

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

КРБ.ЗТ - 19.00.00.000 ПЗ

Група ЗТ-23-1К

Андрій Семків

2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та

будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»

Семків Андрій Тарасович

прізвище, ім'я, по батькові, студента(ки)

(підпис)

Група ЗТ-23-1К

Розробка технологічного процесу складання та зварювання газового котла КС-ГВ-10

тема

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів

«Інжиніринг зварювальних технологій»

спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Керівник: <i>к.т.н.; доцент</i> <i>науковий ступінь, вчене звання</i> <i>Матвієнків Олег Михайлович</i> <i>прізвище, ім'я, по батькові</i> <i>підпис</i>	Завідувач кафедри будівництва: <i>к.т.н.; доцент</i> <i>науковий ступінь, вчене звання</i> <i>Андрусяк Андрій Васильович</i> <i>прізвище, ім'я, по батькові</i> <i>підпис</i>
---	--

Івано-Франківськ

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»
Кафедра будівництва
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг зварювальних технологій»
Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри будівництва

_____ Андрусяк А.В.
< > _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра

Студента(ки) Семківа Андрія Тарасовича

1.Тема роботи: Розробка технологічного процесу складання та зварювання газового котла КС-ГВ-10

затверджена наказом по університету від < 25 > травня 2026 р. № 219/7

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 18 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи креслення виробу; матеріал – сталь Ст-3сп.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. 1. Загальний розділ. (Аналіз матеріалів конструкції та визначення їх зварюваності. Аналіз існуючого технологічного процесу.) 2. Технологічний розд. (Вибір способів зварювання та зварювальних матеріалів. Визначення параметр. режиму зварювання. Вибір основного та допоміжного звар. обладнання. Кон-ль якості. 3. Конструкторський розділ. Висновки.

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

1. Креслення конструкції та зварних з'єднань.

2. Схема технологічного процесу.

3 - 6. Креслення складально-зварювальних стендів та пристосувань.

6. Дата видачі завдання _____

Завдання прийняв до виконання _____

Керівник _____

(підпис)

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Номер етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Загальний розділ.</i>	<i>01.05...05.05.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ.</i>	<i>06.05...30.05.2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ.</i>	<i>01.06...10.06.2026</i>	
4	<i>Безпека праці. Висновки.</i>	<i>11.06...17.06.2026</i>	

Здобувач _____ / А.Т. Семків /

Керівник роботи _____ / О.М. Матвієнків /

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці та оптимізації технологічного процесу виготовлення зварних вузлів двоконтурного сталевих газового котла КС-ГВ-10 потужністю 10 кВт в умовах серійного виробництва.

У роботі проведено аналіз технологічності конструкції котла, здійснено вибір та обґрунтування способів зварювання: напівавтоматичного зварювання в середовищі CO₂ (MIG/MAG) дротом Св-08Г2С для основних вузлів та контактної шовного зварювання для конвективного каналу. Розраховано оптимальні режими зварювання для з'єднань типу, а також режими контактної шовного зварювання та обґрунтовано вибір зварювального обладнання.

Розроблено конструкторський розділ, що включає проектування складально-зварювальних пристосувань (кондуктори для зварювання топки, патрубків, конвективних каналів) з розрахунком гвинтових притискачів. Виконано технологічне планування зварювальної ділянки площею 108 м² з визначенням кількості обладнання для річної програми 2000 виробів. Описано систему контролю якості зварних з'єднань із застосуванням візуально-інструментального та ультразвукового методів, а також гідравлічних випробувань тиском 0,3 МПа. Окремий розділ присвячено аналізу небезпечних виробничих факторів та заходам з охорони праці на зварювальній ділянці.

Ключові слова: газовий котел, зварна конструкція, напівавтоматичне зварювання, MIG/MAG, контактне шове зварювання, режими зварювання, зварювальне пристосування, контроль якості, ультразвуковий контроль, охорона праці.

ABSTRACT

The qualification work is devoted to the development and optimization of the manufacturing process for welded assemblies of the double-circuit steel gas boiler KS-GV-10 (10 kW) under serial production conditions.

The work includes an analysis of the boiler's structural manufacturability, selection and justification of welding methods: semi-automatic MIG/MAG welding in CO₂ shielding gas with Sv-08G2S wire for main assemblies, and resistance seam welding for the convective channel. Optimal welding parameters were calculated for the respective joint types, resistance seam welding modes were determined, and welding equipment selection was justified.

The engineering section covers the design of assembly and welding fixtures (jigs for the firebox, pipe connections, and convective channels) with screw clamp calculations. A welding workshop layout of 108 m² was developed, determining equipment quantities for an annual output of 2,000 units. A quality control system is described, employing visual-instrumental and ultrasonic inspection methods, as well as hydraulic pressure testing at 0.3 MPa. A dedicated section covers the analysis of hazardous production factors and occupational safety measures at the welding workshop.

Keywords: gas boiler, welded structure, semi-automatic welding, MIG/MAG, resistance seam welding, welding parameters, welding fixture, quality control, ultrasonic testing, occupational safety.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Загальна характеристика котла КС-ГВ-10	9
1.2 Характеристика технологічності конструкції котла КС-ГВ-10	13
1.3 Характеристика матеріалу виробу	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування	17
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способу зварювання	17
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів	24
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання	25
2.1. 4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування	34
2.2 Технологічна послідовність процесу виготовлення котла КГ-ГВ-10	43
2.2.1 Заготівельні операції	43
2.2.2 Технологія складання та зварювання	44
2.3 Вибір заходів зі зварювальними напруженнями та деформаціями	46
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку	48
КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	51
3.1 Компонування складальних пристосувань	51
3.1.1 Пристрій для зварювання топки	51
3.1.2 Розрахунок гвинтового притискача	52
3.1.3 Пристрій для зварювання патрубків	54
3.1.4 Кондуктор та пристрій контролю для конвективних каналів	55
3.2 Планування зварювальної ділянки	55
3.2.1 Визначення кількості обладнання	56

					КРБ.ЗТ-19.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Семків А.Т.				Розробка технологічного процесу складання та зварювання газового котла КС-ГВ-10	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Матвієнків О.М.						5	69
Рецензент						ІФНТУНГ ЗТК - 23-1К		
Н. Контр.	Матвієнків О.М.							
Затверд.	Андрусак А.В.							

3.2.2 Розрахунок площі ділянки	57
БЕЗПЕКА ПРАЦІ	60
4.1 Аналіз небезпечних факторів	60
4.2 Заходи з безпеки праці	61
4.2.1 Електробезпека	61
4.2.2 Вентиляція та мікроклімат	63
4.2.3 Пожежна безпека	64
4.2.4 засоби індивідуального захисту	65
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	68
ДОДАТОК А	70

ВСТУП

В умовах науково-технічного прогресу, особливу увагу приділяють розвитку науки, техніки у виробництві. Практично немає жодної галузі машинобудування, приладобудування та будівництва, в якій не застосовувалися б зварювання та різання металів. За допомогою зварювання отримують нероз'ємні з'єднання майже всіх металів і сплавів різної товщини - від сотих часток міліметра до декількох метрів.

Незварювальні операції в зварювальному виробництві складають в середньому близько 70% загальної трудомісткості робіт зварювальних цехів. Крім того, навіть при виконанні власне зварювальних операцій, необхідно виконувати допоміжні операції з установки, повороту і кантуванні зварюваних виробів, встановлення зварювального автомата на початок шва, збору зварювального флюсу і т.п. На виконання цих прийомів приділяється близько 35% трудомісткості власне зварювальних операцій. Звідси випливає, що механізація і навіть автоматизація тільки самого процесу зварювання не зможе забезпечити високий рівень механізації зварювальних цехів і тому надзвичайно важливе значення має комплексна механізація зварювального виробництва

Механізація і автоматизація є найважливішим засобом підвищення продуктивності праці, поліпшення якості та умов праці.

Інтенсивне виготовлення зварних конструкцій почалось десь наприкінці 60-х років XX ст., коли були налагоджені та досконало відпрацьовані технології автоматичного зварювання. На середину 70-х рр. припадає інтенсивне будівництво магістральних трубопроводів, що дало значний поштовх для удосконалення та розроблення нових технологій та суміжних процесів, які робили зварювання більш продуктивним та якісним. На даний час провідними інститутами та будівельними фірмами різних країн

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ведеться пошук нових методів виготовлення конструкцій та покращення існуючих, які б могли з найменшими затратами та з максимальною якістю широко використовуватись у промисловому виробництві.

Даний побутовий газовий котел виготовляється під реалізацію внутрішнього ринку споживачів.

Враховуючи те, що до складу котла входить багато вузлів, в тому числі і автоматика, ми будемо розглядати тільки окремі зварні вузли, виготовлення яких є досить складним та трудомістким виробничим процесом. Виготовлення даних вузлів вимагає налагодження виробництва, автоматизації та механізації.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Даний розділ містить висвітлену інформацію в загальному про виготовлення продукції та аналіз матеріалів які при цьому застосовуються, їхню характеристику. Також вказані умови яких потрібно дотримуватися при виготовленні продукції.

1.1 Загальна характеристика котла КС-ГВ-10

Сталевий опалювальний газовий двоконтурний котел марки КС-ГВ-10 (рис.1.1) представляє собою невелику за розмірами металеву зварну конструкцію і коробка автоматики та вхідні і вихідні патрубки. Металеві конструкції застосовуються сьогодні майже в усіх видах виробництв. Виробництво металоконструкцій в останні роки значно збільшилася, оскільки споживач оцінив якість і зручність використання металоконструкцій.

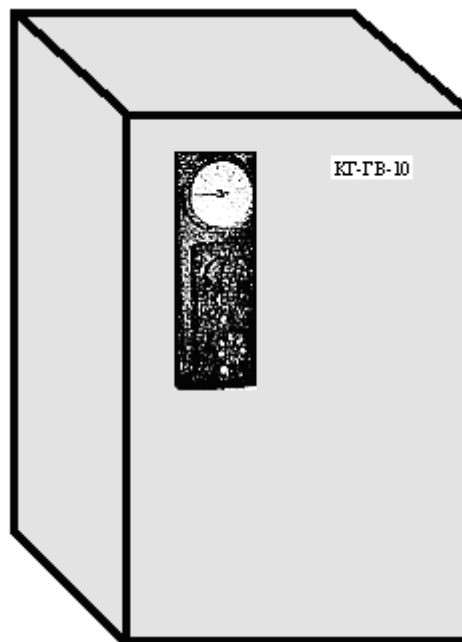


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд котла КС-ГВ-10

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні особливості металоконструкцій:

по-перше, вихідним матеріалом для всіх конструкцій є прокатний метал, що випускається за єдиним стандартом – сортаменту в даному випадку це лист. З цього матеріалу komponуються різноманітні конструктивні форми;

по-друге, всі конструкції об'єднані одним технологічним процесом їх виготовлення, в основі якого лежить холодна обробка металу (різка, гнуття, і т.д.) і з'єднання деталей в конструктивні елементи (складальні та зварювальні операції).

Переваги металоконструкцій:

- Надійність,
- Легкість,
- Індустріальність,
- Непроникність.

Недоліки металоконструкцій

- Корозія,

Основні вимоги до металоконструкцій:

- умови експлуатації,
- економія металу,
- транспортабельність,
- технологічність,
- швидкісний монтаж,
- довговічність,
- естетичність.

Однак найактуальніше вимога, що диктуються сучасними тенденціями це зменшення ваги металоконструкції. Це диктується не тільки економічними міркуваннями - економією металу, але і більшою надійністю металоконструкції.

Зварні конструкції дозволяють більш раціональним чином поєднувати розміри горизонтальних аркушів з вертикальною стінкою. Саме можливість

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легко створювати зварні металоконструкції з бажаними співвідношеннями розмірів; при такому способі виготовлення металоконструкцій знижує витрати металу, що робить їх економічно більш рентабельними.

Зрозуміло, металоємність не єдиний чинник, що впливає на рентабельність виготовлення металевих конструкцій. Багатосерійне виробництво металоконструкцій робить прокатку більш вигідною, але при виробництві металоконструкцій - зварювання практично незамінне.

З'єднання металоконструкцій виконується за допомогою зварювання. Виробнича дільниця оснащена провідними напівавтоматами в середовищі вуглекислого газу, зварювальними апаратами для ручного електродугового зварювання, а також в середовищі аргону. Зварні з'єднання виконуються різними способами - це можуть бути стикові, кутові, напусткові, таврові і торцеві з'єднання різних елементів металевої конструкції.

Отже, перед нами стоїть завдання виготовлення легкої металічної конструкції, а саме виготовлення елементів газового котла. Даний котел складається з наступних основних зварних частин [1]:

- топка (рис.1.2);
- обичайка (рис.1.3);
- конвективний канал (рис.1.4)
- та інших частин (патрубки, ніжки і т.д.).

