

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Розроблення технологічного процесу виготовлення стінки котла КВ-ГМ-100

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МПс

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Богатюк Н.Я.
(прізвище та ініціали)

Керівник Підгурський М.І.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

« ____ » _____ 2023__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 "Прикладна механіка"
(шифр і назва спеціальності)

студенту Богатюку Назару Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Розроблення технологічного процесу виготовлення стінки котла КВ-ГМ-100

Керівник проекту (роботи) Підгурський Микола Іванович, професор, д.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «23» січня 2023 року № 4/7-41

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 20 червня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічні умови на виготовлення;
річна програма випуску – 100 шт.; базовий технологічний процес виготовлення виробу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Конструкторська частина. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Стенд для складання та зварювання стінки котла КВ-ГМ-100.
Технологічний процес виготовлення стінки котла КВ-ГМ-100.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технологічного процесу виготовлення стінки котла КВ – ГМ – 100» містить чотири частини пояснювальної записки з об'ємом 69 аркушів із форматом А4 та графічної частини з об'ємом 5 аркушів із форматом А0 та А1. Пояснювальна записка включає такі частини як аналітичну, технологічну, конструкторську та частину про безпеку життєдіяльності та основи охорони праці. Мета кваліфікаційної роботи – підвищити якість складально-зварювальних операцій технологічного процесу із зварювання трубної конструкції стінки котла КВ – ГМ – 100.

Пояснювальна записка містить 25 рисунків, 13 таблиць. У роботі використано 24 літературних джерела.

У даній кваліфікаційній роботі удосконалено технологічний процес складання та зварювання трубної конструкції стінки котла КВ-ГМ-100. Було запропоновано технологію складання та зварювання, обґрунтовано способи зварювання елементів, для зварювання підібрано захисну газову суміш на основі аргону та вуглекислого газу; розраховано режими для зварювальних операцій, рекомендовано техніку складання та виконання зварювання для окремих елементів конструкції, підібрано раціональне зварювальне устаткування та оснащення, запропоновано заходи із безпеки життєдіяльності та з охорони праці.

Ключові слова: СТІНКА КОТЛА, МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ГАЗОВА СУМІШ $Ar+CO_2$, СКЛАДАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналітична частина	8
1.1 Характеристика конструкції стінки котла КВ – ГМ – 100.....	8
1.2 Характеристика атеріалу зварного виробу.....	10
1.3 Вимоги до вхідних матеріалів виробу та напівфабрикатів	11
1.4 Вимоги до шорсткості, геометричної форми та розмірів виробу ...	12
1.5 Вимоги до зварних з'єднань	12
1.6 Вимоги до складання	13
1.7 Вимоги до якості зварювання.....	14
1.8 Аналіз технологічного процесу виготовлення зварного виробу	16
2 Технологічна частина	17
2.1 Вибір способу зварювання	17
2.2 Вибір зварювальних матеріалів	20
2.3 Розрахунок параметрів режимів зварювання	23
2.4 Вибір основного зварювального обладнання	29
2.5 Вибір методу контролю якості виробу.....	31
2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення зварного виробу.....	36
2.6.1 Заготівельні операції.....	37
2.6.2 Складальні операції.....	39
2.6.3 Складально-зварювальні операції.....	40
2.6.4 Опоряджувальні операції	43
2.6.5 Допоміжні операції	42
2.6.6 Контрольні операції.....	43
Висновки до другого розділу.....	44
3 Конструкторська частина.....	45
3.1 Вибір типу пристосувань, які застосовуються при виготовленні конструкції	45

3.2 Обґрунтування вибраних баз при виготовленні зварної конструкції.....	46
3.3 Вибір типу затискних елементів складально-зварювальних пристосувань та їх розрахунок	48
3.4. Принцип роботи складально-зварювальних пристосування.....	55
Висновки до третього розділу.....	56
4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	57
4.1 Працездатність людини – оператора	57
4.2 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на зварювальній ділянці механічного цеху.....	61
Загальні висновки кваліфікаційної роботи	65
Перелік посилань	67
Додатки	70

ВСТУП

Розробка інноваційних технологічних процесів у металообробці є визначальною силою сучасної національної промисловості. Технічний поступ дозволяє впроваджувати інноваційні операції, які є енергоефективними та матеріалозберігаючими для зменшення виробничих витрат та для покращення умов праці робітників. Шляхом широкого аналізу виробу та його особливостей технологічного процесу виготовлення можна виявити недоліки попередніх методів на мікро- та макрорівні. До інновацій приведе врахування усього циклу технологічного перероблення основного металу, особливостей термодформаційного циклу зварювальних операцій, раціоналізації устаткування, впровадження елементів механізації робіт та автоматизації технологічного процесу.

На сьогоднішній день впровадження інновацій у зварювальні технологічні процеси є комплексним завданням, так як наша індустрія створює універсальні рішення, які охоплюють всі етапи технологічних операцій на спеціальних устаткуванні зварювання, які можуть інтегруватися в потокові механізовані лінії. Підвищений рівень механізації застосовується на всіх етапах, включаючи заготівельні, складальні та зварювальні операції.

Запровадження механізації для зварювального виробництва призводить до зниження собівартості виробів шляхом підвищення продуктивності, поліпшення якості та зниження вимог до кваліфікації робітників.

Використання сучасних зварювальних матеріалів допомагає зменшити шкідливий вплив атмосфери на експлуатаційні властивості та характеристики для кінцевого виробу, зокрема шляхом зниження наводнення зварного шва, створення оптимального теплового режиму через підбір середовища зварювання та активного управління формоутворенням зварного з'єднання. Це також сприятиме ефективному використанню матеріалів та енергоресурсів. Впровадження інноваційного процесу зварювання у суміші газів при виготовленні котельного обладнання значно покращує якість складних зварних вузлів та загальну довговічність виробу.

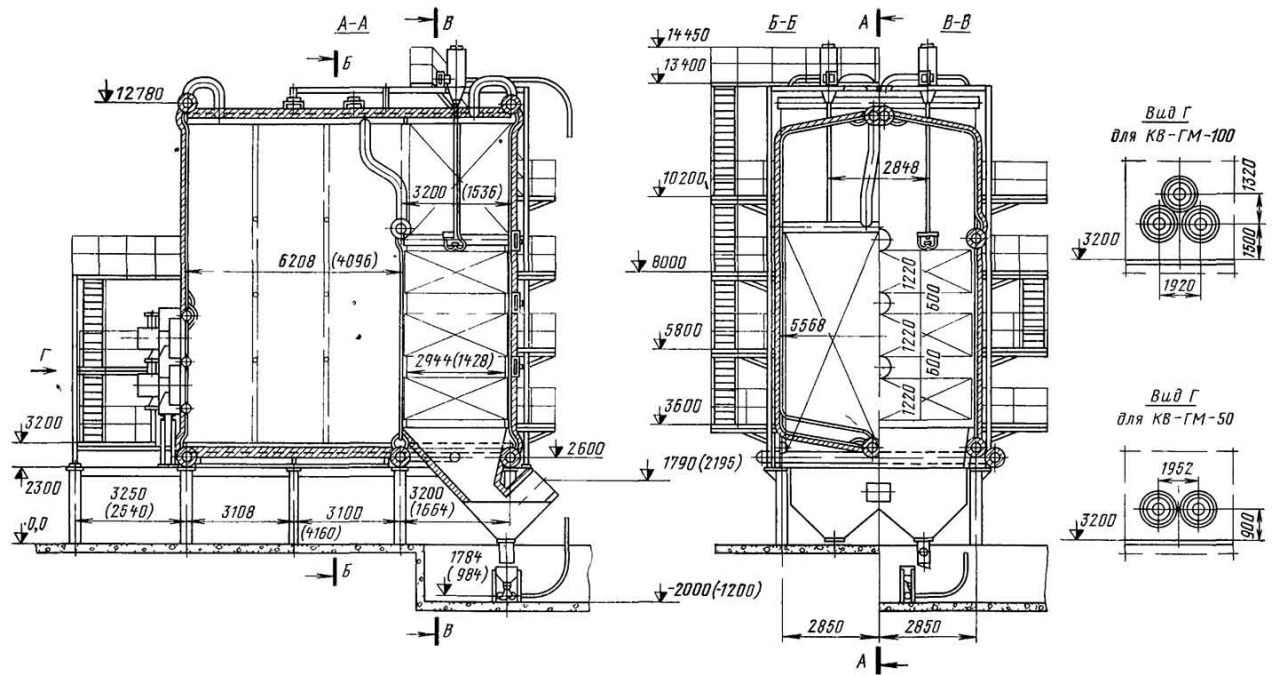
АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика конструкції стінки котла КВ – ГМ – 100

