературного відпуску ( $CLR=11$ ,  $CTR=6$ , рис.3.7в).

Перевага варіанте з високотемпературним відпуском в даному випадку є очевидною, оскільки саме тут мають місце мінімальні тріщини водневого розтріскування. Однак в цілому слід зазначити, що рівень значень коефіцієнтів  $CLR$ ,  $CTR$ ,  $CSR$ , тим не менш, високий для всіх варіантів.

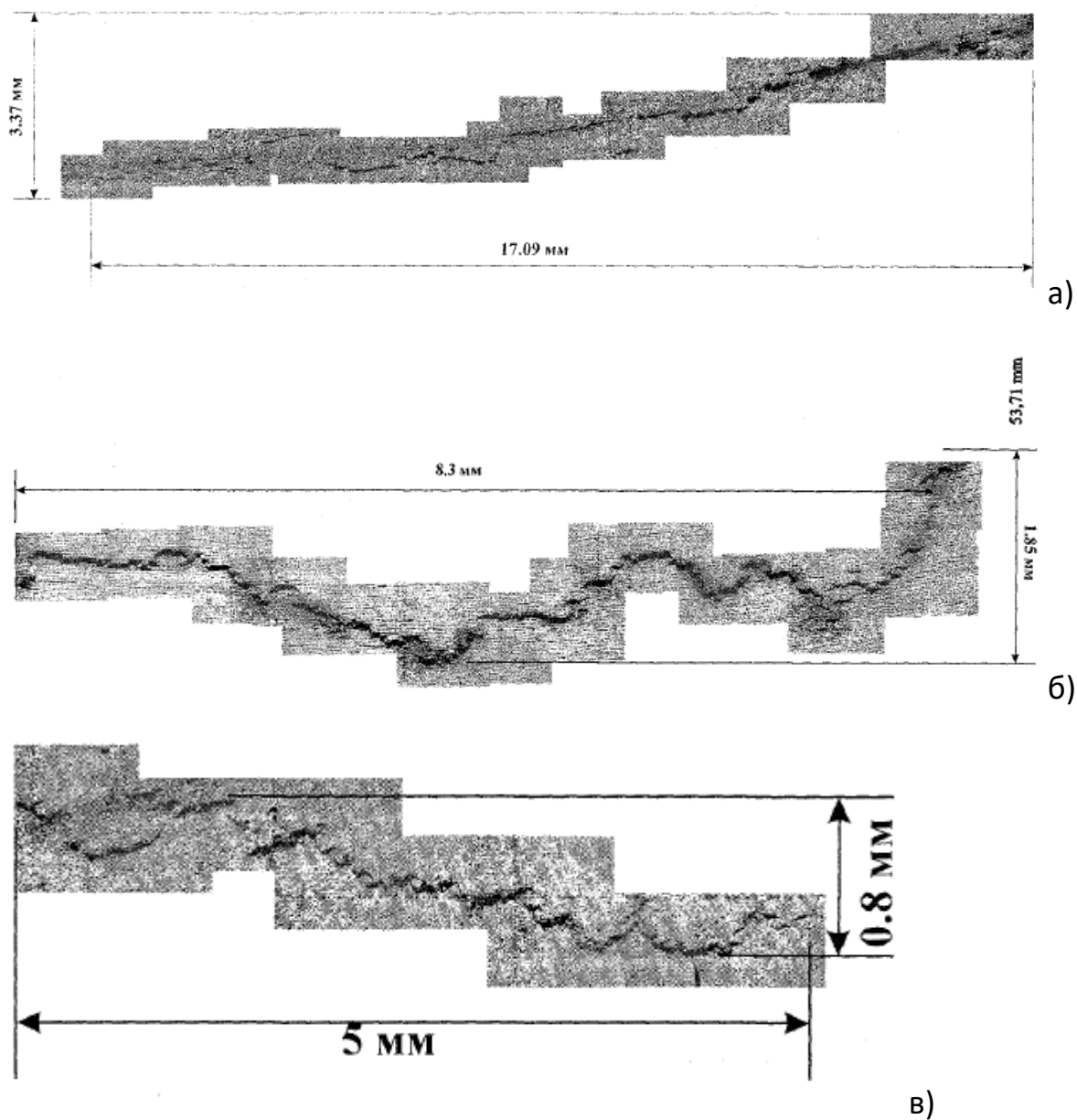


Рисунок 3.7 – Тріщини водневого розтріскування

Дослідження зони зварного шва показали, що у варіанті без термообробки розвиток тріщини починається у центрі поперечного перерізу зварного шва та поширюється через зону великого зерна, що має мартенситно-бейнітну структуру у бік основного металу. Наявність структури мартенситно-бейнітного типу в зоні термічного впливу зварного шва вже сама по собі є негативним фактором, що полегшує перебіг процесів молізації водню на неметалевих включеннях, склад яких за даними локального мікрорентгеноспектрального аналізу відповідають складним силікатам.

У варіанті з нормалізацією тріщина розвивається на всю товщину зразка у напрямку смужкових структур. У варіанті з високотемпературною відпусткою розвиток тріщини починається в центрі поперечного перерізу зварного з'єднання в основному на неметалевих включеннях. Подальший розвиток тріщин відбувається під кутом до зварного шва та зони термічного впливу, у напрямку до поверхні.