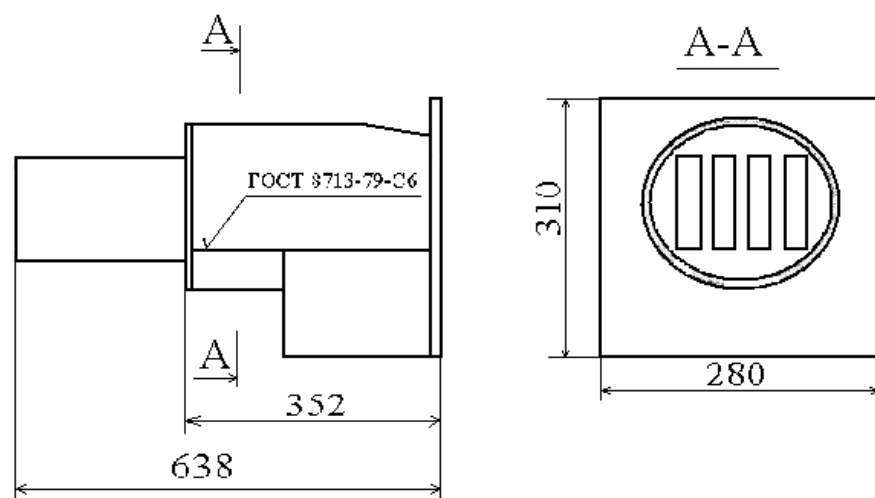


Рисунок 1.2 – Ескіз зварної топки

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

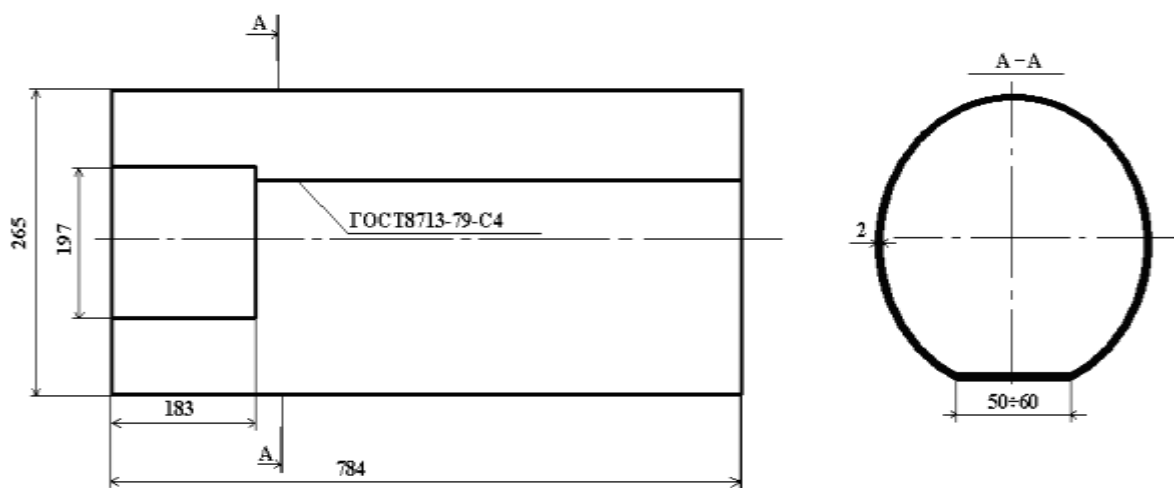


Рисунок 1.3 – Ескіз зварної обичайки

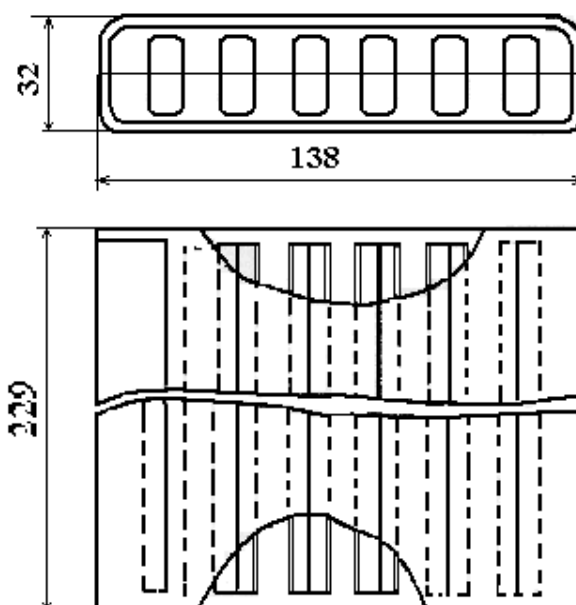


Рисунок 1.4 – Ескіз зварного конвективного каналу

1.2 Характеристика технологічності конструкції котла КС-ГВ-10

Ознаками технологічності є конструктивна подібність та уніфікація, матеріаломісткість та розкрій а також доступністю виконання зварних швів.

Так як дана конструкція розділена на три чіткі вузли (топка, обичайка, канал), то є можливість застосовувати паралельне складання. Топка та конвективний канал можуть зварюватися на окремих постах одночасно.

Обичайка виготовляється з листа шляхом вальцювання, що є найбільш технологічним варіантом. Мінімальна кількість відходів при прямокутному розкрої.

Топка та канал виготовляється методом гнуття із листів, що дозволяє зменшити витрати матеріалу.

Складальна придатність (доступність швів) вузла визначається вільним доступом пальника напівавтомата до швів. Конструкція конвективного каналу є спроектована так, щоб зварник міг накласти герметичний шов зсередини або щоб вузол збирався "назовні" робочими полками.

Наявність ніжок та патрубків як окремих частин дозволяє проводити фінальне складання на стапелі, що забезпечує точність геометрії готового виробу.

У місцях переходу від жорсткого конвективного каналу до тонкої обичайки можуть виникати термічні напруження. Тому доцільно передбачити плавні переходи або компенсаційні зазори.

Конструкція є високотехнологічною для умов серійного або дрібносерійного виробництва завдяки:

- Поєднанню високопродуктивного шовного зварювання та універсального напівавтоматичного;
- Вузловому принципу складання.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення даної зварної конструкції (котла) використовується низьковуглецева листова сталь марки Ст3сп. Дана сталь групи А поставляється за механічними властивостями згідно ГОСТу 380-60. Хімічний склад, механічні властивості та інші дані приведені в (табл.1.1 та 1.2).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад низьковуглецевої сталі Ст3сп, % [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.14 - 0.22	0.15 - 0.3	0.4 - 0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі Ст3сп [1]

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Згин
245	380-490	25	—	—	d=1,5a
Твердість матеріала Ст3сп ,				НВ 10 -1 = 131 МПа	

Сталь Ст3сп застосовується:

- для виготовлення листів, несучих елементів зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють при додатніх температурах, фасонного і листового прокату (5-ї категорії);
- для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях: при товщині прокату до 25 мм в інтервалі температур від -40 °С до +425 °С, при товщині прокату понад 25 мм - від -20 °С до +425 °С за умови постачання із гарантованою зварюваністю;
- заготовок деталей трубопровідної арматури;
- поковок січенням до 300 мм. класів міцності КП 175, КП 195;

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виготовлення зварних переходів, фланців, зварних трійників і інших фасонних деталей трубопроводів АС з температурою експлуатації від -20 °С до +200 °С.

Примітка межа розкислювання - Сп. Сортовий, смуговий і фасонний прокат виготовляється класом міцності 265 при перетині до 20 мм. При зміцнюючій обробці (регламентується або контролюється) прокатка чи прискорене охолодження) поставляється прокат перетином до 20 мм. класів міцності 295, 325 і 345. Сталь Ст3сп забезпечує клас міцності листового, широкосмугового універсального прокату і гнутих профілів КП 265 при товщині прокату до 20 мм. без застосування додаткової зміцнюючої обробки.

Яке відомо зварюваність сталей - це їхня здатність утворювати міцні, монолітні з'єднання без тріщин і дефектів під впливом зварювальної дуги. На зварюваність значно впливає хімічний склад сталі. Зварюваність сталі змінюється залежно від вмісту вуглецю та легуючих елементів. Вплив окремих елементів проявляється по-різному, особливо в поєднанні з вуглецем.

Основні ознаки, що характеризують зварюваність сталей, — схильність до утворення тріщин.

Знаючи хімічний склад сталі, можна визначити її зварюваність за еквівалентним вмістом вуглецю, який визначають за формулою (1.1) [3]:

$$C_{\text{æä}} = \tilde{N} + \frac{\tilde{Ii}}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}, \% \quad (1.1)$$

де символи кожного елемента означають максимальний вміст його в даній марці сталі у відсотках.

Для даної сталі, підставивши числові значення у вираз, отримаємо Секв:

$$C_{\text{æä}} = 0,22 + \frac{0,65}{20} + \frac{0,3}{15} + \frac{0,03 + 0 + 0}{10} = 0,2455(\%).$$

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одержаний за цією формулою еквівалентний вміст вуглецю вказує про зварюваність сталей.

- добра зварюваність сталі (Секв не більше 0,25%);
- задовільна зварюваність сталі (Секв = 0,25 ÷ 0,35%);
- обмежена зварюваність сталі (Секв= 0,35 ÷ 0,45%);
- погана зварюваність сталі (Секв більше 0,45%).

Отже, дана сталь СтЗсп відноситься до сталей які добре зварюються.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Технологічний розділ містить практичну частину виготовлення продукції, вибір основного та допоміжного зварювального обладнання. Розрахунок режимів зварювання, розроблення різного роду пристроїв для автоматизації та механізації даного виробництва.

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

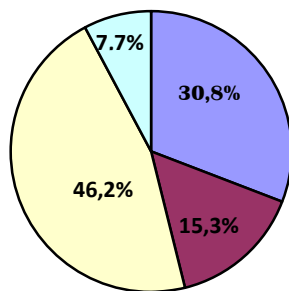
Вибір способу зварювання залежить насамперед від серії виробництва або річної програми випуску деталей. Оскільки підприємство є масового виробництва, тому тут широко використовують такі види зварювання як в захисних газах (85%) і контактне шовне зварювання (15%). Використання автоматизованих видів зварювання є доцільним.

Важливою перевагою напівавтоматичного зварювання є порівняно висока продуктивність і забезпечення високої якості зварних з'єднань, а також можливість зварювання важкодоступних місцях та простота переналаштування на інші зварювальні режими. Вуглекислий газ значно дешевший за флюс.

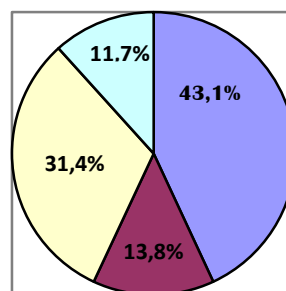
Економічний ефект від застосування зварювання у вуглекислому газі істотно залежить від товщини зварювальних деталей, типорозмірів з'єднання, розташування в просторовому положенні, діаметра електродного дроту, і режиму зварювання. Собівартість 1 кг наплавленого металу при зварюванні у вуглекислому газі завжди менша, як при газовому і ручному дуговому зварюванні (рис 2.1).

Тому, враховуючи вищенаведені аргументи доцільно використовувати зварювання в середовищі захисних газів [4].

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



При зварюванні в CO₂



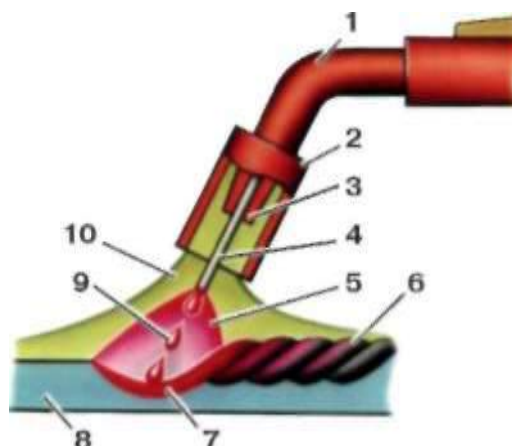
При ручному дуговому зварюванні

Рисунок 2.1 – Структура собівартості 1 м шва при зварюванні

Для зварювання половин конвективного каналу найкраще використовувати контактне шовне зварювання, що вимагає меншої затрати часу і матеріалів. Застосування контактного шовне зварювання дозволяє автоматизувати процес. Шовне зварювання в порівнянні з іншими є досить простим. Використання іншого виду зварювання для даного з'єднання є економічно не вигідно.

Для отримання при дуговому зварюванні високоякісних з'єднань необхідний захист зони дуги і розплавленого металу від шкідливого впливу повітря, а в деяких випадках легування і металургійну обробку металу шва. При зварюванні в захисних газах для захисту зони дуги і розплавленого металу використовують газ, який подається струменем за допомогою пальника. В якості захисного газу використовують аргон, гелій, азот, водень, кисень, вуглекислий газ та їх суміші, але в даному випадку – це вуглекислий газ (CO₂)

Зварювання в захисних газах можна виконувати плавким і не плавким електродом. При зварюванні плавким електродним дуга горить між електродним дротом, який безперервно подається в дугу, і виробом (рис. 2.2). Дуга розплавляє дріт і кромки виробу, утворюючи загальну зварювальну ванну. У міру переміщення дуги зварювальна ванна кристалізується, утворюючи шов, який з'єднує кромки деталей [4].



- 1 – Пальник; 2 – Сопло; 3-Струмопровідний наконечник;
 4 - електродний дріт; 5 - Зварювальна дуга; 6 - зварний шов;
 7 - Зварювальна ванна; 8 - Основний метал;
 9 - Краплі електродного металу; 10 – Газовий захист.

Рисунок 2.2 - Схема зварювання плавким електродом у середовищі вуглекислого газу

Застосування плавких електродів, для зварювання у вуглекислий газі характеризується тим, що наявність окисної атмосфери призводить до вигорання вуглецю й легуючих компонентів з металу, а також до появи пор у шві. Також такий процес супроводжується підвищеним розбризкуванням металу.

Таким чином, для запобігання вище зазначених недоліків Необхідно було зменшити окисний потенціал газової фази. Це було досягнуто шляхом застосування електродного дроту, легованого марганцем і кремнієм, які є гарними розкислювачами. Введення додаткової кількості розкислювачів у зону дуги зменшує окислювання вуглецю й вигорання інших елементів з металу, що запобігає утворенню пор і забезпечує одержання швів з досить високим механічними властивостями [4].

При зварюванні металів плавленням відкритою дугою непокритими або тонко покритими електродами розплавлений метал не захищений від

контакту з повітрям і тому, інтенсивно насичується азотом і киснем. Ці гази, розчиняючись в металі, погіршують його властивості. Азот, з'єднуючись із залізом, утворює досить тверді хімічні сполуки - нітриди Fe_2N і Fe_4N , що надають металу шва підвищену твердість і крихкість. Надмірне насичення рідкого металу зварювальної ванни азотом призводить до утворення пор в затверділому шві. Кисень при відсутності або недостатньому вмісті в металі кремнію, марганцю та інших елементів-розкислювачів з'єднується із залізом, утворюючи нетривку речовину - окис заліза FeO , - частково спливає на поверхню шва, а частково залишаються в ньому. Володіючи більш низькою температурою затвердіння, ніж сталь, окис заліза розташовується по границях зерен металу, завдяки чому шов стає неміцним і крихким. Зварні вироби з такими швами не можуть експлуатуватися в умовах впливу значних напружень, тим більше динамічних (ударних). У зв'язку з цим одним з головних факторів, що забезпечують отримання якісних з'єднань металів за допомогою зварювання плавленням, є захист рідкого металу від контакту з повітрям. З цією метою для напіваавтоматичного зварювання використовують захисні гази.