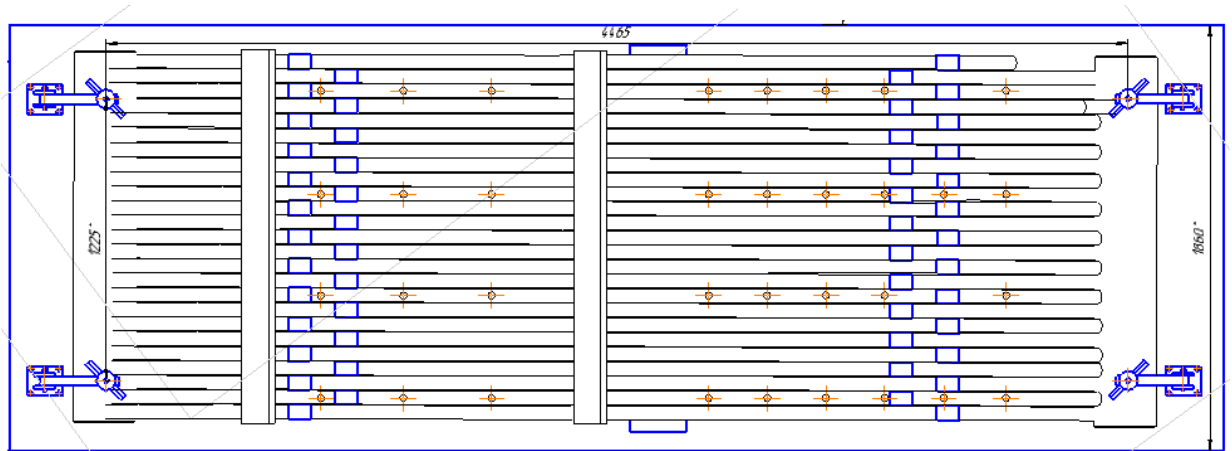
Котел КВ – ГМ – 100 є водогрійним пристроєм, що використовується для нагріву води до температури 150 °С за допомогою спалювання газу або мазуту. Він поставляється блоками і має встановлену систему для подавлення оксиду азоту. Цей котел призначений для використання в енергетиці, зокрема в котельнях та теплових котельнях. До складу виробу входять основні паливний та конвективний блоки, а також пальник, арматура, пристрій очистки, металеві сходи.

Камера для спалювання розміщується горизонтально та екранується трубами діаметром 60 мм та колекторами діаметром 219 мм. У поперечному перерізі паливня у профілі залізничного транспорту має вертикальну конвективну поверхню нагрівання з екранованим газовідводом з U-подібних наборів труб діаметром 28 мм. Під час роботи на мазуті котел включається за прямоочною схемою до поверхонь паливні та відводиться з конвективного блоку. При роботі на газі та мазуті включається протилежна схема подачі води.

Котел КВ – ГМ – 100 є зварним виробом. До його конструкції входять камери для спалювання, труби, розподільчі колектори, петлі. Це дозволяє здійснити легку механізацію процесу встановлення. Розміри стінки котла загалом є досить компактними, що дозволяє економити метал та вибрати відповідне обладнання для обертання та зварювання його компонентів. Багато з компонентів є типовими, що дозволяє використовувати одну і ту саму технологію виготовлення. Для більшості деталей котла використовується однотипне обладнання. Зварний вузол стінка котла КВ – ГМ – 100 має високий рівень технологічності [1], оскільки сприяє легкій автоматизації та механізації процесу виробництва, що зводить до мінімуму витрати часу, електроенергії, працездатності та загальної вартості.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Котел КВ – ГМ – 100:

- а) будова котла у перерізі,
- б) загальний вигляд стінки котла.

1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу

Виріб виготовлений зі Сталі 20, яка є конструкційною, низьколегованою маловуглецевою якісною сталлю. Цей матеріал застосовується для виготовлення різних деталей та компонентів зварних металоконструкцій, що можуть працювати до +425°C. Тобто дану сталь можна використовувати для котельного обладнання з робочою температурою до +450°C. Також даний матеріал використовують і для деталей трубопровідної арматури з робочою температурою експлуатації до +350°C. Детальний склад та механічні властивості для даної сталі показано у таблицях 1.1- 1.2 [2].

Таблиця 1.1- Хімічний склад сталі 20, у %, за ДСТУ 7809: 2015

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>As</i>
		не більше						
0,17	0.35	0,17						
– 0,24	– 0.65	– 0,37	0.035	0.04	0.25	0.25	0.25	0.25

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 20 за ДСТУ 7809: 2015

Товщина прокату, мм	Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Границя текучості σ_T , МПа	Відносне подовження δ , %	Твердість за Брінелем (НВ)
2 – 10	412	245	21	156

Розрахуємо схильність до утворення гарячих тріщин за значеннями HCS [3, 4]:

$$HCS = (C[S + P + Si/25 + Ni/100]1000)/(3Mn + Cr + Mo + V) \quad (1.1)$$

$$HCS = (0,24[0,04 + 0,035 + 0,37/25 + 0,25/100]1000)/(3 \cdot 0,35 + 0,25) = 1,7$$

$$< 4$$

Оскільки значення $HCS = 1,7 < 4$ то можна зробити висновок, що дана сталь не є схильною до утворення гарячих тріщин.

Для оцінки зварюваності даної сталі важливо провести оцінку імовірності утворення гартівних мартенситоподібних структур з невисокою пластичністю за умови відсутності джерел дифузійного водню та достаньою жорсткістю конструкції.

Оцінку імовірності до утворення холодних тріщин виявимо методикою Сеферіана [5, 6, 7]. Для цього розрахуємо еквівалент вуглецю:

$$[C] = [C]_x \cdot (1 + 0,005\delta), \% \quad (1.2)$$

де $[C]_x$ – хімічний еквівалент вуглецю;

δ – товщина зварюваного металу, мм.

$$360[C]_x = [360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo], \% \quad (1.3)$$

Умовою для появи холодних тріщин є $[C] > 0,45 \%$.

$$[C]_x = ([360 \cdot 0,24 + 40(0,35 + 0,25) + 20 \cdot 0,25]) / 360 = 0,324$$

$$[C] = 0,324 \cdot (1 + 0,005 \cdot 3) = 0,328 \%$$

Оскільки, $[C] = 0,33 \% < 0,45 \%$ імовірність появи холодних тріщин незначна.

1.3 Вимоги до вхідних матеріалів виробу та напівфабрикатів

Матеріали, що використовуються, повинні відповідати вимогам державних стандартів та технічних умов щодо хімічного складу і механічних властивостей. Якість і характеристики матеріалів повинні бути підтверджені сертифікатами, які надаються постачальником.

При виборі матеріалів для виготовлення виробу, складальних одиниць та деталей, необхідно враховувати параметри тиску та температури компонентів та частин, агресивність середовища та властивості матеріалів котла при підвищених температурах.

Елементи, що приварюються до корпусу зсередини та ззовні, виготовляються із матеріалів не лише із хорошою зварюваністю, але і з подібними коефіцієнтами КТР. Це різні опори, кільця патрубків, вводи.

Причому різниця в коефіцієнтах термічного розширення не має перевищувати десяти відсотків. Якщо не має супровідних сертифікатів на матеріали або даних про окремі види випробувань, необхідно провести випробування на підприємстві відповідно до вимог стандартів або технічних умов на ці матеріали і вимог діючого стандарту, [8].

Додаткові нестандартні вимоги вказуються на кресленнях та документації. При замовленні вуглецевих сталей звичайної якості згідно з ДСТУ 8803:2018 і низьколегованих сталей згідно з ДСТУ 8804:2018 необхідно вказати категорію сталі.

При замовленні сталей згідно з ДСТУ 8804:2018 необхідно вимагати, щоб сталь мала вміст сірки не більше 0,04% і фосфору не більше 0,035%.

1.4 Вимоги до шорсткості, геометричної форми та розмірів виробу

Виріб має відповідати вимогам щодо шорсткості, геометричної форми та розмірів.

Перед складанням корпусу, його внутрішня поверхня повинна бути очищена від окалини, відшарувань та бруду.

Зварні шви стінки котла повинні бути зачищені так, щоб їх рівень відповідав внутрішній поверхні. Допускається збільшення оброблених швів на такі величини: 0,05 мм для монометалічного матеріалу та 1,5 мм для двошарових матеріалів, [8].