Аналіз результатів показує, що використання нормалізації для зняття внутрішніх напружень у виробі приведе до погіршення корозійних властивостей зони термічного впливу зварного шва. Для даної операції кращим виходом є проведення високотемпературного відпуску при 700 °С. При цьому біля лінії сплавлення утворюється рівноважна структура сорбіту з хорошим поєднанням механічних властивостей та стійкості до корозії.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок роликпор

Роликоопори для зварювальних операцій є надійними установками позиціонування циліндричних виробів для організації жерелу зварювання до зварних кромок. Економічні та зручні обертальні пристрої підвищують швидкість та ефективність зварювання, а також зменшують час роботи кран-балки. Для зручності використання привідні та холості роликоопори збирають у ряди на стендах. Привідні роликоопори мають бути посаджені на один привідний вал з вбудованим червячним редуктором та оснащені гумовими насадками, щоб збільшити сили зчеплення. Щоб швидко змінювати відстань між роликопорами використаємо перекидні холості роликоопори [20].

Існує ряд простих вимог при встановленні виробів на роликопори, а саме : краї виробу не повинні вигідати більше 100 мм, центр ваги має бути над стендом, вага виробу має бути відповідною до допустимої. Провдемо розрахунок роликопор для обертання корпусу бойлера діаметром 750 -1000 мм.

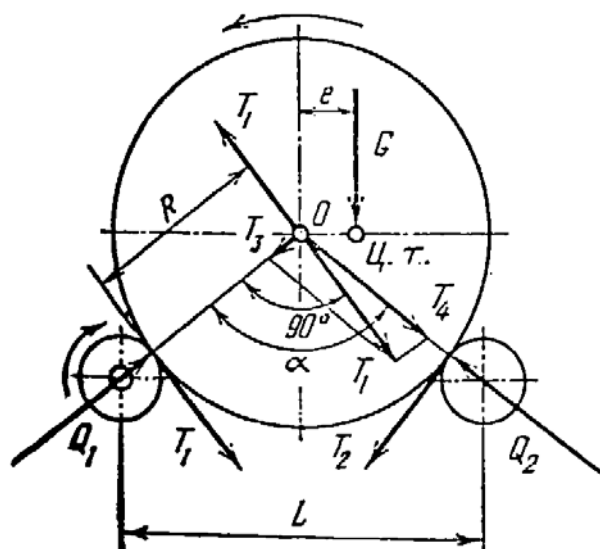


Рисунок 4.1 - Розрахункова схема роликопори



Візьмемо центральний кут  $\alpha = 92^\circ$

Колова сила  $T_1$  [21] рівна:

$$T_1 = G \left( E + \frac{E \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{b \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \right) \quad (4.1)$$

$E$  - дисбаланс.

$$b = \frac{D_p}{f d_p + 2\mu} \quad (4.2)$$

де  $D_p$  - діаметр ролика;

$d_p$  - діаметр вала ролика під підшипники;

$f = 0,02$ , для сталі  $\mu = 0,08$  см, для гуми  $\mu = 0,35$  см.

У типовій роликпорі стенду Т30 наступні розміри роликів:  $D_p = 41$  см,  $d_p = 7$  см, див.. рис. 4.2.

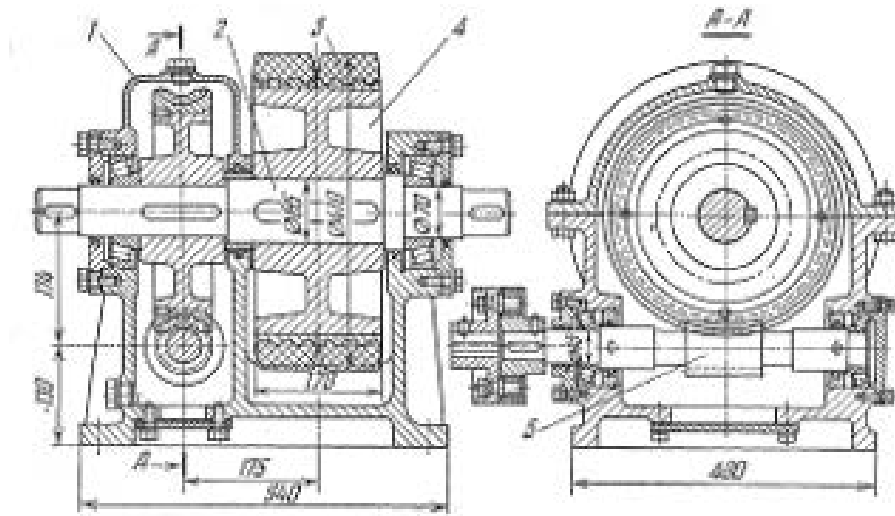


Рисунок 4.2 – Типова роликпора стенду Т30 (ГОСТ 21327-75)

$$b = \frac{41}{0,02 \cdot 7 + 2 \cdot 0,3} = 534 \text{ мм}$$

$$T_1 = 2000 \left( 0,02 + \frac{0,02 \cdot \sin \frac{92}{2}}{53,4 \sin 92 + \cos 92 - 1} \right) = 78,5 \text{ кгс}$$

$$T_2 = G \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \quad (4.3)$$

$$T_2 = 2000 \frac{0,02 \cdot \sin \frac{92}{2}}{53,4 \sin 92 + \cos 92 - 1} = 28,26$$