Ефективним і економічним засобом захисту рідкого металу від повітря при дуговому зварюванні є вуглекислий газ.

В даний час зварювання у вуглекислому газі все більш широко застосовується як в Україні, так і за її межами.

На відміну від інертних газів (аргону і гелію) і фторидних (безкисневих) флюсів вуглекислий газ в умовах горіння електричної дуги являється окислювальним середовищем подібно кислим марганцевим високо кремнієвим флюсам. Як при зварюванні під кислим флюсом, так і при зварюванні у вуглекислому газі відбувається окислення металу і вигорання елементів, які володіють значною хімічною спорідненістю до кисню. Разом з тим металургійні реакції захисного середовища з металом при зварюванні у вуглекислому газі докорінно відрізняються від реакцій взаємодії

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розплавленого металу і шлаку при зварюванні під флюсом. Якщо в останньому випадку окислення вуглецю, хрому, титану і алюмінію відбувається головним чином за рахунок кисню оксидів кремнію і марганцю (SiO_2 , MnO), що містяться у флюсі (причому кремній і марганець при цьому відновлюються з оксидів флюсу і переходять у шов), під час зварювання у вуглекислому газі має місце тільки окислення (вигорання) елементів, у тому числі кремнію і марганцю за рахунок кисню газової фази [3].

Вигорання відбувається за рахунок окислювальної дії як вуглекислого газу, так і атомарного кисню, який утворюється в результаті дисоціації вуглекислого газу під дією високої температури дуги (рис. 2.3).

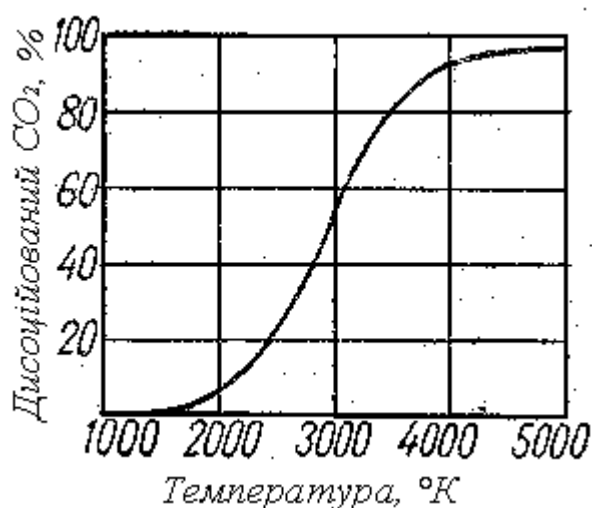


Рисунок 2.3 - Графік залежності дисоціації вуглекислого газу від температури.

При зварюванні взаємодія рідкого металу і газу відбувається доволі енергійно, незважаючи на короткочасність їх контактування. Це пояснюється виключно високими температурами в зоні зварювання і великими питомими поверхнями контактування металу і газу.

Окислення елементів залежить від їх концентрації у зоні зварювання та від спорідненості до кисню, яке в свою чергу змінюється для кожного

елемента із зміною температури. Так, при температурах нижче температури затвердіння найбільш сильним розкислювачем є кремній, за ним ідуть ванадій, хром, вуглець і марганець. З підвищенням температури розкислююча сила елементів змінюється. При температурі трохи вище температури затвердіння металу (1600 °) розкислюючи здатність кремнію зменшується в порівнянні з алюмінієм, титаном та вуглецем. В інтервалі найбільш високих температур (в дуговому проміжку і в рідкій ванні поблизу дуги) найбільшою спорідненістю до кисню володіють алюміній, титан, вуглець, кремній, марганець і т. п. При відсутності в металі алюмінію та титану основними розкислювачами зварювальної ванни є вуглець, кремній і марганець.

При достатньому вмісті розкислювачів (Si, Mn і ін) у зварювальній ванні реакція не відбувається.

Безперервний вихід оксидів вуглецю, кремнію, марганцю і інших елементів-розкислювачів із зони реакцій в повітря (CO) або шлак (MnO, SiO₂ та ін) сприяє протіканню реакцій в напрямку окислення [3].

Контактне шовне зварювання - спосіб контактного зварювання, при якому між зварюваними деталями утворюється неперервне з'єднання (шов) шляхом накладання послідовного ряду точок які перекривають одна одну. Таке з'єднання забезпечує отримання герметичних (щільних) швів. У разі шовного зварювання підвід струму до деталей і їх пересування здійснюють переважно за допомогою двох обертових дискових електродів (роликів) 1, зв'язаних з приводом зусилля стиску зварювальної машини (рис.2.3,б). Як і у випадку точкового зварювання, метал нагрівається імпульсами струму різної форми без застосування спеціальних засобів захисту рідкого металу від атмосфери.

Можна виділити деякі види шовного зварювання, і зокрема, за способом підведення струму, за числом роликів і одночасно зварюваних швів (рис. 2.4,в), Імпульси струму можуть подаватися при безперервному обертанні

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

виробу чи електродів або в момент їх короткочасної зупинки (крокове зварювання).

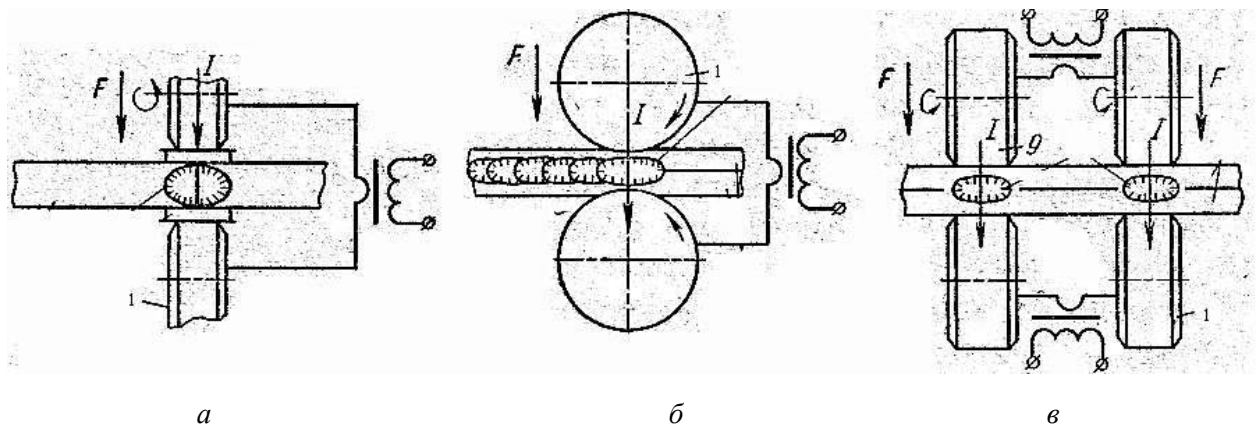


Рисунок 2.4 – Схеми шовного зварювання

Останнім часом при виготовленні листових конструкцій досить поширено використовують шовно-стикове зварювання (рис.2.4,а). При цьому струмопідвідні - ролики 1 рухаються уздовж стику деталей і при подачі імпульсу струму відбувається плавлення металу.

Шовним зварюванням зазвичай з'єднують деталі товщиною 0,05-6 мм. Однак цей діапазон іноді розширюється. Деталі під зварювання виготовляють з листових металів, пресованих напівфабрикатів (труб, профілів) та ін.

З'єднання які потребують герметичності зварюють за допомогою контактної шовної зварювання. Іноді на шовних машинах виконуються точкові з'єднання.

Основний тип з'єднання – напусткове. Воно повинно бути спроектовано з урахуванням специфіки шовного зварювання з металу з гарною зварюваністю, при строгому дотриманні номінальних розмірів литого ядра, ширини шва, кроку між точками.

Загальна схема технологічного процесу виробництва зварних вузлів.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

За допомогою шовного зварювання найчастіше виготовляють вузли (секції). Потім їх з'єднують між собою зварюванням, заклепками, гвинтами і т.п.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів посідає одне з важливих місць у правильному розробленні технології зварювання. Адже вибір матеріалів безпосередньо впливає на структуру зварного з'єднання та його подальшу несучу здатність та довговічність.

Зварювальні матеріали вибираються в залежності від хімічного складу сталі та величини механічних характеристик. Хімічний склад повинен бути практично однаковим або коливатися в допустимих межах (до 1%) і враховувати особливості того чи іншого виду зварювання (вигорання та випаровування деяких компонентів). Механічні характеристики (межа міцності та межа текучості) повинні бути однаковими або й перевищувати значення основного металу.

Як уже наводилося вище, для проведення зварювальних робіт ми будемо використовувати наступні зварювальні матеріали:

- зварювальний дріт марки Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70.
- захисний газ по ГОСТ 8050-85 (CO_2).

Зварювальний дріт марки Св-08Г2С виготовляють по ГОСТ 2246-70. Даний дріт є низьковуглецевим і легованим та найчастіше використовується при зварюванні в захисних газах. Хімічний склад дроту Св-08Г2С приведено в (табл.2.1) [5].

Таблиця 2.1– Хімічний склад дроту Св-08Г2С, % [8]

Хімічний елемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Вміст, %	0,05-0,11	0,70-0,95	1,80-2,10	$\leq 0,025$	$\leq 0,030$	$\leq 0,20$	$\leq 0,25$

Даний дріт містить підвищений вміст кремнію і марганцю, як розкислювачів заліза у зварювальній ванні. При зварюванні даним дротом метал шва має високі пластичні та механічні характеристики і є несхильним до утворення гарячих та холодних тріщин.

Для зварювання даним дротом використовуємо газ CO_2 , який виготовляються згідно ГОСТ 8050-85.

Вуглекислий газ володіє підвищеним вмістом води (оскільки добре розчиняється у воді). Для зменшення попадання вологи в зону зварювання вуглекислий газ необхідно пропускати через спеціальний вологозатримувач.

В більшості випадків для зварювання використовують вуглекислий газ, який поставляється у стисненому вигляді в спеціальних балонах ємкістю 40 л., під тиском 50-60 атм. Але в даному випадку, коли виробництво великої серійності доцільно використовувати централізоване живлення вуглекислим газом зварювальні пости від цехової мережі. Тиск в мережі не повинен перевищувати 4 атм. і автоматично підтримувати постійний тиск за допомогою регулювальних клапанів [6].

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Розрахунок режимів напівавтоматичного зварювання в CO_2

Правильний вибір режимів зварювання відіграє вирішальну роль при формуванні зварного з'єднання та його подальшої експлуатаційної надійності. Оскільки причини виникнення майже всіх технологічних дефектів – це неправильний підбір зварювальних режимів.

Режими для кожного виду зварювання є практично однаковими, тільки деякі з них змінюються в залежності від його виду. Режими поділяються на основні та допоміжні. Основні режими найбільше впливають на формування зварного з'єднання, а допоміжні – відіграють суміжну роль, хоча також впливають як на формування, так і на якість зварного з'єднання.

До основних режимів напівавтоматичного зварювання відносять:

- Діаметр зварного дроту, d .

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Силу зварювального струму, $I_{зв}$, його рід та полярність.
- Напругу зварювальної дуги, U_d .
- Швидкість зварювання, $v_{зв}$.

До допоміжних режимів зварювання відносять:

- Швидкість подачі дроту, $v_{нд}$.
- Витрата газу, Q_c .

Як уже згадувалось раніше для зварювання елементів котла ми будемо використовувати зварні з'єднання С2, У4 (ГОСТ 14771-76). На (рис. 2.5 та 2.6) зображено зварні з'єднання зі всіма величинами конструктивних елементів [2].

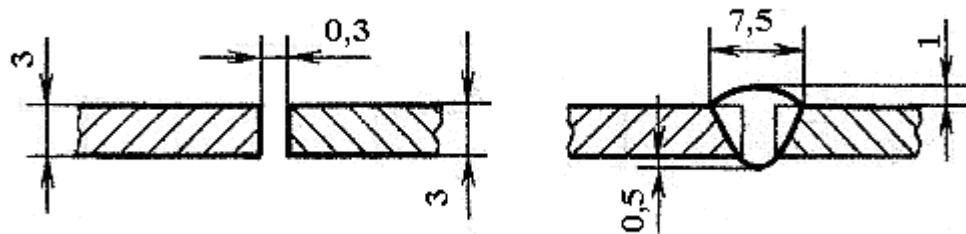


Рисунок 2.5 – Зварне з'єднання С2 ГОСТ 14771-76

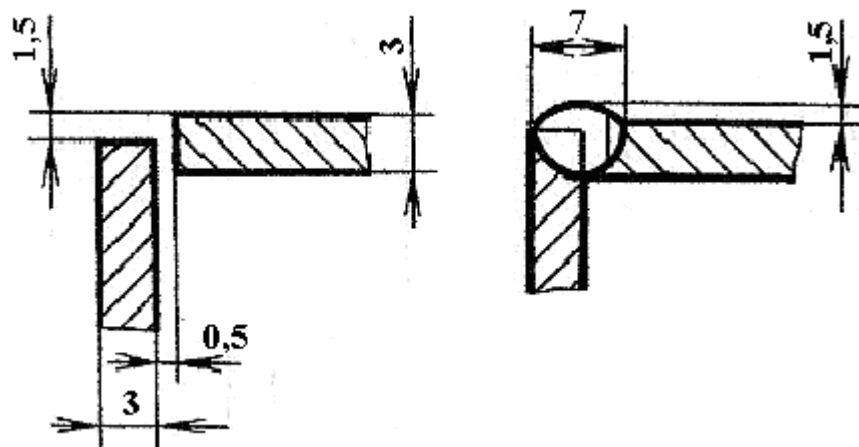


Рисунок 2.6 – Зварне з'єднання У4 ГОСТ 14771-76

Визначаємо діаметр зварного дроту для з'єднань С2 і У4. Значення діаметру зварного дроту сильно впливає на величину сили зварювального струму, швидкості зварювання, глибини проплавлення, довжини

зварювальної дуги. Збільшення діаметра дроту при незмінному зварювальному струмі приводить до підсилення блукання активної плями по січенню електроду і поверхні зварної ванни, внаслідок чого глибина проплавлення і ширина шва зменшується [7].