Технологія зварювання повинна забезпечувати безперешкодний доступ до місця зварювання. Шорсткість поверхонь повинна відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 28759.2:2008.

1.5 Вимоги до зварних з'єднань

Зовнішній вигляд шва та його поверхні мають свої особливості, які залежать від способу зварювання та просторового положення, в якому виконується зварювання.

Зварним з'єднанням ставляться наступні вимоги:

Форма і розміри швів повинні відповідати технічним умовам, зазначеним на кресленнях.

Використання зварювальних матеріалів з низьким вмістом вуглецю з метою уникнення утворення тріщин та забезпечення задовільних механічних властивостей металу шва, що відповідають властивостям основного металу.

Забезпечення умов, які сприяють формуванню дрібнозернистої структури при первинній кристалізації.

Обмеження вмісту сірки та фосфору у основному та зварювальних матеріалах.

Зварювання повинно проводитись за параметрами, що зменшують внутрішні напруження в швах та зоні термічного впливу.

1.6 Вимоги до складання

Складально-зварювальні операції визначають величину зазорів та якість проведення процесу зварювання виробу.

При встановленні базових розмірів складально-зварювальних пристроїв, установок та стендів необхідно враховувати деформації, які виникають під час зварювання вузла.

Усі деталі, які підлягають складанню під зварювання, повинні бути вирівняні операцією рихтування. Недопускається відхилення від прямолінійності більше 3 мм на 1 м. Також усі зварювані поверхні очищаються від потенційних джерел водню, як гідрооксидні плівки, мастила, забруднення та зволоження.

Деталі після термооброблення не допускаються до провдення зварювальних робіт.

Для складально-зварювальних робіт використовують спеціальні приспособлення: столи, затискачі, обертачі і т.п.

Допустимі зазори та зміщення зварюваних кромek при складанні елементів під зварювання повинні відповідати вимогам ДСТУ 2099-92.

Методи складання складальних одиниць для зварювання повинні забезпечувати правильне взаємне розташування спряжених елементів і вільний доступ для зварювальних робіт в послідовності, передбаченій технологічним процесом.

Розробка кромки і зазору між кромками деталей, які підлягають зварюванню, повинна відповідати вимогам креслення і стандартів для зварних швів.

При напівавтоматичному зварюванні у середовищі вуглекислого газу та під флюсом прихоплення повинно виконуватись лише у визначених місцях та послідовності, передбачених технологічним процесом.

1.7 Вимоги до якості зварювання:

Геометричні розміри і форма поверхонь повинні вимірюватися за допомогою засобів, які забезпечують відхилення не більше 30% від встановленого допуску на виготовлення.

Габаритні розміри посудин слід визначати шляхом додавання розмірів складальних одиниць, які входять до них, і деталей.

Контроль якості поверхонь на відсутність розшарувань, грубих рисок і тріщин, що погіршують якість і зовнішній вигляд, повинен проводитися шляхом візуального огляду.

При розробленні технологічного процесу потрібно дотримуватись вимог збереження високої якості, зменшення поперечних перерізів зварних швів і ширини біляшовної зони. Якість зварного з'єднання можна досягти лише при вільному доступі до місця зварювання.

Якщо в зварному з'єднанні присутні дефекти, які не можуть бути виправлені, загальна довжина таких ділянок з дефектами не повинна перевищувати 15% загальної довжини шва в зварному з'єднанні.

Зовнішні дефекти, такі як тріщини у зварних швах і зоні термічного впливу, пористість зовнішньої поверхні шва, пропали, підрізи, напливи і непроварення кореня шва, не повинні виникати у зварних з'єднаннях.

Під час виготовлення стінок котла необхідно перевіряти наступні аспекти:

Якість основного металу деталей та зварювальних матеріалів.

Відповідність якості підготовки кромки і збирання під зварювання вимогам діючих стандартів і креслень.

Дотримання технологічного процесу зварювання, розроблених згідно з вимогами нормативних документів.

На зовнішніх та внутрішніх поверхнях котла не повинні бути раковини, тріщини і глибокі подряпини, якщо вони перевищують допустимі мінусові відхилення на товщину листа згідно з відповідними стандартами.

Деталі, виготовлені методом холодного штампування, повинні підлягати термообробленню для зняття внутрішніх напружень.

Стінка котла повинна бути міцною і щільною, без ознак розриву і видимих залишкових деформацій.

Руйнівний тиск для труб котла повинен бути не менше 5 МПа.

При виготовленні допускається виправляти дефекти зварних з'єднань не більше одного разу в одному і тому ж місці.

Механічні властивості стикових зварних з'єднань стінки котла повинні відповідати встановленим показникам, таким як тимчасовий опір розриву.

Зовнішні поверхні котла повинні бути пофарбовані атмосферостійкою червоною емаллю згідно з вимогами стандартів.

Таким чином, щоб забезпечити якість зварювання при виготовленні стінок котла, необхідно дотримуватись встановлених вимог до складання під зварювання, вимог до якості зварювання та контролювати процес зварювання і виготовлення котла згідно з нормативними документами.

1.8 Аналіз технологічного процесу виготовлення зварного виробу

При аналізі технологічного процесу виготовлення стінки котла виявлено декілька недоліків, які можна виправити. Зокрема:

Використання застарілого зварювального обладнання є одним з недоліків. Рекомендується оновити обладнання, що дозволить покращити якість зварювання і продуктивність виробництва.

Використання ручного дугового зварювання покритими електродами також має недоліки. Пропонується замінити цей метод на напівавтоматичне зварювання в середовищі суміші газів, що сприятиме зниженню розбрикування металу і покращенню зовнішнього вигляду виробу.

Розбрикування металу під час ручного дугового зварювання є проблемою, яка призводить до засмічення зварювального обладнання і вимагає додаткових технологічних операцій. Пропонується додавати 30% O₂ до CO₂, що допоможе усунути цей недолік.

Використання роздільної складальної та зварювальної оснастки, яка передбачає проміжне транспортування виробу, також має негативний вплив на точність складально-зварювальних робіт. Рекомендується замінити її на суміщену складально-зварювальну оснастку, що дозволить уникнути необхідності проміжного транспортування.

Використання механічних затискачів при складально-зварювальних роботах знижує рівень механізації виробництва і продуктивність праці. Рекомендується розглянути можливість використання більш автоматизованих засобів фіксації.

Виправлення цих недоліків призведе до скорочення часу виготовлення конструкції, зниження ручної праці, покращення якості виробу та підвищення рентабельності виробництва. Застосування суміщеної складально-зварювальної оснастки також допоможе підвищити точність геометричних розмірів виробу та якість зварних швів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір способу зварювання

Виготовлення зварних конструкцій з високими технічними показниками пов'язано з необхідністю вибору способу зварювання відповідно до умов виробництва та подальшої експлуатації виробу. Основними зварними з'єднаннями виробу є з'єднання труб: стикові поперечні з одностороннім швом зі скосом кромки та кутові односторонні шви без скося кромки.

З метою вибору способу зварювання враховуємо товщину металу, конструктивні особливості виконання, можливість механізації процесу, вартість та безпечність технології. За критерії оцінювання способів зварювання приймаються, як правило, технічні та економічні показники. До основних технічних показників відносяться продуктивність, енергетичні та матеріальні затрати, які необхідні для виконання того чи іншого способу. Єдиним та реальним існуючим показником серед економічних критеріїв оцінки способу зварювання залишається собівартість продукції та робіт.

Для зварювання труб найбільш поширеними є електродугові способи зварювання плавким електродом через їх взаємозамінність, універсальність та простоту. Насамперед, це електродугове зварювання покритим електродом, напівавтоматичні та автоматичні способи зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу.

Ручне зварювання покритими електродами має низьку продуктивність з 2-3 рази меншою кількістю приросту маси металу шва за рахунок поступлення розплавленого металу. Підвищення швидкості плавлення при ручному дуговому зварюванні за рахунок збільшення діаметра присадного дроту не дає бажаного ефекту, оскільки порушується формування шва, утворюються перепали деталей, утруднюється зварювання у негоризонтальних просторових положеннях. Серед інших недоліків ручного зварювання є її висока трудоемність, нестабільна глибина проплавлення кутових швів, збільшення їх катетів, а також висока зарплата зварників високої кваліфікації.

Проте ручне дугове зварювання залишається найбільш універсальним способом зварювання арматури при монтажі конструкції, у важкодоступних місцях, при невеликому об'ємі зварювання.