Q - опорні реакційні сили привідних та холостих роликів 1 та 2 [21]:

$$Q_1 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left( 1 - \frac{E \cdot \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (4.4)$$

$$Q_1 = \frac{2000}{2 \cos \frac{92}{2}} \cdot \left( 1 - \frac{0,02 \cdot \cos 92}{\sin \frac{92}{2}} + \frac{0,02 + \sin \frac{92}{2}}{53,4 \cdot \cos \frac{92}{2} - \sin \frac{92}{2}} \right) = 753,58 \quad \text{кгс}$$

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left( 1 + \frac{E}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (2.5)$$

$$Q_2 = \frac{2000}{2 \cos \frac{92}{2}} \cdot \left( 1 + \frac{0,02}{\sin \frac{92}{2}} + \frac{0,02 + \sin \frac{92}{2}}{53,4 \cdot \cos \frac{92}{2} - \sin \frac{92}{2}} \right) = 759,23 \quad \text{кгс}$$

Рахуємо навантаження на опори роликів та їх осі [20, 21]:

$$P_1 = \frac{\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}}{i_p} k_p, \quad (4.6)$$

$$P_1 = \frac{\sqrt{753,58^2 + 78,9^2}}{4} 1,3 = 246,25 \text{ кгс}$$

$$P_2 = \frac{\sqrt{Q_2^2 + T_2^2}}{i_p} k_p, \quad (2.7)$$

$$P_2 = \frac{\sqrt{759,23^2 + 28,26^2}}{4} 1,3 = 246,9 \quad \text{кгс}$$

Обираємо типові роликопори за таблицями [20] з номінальним навантаженнями 500 кгс, а саме приводна роликопора – РП-0.5, холоста роликопора РХП-0.5.

Розраховуємо зусилля на черв'ячному колесі [2]:

$$S = T_1 \frac{D_p}{D_{ч}}, \quad (4.8)$$

$$S = 78,9 \frac{41}{28,8} = 112,3 \text{ кгс}$$

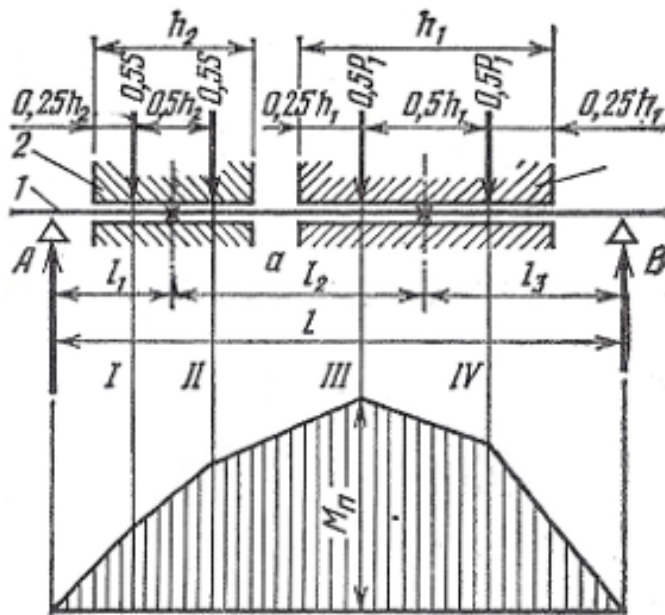


Рисунок 4.3 - Розрахункова схема

$$R_A = \frac{56 \cdot 34,75 + 56 \cdot 29,25 + 151 \cdot 18,875 + 151 \cdot 10,125}{40} = 199,075 \text{ кгс}$$

$$R_B = \frac{151 \cdot 29,875 + 151 \cdot 21,125 + 56 \cdot 10,75 + 56,5,25}{40} = 214,925 \text{ кгс}$$

$$M_1 = 199,075 \cdot 5,25 = 10,45 \text{ кгс*см}$$

$$M_2 = 199,075 \cdot 10,75 = 18,32 \text{ кгс*см}$$

$$M_3 = 214,925 \cdot 18,875 = 2735,459 \text{ кгс*см}$$

$$M_4 = 214,925 \cdot 10,125 = 2176,115 \text{ кгс*см}$$

$$M_{кр} = T_1 \frac{D_p}{2} + \left( f \frac{d_6}{2} + \mu \right) \sqrt{Q_1^2 + T_1^2}, \quad (4.9)$$

$$M_{кр} = 78,9 \frac{41}{2} + \left( 0,02 \frac{7}{2} + 0,3 \right) \sqrt{753,58^2 + 78,9^2} = 1897,79 \text{ кгс*см}$$

$$M_{\sigma} = \sqrt{M_u^2 + M_{кр}^2} \quad (2.10)$$

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{10M_2}{[\sigma]}} \quad (2.11)$$

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 3329,31}{600}} = 3,81 \text{ см}$$

Отже розміри приводної роликпори:

$l=400\text{мм}; l_1=80\text{мм}; l_2=175\text{мм}; l_3=145\text{мм}; h_1=17,5\text{мм}; h_2=110\text{мм}.$

Розрахуємо потужність приводу, [20]:

$$N_6 = \frac{M_{kp} n_m}{97500},$$

$$N_6 = \frac{1897,79 \cdot 10}{97500} = 0,194 \text{кВт} = 194 \text{Вт}$$

$$N = \frac{N_6}{\eta_o},$$

$$N = \frac{0,194}{0,40} = 0,485 \text{кВт}$$

$$K_{cy} = \frac{Q_1 \varphi}{T_1} \geq 3,$$

$$K_{cy} = \frac{753,58 \cdot 0,35}{78,9} = 3,34 \geq 3.$$

Запас протидії ковзанню витримано, пробуксовування не відбудеться.