Вибір зварювального дроту проводимо з довідника зварника.

Таблиця 2.4 – Рекомендовані значення зварювального дроту [6]

Товщина листа, мм	1 ÷ 2	3 ÷ 6	6 ÷ 24 і більше
Діаметр електродного дроту d, мм	0.8 ÷ 1.0	1.2 ÷ 1.6	2.0

Отже для даних товщин вибираємо зварювальний дріт діаметром 1,2 мм.

Сила зварювального струму, його рід та полярність. Сила зварювального струму при зварюванні проявляється, в тому що із збільшенням струму збільшується тиск стовпа дуги на поверхню рідкого металу, дуга занурюється в основний метал. Зростає кількість розплавленого металу за одиницю часу та погонна енергія, в результаті цього збільшується глибина проплавленого металу, а ширина шва не змінюється.

Маючи значення діаметру зварного дроту, можна визначити величину сили зварювального струму за наступною формулою:

$$I_{\text{сд}} = \frac{d^2 \times j}{1,13^2} \text{ А} \quad (2.2)$$

де j - густина струму, А/мм^2 (приймається в залежності від d дроту); для $d=1,2$ знаходиться в межах $150-350 \text{ А/мм}^2$;

Визначаємо $I_{\text{зв}}$ для з'єднання С2:

Підставивши числові значення у вираз, отримаємо:

$$I_{\text{сд}} = \frac{1,2^2 \times 200}{1,13^2} = 230 \text{ А}$$

Визначаємо $I_{\text{зв}}$ для з'єднання У4:

Кутові шви добре формуються на режимах при яких густина струму j , приймається в середніх значеннях. Отже:

$$I_{\text{сд}} = \frac{1,2^2 \times 250}{1,13^2} = 280 \text{ А}$$

Зварювання в середовищі CO_2 плавким електродом проводиться на постійному струмі, оберненої полярності. При зварюванні на прямій полярності спостерігається підвищене, інтенсивне розбризкування. Зварювання на прямій полярності характеризується підвищеною схильністю до пороутворення.

Напруга зварювальної дуги залежить в основному від діаметру зварювального дроту та сили струму.

Напругу зварювальної дуги можна визначити за наступною формулою:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d}} \cdot I_{\text{сд}} \pm 1(\text{В}), \quad (2.3)$$

Визначаємо $U_{\text{д}}$ для з'єднання С2. Підставивши числові значення у формулу, визначаємо напругу на дузі, яка становить:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 230 \pm 1 \approx 30, \text{ В}$$

Визначаємо $U_{\text{д}}$ для з'єднання У4:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 280 \pm 1 \approx 32, \text{ В}$$

Швидкість зварювання являється однією з основних величин які впливають на зварювання. Із збільшенням швидкості переміщення дуги, стовп дуги відхиляється в сторону протилежну напрямку переміщення. Внаслідок чого збільшується горизонтальна складова тиску дуги на розплавлений метал і з-під дуги витісняється більше рідкого металу. Тому товщина шару рідкого металу зменшується і глибина провару зростає.

Швидкість зварювання можна визначити за наступною формулою:

$$V_{\text{сд}} = \frac{\alpha_{\text{д}} \cdot I_{\text{сд}}^2}{F_{\text{д}} \cdot \rho \cdot 100} \quad (\text{м / год}), \quad (2.4)$$

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де a_n - коефіцієнт наплавлення, $г/А год$; $12,0-16,0 г/А год$;

F_n - площа проходу, $см^2$.

q - густина сталі, $7,85 г/см^3$.

Оскільки, в нас деталі маленької товщини зварювання буде проводитися за один прохід. Площа шва визначається за наступною формулою:

$$F = (6 \div 12) d_{\text{д}} \quad (2.5)$$

Визначаємо для з'єднання С2:

$$F = 11 \cdot 1,2 = 13,2, \text{ мм}^2;$$

Отже, величина швидкості зварювання дорівнює:

$$V_{\text{сА}} = \frac{14 \cdot 230}{0,132 \cdot 7,85 \cdot 100} = 31, \text{ м / год};$$

Визначаємо для з'єднання У4:

$$F = 10 \cdot 1,2 = 12, \text{ мм}^2;$$

Тоді, величина швидкості для даного з'єднання становить:

$$V_{\text{сА}} = \frac{13 \cdot 280}{0,12 \cdot 7,85 \cdot 100} = 38, \text{ м / год};$$

Визначимо величину швидкості подачі дроту за наступною формулою:

$$V_{\text{д}} = \frac{4 \alpha_{\text{д}} \cdot V_{\text{сА}}}{\pi d^2 \cdot j}, (\text{м / год}). \quad (2.6)$$

Знаходимо швидкість подачі дроту для зварного з'єднання С2, підставивши у вираз числові значення, отримаємо:

$$V_{\text{д}} = \frac{4 \times 14 \times 230}{3,14 \times 1,2^2 \times 7,85} = 362,9, \text{ м / год};$$

Знаходимо швидкість подачі дроту для зварного з'єднання У4:

$$V_{\text{д}} = \frac{4 \times 13 \times 280}{3,14 \times 1,2^2 \times 7,85} = 410, \text{ м / год};$$

Кількість витраченого газу безпосередньо впливає на якість та формування зварного з'єднання. Так, зі збільшенням витрати газу зменшуються коефіцієнти розплавлення і наплавлення, оскільки при цьому стовп дуги інтенсивно охолоджується газом.

					КРБ.ЗТ-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину витрати газу вибираємо з довідників табл. 2.5 в залежності від сили зварювального струму та напруги на дузі [6].

Таблиця 2.5 - Залежність витрати вуглекислого газу

Сила зварювального струму, А	50 ÷ 60	90 ÷ 100	150 ÷ 160	220 ÷ 240	280 ÷ 300
Напруга на дузі, В	17 ÷ 28	19 ÷ 20	21 ÷ 22	25 ÷ 27	28 ÷ 31
Розхід CO ₂ , л/хв	8 ÷ 10	8 ÷ 10	9 ÷ 10	15 ÷ 16	15 ÷ 16

Отже, вданому випадку витрата вуглекислого газу становитиме 15÷16 л/хв.

Прихоплення. Оскільки в нас деталі не великої товщини і дані режими забезпечують повне проплавлення, то прихоплення виконуються на цих самих режимах із довжиною і кроком вибраним з таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Залежність довжини прихваток і відстані між ними від товщини металу та довжини шва[6]

Товщина металу, мм	≤5	≥5
Довжина шва, мм	≤150-200	≥200
Довжина прихоплень, мм	≤5	20-30
Відстань між прихватками, мм	50-100	300-500

Розрахунок режимів шовного зварювання

Нероз'ємні з'єднання при зварюванні – це результат утворення хімічних зв'язків між атомами з'єднувальних поверхонь, на що в умовах шовного зварювання затрачається теплова і механічна енергія. Для того, щоб отримати надійне з'єднання потрібно вибрати і розрахувати зварювальні режими. До основних режимів шовного зварювання відносять:

- Сила зварювального струму, $I_{зв}$.
- Час зварювання, $t_{зв}$.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- Зварювальне зусилля, $P_{зв}$.
- Час паузи, t_n .
- Розміри робочої поверхні, f_p, R_p, D_p .

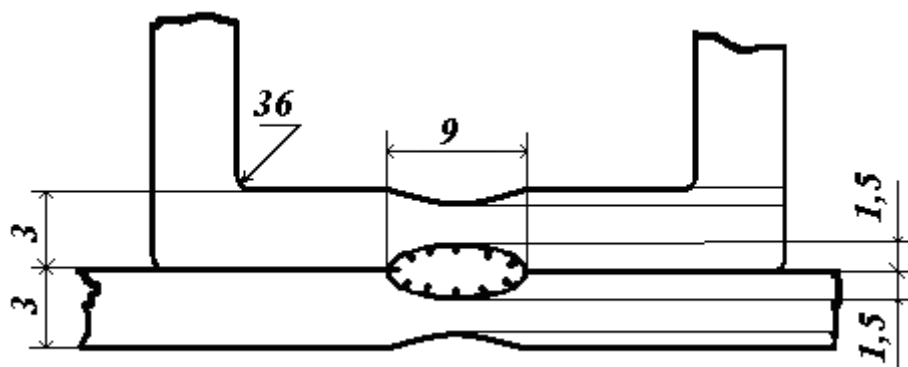


Рисунок 2.7 – Зварне з'єднання Кш-3 ГОСТ 15878-79

Розмір литого ядра зварного з'єднання забезпечує головну ціль всього зварювання – досягнення міцнісних характеристик з'єднання. Тому розмір литого ядра зварного з'єднання являється вихідним параметром режиму зварювання, регламентується ГОСТ 15878-79 в залежності від товщини деталі і визначається за наступною (2.17) формулою:

$$d = 3 \cdot S, \quad (2.7)$$

де S – товщина деталі ($S=3\text{мм}$);

Отже,

$$d = 3 \cdot 3 = 9, \quad \text{її}$$

Зварювальний струм – виконавчий параметр від якого залежить якість зварювання, величина якого визначається за формулою (2.18):

$$I_{\hat{n}\hat{a}} = 0,3 \hat{E}_{\hat{n}} h_{\hat{i}} \sqrt{\frac{T\lambda}{\eta_{\tau}\rho}}, \quad (2.8)$$

де K_c – коефіцієнт жорсткості режиму зварювання ($K_c=100$);

h_n - глибина проплавлення ($h_n = (0,2-0,8)S = 1,5\text{мм}$);

λ – теплопровідність ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$);

ρ – частковий опір ($\text{Ом} \cdot \text{м}$);

η_{τ} – термічний ККД зварювання;

T – температура плавлення матеріалу деталі (K).

Отже, підставивши числові значення у вираз, отримаємо:

$$I_{\tilde{n}\tilde{a}} = 0,3 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{(1500 + 273) \cdot 0,06 \cdot 10^3}{0,25 \cdot 1,26 \cdot 10^{-6}}} = 20387, (\text{A})$$

Час зварювання – провідний параметр шовного зварювання який зручно представляти у вигляді формули (2.19):

$$t_{\zeta\hat{a}} = \hat{E}_{\tau} Sh_i / \alpha, \quad (2.9)$$

Де K_{τ} – коефіцієнт, який враховує теплофізичні властивості матеріалу ($K_{\tau}=2,5$);

S – товщина деталі ($S=3\text{мм}$);

h_n - глибина проплавлення ($h_n = (0,2-0,8)S = 1,5\text{мм}$);

α – температуропровідність даного матеріалу (з довідника);

Тоді,

$$t_{\zeta\hat{a}} = 2,5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} / 8 \cdot 10^{-6} = 0,28, \text{ } \tilde{n};$$

Вторинний струм можна визначити за формулою (2.20):

$$I_{2p} = I_{\zeta\hat{a}} + I_{\sigma}, \quad (2.10)$$

де $I_{\text{зв}}$ – зварювальний струм;

$I_{\text{ш}}$ – струм шунтування, приймається ($I_{\text{ш}}=0,2 \quad I_{\text{зв}}=0,2 \cdot 20387=4077,4 \text{ (A)}$).

Тоді,

$$I_{2p} = 20387 + 4077 = 24464 (\text{A})$$

Швидкість шовного зварювання знаходимо за формулою (2.21):

$$\nu = 60 \cdot t / \tau_{\tilde{o}}, \quad (2.11)$$

де t – крок між точками;

$\tau_{\text{ц}}$ - час циклу.

Отже,

$$\nu = 60 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3} / 0,56 = 0,4 \text{ } \hat{i} / \hat{o}\hat{a}$$

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля стиску роликів – один із важливіших параметрів зварювання. Воно регулює інтенсивність нагріву в зоні зварювання і визначає степінь її пластичної деформації. Із збільшенням зусилля стиску зменшуються контактні і власні опори деталей і знижується щільність струму в них.

Зусилля стиску електродів залежить від товщини і механічних властивостей зварювальних деталей і від тривалості нагріву. Орієнтовано при зварюванні низько вуглецевої сталі можна визначити зусилля стиску із таблиці (2.4) довідник шовного зварювання для низько вуглецевої сталі. Вибираємо $P_{зв} = 9,5 \text{ кН}$.

Час паузи .Час протягом якого вимикається зварювальний струм і проходить процес осадки. Час паузи вибираємо з (табл.2.7) і цей час становить: $t_n = 0,28 \text{ с}$.

Таблиця 2.7 – Орієнтовані режими контактного шовного зварювання низько вуглецевих сталей

$S, \text{мм}$	$t_n, \text{с}$	$P_{зв}, \text{кН}$
0,8	0,06	2...2,5
1	0,08	2,5...3
1,2	0,1	3...4
1,5	0,12	4...5
2	0,16	6...7
3	0,28	9...10

Розміри робочої поверхні роликів вибираємо з (таблиці 2.8).

Розміри робочої поверхні безпосередньо являються основним параметром режиму зварювання і залежить від товщини деталей.