Автоматизовані способи зварювання електродним дротом в захисним газом є способами, що активно замінюють ручне зварювання через значно більшу продуктивність та менші витрати матеріалів та енергоносіїв. Як захисні гази використовуються CO_2 , аргон та їх суміші. Іноді можливе використання самозахисних дротів без захисного газу, що підвищує вартість процесу. Процес напівавтоматичного зварювання у CO_2 дозволяє підвищити концентрацію енергії дуги, що збільшує глибину проплавлення, підвищує швидкість зварювання, зменшує ділянки структурних перетворень та деформації конструкції. Відсутність на поверхні зварювальної ванни розплавленого шлаку покращує техніку формування зварного шва та зменшує час на виготовлення зварної конструкції та зачистку зварних швів. У напівавтоматичному зварюванні механізовані операції подачі електродного дроту в зону зварювання та подачі захисного газу. При автоматичному зварюванні механізуються усі операції, включаючи і переміщення зварювального пальника вздовж зварного шва. Суттєвою перевагою автоматичного зварювання є проведення процесу на більш високих продуктивніших режимах. Проте автоматичне зварювання застосовується при значній кількості виробів.

Найбільш суттєвим недоліком зварювання у CO_2 є організація ретельного захисту зварювальної ванни від попадання повітря, менше маневреність та менша доступність до тісних місць у зварних конструкціях. Також значною проблемою напівавтоматичного зварювання у CO_2 є втрати дроту на розбризкування та вигорання до 10-12%. Цу не лише збільшує втрати металу, але і погіршує формування шва, викликає додаткові витрати на зачистку шва та сопла зварювального пальника. Тому даний спосіб зварювання практикують у захисній атмосфері суміші газів $\text{Ar}+10-20\%\text{CO}_2$, $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2+5\%\text{O}_2$. При використанні дроту діаметром від 1,2 до 1,6 міліметрів та суміші газів втрати на вигорання та розбризкування зменшуються до 2,5%.

Важливою перевагою напівавтоматичного зварювання порошковим дротом є можливість створення металу однакового складу через зміну хімічного складу наповнювача сердечника. Проте таке зварювання вимагає підвищення жорсткості трубчатої конструкції дроту, збільшення його діаметру, підвищених значень зварювального струму, зварювання переважно в нижньому положенні, що в нашому випадку не підходить.

Причиною значних витрат електродного металу на розбризкування у напівавтоматичному зварюванні у CO_2 є вибухи крупних крапель, виплескування розплаву, коливання реактивних сил пінч-ефекту. Дієвим способом управління крапельним масопереносом при зварюванні у CO_2 є управління силами поверхневого натягу через зміну захисної атмосфери та проведення зварювання у суміші газів з добавками кисню. Проте такі суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ приводять до більш високих температур у реакційній зоні, збільшення окисного потенціалу та збільшення поверхневого шлаку. Більш м'яким способом введення кисню до зони зварювання у добавки CO_2 , який дисоціює з виділенням кисню у зоні зварювання. На практиці в Україні використовується газова суміш МІХ $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$, [9], її вартість менша від аргону і вона застосовується для зменшення витрат електродного металу при напівавтоматичному зварюванні. Для зменшення витрат електродного металу на вигорання також виконують зварювання з оптимальною швидкістю, стабілізують напруження джерела живлення, очищають дріт від іржі та прокалюють його при температурі 200-250 °С дві години, застосовують імпульсну дугу.

Отже, при виготовленні стінки котла КВ-ГМ-100 обираємо більш раціональний та продуктивний спосіб напівавтоматичного зварювання у захисних газах, а саме у суміші $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$. Серед переваг даного способу можна назвати:

- а) зменшення витрат електродного дроту;
- б) зменшення ділянок термічного впливу через високу сконцентрованість теплоти дуги, зменшення деформацій;

в) збільшення продуктивності процесу через підвищення швидкості зварювання;

г) підвищення якості зварного шва через кращий захист зварювальної ванни.

Зварювання покритими електродами будемо використовувати при монтажі труб та для прихоплювань.

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

Зварювальними чи присадними називають матеріали, які забезпечують можливість перебігу зварювальних процесів та отримання зварного з'єднання високої якості.

До зварювальних матеріалів відносять зварювальний дріт, порошковий дріт, присаджувальний пруток, різні флюси, захисні (активні та інертні) гази.

Вказані матеріали повинні забезпечити стандартизовані розміри та властивості зварного шва; добрі технологічні умови здійснення процесу зварювання; високу продуктивність та матеріало- та енергоефективність процесу; необхідні санітарні та гігієнічні умови праці при їх виробництві та зварюванні.

Це досягається тим, що зварювальні матеріали приймають участь:

- в захисті розплавленого металу в зоні протікання металургійних процесів, а в деяких випадках і нагрітого твердого металу від шкідливої дії атмосферного повітря (насичення його газами атмосфери) протягом всього процесу зварювання;

- в процесі розплавлення, переносу в дузі, перебування в зварювальній ванні, кристалізації;

- в очищенні металу шва від водню та азоту;

- в регулюванні хімічного складу металу шва шляхом легування і розкислення;

- в очищенні (рафінуванні) металу шва – видаленні сірки, фосфору, окислів та шлаку;

- в ряді випадків у модифікуванні первинної структури шва.

Для зварювання стінки котла КВ – ГМ – 100 основними зварювальними матеріалами є – зварювальний дріт та захисні гази (CO_2 та кисень).

Найбільш часто при зварюванні в якості присадного металу використовують зварювальний дріт, отриманий гарячим прокатуванням, або волочінням після гарячого прокатування.

Зварювальний дріт допускається з чистою, вільною від корозії, масла і інших забруднень поверхню. Наявність іржі та забруднень на поверхні дроту призводить до руйнування контакту між струмопровідним мундштуком та дротом, до розігріву кінця дроту, який знаходиться під струмом, і до зниження стійкості металу шва проти пор [6].

При механізованих способах зварювання плавленням використовується дріт у вигляді неперервного плавкого електрода, намотаного на спеціальні касети.

Якщо електродний дріт включений в зварювальне коло, швидкість його введення, а отже і доля електродного металу в утворенні шва залежить від режиму зварювання і може регулюватись тільки у визначених межах.

Стальний зварювальний дріт, призначений для зварювання регламентується ДСТУ 544 : 2019, де він класифікується по групах і марках сталі.

Вибір зварювального дроту в першу чергу тісно залежить від марки металу який зварюють. Таким чином, зварювальний дріт за хімічним складом повинен бути оптимально наближеним до основного металу.

Вуглецеві сталі схильні до пористості і основною причиною являється реакція взаємодії вуглецю з киснем, яка призводить до утворення чадного газу. Використання CO_2 у пропонованому процесі приводить до появи кисню у зоні зварювання. Для подавлення реакції окиснення вуглецю в період кристалізації металу шва в зварювальній ванні повинна знаходитись достатня кількість розкислювачів (Mn і Si). Тому, для попередження пористості при

зварюванні у CO₂ та його сумішах потрібно використовувати дріт з підвищеним вмістом Mn і Si- Св-08Г2С.

Отже, для зварювання сталі 20 у середовищі Ar+CO₂ обираємо зварювальний дріт марки Св – 08Г2С, хімічний склад дроту приведений в таблиці 2.1.

Активними захисними газами при зварюванні називають гази, які здатні захищати реакційну зону від доступу атмосфери і разом з тим хімічно реагувати із зварювальним металом або фізично є розчинні в ньому.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад дроту марки Св – 08Г2С, % за ДСТУ EN ISO 544 [10]

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
			не більше			
0,05 ... 0,11	0,70 ... 0,95	1,8 ... 2,1	0,20	0,25	0,025	0,03

В якості захисного газу при виготовленні даної конструкції використовуємо суміші аргону з вуглекислим газом. Виробниками технічних газів для зварювання пропонуються різні газові суміші на основі аргону з різним вмістом вуглекислого газу. Для зварювання маловуглецевих сталей напівавтоматичним дуговим способом рекомендують використовувати газові суміші з вмістом вуглекислого газу від 15 до 25% торгових марок MIX [9]. Враховуючи невелику товщину зварюваного металу можемо використати газову суміш із групи M2, відповідно до стандарту ISO 14175 "Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання", а саме із вмістом CO₂ -18% (торгова марка МІКС чи MIX №1).