Для приводу обираємо двигун 0,5 кВт.

#### 4.2 Розрахунок центруючого механізму

Для забезпечення співвісності обичайок та налаштування зазорів кромки перед зварювальними операціями застосовують центруючі пристрої. Універсальним та зручним у використанні є центруючий ланцюговий механізм (рис. 3.1), який можна накинути на циліндричну констркцію і провести обтискання. Симетричні притискачі надійно обтискають виріб та зводять кромки до потрібного зазору, [21]. Суміщені кромки прихоплюють та продовжують обтискання.

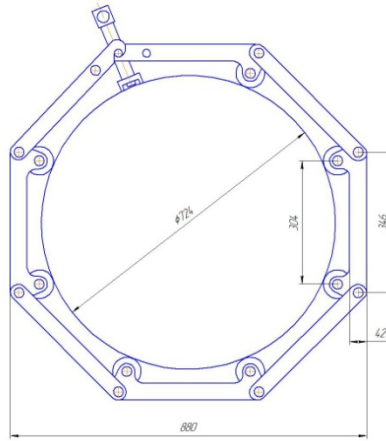


Рисунок 4.4 – Центруючий ланцюговий механізм

Для розрахунків центратор визначають найменший внутрішній діаметр гвинта в межах допустимого напруження від стискання та кручення за методикою [21]. Повне напруження  $\sigma$  не має бути більше  $\sigma_d = 600 \text{ кг/см}^2$ .

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot P_0}{\tau_{\text{к}}}}$$

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 1,4 \cdot 50000}{70}} = 36 \text{ мм.}$$

Гвинтове з'єднання також проходить перевірку на максимальне напруження від стискання та кручення. Напруження стиску  $\sigma_z$ ,  $\text{кг/см}^2$ , (4.10):

$$\sigma_z = \frac{1,27 \cdot P}{d_{\text{вн}}^2}, \quad (4.10)$$

$$\sigma_z = 1,27 \cdot 5000 / 3,62 = 490 \text{ (кг/см}^2\text{)}.$$

Напруження кручення  $\tau_{\text{кр}}$ ,  $\text{кг/см}^2$ , обчислюємо по формулі (4.11):

$$\tau_{\text{к}} = \frac{M_{\text{кр}}}{\pi \cdot \frac{d^3}{16}}, \quad (4.11)$$

де  $M_{\text{кр}}$  – максимальний крутний момент на гвинті.

$$M_{кр} = M_1 + M_2, \quad (4.12)$$

де  $M_1$  – момент від тертя по різьбі;

$M_2$  – момент від сил тертя на опірній поверхні гвинта.

$$M_1 = P \operatorname{tg}(\varphi + \rho) r_{cp}, \quad (4.13)$$

де,  $\varphi$  - кут підйому гвинтової лінії на середньому діаметрі;

$\rho$  - кут тертя для пари гвинт – гайка;

$r_{cp}$  - середній радіус різьби.

$$M_2 = \frac{1}{2} P R_0 f \operatorname{ctg} \alpha \quad (4.14)$$

де  $R_0$  – радіус шарової опори гвинта, 18 мм;

$$f = 0,2.$$

$$M_1 = 50000 \cdot \operatorname{tg}(2 + 30) \cdot 0,015 = 468 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_2 = 0,5 \cdot 50000 \cdot 0,01 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{ctg} 120^\circ = 254 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$M_{кр} = 468 + 254 = 722 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_z^2 + 4\tau_k^2}, \text{ якщо } \sigma_z > \tau_k; \quad (4.15)$$

$$\sigma_0^1 = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_k^2}, \text{ якщо } \sigma_z < \tau_k. \quad (4.16)$$

Загальне напруження  $\sigma$  не повинно перевищувати величини  $\sigma_0 = 600 \text{ кг/см}^2$ .

Для надійної роботи гвинти у центраторах самогальмівні тобто  $\alpha < \rho$  кут піднімання гвинтової лінії завжди менший за кут тертя.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на дільниці цеху

Процес виготовлення бойлера містить ряд технологічних операцій, які мають потенційну небезпеку та шкідливі фактори і які можуть загрожувати здоров'ю працівника.

Технологічний процес виготовлення теплообмінника вимагає нарізку листів на гільйотинних ножницях Н-478, які транспортуються за допомогою мостового крана КМ 16 ; зварювання листів та обичайок автоматичним зварюванням під флюсом; вирізка отворів в корпусі повітряно-плазмовою установкою CUT-100; приварювання штуцерів напівавтоматичним зварюванням в середовищі сумішей газів вуглекислоти та аргону; приварювання опори до корпусу.