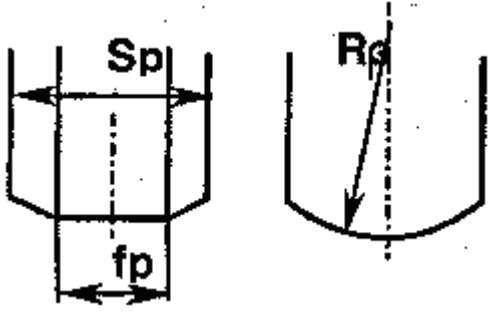
Отже, для даної товщини вибираємо:

$$S_p, \text{мм} = 20$$

$$f_p, \text{мм} = 10$$

$$R_p, \text{мм} = 200$$

Таблиця 2.8 – Рекомендовані розміри робочої поверхні (роликів)

Товщина деталі, мм	Розмір роликів		
			
	S_p , мм	f_p , мм	R_p , мм
0,5	8	4	25-50
1,0	10	5	75-100
2,0	15	8	100-150
3,0	20	10	150-200
4,0	24	11	200-250

Саме на таких зварювальних режимах буде проводитися зварювання конвективного каналу, а саме скобів до короба.

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

На сьогоднішній день ринку представлена велика кількість апаратів для зварювання в середовищі захисних газів різних фірм і виробників. Тому вибір зварювального обладнання не є гострим питанням і при наявності відповідних коштів усувається досить легко.

До основного зварювального обладнання, яке використовується для зварювання в середовищі захисних газів відносять:

Пульт управління.

Пристрій подачі дроту.

Джерело живлення.

До суміжного (допоміжного) зварювального обладнання відносять: пальник, балон з газовою сумішшю, редуктор та з'єднувальні кабелі.

Вибір зварювального напівавтомата для автоматизованих або інтенсивних ручних ліній зварювання визначається необхідністю забезпечення високої продуктивності, стабільності технологічного процесу та мінімізації витрат на післязварювальну обробку.

Для зварювання конструкцій із низьковуглецевих та низьколегованих сталей середньої товщини (2...6 мм) у мовах масового виробництва доцільно використовувати промислові зварювальні напівавтомати з інверторним джерелом живлення.

Для забезпечення безперервного циклу виробництва ключовим параметром є тривалість навантаження (ТН). При роботі на струмах 150...300 А, що є типовими для зварювання середніх товщин дротом діаметром 1,2 мм, обладнання повинно мати показник ТН не менше 60...100%. Це мінімізує ризик спрацювання термічного захисту та простою лінії. Використання трифазних джерел живлення (380 В) є обов'язковим для забезпечення рівномірного навантаження на мережу та стабільності дуги при коливаннях напруги.

При зварюванні середніх товщин важливо забезпечити глибоке проплавлення при мінімальному розбризкуванні. Сучасні напівавтомати мають підтримувати такі режими:

- Синергетичне керування: автоматична корекція швидкості подачі дроту та напруги на дузі, що дозволяє швидко переналаштовувати пост під різні типи з'єднань (таврові, стикові, нахлесточні).

- Імпульсний режим (Pulse): забезпечує кероване крапельне перенесення металу. Це критично для зменшення обсягів шліфувальних робіт, оскільки практично виключає налипання бризок на поверхню листів.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи специфіку масового виробництва, де довжина зварювальних швів або габарити виробів можуть бути значними, висуваються підвищені вимоги до механізму подачі:

- Чотириролковий привід: гарантує стабільну швидкість подачі дроту без деформації його профілю, що особливо важливо при використанні пальників довжиною понад 3 метри.

- Модульна конструкція: використання виносних блоків подачі дроту (закритого або відкритого типу) підвищує мобільність робочого місця та захищає зварювальний дріт від забруднення цеховим пилом.

При тривалій експлуатації на високих режимах (струми понад 250 А) повітряне охолодження пальників є недостатнім. Для масового виробництва стандартом є використання блоків примусового рідинного охолодження. Це дозволяє:

- 1) Подовжити ресурс витратних частин пальника (газових сопел, струмопровідних наконечників).
- 2) Забезпечити комфортну роботу зварювальника протягом усієї зміни.
- 3) Стабілізувати параметри дуги за рахунок відсутності перегріву силового кабелю пальника.

Таким чином, для виготовлення конструкцій із листової сталі середньої товщини в умовах масового виробництва пропонується використання промислового зварювального комплексу з цифровим синергетичним керуванням та рідинним охолодженням, що забезпечить високу якість з'єднань згідно з ДСТУ EN ISO 5817.

Для реалізації технологічного процесу зварювання котла КС-ГВ-10 промисловий зварювальний напівавтомат інверторного типу Fronius TransSteel 3500 Synergic (виробництво Австрія) з виносним пристроєм подачі дроту VR 5000 (рис. 2.8) [8].

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.8 – Зварювальний напіваавтомат Fronius TransSteel 3500 Synergic

Дане обладнання обране з огляду на його спеціалізацію («Steel Design») та наступні конструктивні переваги:

1) Цифрове синергетичне керування: Апарат містить базу даних зварювальних параметрів для різних комбінацій газів та діаметрів дроту. Зварювальнику достатньо обрати товщину металу, а система автоматично встановлює швидкість подачі та напругу, що критично для підтримки темпу масового виробництва.

2) Інтелектуальна система подачі дроту: 4-роликовий привід у поєднанні з виносною туреллю дозволяє працювати у радіусі до 15-20 метрів від джерела живлення, що зручно при зварюванні габаритних рамних конструкцій.

3) Функція Steel Transfer Technology: Спеціальні режими дуги (Steel Root, Steel Dynamic) оптимізовані для глибокого проплавлення кореня шва на середніх товщинах без ризику пропалів.

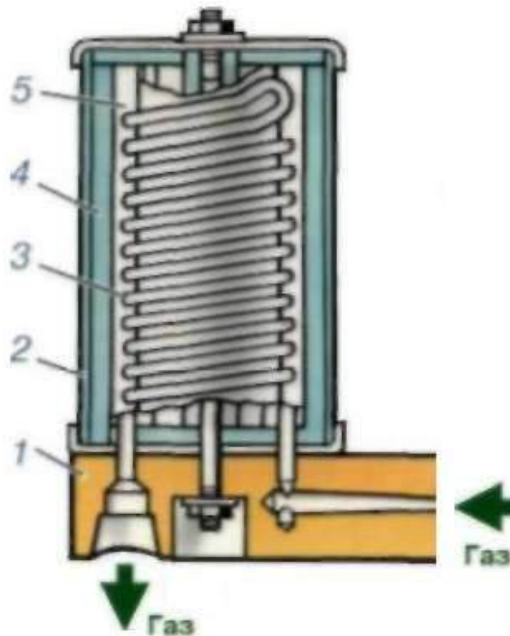
					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Технічні характеристики даного напівавтомата наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики Fronius TransSteel 3500 Synergic

Параметри	Значення
Напруга мережі, В	380
Рід зварювального струму	постійний
Межі регулювання зварювального струму, А	10-350
Діаметр зварювального дроту, мм	0,8-1,4
Межі регулювання швидкості подачі зварювального дроту, м/хв	0,5-25
Максимальний розхід газу, л/хв	15
Кількість роликів подавального механізму	4

Підігрівач (рис.2.9) - використовується тільки при зварюванні у вуглекислому газі. Випаровування рідкого CO₂, при великій його витраті призводить до різкого пониження температури. Волога, що міститься в газі, замерзає в редукторі, а це може призвести до аварії [9].



1 – Корпус; 2 – Кожух; 3 – Змійовик; 4 – Теплоізоляція;
5 - Нагрівальний елемент.

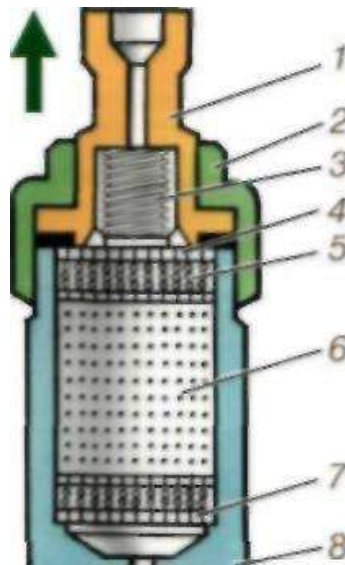
Рисунок 2.9 – Підігрівач вуглекислого газу

Для безпеки підігрівач живиться постійним (20 В) або змінним (36 В) струмом.

Осушувач (рис.2.10) –призначений для поглинання вологи із вуглекислого газу.

Випускається двох модифікацій: високого і низького тиску. Осушувач високого тиску встановлюють перед регулятором (редуктором), а низького - після нього.

Волого - поглинаючою речовиною служить сілікагель або алюмогліколь. Шляхом прожарювання при 250-300 °С, ці речовини піддаються відновленню.



1 – Втулка; 2 - Накідна гайка; 3 – Пружина; 4 – Сітка; 5 – Фільтр;
6 - осушуючий матеріал; 7 - Сітчаста шайба; 8 – Корпус.

Рисунок 2.10 – Осушувач CO₂

Для контактного шовного зварювання наринку представлені зварювальні установки в дещо меншій кількості як для напівавтоматичного зварювання, але їхня кількість не створює проблем вибору потрібного обладнання. Контактні шовні машини вибирають в залежності зварювальних товщин.

Для реалізації технодлогічного процесу виготовлення котлів КС-ГВ-10 доцільно застосувати контактні шовні машини МШ 3207 (рис.2.11 і табл.2.10).



Рисунок 2.11 – Контактна шовна машина (МШ 3207)

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика МШ 3207

Параметри	Значення
Товщина звар. дет., мм	0,5+0,5 - 3+3
Звар. струм, кА	32
Виліт, мм	400
Напруга, В	380
Найбільша потужність при короткому замиканні, кВА	290
Потужність при ПВ="50%," кВА	270
Найбільший вторинний струм, кА	32
Номинальний тривалий вторинний струм, кА	22
Виліт поперечний, мм	800
Розчин, мм	105
Зусилля стиснення, ДаН	190-1350
Хід верхнього електроду, мм	50
Витрата охолоджуючої води, л/год	2000
Діаметр електродів (верх./нижн.), мм	280/220
Зварювана товщина:	
низьковуглецева сталь	0,5+0,5 3,0+3,0
Маса, кг	1550
Габарити (ДхШхВ), мм	2200x650x2030

Призначена для зварки низьковуглецевих (без покриттів) і неіржавіючої сталей в умовах роботи в потокових лініях.

Особливості:

- поперечний шов;
- привід обертання на нижній ролик, що унеможливорює пробуксовку при зварці закруглень малих діаметрів;
- можлива попарна установка машин з відстанню 15 мм між одночасно зварюваними швами.

Дана машина (МШ-3207), має сім ступенів регулювання зварювального струму. Комбінації регулювання вибиті на металевій пластині, яка розташована на дверцятах контактної машини. Для потрібного (розрахованого чи вибраного з таблиць) зварювального струму, за допомогою барабанного перемикача здійснюється ступеневе регулювання. При повороті рукоятки ковзаючі контакти за допомогою пружини притискаються до мідної панелі барабану, цим самим регулюючи струм.

Контактор, який встановлений в первинній обмотці зварювального трансформатора служить для включення і виключення зварювального струму.

Привід електродів електромеханічний. Електроди стискають деталі, переміщаючи їх, підводять струм і відводять частину теплоти. Електроди зношуються із-за нагрівання і пластичної деформації. Чим вища температура і зусилля в контакті електрод-деталь, тим інтенсивніше буде зношування електродів. Також зношування залежить від матеріалу роликів. Для низько вуглецевих сталей, при шовному зварюванні використовується бронза, яка по відношенню до міді довговічніша. Згідно ГОСТу електрод із мідно-кадмієвого сплаву повинен витримати до 300 точок, а із бронзи Бр.Х до 5000 точок. Але заміна електродів після кожних 5000 точок є економічно невигідна, тому електроди потрібно відновлювати, не знімаючи їх із

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

контактної машини. Електроди відновлюються за допомогою правлення стальними роликами, що продовжує їх експлуатацію до 3500 точок.

Для виконання прихоплень обираємо контактну точкову машину МТ-2103 (рис.2.12).

МТ-2103 призначена для зварювання деталей з низьковуглицевих сталей, нержавіючої сталі марки 12Х18Н9Т, титанових сплавів, хрестоподібних з'єднань стрижнів арматури [9].



Рисунок 2.12 – Контактна шовна машина МТ-2103

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика МТ-2103

Параметри	Значення
Джерело живлення частотой 50 Гц, В	380
Потужність при (ПВ), кВА	122(50%)
Найбільший вторинний струм, кА	21
Найбільше зусилля стиску, даН	2350
Зварювальні товщини низько вуглецева сталть,мм	від 0,8 + 0,8 до 6,0 + 6,0

2.2 Технологічна послідовність процесу виготовлення котла КГ-ГВ-10

Технологічний процес виготовлення котла починається з підготовки деталей та вузлів, з подальшим складанням та зварюванням і завершується контролем якості.

2.2.1 Заготівельні операції

До основних операцій підготовки належать:

- розкрій металу;
- правка заготовок;
- механічна обробка крайок;
- очищення поверхонь;
- контроль геометричних розмірів.

Розкрій листового металу виконується газокисневим або плазмовим різанням. Після термічного різання крайки зачищають від окалини та напливів металу.

На цьому етапі готуються всі деталі корпусу, теплообмінника та водяної сорочки.

Перш ніж різати, необхідно перевірити якість прокату. Важливо, щоб листи були рівними, без глибокої корозії та розшарувань. Для виготовлення теплообмінника тиа ГВП використовують безшовні або електрозварні труби, які перед застосуванням повинні бути перевірені на цілісність шва.

Перед розміткою та різкою метал очищують від консерваційного мастила, бруду та іржі. Це критично для подальшого зварювання, щоб уникнути пор у швах. Часто використовується механічне очищення (щітки, шліфмашинки) або хімічне знежирення.

Розкрій (різання) - це перетворення великого листа на окремі деталі (стінки топки, сорочки, дверцята).