Для виробництва суміші застосовують CO₂ високої густини вищого та I сорту. Відповідно ДСТУ 4817:2007, вуглекислий газ, який використовують для зварювання не повинен містити в собі кислоти органічних з'єднань (ефіри, спирти, альдегіди), аміак, ароматичні вуглеводи та інші сполуки. Для

зварювання вуглецевих сталей використовують аргон близький до аргону марки В з вмістом кисню до 5%, згідно ДСТУ ГОСТ 10157 : 2019.

Зварний шов виконаний напівавтоматом у суміші МІКС№1 є щільним та малопористим, з мінімальним вигоранням та розбризкуванням, дозволяє ефективно економити електродний матеріал.

2.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Для отримання зварних швів необхідних розмірів та якості проводять підбір та розрахунок параметрів. До складу параметрів режиму зварювання для способу в середовищі захисного газу відносять:

глибину провару h ;

діаметр електродного дроту d_d ;

катет шва $K_{ш}$;

зварювальний струм $I_{зв}$;

зварювальна напруга $U_{зв}$;

виліт електродного дроту $L_{ел.др.}$;

швидкість подачі зварювального дроту $V_{под.пр}$;

швидкість зварювання $V_{зв.}$;

витрати захисного газу $q_{з.г.}$.

Зварювання виробу стінки котла проводимо стиковими, тавровими та кутовими швами катетом 3 і 6 мм, типи і катети швів приймаємо з технологічних міркувань.

Проведемо розрахунок параметрів режиму зварювання, кутового з'єднання з катетом шва 3 мм. При зварюванні зазор між деталями приймаємо $l = 0,5$ мм.

Визначаємо площу наплавленого металу F_n за формулою [11]:

$$F_n = \frac{K^2}{2}, \quad (2.1)$$

де K – катет шва, $K=3$ мм,

$$F_n = \frac{3^2}{2} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо висоту наплавленого металу a за формулою [11]:

$$a = \sqrt{F_n}, \quad (2.2)$$

$$a = \sqrt{4.5} = 2.12 \text{ мм}.$$

Визначаємо ширину шва b за формулою [11]:

$$b = \sqrt{2K^2}, \quad (2.3)$$

$$b = \sqrt{2 \cdot 9} = 4.24 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальну висоту шва H із формули [11]:

$$\psi_m = \frac{b}{H}, \quad (2.4)$$

тоді

$$H = \frac{b}{\psi_m}. \quad (2.5)$$

Попередньо вибравши значення ψ_m з рекомендованої межі 0.8 – 2.0 мм [11], прийmemo $\psi_m = 0.9$, отже :

$$H = \frac{4.24}{0.9} = 4.71 \text{ мм}.$$

Менше значення ψ_m відповідає великим струмам, тобто ми можемо збільшити продуктивність процесу.

Визначаємо глибину проплавлення h_0 за формулою [11]:

$$h_0 = H - a, \quad (2.6)$$

$$h_0 = 4.71 - 2.12 = 2.59 \text{ мм}.$$

Для зварювання конструкції із маловуглецевої сталі катетом 3 мм, вибираємо дріт діаметром 1,6 мм.

Визначаємо зварювальний струм $I_{зв}$ за формулою [11]:

$$I_{зв} = \frac{h_0}{K_a} \cdot 100, \quad (2.7)$$

де K_a – коефіцієнт пропорційності, $K_a = 1,75$ [11],

$$I_{зв} = \frac{2.59}{1.75} \cdot 100 = 148 \text{ А}.$$

$$I_{зв} = 150 \text{ A.}$$

Визначаємо швидкість подачі дроту за формулою [11]:

$$V_{n.e.} = \frac{\alpha_p \cdot I_{зв}}{F_{ел} \cdot \gamma}, \quad (2.8)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення, $\alpha_p = 15 \text{ Г/А} \times \text{год}$ [11],

γ – густина електродного дроту, для сталі $\gamma = 7.8 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$,

$F_{ел}$ – площа поперечного перерізу електрода,

$$F_{ел} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = \frac{3.14159 \cdot 1.2^2}{4} = 1.13 \text{ мм}^2$$

Отже:

$$V_{n.e.} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 150}{1.13 \cdot 10^{-6} \cdot 7.8 \cdot 10^3} = 255 \text{ м/год}$$

Розраховуємо напругу на дузі за формулою [11]:

$$U_\delta = 20 + \frac{50 \cdot I_{зв}}{1000 \cdot \sqrt{d_e}} \pm 1, \quad (2.9)$$

$$U_\delta = 20 + \frac{50 \cdot 150}{1000 \cdot \sqrt{1.2}} \pm 1 = 25.9 \pm 1 \text{ В.}$$

Приймаємо $U_\delta = 26 \text{ В}$.

Визначаємо швидкість зварювання за формулою [11]:

$$V_{зв} = \frac{F_{ел} \cdot V_{n.e.}}{F_n}, \quad (2.10)$$

$$V_{зв} = \frac{1.13 \cdot 10^{-6} \cdot 255}{4.5 \cdot 10^{-6}} = 34 \text{ м/год}$$

Перевіряємо діаметр електродного дроту за формулою [11]:

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{зв}}{\gamma}}, \quad (2.11)$$

де γ – допустима густина електричного струму, для електродного дроту діаметром 1.6 мм $\gamma = 100 \dots 300 \text{ А/мм}^2$ [11],

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{150}{160}} \approx 1.4 \text{ мм},$$

Виліт електрода приймаємо $l_\delta = 15 \text{ мм}$ [8].

Витрати захисного газу $Q_\Gamma = 2,0 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ [11].

Розраховані параметри режиму зварювання для кутового з'єднання наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри режиму зварювання для кутового з'єднання

Параметри	Значення
Зварювальний струм, А	150
Діаметер електродного дроту, мм	1.4
Величина вильоту електрода, мм	15
Напруга на дузі, В	26
Швидкість подачі електродного дроту, м/год.	255
Швидкість зварювання, м/год.	34
Витрати захисного газу, м3/с.	14

Проведемо розрахунок параметрів режиму зварювання для стикового шва з V-подібним скосом та збільшеним притупленням (типу С17 на вимогу замовника) згідно ДСТУ 9692-1:2014, рисунок 2.1.

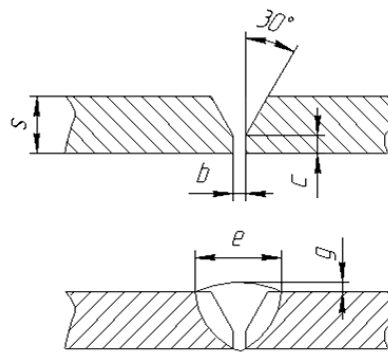


Рисунок 2.1 – Схема стикового з'єднання

У відповідності з ДСТУ 9692-1:2014 задаємо розміри зварного з'єднання при $S = 3$ мм: $e = 7 + 2$ мм; $b = 1 \pm 1$ мм; $c = 2 \pm 1$ мм; $g = 0,5 \pm 1,5$ мм. Розрахунок параметрів режиму зварювання для стикового зварного з'єднання проведемо за методикою запропонованою вище, отримані дані запишемо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри режиму зварювання в суміші $Ar+CO_2$ для стикового зварного з'єднання

Параметри	Значення
Зварювальний струм, А	280
Діаметр електродного дроту, мм	1.6
Величина вильоту електрода, мм	20
Напруга на дузі, В	28
Швидкість подачі електродного дроту, м/год.	313
Швидкість зварювання, м/год.	17
Витрати захисного газу, л/хв.	14

Проведемо розрахунок параметрів режиму зварювання для таврового шва без скошу кромки за ДСТУ 9692-1:2014, рисунок 2.2.

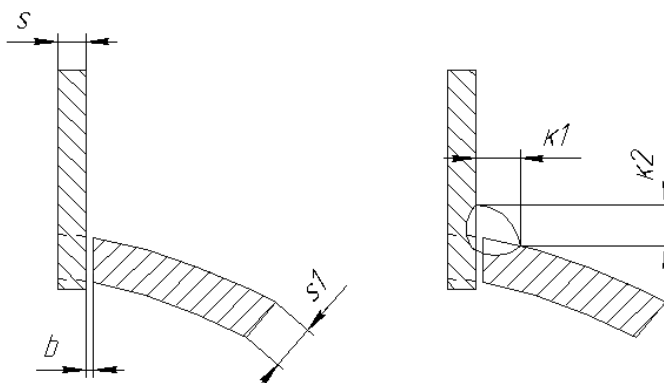


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення таврового з'єднання без скошу кромки

Задаємо розміри зварного з'єднання: $s = 3$ мм; $s_1 = 10$ мм; $k_1 = 6$ мм; $k_2 = 8$ мм; $b = 1 \pm 1$ мм.