Так, під час виготовлення бойлера, на робочому місці виникають забрудненість та загазованість повітря, підвищений рівень шуму, опромінення ультрафіолетовими променями, можливі опіки, удари, притискачі. Тому, потрібно дотримуватись правил техніки безпеки та експлуатації обладнання [22]. Аналіз та характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення показано в табл.5.1.

Таблиця 5.1-Аналіз потенційних небезпек виробничих факторів

Джерела небезпек	Характеристика потенційних небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення
1	2
Мостовий кран двохбалочний КМ16 (Q=16т). Тип двигуна МТН512-6, N=55кВт	Знаходження працівника у зоні можливого падіння вантажу, удари від подавальних пристроїв
Різка на гільйотинних ножницях N=30кВт	Рівень звукової потужності при f=125Гц Lp=100дБ, фактичний Lp=115-120дБ, незахищені струмоведучі частини
Автоматичне зварювання, N=550Вт.	Виділення окислу марганцю 0,11-0,7мг/м <sup>3</sup> , допустимий 2,5-мг/м <sup>3</sup> . Високий струм до 1000А. Висока напруга 380В. Рівень звукової потужності Lp=108дБ при f=125Гц
Напівавтоматичне зварювання в середовищі аргону і вуглекислого газу. N=30кВт	Виділення окислів марганцю 0,2-1,8г/кг, метану (допустимий 0,3мг/м <sup>3</sup> [20], хрому 0,02-2 г (допустима 1мг/м <sup>3</sup> , окислу вуглецю 2,7г/кг (допустимий 20мг/м <sup>3</sup> .

	Високий струм до 500А, висока напруга 380В. Інфрачервоне випромінювання 140Вт/м <sup>2</sup> до 25% тіла[20], ультрафіолетове випромінювання при $\lambda=280-315\text{нм}$ допустима величина 0,05Вт/м <sup>2</sup> , фактична 8Вт/м <sup>2</sup>
Повітряно-плазмова різка N=15кВТ	Висока температура плазми 6000-2000 °С Допустимий рівень звукової потужності Lp=100дБ при f=125Гц . Ультрафіолетове випромінювання при $\lambda=280-315\text{нм}$ допустима величина 0,05Вт/м <sup>2</sup> , інфрачервоне випромінювання 140Вт/м <sup>3</sup> . Випари окислу марганцю 0,3мг/м <sup>3</sup> , хрому 0,5 мг/м <sup>3</sup>
Аргоно-дугове зварювання закритого типу. N=4кВ·А	Струм 100А, напруга 380В. Випари окислу марганцю 0,3мг/м <sup>3</sup> , окислу хрому 0,1мг/м <sup>3</sup> , фтору 0,5 мг/м <sup>3</sup>
Рентгенівська установка U=250-400кВ I=5А, N=4кВ·А	Ураження рентгенівськими променями. Допустима доза облучення 5 бер/рік

При зварюванні корпусу бойлера використовуються різні види зварювання, при яких виділяються шкідливі речовини, які негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Тому при зварюванні необхідно користуватися санітарно-гігієнічними вимогами до повітря робочої зони (ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони). Інтенсивність виділення шкідливих газів залежить від способу зварювання, марки зварювальних матеріалів і зварюваного металу. При виготовленні корпусубойлера використовується сталь Сталь 20, та зварювальні матеріали: зварювальний дріт Св-О8ГА, Св-О8Г2С, зварювальний флюс АН-348А, вуглекислий газ та аргон.

## 5.2 Розрахунок природного освітлення дільниці цеху

Важливим фактором для здоров'я людини є освітлення в дільницях цеху.

Неякісне освітлення викликає втому організму, може стати причиною виробничого травматизму. Природне освітлення створюється безпосередньо сонячним диском і дифузним світлом небесного випромінювання. Природне (сонячне) світло по спектральному складу значно відрізняється від світла, отриманого від електричних джерел світла. В ньому значно більше необхідних для людини ультрафіолетових променів. Для природного освітлення характерна висока дифузність (розсіяність) світла, що сприяє зоровим умовам праці [23].



За конструктивними особливостями природне освітлення поділяється на бокове (здійснюється через вікна в зовнішніх стінах), верхнє (здійснюється через аераційні і зенітні ліхтарі, пройоми в покриттях, а також через світлові пройоми в місцях перепадів висот суміжних прольотів будівель), комбіноване (до верхнього освітлення додається бокове).

Розраховуємо бокове одностороннє природне освітлення для виробничої ділянки, на якій знаходиться стенд складально-зварювальний, з розмір рами  $L \times B = 14 \times 8$  і висотою  $H = 1,5$  м; висота робочої поверхні  $h_p = 1,2$  м. Будівля знаходиться в м. Кременчук (IV світловий пояс) і навпроти вікон ділянки, що зорієнтовані на захід, немає затіняючих об'єктів.

Розрахунок проводимо згідно літератури [22, 23].

Необхідну площу вікон визначаємо за формулою:

$$S_e = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_e \cdot S_n}{\tau_3 \cdot r_1 \cdot 100}, \quad (4.1)$$

де  $S_n$  - площа підлоги;

$e_n$  - нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО);

$K_3$  - коефіцієнт запасу (для виробничих приміщень  $K_3=1,3-1,5$ );

$\eta_e$  - світлова характеристика вікон;

$\tau_3$  - загальний коефіцієнт світлопропускання;

$r_1$  - коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхні приміщення.