Для виготовлення основних елементів котла застосовується механічна різка з використанням гільйотинних ножиць для прямих різів, а також

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

плазмова або лазерна різка. Вона дозволяє з високою точністю вирізати отвори під жарові труби, патрубки та складні контури дверцят. Лазер дає ідеальну кромку, яка не потребує додаткової обробки перед зварюванням.

Гнуття деталей. Замість того, щоб зварювати кути з окремих смуг, основні вузли (наприклад, П-подібна частина топки або зовнішній кожух) виготовляються методом гнуття. Виконується на листозгинальних пресах з ЧПК. Кожен зігнутий кут замінює один зварний шов. Менше швів — менше шансів на протікання та деформацію конструкції при нагріванні.

Труби теплообмінника різуться в розмір на стрічкопилкових верстатах, що забезпечує ідеально перпендикулярний зріз.

Кінці труб трохи розширюють (розвальцьовують) для кращого прилягання до трубної дошки перед вварюванням.

2.2.2 Технологія складання та зварювання

Складально-зварювальні операції є найбільш відповідальним етапом, оскільки саме тут формується герметичність водяного контуру та міцність конструкції, що працюватиме під тиском і впливом високих температур.

1) Складання та зварювання внутрішнього контуру (Топки)

Топка - це найвідповідальніша частина котла, де відбувається передача тепла від продуктів згоряння до води. Тому внутрішня камера (топка) зварюється в єдиний вузол.

Стінки топки фіксуються між собою за допомогою струбцин або у складальних кондукторах. Важливо дотримуватися перпендикулярності стінок.

Прихоплювання виконується короткими швами (по 10–15 мм) через кожні 100–150 мм. Це запобігає перекосу деталей під час основного зварювання.

Зварювання швів: Проводиться суцільним швом. Зварювання ведуть «від середини до країв», щоб зменшити деформації.

2) Встановлення теплообмінних труб.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Труби вставляються в отвори попередньо підготовлених трубних дощок. Кожна труба герметично приварюється до дошки. Тут важливо забезпечити повний провар кореня шва, щоб уникнути витoku теплоносія в топку.

3) Монтаж водяної сорочки. Навколо топки монтується зовнішній лист сталі, утворюючи простір для теплоносія (водяну сорочку).

Внутрішня топка «одягається» у зовнішній корпус. Між стінками топки та зовнішнім листом встановлюються фіксатори, що забезпечують рівномірний зазор для води (зазвичай 20–30 мм). Встановлення анкерних зв'язків: Оскільки водяна сорочка працює під тиском, плоскі поверхні можуть деформуватися («роздутися»). Для цього в стінках свердлять отвори, вставляють сталеві стрижні (анкери), які з'єднують внутрішню і зовнішню стінки, і обварюють їх з обох боків.

4) Встановлення зміювика ГВП (Гарячого Водопостачання)

Оскільки КГ-ГВ-10 забезпечує і гарячу воду то у водяну сорочку вмонтовується мідний або сталевий зміювик. Виводи зміювика виводяться назовні через отвори в корпусі та герметично обварюються або ущільнюються різьбовими з'єднаннями.

5) Приварювання функціональних вузлів (приварювання патрубків). Встановлюються штуцери для подачі/реверсу води та гільза для датчика температури. Приварюються штуцери для входу та виходу теплоносія (діаметром 1.5 або 2 дюйми). Приварюється фланець для приєднання тягопереривача або димохідної труби. Приварюються кронштейни для встановлення газового пальника та панелі керування.

Після завершення зварювання кожного герметичного контуру обов'язково проводиться візуально-вимірювальний контроль (ВВК). Шви перевіряються на відсутність підрізів, непроварів та пор.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Зварювальні напруження та деформації — це неминучий наслідок нерівномірного нагріву металу. У процесі виготовлення котлів, де багато довгих швів та з'єднань «труба-лист», боротьба з ними є критично важливою для збереження геометрії та міцності конструкції.

Заходи поділяють на три етапи: конструктивні, технологічні та післязварювальні.

1) Конструктивні заходи (на етапі проєктування).

Правильне проєктування дозволяє мінімізувати причини виникнення напружень:

- Мінімальна кількість швів. Використання гнутих профілів замість зварних кутів;

- Уникнення скупчення швів. Шви не повинні перетинатися або бути занадто близько один до одного, щоб не створювати зони жорсткої напруги;

- Симетрія: Розташування швів симетрично відносно головної осі деталі (це допомагає силам деформації «гасити» одна одну).

2) Технологічні заходи (під час складання та зварювання).

Це найбільш ефективні методи, які застосовуються безпосередньо в цеху.

а) порядок накладання швів

- Зворотньоступеневий метод. Довгий шов розбивається на ділянки по 150–200 мм, і кожна ділянка вариться у напрямку, протилежному загальному напрямку зварювання. Це дозволяє металу «дихати» і зменшує поздовжню усадки;

Зварювання «від центра до країв». При зварюванні плоских листів (наприклад, стінок водяної сорочки) це дозволяє напруженням виходити на периферію.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

б) попередній зворотний прогин (деформація);

Деталь перед зварюванням навмисно згинають у бік, протилежний тому, куди її «потягне» зварка. Після охолодження шов вирівнює деталь до потрібного стану.

в) жорстка фіксація;

Використання складальних кондукторів, струбцин та пристосувань. Деталь жорстко закріплюється до масивного стола, що не дає їй деформуватися під час нагріву. Жорстка фіксація зменшує деформацію, але збільшує внутрішні напруження, тому після зняття з кондуктора деталь може трохи змінити форму.

3) Заходи під час зварювання:

- Зменшення сили струму та використання дроту меншого діаметру знижує тепловкладення. Чим менше тепла потрапляє в метал, тим менша деформація.

- Попередній підігрів металу (особливо для товстих листів) зменшує температурний градієнт між зоною шва та основною деталлю.

4) Післязварювальні заходи (виправлення);

Якщо деформації все ж виникли, застосовують:

- Механічне виправлення: Вальцювання, правка на пресах або ударами молотка (проковування шва, поки він ще теплий, для зняття напружень).

- Термічна правка: Вибіркове нагрівання газовим пальником «випуклих» місць. При охолодженні нагріта зона стискається і вирівнює площину.

- Відпал: Поміщення готового теплообмінника в піч для рівномірного нагріву та повільного охолодження. Це повністю знімає внутрішні пікові напруження.

При зварюванні котла КГ-ГВ-10 найбільші деформації будуть виникати при зварюванні стінки водяної сорочки, оскільки вона є тонкостінною. Щоб цього уникнути, потрібно встановлювати анкерні зв'язки (розпірки) до

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основного зварювання периметра. Вони створять внутрішній каркас жорсткості, який утримає площину листа під час накладання зовнішніх кутових швів.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Технологічний процес виготовлення котлів КГ-ГВ-10 передбачає також технічний контроль та випробування, а саме застосовуються наступні види контролю:

1) Вхідний контроль. Перевірка матеріалів до початку робіт:

- Сертифікати: Перевірка відповідності марки сталі (СтЗсп) та труб технічним умовам (ТУ);

- Візуальний огляд: Пошук розшарувань, раковин та глибокої корозії на листах;

- Перевірка товщини листа мікрометром (допуски мають бути мінімальними для герметичності).

2) Операційний зварювальний контроль. Виконується безпосередньо під час складання:

- Контроль складання під зварювання: Перевірка зазорів між деталями та якості прихоплень;

- Візуально-вимірний контроль (ВВК): Перевірка катета шва, відсутності підрізів, напливів та видимих пор;

- Перевірка герметичності: Капілярний метод для перевірки щільності швів топки.

3) Гідравлічні випробування (опресування). Це фінальний і найважливіший етап перевірки водяного контуру:

- Усі патрубки, крім одного, глушаться;

- Котел заповнюється водою, витісняючи повітря;

- Насосом створюється тиск $P = 1.5$ від робочого;

- Витримка під тиском — не менше 10–15 хвилин;

- Падіння тиску на манометрі свідчать про наявність браку.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після зварювання елементів газового котла обов'язково проводиться контроль якості зварних з'єднань. Вибір методу контролю якості залежить від самої зварної конструкції. Для оцінки якості зварного з'єднання ми будемо використовувати візуально-інструментальний контроль та ультразвуковий, тому що інші методи є більш дорогими і вимагають більше часу і в даному випадку є не доцільними.

Візуальному оглядові піддають зварний шов і зону основного металу на відстані 20 мм, яка прилягає до нього від границі шва по всій протяжності зварного з'єднання з двох сторін.

Інструментальний контроль здійснюється з метою [10]:

- перевірки відповідності розмірів та форми зварних швів елементів обладнання вимогам нормативної документації та паспортним даним;
- визначення розмірів поверхневих дефектів, виявлених під час візуального контролю (вм'ятин, тріщин, корозійних ушкоджень).

Зварні з'єднання часто порівнюють по зовнішньому вигляду із спеціальними еталонами. Геометричні параметри швів вимірюють з допомогою шаблонів або вимірювальних інструментів. Тільки після проведення зовнішнього огляду зварні шви піддають контролю іншими фізичними методами для виявлення внутрішніх дефектів[10].

Візуальний контроль зварних швів та оцінювання його результатів для остаточного приймання повинен виконувати атестований та досвідчений персонал. Рекомендовано, щоб персонал був атестований відповідно до ISO 9712 або еквівалентного стандарту відповідного рівня у відповідному секторі виробництва.

Після візуального контролю для оцінки якості зварних з'єднань конвективного каналу і топки, обичайки, ми будемо використовувати ультразвуковий метод контролю.

Ультразвуковий метод контролю призначений для виявлення у швах стикових, кутових, таврових і напусткових зварних з'єднань непроварів,

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тріщин, несплавлень, пор і жужільних включень, розміри яких перебувають у межах чутливості методу [11]. Характер дефектів і їхніх дійсних розмірів не визначаються.

Ультразвуковому контролю підлягають зварні з'єднання з повним проплавленням елементів, що зварюються, які задовільняють вимоги дефектоскопії, коли:

- співвідношення ширини валика (розмірів катетів у кутових, таврових і напусткових) у стикових з'єднаннях і товщини металу в з'єднанні забезпечує можливість прозвучування всього перерізу шва акустичною віссю ультразвукового променя;

- є вільний доступ до пришовної зони (зоні контролю) контрольованої ділянки шва по обидва боки однієї площини стикового з'єднання .

- з протилежної поверхні листів у зоні контролю відсутні приварені монтажні елементи, а також вм'ятини, подрізи і бризки металу, які можуть привести до відбиття від них ультразвукових коливань;

- радіус кривизни листів, що зварюються, у будь-якому перерізі не менше 500 мм.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних пристосувань

Компонування складально-зварювальних пристосувань для газових котлів типу КГ-ГВ-10 має забезпечувати точне взаємне розташування деталей, мінімізацію зварювальних деформацій та зручність доступу до швів. Оскільки конструкція такого котла зазвичай складається з топки, водяної сорочки (обичайки) та конвективного пучка труб, то необхідно сконструювати складальні пристосування для кожного елемента.

3.1.1 Пристрій для зварювання топки

Зварювання топки котла КГ-ГВ-10 — це найбільш відповідальний етап, оскільки саме цей вузол безпосередньо контактує з факелом пальника та піддається найбільшим термічним навантаженням. Пристрій (кондуктор) для зварювання топки має забезпечувати жорстку фіксацію геометрії, щоб уникнути «пропелерності» та забезпечити герметичність швів.

В умовах даного масового виробництва, де кількість деталей складає 10000 штук, практично неможливий технологічний процес виготовлення зварних елементів котла без використання різного роду пристроїв, таких як пристрій для зварювання топки. Пристрій дозволяє швидко і якісно закріплювати деталі топки і зварювати їх.

Для топки прямокутної або складної форми найкраще підходить кондуктор рамного типу з внутрішніми або зовнішніми фіксаторами, що складається з наступних елементів:

- Основа. Рама з швелерів, яка виступає «базовою» площиною.
- Кутові упори. Вертикальні стійки, що виставлені точно під кутом 90° відносно основи, які фіксують бічні стінки топки.
- Притискні механізми (гвинтові). Для силового притискання товстостінних деталей.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Головна проблема при зварюванні топки — «стягування» стінок всередину через усадку зварних швів [12]. Тому необхідно при зварюванні застосовувати розсувні гвинтові розпівки, які встановлюються всередину топки перед зварюванням. Вони тримають внутрішній об'єм і не дають стінкам вигинатися. Також застосовуються тимчасові розпівки, які прихоплюються зварюванням всередині, а після охолодження вузла зрізаються.

Оскільки КГ-ГВ-10 має конвективну частину, топка повинна бути ідеально зістикована з трубною решіткою (дошкою). Пристрій має фіксувати трубну решітку паралельно днищу топки. Для цього використовують дистанційні штанги або фіксовані упори на стійках кондуктора.

3.1.2 Розрахунок гвинтового притискача

Розрахування зусилля затискання — це критичний етап, оскільки воно повинно бути достатнім для утримання деталей від зміщення під час термічного розширення, але не надмірним, щоб не деформувати сам метал (особливо якщо стінки топки мають товщину 3–4 мм).

Для розрахунку ми використовуємо методику опору матеріалів та враховуємо сили, що виникають при зварюванні [13].

Для надійної фіксації деталі в кондукторі розрахункове зусилля P , H визначається за формулою:

$$P_z = K \times P_s \quad (3.1)$$

де:

P_s — сили, що намагаються змістити деталь (власна вага + сили температурної деформації)

K — коефіцієнт запасу. Для ручного зварювання приймають $K = 1,5 - 2,0$, для автоматизованого — до 2,5.