Діаметр електродного дроту приймаємо рівним $d = 1,6$ мм.

Проведемо розрахунок, параметри занесемо в таблицю 2.4.

Вибрані параметри режиму зварювання для кутового зварного з'єднання приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Параметри режиму напівавтоматичного зварювання суцільним дротом в активному газі для таврового з'єднання

Параметри	Значення
Зварювальний струм, А	280
Діаметер електродного дроту, мм	1.6
Величина вильоту електрода, мм	20
Напруга на дузі, В	28
Швидкість подачі електродного дроту, м/год.	270
Швидкість зварювання, м/год.	15
Витрати захисного газу, л/хв.	14

2.4 Вибір основного зварювального обладнання

Головний принцип вибору обладнання для зварювання в захисних газах пов'язаний з тим, що зварювання виконується лише постійному струмі. При цьому обладнання може бути спеціалізованим та універсальним. Особливістю даного обладнання є те, що до його складу входять пристрої та вузли призначені для створення газового захисту розплавленого металу шва та ЗТВ основного металу.

Джерело живлення для електричної дуги має відповідати наступним вимогам:

- створення необхідних струму та напруги дуги;
- забезпечувати стабільність горіння електричної дуги з зовнішньою ВАХ;
- володіти динамічними характеристиками для збудження дуги та запобігання розбризкуванню електродного металу.

Для обраного напівавтоматичного зварювання в середовищі $Ar+CO_2$ використаємо однопостовий зварювальний випрямляч з жорсткою зовнішньою ВАХ типу ВДГ, ВДУ і ВСЖ. Випрямлячі типу ВДГ пересувні, розраховані на повторно-короткочасний режим роботи ПВ = 60 % при примусовому повітряному охолодженні. Відповідно до розрахованих параметрів режиму зварювання обираємо випрямляч типу ВДГ – 303 – УЗ.

Зварювальний випрямляч ВДГ – 303 – УЗ призначений для комплектації зварювальних напівавтоматів для дугового зварювання типу ПДГ або іншими подаючими механізмами. Випрямляч у складі напівавтомата, призначений для напівавтоматичного зварювання плавким електродом виробів із сталі на постійному струмі в середовищі захисних газів. Зварювання можна виконувати дротом суцільного перерізу і порошковим дротом.

Технічна характеристика випрямляча ВДГ – 303 – УЗ приведена в таблиці 2.5 [9].

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика випрямляча ВДГ – 303 – УЗ

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

Апарати в яких подача електродного дроту механізована, а переміщення пальника вздовж шва відбувається вручну зварником називаються напівавтоматами. В напівавтоматах для зварювання плавким електродом в захисних газах електродний дріт з допомогою електричного приводу і механізму подачі подається з касети по гнучкому шлангу до зварювального пальника. Підведення до пальника зварювального струму, захисного газу і ланцюгів керування також здійснюється гнучкими кабелями і трубками об'єднаними в один рукав [11].

Виходячи з розрахованих параметрів режиму зварювання вибираємо напівавтомат для зварювання в середовищі захисних газів ПДГ – 312.

Напівавтомат типу ПДГ-312 використовується для дугового зварювання у CO₂, штовхаючого типу, закритий, встановлений на коліщатах. Напівавтомат складається з одаючого механізму (2-х роликовий привід, редуктор, електродвигун), касети для зварювального дроту, гальмівного пристрою, схеми керування і електромагнітного пневмоклапана. На лицьовій панелі є резистори регулювання тривалості режиму зварювання, швидкості подачі електродного дроту та напруги. Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-312 приведена в таблиці 2.6 [12, 13].

Таблиця 2.6- Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-312

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

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика пальника ГДПГ – 302

Номінальний зварювальний струм, А	315	
Охолодження	повітряне	
Діаметр електродного дроту, мм	1.6-2.0	
Довжина шлангу, м	2	
Маса, кг	0.7	
Габаритні розміри, мм	довжина	266
	ширина	50
	висота	125

Для обраного зварювального апарату обираємо пальник з врахуванням його надійності, безпеки, стабільності, ефективного захисту реакційної зони зварювання, Найбільш важливим вузлом будь-якого зварювального апарату є пальник. Мінімізації впливу розбризкування на сопло пальника, легкість у експлуатації та ремонті [14]. Таким вимогам відповідає серійний пальник типу ГДПГ-302 [15], таблиця 2.7.

2.5 Вибір методу контролю якості виробу

З метою перевірки якості технологічних операцій зварювання, виявлення дефектів та їх розмірів у зварному шві та пришовній зоні обов'язковим є проведення контролю. Дана інформація допомагає не лише виявити брак, але й відкорегувати технологію зварювання та провести заходи для попередження появи дефектів.

Для контролю використовуються методи руйнівного та неруйнівного контролю. До останніх відносять візуальний огляд, дефектоскопію радіаційну та магнітну, ультразвукові обстеження.

Найпоширенішим методом контролю є візуально-оптичний та вимірювальний методи. Такий контроль перевіряє, що стан зварного шва відповідає технічним умовам, виявити неякісне зварювання та корозію, визначити розміри відхилень від встановлених норм та геометрії конструкції. Даним способом контролю з допомогою лупи та візуального огляду досвідчений атестований експерт може виявити наступні дефекти: невідповідності розмірів та співвідношення катетів у шві, пропорційні відхилення по ширині та висоті наплавлення, пропали, відкриті кратери у зварювальній ванні, напливи, подрізи, зміни кольору шва, непровари, тріщини, розшарування, корозію, пори, ознаки тверди включень, порожнини, зсуву шва від стику, пошкодження ахисного покриття.

Швидке виявлення дефектів візуальним оглядом дозволяє оперативно внести зміни у техпроцес виготовлення виробу, зменшити час на наступні види контролю. [11].

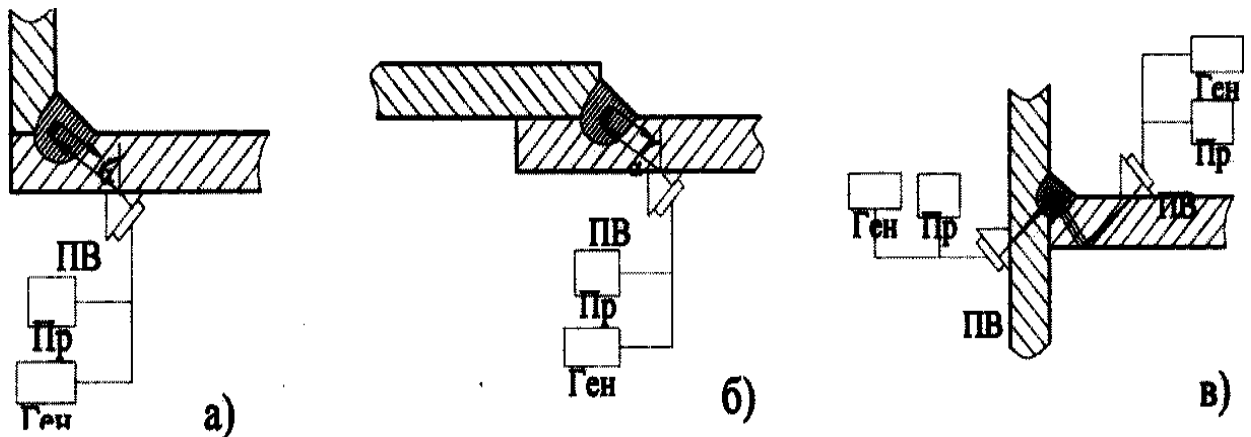
Для радіаційної дефектоскопії використовують рентгенівське та гамма – випромінювання з високою енергією та проникною здатністю. При цьому контролі частина енергії втрачається при проходженні через матеріал та стають видимими на моніторі дефекти через різну густину та проникність дефектних ділянок.

У магнітній дефектоскопії використовують здатність матеріалу змінювати магнітну проникність в дефектній області, та показувати зміну напрямку силових ліній, які обходять дефект. Особливо такому виявленню підпадають дефекти розташовані перпендикулярно до магнітних ліній, які істотно розсіють магнітне поле. Проте до даного виду контролю допускаються лише феромагнітні матеріали.

Діагностика ультразвуком відноситься до неруйнівних методів контролю зварних швів. Вона потрібна для дослідження стиків трубопроводів, судин та інших об'єктів, які працюють при підвищеному тиску. Перевірка дозволяє визначити ступінь зношування сталевих труб, обстежити з'єднання з нетиповою геометричною формою. Методика УЗК виявляє ушкодження всередині з'єднання після зварювання, які непомітні візуально. За ступенем точності ультразвуковий метод контролю порівнюють з рентгенівською дефектоскопією.