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

Нормоване значення КПО знайдемо за формулою:

$$e_n = e_n^{III} \cdot m \cdot C, \quad (4.2)$$

де  $e_n^{III}$  - значення КПО для третього поясу світлового клімату;

$m$  - коефіцієнт світлового клімату;

$C$  - коефіцієнт сонячності клімату.

Значення  $e_n^{III}$ ,  $m$ ,  $C$  беремо з літератури [23].

$$e_n = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,1\%.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу  $K_3 = 1,3$ . Значення світлової характеристики вікон  $\eta_v$  визначаємо відношеннями  $L/B = 14/8 = 1,75$  та  $B/h = 8/1,4 = 5,7$  ( $h$  - висота від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю вікна),  $\eta_v = 13$ . Площа підлоги дільниці становить  $S_{\text{П}} = 112 \text{ м}^2$ . Оскільки вікна не мають світлозахисних пристроїв і виготовлені з спарених дерев'яних рам, в яких встановлено подвійне віконне листове скло. Загальний коефіцієнт світлопропускання вікон:

$$\tau_3 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56,$$

де  $\tau_1$  - коефіцієнт світлопропускання матеріалу;

$\tau_2$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

$\tau_3$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях (при боковому освітленні  $\tau_3=1$ );

$\tau_4$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях;

$\tau_5$  - коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями ( $\tau_5=1$ ).

Визначаємо середній коефіцієнт відбиття приміщення:

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{\rho_{\text{стелі}} \cdot S_{\text{стелі}} + \rho_{\text{стін}} \cdot S_{\text{стін}} + \rho_{\text{підлоги}} \cdot S_{\text{підлоги}}}{S_{\text{стелі}} + S_{\text{стін}} + S_{\text{підлоги}}}, \quad (4.3)$$

де  $\rho_{\text{стелі}}$ ,  $\rho_{\text{стін}}$ ,  $\rho_{\text{підлоги}}$  - відповідні коефіцієнти відбиття;

$S_{\text{стелі}}$ ,  $S_{\text{стін}}$ ,  $S_{\text{підлоги}}$  - відповідні площі поверхонь.

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{0,7 \cdot 112 + 0,5 \cdot 90 + 0,1 \cdot 112}{112 + 90 + 112} = 0,43.$$

Враховуючи значення параметрів, що характеризують приміщення, коефіцієнт  $\tau_1 = 2,1$ .

За формулою 4.1 визначаємо необхідну площу вікон дільниці:

$$S_g = \frac{1,1 \cdot 1,3 \cdot 13 \cdot 112}{0,56 \cdot 2,1 \cdot 100} = 17,7 \text{ м}^2$$

Вибираємо стандартні вікна з розміром  $1,5 \times 1,7$  м, тоді площа одного вікна становитиме  $S_g^1 = 2,55 \text{ м}^2$ .

Визначимо необхідну кількість вікон:

$$S_6 = \frac{S_6}{S_6^1} = \frac{17,7}{2,55} = 6,9.$$

Приймаємо 7 вікон. Розташування їх показано на рис. 5.1.

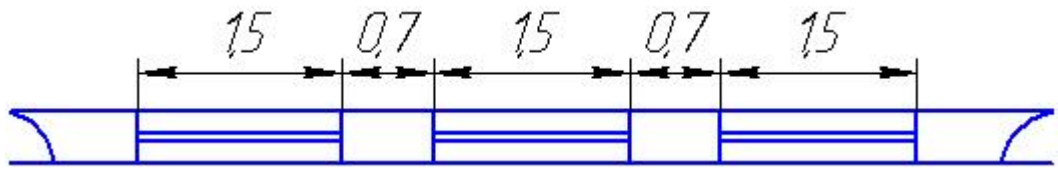


Рис. 5.1 - Розташування вікон

### 5.3 Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта до ударної хвилі

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе: будівлі споруди, технологічне обладнання і комунікації, електромережі, тепломережі, водопровід, каналізацію і газопровід [24]. Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкту.

Підвищувати стійкість всіх будівель і споруд не потрібно, так як це пов'язано з великими матеріальними затратами, які не завжди будуть виправдані. Головним чином, потрібно підвищувати міцність найбільш важливих елементів виробництва, від яких залежить робота всього підприємства, але стійкість яких нижча загальної границі стійкості.

Підвищення стійкості будівель і споруд досягається встановленням додаткових зв'язків між несучими елементами, будовою каркасів, рам, підкосів, опор для зменшення прольоту несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш міцних матеріалів. Низькі споруди, для підвищення їх міцності, частково обсіпаються ґрунтом. Високі споруди (труби, башти, колони) закріплюються розтяжками, які розраховані на певні навантаження. Захист ємкостей для зберігання легкозаймистих рідин може здійснюватися побудовою підземних сховищ, заглибленням їх в ґрунт, а збільшення механічної міцності ємкостей – встановленням ребр жорсткості.