Найбільша сила, з якою доводиться боротися — це поперечна усадка шва.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

При зварюванні сталі товщиною 3–5 мм, погонна енергія викликає внутрішні напруження. Емпірично встановлено, що для запобігання викривленню листів, затискач повинен створювати питомий тиск приблизно 50–100 кгс на 1 погонний метр шва. Якщо довжина стінки топки котла КГ-ГВ-10 складає, наприклад, 600 мм (0,6 м), то необхідне сумарне зусилля на цю сторону:

$$P = 100 \text{ кгс/м} \cdot 0,6 \text{ м} = 60 \text{ кгс} = 600 \text{ Н}.$$

Зусилля, яке розвиває гвинт, розраховується за формулою:

$$Q = \frac{M_{\text{кр}}}{r_{\text{ср}} \times \tan(\alpha + \rho)} \quad (3.2)$$

де:

$M_{\text{кр}}$ — момент, прикладений до рукоятки (зазвичай людина може прикласти 10–15 Нм);

$r_{\text{ср}}$ — середній радіус різьби;

α — кут підйому різьби;

ρ — кут тертя (для сталі по сталі $\approx 6-8^\circ$).

Гвинт М12 звичайної точності при затягуванні рукою без зусиль створює затискне зусилля близько 3000–5000 Н (300–500 кг), що з великим запасом перевищує потреби для зварювання топки котла.

В кондукторі також використовуються швидкі ексцентрикові затискачі, зусилля яких розраховується через плече важеля. Зазвичай такі пристрої дають зусилля 150–250 кг, що ідеально підходить для тонколистових деталей.

Для рівномірного розподілу зусилля вздовж шва топки крок затискачів має бути не більше 300–400 мм.

Затискач повинен знаходитися на відстані 30–50 мм від лінії шва. Якщо поставити занадто близько — він буде заважати соплу пальника, якщо занадто далеко — лист може вигнутися "хвилею" між затискачем і швом.

Для зварювання топки КГ-ГВ-10 доцільно використовувати 4 гвинтові затискачі М12–М16 (по два з кожного боку).

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3 Пристрій для зварювання патрубків

Зварювання патрубків (входу/виходу води, газоходу, штуцерів) до корпусу котла КГ-ГВ-10 вимагає суворого дотримання співвісності та перпендикулярності. Навіть невелике відхилення призведе до того, що при монтажі системи опалення фланці або різьбові з'єднання не «зійдуться».

Для цього використовують спеціалізовані кондуктори для встановлення та зварювання патрубків. Він дозволяє значно скоротити час на складально-зварювальні операції і збільшити якість зварних з'єднань.

Типове пристосування складається з наступних елементів:

- Базова плита або кронштейн. Кріпиться безпосередньо до корпусу котла або до основної зварювальної рами;

- Фіксує палець (шпіндель). Входить всередину патрубка. Його діаметр має бути на 0,5–1.0 мм меншим за внутрішній діаметр патрубка для легкого знімання.

- Притиска гайка або швидкий затискач. Фіксує патрубок на пальці, притискаючи його торцем до корпусу котла.

- Установчі призми. Якщо патрубок кріпиться до циліндричної частини обичайки, використовують призматичні опори для самоцентрування.

Кондуктор базується по отвору в корпусі котла. Палець пристрою вставляється в заздалегідь прорізаний отвір у стінці котла, патрубок одягається зверху і фіксується. Після виконання прихоплювальних швів пристрій знімається, і проводиться остаточне обварювання. Всі патрубки (подача, обрата, газохід) виставляються одночасно відносно однієї бази. Це гарантує ідеальну міжосьову відстань.

Між торцем патрубка та корпусом має бути невеликий зазор (зазвичай 1–2 мм) для повного провару кореня шва. Це забезпечується дистанційними шайбами на пальці кондуктора.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Якщо патрубок має зовнішню різьбу, палець кондуктора повинен повністю її закривати або мати захисну втулку, щоб бризки розплавленого металу не пошкодили витки.

Якщо патрубок обварюється зсередини, пристосування не повинно перекривати вихід газів, щоб не утворювалися пори в зварному шві.

Такий пристрій дозволяє працювати напівавтоматом (MIG/MAG), забезпечуючи рівномірний катет шва по всьому колу.

3.1.4 Кондуктор та пристрій контролю для конвективних каналів

При невеликих деталях, які складаються на переносних пристроях, прихоплення здійснюється на стаціонарних машинах, а при великих навпаки. Кондуктор застосовується для складання і прихоплення половин конвективного каналу, при цьому вже не потрібно перевіряти задані розміри згідно креслень. Ці розміри забезпечуються спеціальним розташуванням канавок закріплених на пластині. В ці канавки вставляються скоби і подаються на прихоплення. Даний кондуктор обладнаний двома точковими контактними машинами МТ-2103, що в двічі прискорює процес прихоплення.

Після прихоплення виріб подається на зварювання, для оцінки надійності зварних з'єднань розроблений спеціальний пристрій. За допомогою цього пристрою виконується перевірка на міцність з'єднання. Пристрій обладнаний пневматичним циліндром, тому виконання контролю і є досить простим, і не вимагає затрат часу на закріплення. Закріплення здійснюється пневматичними затискачами.

3.2 Планування зварювальної ділянки

Планування складально-зварювальної ділянки проводиться з дотриманням таких основних принципів: прямоточність виробничого процесу (рух деталей та вузлів в одному напрямку без зворотних потоків);

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальні відстані транспортування; забезпечення безпечних умов праці відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 та НПАОП 0.00-1.01-18.

3.2.1 Визначення кількості обладнання

Розрахунок необхідної кількості зварювального обладнання базується на зіставленні річної трудомісткості зварювальних робіт та ефективного річного фонду часу роботи обладнання.

Трудомісткість зварювання визначається на основі норм часу на зварювання одиниці довжини шва. Норми прийняті відповідно до «Загальномашинобудівних нормативів часу на ручне дугове зварювання» та нормативів на автоматичне зварювання [15].

Основний час зварювання (t_o) визначається за формулою:

$$t_o = L_{ш} \cdot t_n, \text{ хв} \quad (3.3)$$

де $L_{ш}$ — довжина зварного шва (м); t_n — норма часу на 1 м шва (хв/м).

Підставивши відповідні числові значення у формулу 3.3 визначено час зварювання для розробленого технологічного процесу. Результати проведених розрахунків наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Норми часу зварювання котла КС-ГВ-10

Найменування операції	$L_{ш}$, м	t_n , хв/м	t_o , хв	Кі-ть швів	Загальний час, хв
Зварювання поздовжніх швів корпусу (MIG/MAG)	1,508	4,0	6,03	2	12,06
Зварювання кільцевих швів (MIG/MAG)	0,785	4,5	3,53	4	14,12
Приварювання патрубків Ду50 (MIG/MAG)	0,157	12,0	1,88	6	11,30
Приварювання патрубків Ду25 (MIG/MAG)	0,0785	14,0	1,10	8	8,78
Зварювання конвективних каналів (МШ 3207, шовне)	1,200	2,5	3,00	4	12,00
Зварювання облицювання (КТЗ)	—	—	—	12 точок	8,40
РАЗОМ на 1 виріб	—	—	—	—	66,66

Кількість одиниць зварювального обладнання визначається за формулою:

$$C_n = (N \cdot T_{шт}) / (\Phi_d \cdot 60 \cdot K_v), \text{ шт.}$$

де N — річна програма (2000 шт.); $T_{шт}$ — штучний час на операцію (хв); Φ_d — дійсний річний фонд часу обладнання (3845,6 год); K_v — коефіцієнт виконання норм (1,05–1,15).

Для напівавтомата Fronius TransSteel 3500 Synergic (MIG/MAG):

$T_{шт} = (12,06 + 14,12 + 11,30 + 8,78) \cdot 1,15 = 53,07$ хв (з урахуванням підготовчо-завершального часу, $K_{пз} = 1,15$):

$$C_n = (2000 \cdot 53,07) / (3845,6 \cdot 60 \cdot 1,1) = 106140 / 253810 \approx 0,42$$

Приймаємо $C_{\phi} = 1$ апарат Fronius TransSteel 3500 Synergic. Коефіцієнт завантаження: $K_z = 0,42$.

Для машини контактного шовного зварювання МШ 3207 (конвективні канали):

$$T_{шт} = 12,00 \cdot 1,15 = 13,80 \text{ хв:}$$

$$C_n = (2000 \cdot 13,80) / (3845,6 \cdot 60 \cdot 1,1) = 27600 / 253810 \approx 0,11$$

Приймаємо $C_{\phi} = 1$ машина. Для контактнo-точкового зварювання облицювання: 1 машина КТЗ.

3.2.2 Розрахунок площі ділянки

Площа ділянки визначається з урахуванням площ, які займають: технологічне обладнання та оснащення, робочі місця, проходи та проїзди, місця зберігання міжопераційних запасів.

На етапі проектування загальна площа складально-зварювальної ділянки $F_{д\text{іл}}$, м^2 визначається за питомою площею, що припадає на одну одиницю основного обладнання (або на один зварювальний пост), за формулою [16]:

$$F_{д\text{іл}} = S_{шт} \setminus N_{прийн}$$

де: $N_{прийн}$ — прийнята кількість зварювальних постів (одиниць основного обладнання) на ділянці, шт.;

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$S_{\text{пит}}$ — питома площа, що припадає на один зварювальний пост з урахуванням проходів, проїздів, місць для складування деталей та технологічного обладнання, $\text{м}^2/\text{пост}$.

Питома площа на одиницю основного технологічного обладнання (за нормами технологічного проектування для серійного виробництва):

$$S_{\text{пит}} = 25\text{--}35 \text{ м}^2 \text{ на одиницю основного обладнання.}$$

Значення $S_{\text{пит}}$ приймається відповідно до будівельних та технологічних норм проектування машинобудівних підприємств залежно від габаритів виробів, що зварюються:

- Для дрібних деталей (до 1 м): $S_{\text{пит}} = 15\text{...}25 \text{ м}^2$;
- Для середніх деталей (до 3–4 м): $S_{\text{пит}} = 30\text{...}45 \text{ м}^2$;
- Для великих та великогабаритних конструкцій: $S_{\text{пит}} = 60\text{...}100 \text{ м}^2$;

Площі для кожної одиниці обладнання наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Питомі площі для обладнання

Найменування обладнання / зони	К-сть, шт.	Площа одиниці, м^2	Загальна площа, м^2
Стенд складання корпусу котла	1	12,0	12,0
Робоче місце MIG/MAG зварювання (Fronius TransSteel 3500 Synergic) зі стендом	1	10,0	10,0
Машина контактного шовного зварювання МШ 3207 зі стендом	1	14,0	14,0
Машина КТЗ (облицювання)	1	6,0	6,0
Пост прихватки MIG/MAG (Fronius TransSteel 2200)	1	6,0	6,0
Стенд гідравлічних випробувань	1	8,0	8,0
Стелаж для деталей та заготовок	4	2,0	8,0
Стелаж для готових вузлів	2	2,0	4,0
Робоче місце контролера ВТК	1	4,0	4,0
Шафа для зберігання зварювальних матеріалів	2	1,5	3,0
РАЗОМ (виробнича площа)	—	—	75,0

Допоміжна площа (проходи, проїзди, санітарно-побутові приміщення) приймається в розмірі 30–40% від виробничої площі:

$$S_{\text{доп}} = 75,0 \cdot 0,35 = 26,25 \text{ м}^2$$

Загальна площа ділянки:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{вир}} + S_{\text{доп}} = 75,0 + 26,25 = 101,25 \text{ м}^2$$

Приймаємо розміри ділянки: $12 \times 9 = 108 \text{ м}^2$ (з сіткою колон $6 \times 6 \text{ м}$).

Приймаємо: довжина — 12 м, ширина — 9 м, висота — 4,8 м.

Ділянка організована за принципом предметно-замкнутої ділянки з послідовним розташуванням обладнання відповідно до технологічного маршруту:

- 1) Зона прийому та комплектування деталей (стелажі, вхідний контроль) — площа 10 м^2 .
- 2) Складальний стенд корпусу котла (збирання під зварювання, прихватки Fronius TransSteel 2200) — площа 12 м^2 .
- 3) Робоче місце MIG/MAG зварювання Fronius TransSteel 3500 Synergic (поздовжні, кільцеві шви, патрубки) — площа 10 м^2 .
- 4) Машина контактної шовної зварювання МШ 3207 (зварювання конвективних каналів котла) — площа 14 м^2 .
- 5) Машина контактної-точкової зварювання МТ-2516 (облицювання) — площа 6 м^2 .
- 6) Стенд гідравлічних випробувань (тиск до 0,25 МПа, витримка 10 хв) — площа 8 м^2 .
- 7) Зона контролю ВТК та маркування — площа 4 м^2 .
- 8) Зона готової продукції (стелажі для зберігання) — площа 8 м^2 .

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Безпека праці на складально-зварювальній дільниці є одним із пріоритетних аспектів організації виробничого процесу. Специфіка виготовлення котла КС-ГВ-10 пов'язана з виконанням ручного дугового та напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів (CO_2), що зумовлює наявність комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

4.1 Аналіз небезпечних факторів

Аналіз умов праці виконується відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.0.003:2015 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація». За характером впливу на організм людини фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. На зварювальній дільниці переважають фізичні та хімічні фактори.

Перелік основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час виготовлення котла КС-ГВ-10, нормативні документи та допустимі значення наведено в таблиці 4.1.

Найбільш небезпечними факторами є ураження електричним струмом та вплив зварювального аерозолю. Для зварювання котла застосовується зварювальний напівавтомат з напругою холостого ходу 65–80 В, що відповідає III класу безпеки за ступенем ураження людини електричним струмом. Концентрація зварювального аерозолю без засобів вентиляції може перевищувати ГДК у 5–10 разів, тому ефективна вентиляція є обов'язковою умовою безпечної роботи [17].