Для виявлення прихованих дефектів зварних з'єднань (пустот, хімічно неоднорідної структури) за допомогою ультразвукових коливань найчастіше застосовують тіньовий та ехо-імпульсний методи, рисунок 2 Ультразвуковий контроль зварних швів проводять відповідно ДСТУ 17640. Принцип УЗК заключається у використанні акустичних коливань з випромінювача та реєстрація у приймачі відбитих ультразвукових хвиль (еха). По послабленню ультразвукової хвилі роблять висновки про наявність дефекту у зварному шві. Проте даний метод контролю має обмеження щодо форми та товщини зварюваних деталей. Так при виявленні можливої дефектної області потрібно

мати вільну ділянку 5-7 см перед дефектом та зачистити її для нанесення масляної речовини для створення хорошого контакту генератора–випромінювача. Ехо-імпульсний метод УЗК (рисунок 2.3) досліджень можемо використовувати для кутових та таврових з'єднань даної зварної конструкції.



а - схема контролю кутових швів; б - схема контролю напусткових швів;
в - схема контролю таврових швів; ПВ - перетворювач випромінювання;
Пр -приймач; Ген - генератор; α - кут введення ультразвукової хвилі

Рисунок 2.3 – Схема контролю зварних швів УЗК

Проте в енергетиці дедалі частіше застосовуються трубопроводи малого діаметра. Мала товщина, обмежений доступ, різний хімічний склад, велика кількість стиків для обстеження стали викликом на даному етапі технічного розвитку. Дана проблема вирішується застосуванням сучасного методу УЗ контролю, технології фазованих решіток. При цьому методі використовуються переваги перетворювачів на фазованих решітках: кутове відхилення і переміщення ультразвукового променя реалізується за допомогою електронного сканування; електронне фокусування звукового променя в конкретній області; безперервний запис усіх сигналів під час сканування; швидке переміщення датчика вздовж шва та можливість сканування кількох груп одночасно.

УЗК фазованою решіткою - застосовує декілька перетворювачів ультразвукового контролю об'єднаних комп'ютером та спеціальним програмним забезпеченням. Наприклад, системи контролю методом фазової решітки SyncScan, Alfascan, TOPAZ [18] включають дефектоскоп, ланцюговий сканер та низькопрофільні датчики на фазованій решітці та спеціальне програмне забезпечення для контролю стикових зварних з'єднань труб із зовнішнім діаметром від 21 мм, рисунок 2.4.



Рисунок 2.4 – Виявлення дефектів зварних швів методом фазової решітки системою SyncScan

Для контролю трубопроводів малого діаметру використовуються спеціальна система з малих датчиків. Наприклад, компанії TWN з ультразвуковим дефектоскопом Alfascan I 16:64PR та ФР перетворювачем TWN-7.5CCEV35-A15, рисунок 2.5. На рисунку 2.6 в позиції а) показані схеми поширення ультразвукового променя, а на позиції б) зображення сканування дефекту на трубі звичайною лінійною фазованою решіткою та низькопрофільним фізично сфокусованим ФР перетворювачем.



Рисунок 2.5 – Ланцюговий сканер та низькопрофільні датчики на фазованій решітці компанії TWN для УЗК труб малого діаметру

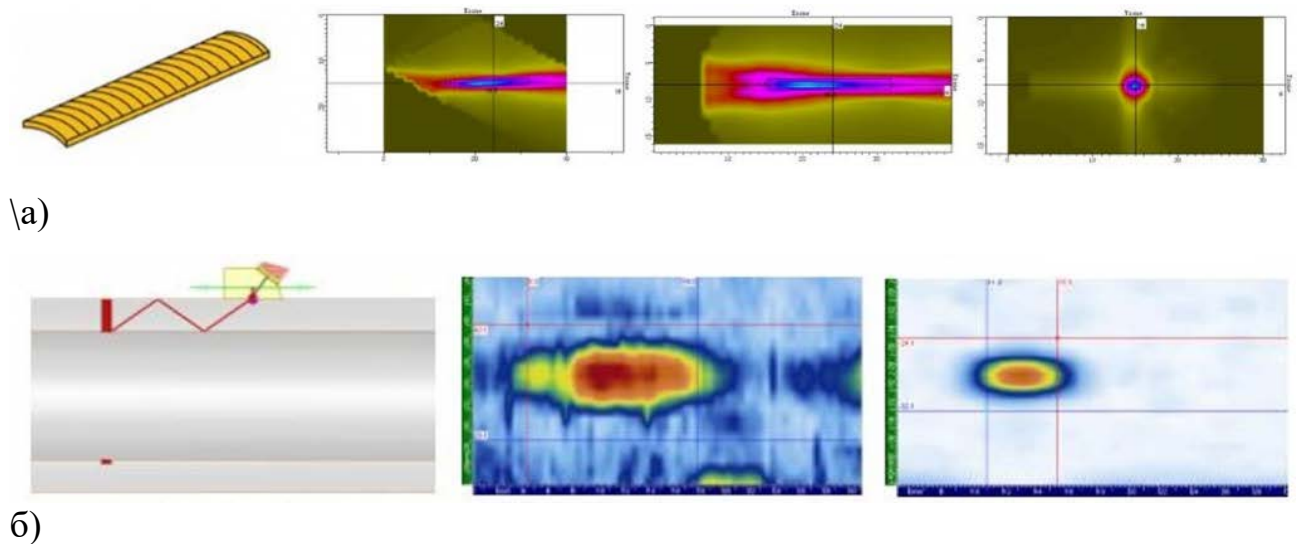


Рисунок 2.6 - Схеми поширення ультразвукового променю за традиційною технологією та з скануванням низькопрофільним перетворювачем на фазованій решітці

Проведені дослідження спеціально створених дефектів на трубах малого розміру при використанні УЗК з перетворювачами на фазованій решітці показали, чітко виявляються дефекти тріщин, непроварів та несплавлень, а дефекти пористості можуть глушитися низьким співвідношенням сигнал/шум та крупнозернистою структурою шва. Дефекти з гострішими краями виявляються краще. Застосування технології фазованих решіток для ультразвукового

контролю підвищує якість та достовірність результатів контролю, спрощує сам процес та підвищує швидкість контролю.

Отже, для організації контролю трубної стінки котла будемо використовувати візуально-оптичний, вимірювальний, ехо-імпульсний та ФР ультразвуковий методи.

2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення зварного виробу

Технологічний процес виготовлення стінки котла складається з наступних операцій: заготівельні, складальні, зварювальні, опоряджувальні, допоміжні, контрольні.

2.6.1 Заготівельні операції

Для отримання заготовок, з яких складаються вузли стінки котла, необхідно виконати наступні операції [17]:

- правлення;
- розмічування;
- гнуття;
- відрізання;
- очистка.

Заготовки труб відрізаємо на токарному верстаті, або відрізним верстатом, та знімаємо необхідні кромки кромкорізом для стикових з'єднань при потребі. Проводимо правку листового прокату на спеціальному верстаті UFR7x630. листоправильними валками в холодному стані. виготовляють із листового прокату та фасонних профілів (кутників та фасонних труб). Порізку листового прокату проводимо на гільотинному верстаті H2131. Гнуття заготовок труб проводимо на трубозгинальному верстаті згідно таблиці 2.8 та рисунка 2.7.

Таблиця 2.8 – Розміри заготовок для гнуття

№ труби	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№ ескіза	-	2	8	8	8	а	а	а	а	а	а	а	а
а, мм	-	100	100	100	100	1866	1853	1862	1862	2410	2410	2428	2466
б, мм	-	115	115	115	115	2066	2364	2200	2205	2200	2205	2200	2180

Проводимо гнуття труб згідно рисунка 2.4.