Надійно захистити все технологічне обладнання від дії ударної хвилі практично неможливо. Захист обладнання необхідний, якщо воно здатне при руйнуванні частини підприємства випускати особливо цінну продукцію і його необхідно зберегти для подальшого використання. Захист обладнання входить в загальний комплекс інженерно-технічних заходів по підвищенню стійкості роботи підприємства.

Потрібно створювати запаси деталей і вузлів технологічного устаткування, а також виготовляти захисні конструкції і застосовувати їх в період загрози нападу ворога для запобігання виходу з ладу устаткування при обвалі конструкцій будівель [24].

Для сучасних підприємств характерна велика кількість комунікацій для подачі води, електроенергії, пари, газу, які розміщені відкрито на високих естакадах або зовнішніх стінах будівель, що полегшує їх регулярний огляд і ремонт, але з другого боку значно знижує стійкість до дії ударної хвилі ядерного вибуху.

Для підвищення надійності комунікацій потрібно: заглиблювати основні комунікаційно-енергетичні мережі і технологічні комунікації або розміщувати їх на низьких естакадах та обвалькувати землею; збільшувати механічну міцність трубопроводів за рахунок встановлення ребр жорсткості, хомутів, які з'єднують два-три трубопроводи в один пучок.

Система електрозабезпечення займає значне місце на промисловому підприємстві, тому останнє повинно мати два джерела живлення – основне і аварійне. Для запобігання виходу з ладу електричних мереж потрібно встановлювати пристрої автоматичного відключення їх при утворенні перенапруг, які можуть бути створені електромагнітними полями, що виникають при ядерному вибуху.

При пошкодженні джерел газозабезпечення або газопроводів на великих підприємствах знаходяться підземні ємкості - газгольдери постійного об'єму. Газові мережі прокладають під землею і підводять до об'єкту з двох напрямків. Для запобігання руйнуванню газових мереж їх забезпечують пристроями для автоматичного

відключення ділянок газопроводу. Стійкість роботи промислових об'єктів визначається також стійкістю систем парозабезпечення і теплозабезпечення. Промислові об'єкти повинні мати два джерела пари і тепла - зовнішнє (ТЕЦ) і внутрішнє (місцева котельня).

Важливе значення має створення стійкості системи водозабезпечення об'єкту. Промисловий об'єкт повинен забезпечуватись водою не менше ніж від двох джерел - основних і резервних. Одне із джерел повинно бути підземним. Мережі водозабезпечення прокладаються в землі і обладнуються засувками для відмикання окремих ділянок при аварії. Щоб підвищити стійкість каналізації об'єкта потрібно створити роздільні системи каналізації – одну для дощових, другу для промислових і господарських вод, Система каналізації об'єкта повинна мати аварійні викиди в річку або в дощову мережу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі відповідно до проведених розрахунків проводимо наступні висновки.

Виготовлення теплообмінного устаткування бойлера проводимо з якісної конструкційної маловуглецевої Сталі 20, яка добре зварюється різними способами.

Стикові поздовжні шви обечайки пропонується зварювати автоматичним електродуговим способом у захисному середовищі  $Ar+O_2+CO_2$  у два проходи на керамічних підкладках. Зварювання інших швів проводимо механізованим зварюванням у  $Ar+O_2+CO_2$ .

Розрахунки термічних циклів показали високу імовірність на виникнення гартівних структур на ділянці перегрівання ЗТВ. Враховуючи роботу зварних з'єднань бойлера в умовах можливого надлишкового наводнення та корозії рекомендовано проводити підігрівання. В результаті прогнозована структура буде мати ферито-перлітну будову у формі сорбіту з необхідним поєднанням механічних властивостей.

Для зменшення підстав для виникнення корозії для зварних з'єднань рекомендовано проводити термічне оброблення, високотемпературний відпуск, що дозволить створити рівноважну структуру ділянки сплавлення з нормально розподіленими феритом та перлітом, а також перетворити структури гартування на сорбіт. Така обробка приведе до вирівнення механічних властивостей у зварному шві та ЗТВ та підвищить корозійну стійкість через зменшення явищ молізації та накопичення водню на неметалевих включеннях.

У вдосконаленому технологічному процесі виготовлення бойлера запропоновані наступні технічні рішення та технологічні інновації:

- проведення операцій складання, стягування кромки та обрізання торців на одному стенді без додаткової операції транспортування та кантування обечайки дозволить підвищити якість складальних операцій;
- застосування автоматичного зварювання у середовищі  $Ar+O_2+CO_2$ ,
- впровадження поетапного та поопераційного контролю якості технологічних операцій виготовлення бойлера.