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори дільниці

№	Небезпечний/шкідливий виробничий фактор	Нормативне значення / вимога
1	Іонізуюче та ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги	Захисний щиток зварника з фільтром DIN 9–13
2	Зварювальні аерозолі та газу (марганець, оксиди заліза, СО)	ГДК: Mn – 0,2 мг/м ³ ; оксиди Fe – 6 мг/м ³ ; СО – 20 мг/м ³
3	Шум від зварювального та допоміжного обладнання	Допустимий рівень звуку – не більше 80 дБА
4	Ураження електричним струмом (напруга холостого ходу до 80 В)	Клас захисту обладнання – не нижче IP21; заземлення
5	Розбризкування розплавленого металу та шлаку	ЗІЗ: костюм брезентовий, рукавиці, черевики шкіряні
6	Підвищена температура поверхонь обладнання та виробів	Температура доторкуваних поверхонь – не вище 45 °С
7	Пожежна небезпека (іскри, бризки металу)	Категорія пожежної небезпеки приміщення – Г

4.2 Заходи з безпеки праці

4.2.1 Електробезпека

Електрична безпека на зварювальній дільниці забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.29-10 «Правила безпечної роботи під час виконання зварювальних робіт» та НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

Зварювальне обладнання підключається до мережі 380 В з глухозаземленою нейтраллю. Захисне заземлення корпусів усього електрообладнання виконується згідно з ПУЕ-2017 з опором заземлювального пристрою не більше 4 Ом. Зварювальні кола вважаються колами безпечної напруги лише за умови надійного захисного заземлення.

Основні технічні заходи з електробезпеки:

– застосування зварювального обладнання з класом захисту не нижче IP21 (захист від крапель води і твердих часток діаметром ≥ 12 мм);

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

– обов'язкове захисне заземлення (занулення) корпусів усіх електроустановок;

– застосування пристроїв автоматичного вимкнення холостого ходу джерела зварювального струму при перерві в роботі;

– виконання зварювальних проводів із мідних жил із перерізом, що відповідає струму навантаження (не менше 25 мм² при струмі до 300 А);

– використання гумових діелектричних матів на підлозі кожного зварювального поста;

– заборона виконання зварювання в умовах підвищеної вологості без спеціальних заходів захисту.

Опір ізоляції зварювальних кабелів перевіряється не рідше одного разу на 3 місяці мегаомметром; значення опору має бути не менше 0,5 МОм. Захисне заземлення перевіряється щорічно з вимірюванням опору.

Розрахунок захисного заземлення виконується для умов ґрунту середньої вологості (питомий опір ґрунту $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Опір одиночного вертикального заземлювача (стержень діаметром 16 мм, довжиною $l = 3,0 \text{ м}$, верхній кінець на глибині $t_0 = 0,7 \text{ м}$):

$$R_{od} = (\rho / 2\pi \cdot l) \times [\ln(2l/d) + 0,5 \times \ln((4t + l)/(4t - l))],$$

де $t = t_0 + l/2 = 0,7 + 1,5 = 2,2 \text{ м}$ – глибина середини електрода; $d = 0,016 \text{ м}$.

$$R_{od} = (100 / 2\pi \times 3) \times [\ln(2 \times 3 / 0,016) + 0,5 \times \ln((8,8 + 3) / (8,8 - 3))]$$

$$R_{od} = 5,305 \times [\ln(375) + 0,5 \times \ln(2,034)] = 5,305 \times [5,927 + 0,353] = 33,3 \text{ Ом}.$$

Необхідна кількість заземлювачів при нормованому опорі $R_n = 4 \text{ Ом}$ і коефіцієнті використання $\eta = 0,72$ (для 4 стержнів у ряд):

$$n = R_{od} / (R_n \times \eta) = 33,3 / (4 \times 0,72) \approx 11,6 \rightarrow \text{приймаємо } n = 12 \text{ стержнів}.$$

Стержні розташовуються по периметру будівлі на відстані 5 м один від одного та з'єднуються сталевією смугою 40×4 мм. Фактичний опір заземлювального пристрою з урахуванням горизонтальних з'єднувачів не перевищує 3,8 Ом, що задовольняє вимогу $R_n \leq 4 \text{ Ом}$.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.2 Вентиляція та мікроклімат

Вентиляція є основним засобом нормалізації повітряного середовища зварювальної дільниці. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 та НПАОП 0.00-1.29-10 на дільниці передбачається комбінована вентиляційна система: загальнообмінна приточно-витяжна та місцева витяжна.

Місцева витяжна вентиляція (витяжні зонти-парасольки над кожним зварювальним постом) є основним заходом боротьби зі зварювальним аерозолем. Вона захоплює забруднене повітря безпосередньо в зоні його утворення та видаляє назовні через систему повітропроводів. Продуктивність місцевої витяжки – не менше 1800 м³/год на один зварювальний пост [18].

Параметри мікроклімату та вентиляції зварювальної дільниці наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату та вентиляції дільниці

Параметр	Норма (ДСН 3.3.6.042-99)	Прийняте значення	Примітка
Кратність повітрообміну, год ⁻¹	≥ 6	8	Загальнообмінна вентиляція
Температура повітря (холодний період), °С	≥ 16	18	Опалення + приточна вент.
Температура повітря (теплый період), °С	≤ 28	≤ 26	Приточна вентиляція
Відносна вологість повітря, %	40–75	40–60	–
Швидкість руху повітря (робоча зона), м/с	≤ 0,3	0,2–0,3	–
Об'єм відсмоктування місцевої витяжки, м³/год	≥ 1500	1800	На кожне зварювальне місце

Розрахунок необхідного повітрообміну для розбавлення зварювального аерозолю виконується за формулою:

$$L = (G \times 1000) / (q_{доп} - q_{пр}),$$

де G – кількість шкідливої речовини, що виділяється за одиницю часу, г/год; $q_{доп}$ – гранично допустима концентрація речовини, мг/м³; $q_{пр}$ – концентрація речовини в приточному повітрі, мг/м³ (приймається $0,3 \cdot q_{доп}$).

Для зварювального аерозолі в цілому при витраті зварювального дроту 3 кг/год (3 поста $\times$ 1 кг/год): $G = 3 \times 25 = 75$ г/год (питоме виділення аерозолі ~ 25 г/кг дроту). ГДК зварювального аерозолі – 4 мг/м³ (за ГОСТ 12.1.005):

$$L = (75 \times 1000) / (4 - 0,3 \times 4) = 75000 / 2,8 \approx 26\,786 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Оскільки більша частина аерозолі вловлюється місцевою витяжною (ефективність 90 %), потреба загальнообмінної вентиляції становить: $L_{\text{зо}} = 0,10 \times 26\,786 \approx 2680$ м³/год. Кратність повітрообміну за об'ємом ділянки (54 м² $\times$ 5,4 м = 291,6 м³): $K = 2680 / 291,6 \approx 9,2$ год⁻¹, що перевищує нормативне значення (6 год⁻¹).

4.2.3 Пожежна безпека

Пожежна безпека ділянки забезпечується відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», ДСТУ Б В.1.1-36:2016 та ДБН В.1.1-7:2016. За класифікацією виробництв за пожежовибухонебезпекою ділянка відноситься до категорії Г – виробництва з обробки негорючих речовин у гарячому стані, що супроводжується виділенням іскор і полум'я.

Основними джерелами займання є: іскри та краплі розплавленого металу при зварюванні; нагрітий метал виробу та оснащення; несправне електрообладнання. Пожежне навантаження ділянки формується горючими матеріалами: дерев'яні стелажі, ізоляція кабелів, промащувальні матеріали та ганчір'я.

Організаційно-технічні заходи з пожежної безпеки:

- встановлення металевих захисних екранів та завіс для захисту горючих матеріалів від іскор і бризок металу;
- заборона зберігання горючих рідин і матеріалів у межах зварювального поста (відстань не менше 5 м від місця зварювання);
- застосування вогнезахисної обробки дерев'яних конструкцій та кабельних лотків;

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

– розміщення первинних засобів пожежогасіння: вогнегасники ВП-9 (порошковий) – 2 шт., ВВК-2 (вуглекислотний) – 2 шт., ящик з піском 0,5 м³ – 1 шт., пожежний щит;

– обладнання ділянки автоматичною пожежною сигналізацією (теплові сповіщувачі ПП-103-4/1) з виведенням сигналу на центральний пост охорони;

– наявність двох евакуаційних виходів шириною не менше 1,0 м, позначених відповідними знаками безпеки.

4.2.4 Засоби індивідуального захисту

Забезпечення працівників ділянки засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) здійснюється відповідно до Наказу Мінсоцполітики № 629 від 29.11.2018 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту». Зварники та складальники забезпечуються ЗІЗ, наведеними нижче.

ЗІЗ для органів зору та обличчя: щиток зварника зі світлофільтром класу DIN 10 при зварювальному струмі до 200 А, DIN 11 – до 300 А (відповідно до ДСТУ EN 175). Захисні окуляри закритого типу ЗНГ або ЗНД для виконання підготовчих і зачищувальних операцій.

ЗІЗ органів дихання: напівмаска з комбінованими фільтрами класу РЗ (захист від аерозолів) та А2 (захист від органічних газів і пари) – ДСТУ EN 143. При роботі в обмеженому просторі – шланговий протигаз ПШ-1.

ЗІЗ рук і тіла: рукавиці зварника (краги) з жаростійкою шкіри, костюм брезентовий зварника з вогнестійким просоченням (ДСТУ EN ISO 11611), черевики шкіряні на маслобензостійкій підшві зі сталевим носком (клас захисту S3).

ЗІЗ від шуму: протишумові навушники або вкладиші типу «Беруші» з показником послаблення $SNR \geq 25$ дБ застосовуються при рівні шуму вище 80 дБА (ДСТУ EN 352).

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо оптимізації технологічного процесу виготовлення, складання, зварювання та контролю якості водогрійного газового котла КГ-ГВ-10 потужністю 10 кВт.

Проаналізовано сучасний стан виробництва опалювального обладнання та обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів для котла КГ-ГВ-10. Для виготовлення елементів топки та водяної сорочки обрано якісну конструкційну вуглецеву сталь (типу СтЗсп), що забезпечує оптимальний баланс між механічною міцністю, теплопровідністю та зварюваністю.

Удосконалено заготівельний етап виробництва. Завдяки впровадженню високоточного лазерного розкрою листового металу та застосуванню сучасних згинальних пресів із ЧПК вдалося мінімізувати кількість зварних з'єднань. Це дозволило суттєво знизити трудомісткість наступних складальних операцій та зменшити ризик виникнення дефектів.

Розроблено раціональну технологію складально-зварювальних робіт. Визначено оптимальні режими напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG дротом Св-08Г2С), що забезпечує глибоке проплавлення кореня швів без загрози пропалів тонкостінних елементів теплообмінника.

Запропоновано комплекс заходів для зниження зварювальних напружень і деформацій. Впровадження зворотньоступеневого методу накладання швів, жорсткої фіксації вузлів у спеціалізованих кондукторах, а також попереднього монтажу анкерних зв'язків водяної сорочки дозволило забезпечити стабільність геометричних розмірів корпусу котла та мінімізувати жолоблення плоских поверхонь.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Сформовано ефективну систему технічного контролю якості. Обґрунтовано послідовність операцій операційного та приймального контролю, де ключовим етапом визначено гідравлічні випробування (опресування) надлишковим тиском 0.3 МПа (3 бар). Розроблено чіткий технологічний алгоритм локалізації та усунення можливих зварювальних дефектів (пор, підрізів, непроварів).

Проаналізовано основні потенційні небезпеки та шкідливі фактори виробничого середовища. Підібрано засоби індивідуального захисту для забезпечення нормальних умов праці. Описано основні вимоги для забезпечення безпеки технологічних процесів та експлуатації обладнання.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ГОСТ 20548:2009. Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 360 кВт. Технічні умови. — Київ: Держспоживстандарт України, 2010.
2. Марочник сталей і сплавів. Веб-сайт. URL: <https://www.splav-kharkov.com/main.php> (дата звернення 17.05.2026р.)
3. В.М. Коперсак. Теорія процесів зварювання – 2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні: Текст лекцій. Ел.видання. К., НТУУ «КПІ», 2011. – 252 с.
4. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. – Київ: Техніка, 2002. 334с.
5. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. Посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. 225 с.
6. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання. Київ: Грамота, 2007. 272 с.
7. Матвієнків О.М., Панчук М.В. зварювання плавленням: практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 56 с.
8. TransSteel. Fronius. URL: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/produkty/%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B5-%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/migmag/transsteel/transsteel/transsteel-3500> (дата звернення: 03.06.2026).
9. Богуцький, О.А. Зварювальне обладнання: довідниковий посібник. Краматорськ: ДДМА, 2009.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

10. Карпаш М.О. Методи контролю стану робочих поверхонь: конспект лекцій/ М.О. Карпаш, А.В. Яворський. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – 228с.

11. ДСТУ EN ISO 17637:2017 (EN ISO 17637:2016, IDT; ISO 17637:2016, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72977 (дата звернення 08.06.2026 р.)

12. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві/2-ге видання, переробл. та доповн. Навч. Посібник. - Київ.: Арістей, 2006. 272 с.

13. Карпенко А.С. Проектування складально-зварювальної оснастки. Київ.: НТТУ «КП», 2010. 229 с.

14. Л.Л. Роганов, С.Г. Карнаух. Розрахунок різьбових з'єднань: Навчальний посібник.-Краматорськ: ДДМА, 2004.–96 с.

15. Нормативи часу на зварювальні роботи. Загальномашинобудівні нормативи. — М.: Економіка, 1988.

16. Модернізація зварювальних цехів : навчальний посібник для самостійного виконання курсової роботи з дисципліни «Модернізація зварювальних цехів» / доп. та перероб. В. П. Маршуба, Б. В. Сітніков. – Харків : НТУ «ХП», 2023. – 114 с.

17. Косовічева Н.В. Охорона праці та безпечне виконання робіт при підготовці кваліфікованих робітників професій зварювального напрямку: навчальний посібник з охорони праці для підготовки кваліфікованих робітників зварювального виробництва. – Харків: НМЦ ПТО, 2021 – 80 с.

18. НПАОП 0.00-1.01-18. Правила охорони праці під час електрозварювання. — Київ: МСП України, 2018.

					КРБ.3Т-19.00.00.000.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		