Запровадження вищеназаних інноваційних пропозицій дозволить:

- зменшити кількість ручної праці та трудомісткість при виготовленні бойлера;

- покращити якість зварних швів та підвищити експлуатаційні властивості бойлера, зокрема стійкість до корозії його корпусу;
- зменшити собівартість виготовлення виробу;
- покращити рівень безпеки на ділянці виготовлення бойлера.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Характеристика сталі 20, [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ. – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-20/>
2. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови : ДСТУ 7809:2015. - — К. : Держспоживстандарт України 2015. 21 с. — (Національний стандарт України).
3. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
4. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
5. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Практикум: навч. посібн. / О. А. Сливінський.— К.: НТУУ «КПІ», 2022. — 50 с. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г.Биковський, І.В. Пінковський. – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. 544 с.
7. Загорянський В.Г., Саленко О.Ф. Основні випадки корозійного розтріскування сталей (зокрема їх зварних з'єднань і конструкцій) і напрями запобігання цьому, Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 1/2008 (48). Частина 2. – С.55-60.
8. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1995. - 166 с.
9. Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1998. - 373 с.
10. Дріт зварювальний 08Г2С. [Електронний ресурс] / ТОВ «Полікарснаб». – Режим доступу: <https://policarsnab.com/ua/p349996774-provoloka-svarochnaya-omednennaya.html>
11. Применение защитных газов в сварочном производстве (Обзор) / Б.Е Патон., С.Т. Римский, В.И. Галинич // Автоматическая сварка. — 2014. — № 6-7 (733). — С. 17-24.
12. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е.Патона, - М.: Машиностроения, 1974. – 768 с.



13. Коперсак, В.М. Теорія процесів зварювання [Текст]: Текст лекцій (в двох частинах) / В.М. Коперсак – 4-е вид., випр. і доп. –К.: НТУУ «КПІ».-228 с.
14. Ахметов А.Р. Автоматическая сварка корпусов теплообменных аппаратов “Технология судостроения” №1, 1984 – 24-27с.
15. Сварочное оборудование. Каталог-справочник.4 –Киев: “Наукова думка”, 1983. – 450 с.
16. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О.Кривов, К.О Зворикін,- К.:КВІЦ,2012.-896с.
17. Яцюк В. О.; Фараонов А. Ю.; Лазарюк В. В. Особливості застосування капілярного методу неруйнівного контролю зварних з'єднань тонкостінних конструкцій // Актуальні задачі сучасних технологій : Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – с. 7-8.
18. Теория сварочных процессов [Текст]/ Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
19. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів: Навч. посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 236 с.
20. Севбо П.І., Конструювання та розрахунок механічного зварювального обладнання. - Київ: Наукова думка, 1978. - 240с.
21. Куркин С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас / С.А. Куркин , В.М. Ховов . – М.: Машиностроение,1999. – 327с.
22. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240с.
23. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник.- Видавництво 5-те, доповнене. – Л.: Афіша, 2000. -350 с.
24. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.
25. Романів В. Є. Особливості застосування сумішей захисних газів при напіваавто-матичному зварюванні плавким електродом / В. Є. Романів, В. В. Лазарюк // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020

року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 18–19. — (Фізико-технічні ос-нови розвитку нових технологій).

і

## **ДОДАТКИ**

### **Додаток 1 - СПЕЦИФІКАЦІЇ**

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				Документація		
A1			KPM 22-739.01.00	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1	KPM 22-739.01.11	Кріплення докове	1	
		2	KPM 22-739.01.12	Лапа	2	
		3	KPM 22-739.01.13	Кільце	1	
		4	KPM 22-739.01.14	Обух-1.2 OM і	2	
				Деталі		
		6	KPM 22-739.01.01	Денце 800x8-50	1	
		7	KPM 22-739.01.02	Скоба	2	
		8	KPM 22-739.01.03	Планка	1	
		9	KPM 22-739.01.04	Прихват	2	
		10	KPM 22-739.01.05	Прихват	5	
		11	KPM 22-739.01.06	Прихват	1	
		12	KPM 22-739.01.07	Обе чайка	1	
		13	KPM 22-739.01.08	Денце верхнє	1	
		14	KPM 22-739.01.09	Накладка	2	
		15	KPM 22-739.01.09	Кутник	4	

					KPM 22-739.01.00			
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Фараонов				Бойлер	Літ.	Аркуш	Аркуш
Перев.	Лазарюк						1	2
Консульт.						ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МПМ-61		
Н. контр.	Дячун							
Затв.	Окіпний							

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				Документація		
A1			KPM 22-739.02.00	Складальне креслення		
				Деталі		
		1	KPM 22-739.02.01	Головка	1	
		2	KPM 22-739.02.02	Направляюча головка	1	
		3	KPM 22-739.02.03	Верхня консоль	1	
		4	KPM 22-739.02.04	Привід верхньої консолі	1	
		5	KPM 22-739.02.05	Ходовий гвинт	1	
		6	KPM 22-739.02.06	Поворотна колона	1	
		7	KPM 22-739.02.07	Направляюча шпонка	1	
		8	KPM 22-739.02.08	Поворотний механізм	1	
		9	KPM 22-739.02.09	Фіксатор повороту	1	
		10	KPM 22-739.02.09	Нижня консоль	1	
		11	KPM 22-739.02.09	Башмак	1	
		12	KPM 22-739.02.09	Привід обертання планшайби	1	
		13	KPM 22-739.02.09	Муфта	1	
		14	KPM 22-739.02.09	Станина	1	

KPM 22-739.02.00										
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Фараонов									
Перев.	Лазарюк									
Консульт.										
Н. контр.	Дячун									
Зате.	Окіпний									
<b>Пристрій для обрізки кромки обичайки та донець</b>				<table border="1"> <tr> <td>Літ.</td> <td>Аркуш</td> <td>Аркуш</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> </table>	Літ.	Аркуш	Аркуш		1	2
Літ.	Аркуш	Аркуш								
	1	2								
				ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МПМ-61						