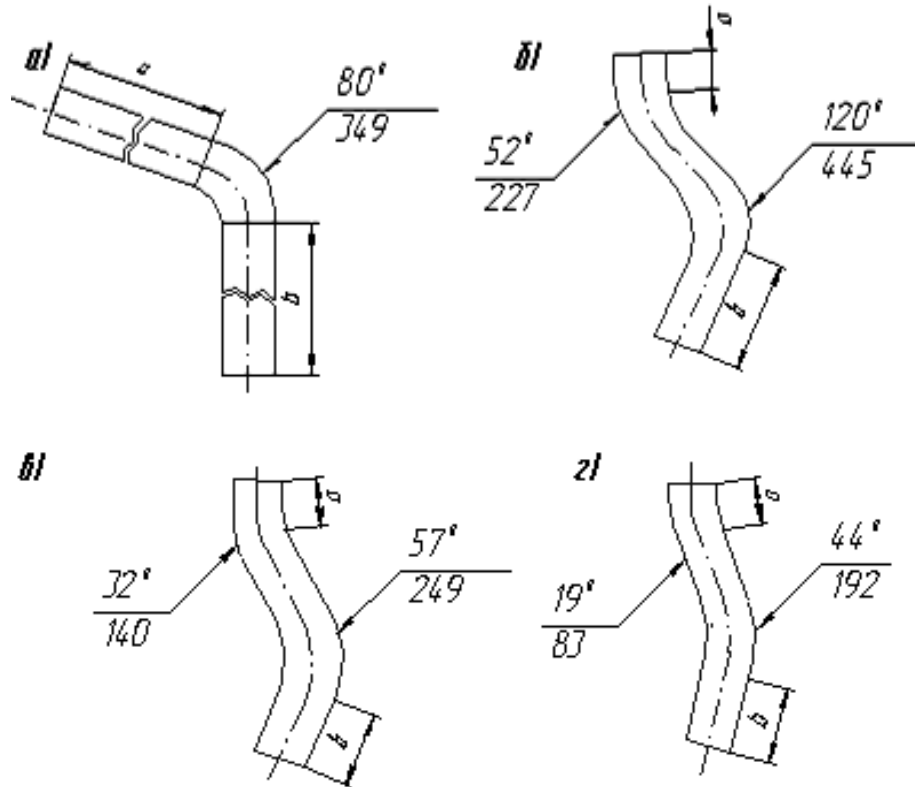


Рисунок 2.7 – Схема для гнуття трубчатих заготовок для стінки котла

Відрізання трубчатих заготовок для стінки котла проводимо згідно таблиці 2.9 та рисунка 2.8.

Таблиця 2.9 – Розміри та кількість труб

Довжина труби, мм	380	590	604	704	887	4281	4485	4662	4877	4959	4964	4977	5076
Кількість труб, шт	1	1	20	1	1	1	1	1	1	16	1	2	2
№ труби	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№ ескіза	8	8	8	8	8	а	а	а	а	а	а	а	а

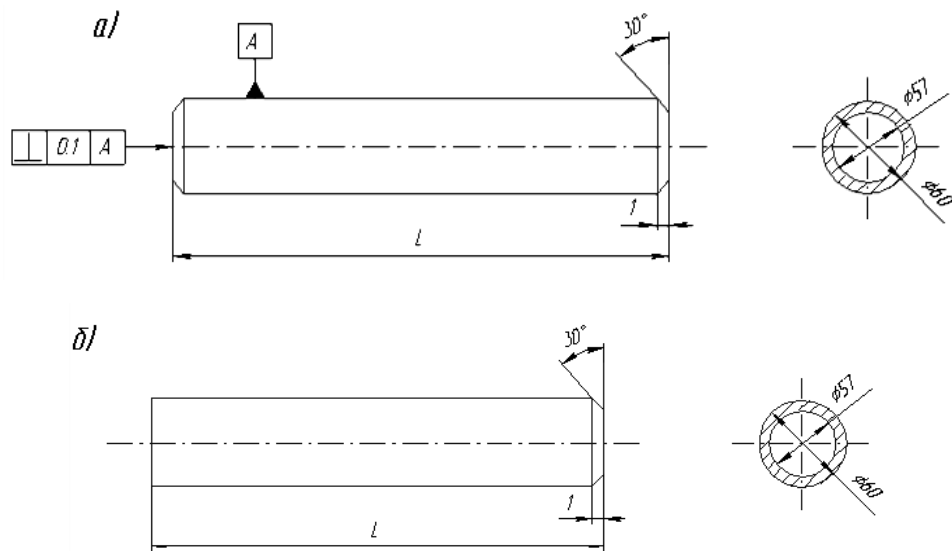


Рисунок 2.8 – Схема вирізання заготовок труб для стінки котла

До складання необхідно очистити зварювальні кромки деталей від фарби та іржі металевими щітками та тканиною.

2.6.2 Складальні операції

Перед складанням візуально перевіряємо відповідність деталей вузлів вимогам креслення. При складанні виробу забезпечуємо таке взаємне розміщення деталей, в якому вони повинні знаходитись в готовому вигляді. Складальний вузол повинен володіти жорсткістю і міцністю, необхідною для зменшення деформацій при зварюванні. Для виконання складання і зварювання вузлів стінки котла використовуємо складальне пристосування.

На першому етапі складання, проводимо збирання труби №1 з камерами №1 і №2 на складальному пристосуванні згідно рисунка 2.9.

Після цього проводимо збирання на прихопленнях труб з гребінками №1 и №2 згідно рисунка 2.10.

Наступним етапом, проводимо збирання на прихопленнях труб з приварними планками згідно рисунка 2.11. Кількість приварних планок – 40 штук.

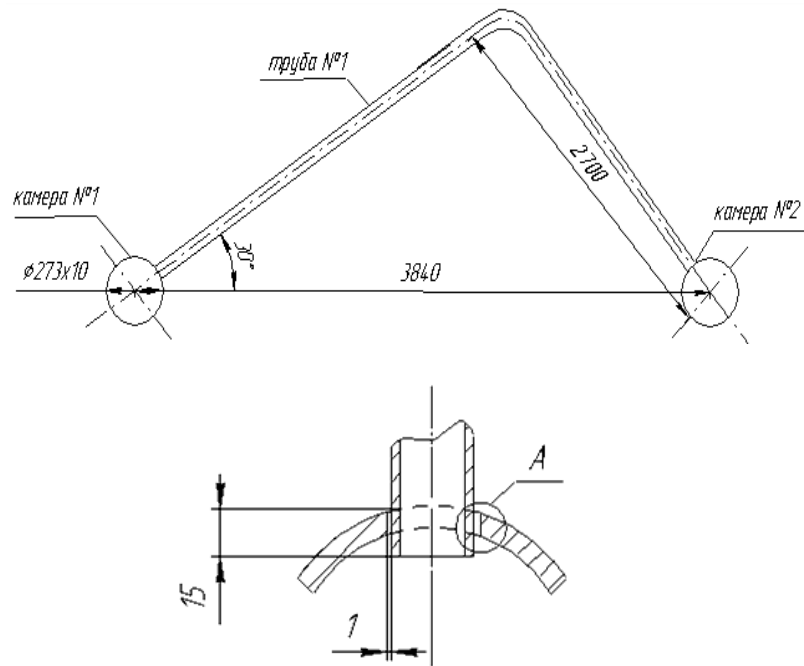


Рисунок 2.9 - Складання труби №1 з камерами №1 і №2

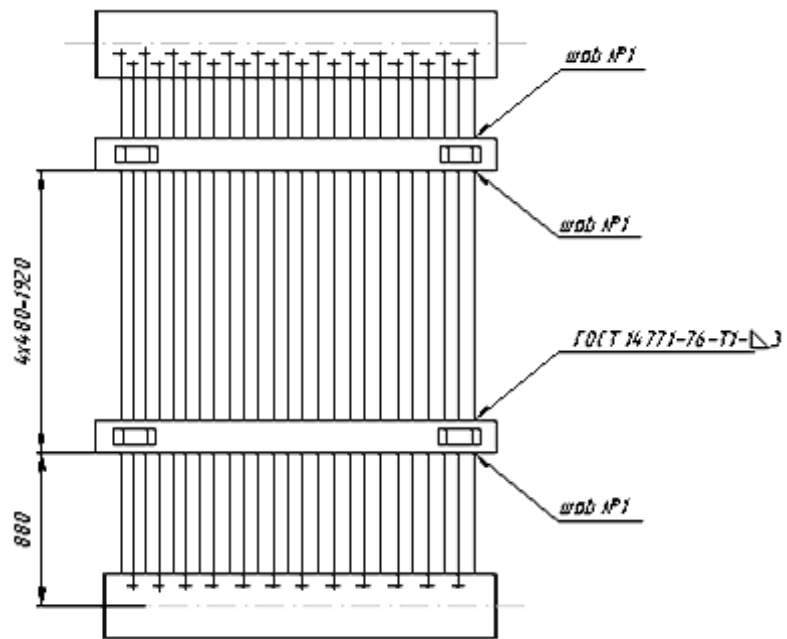


Рисунок 2.10 - Схема установки гребінок

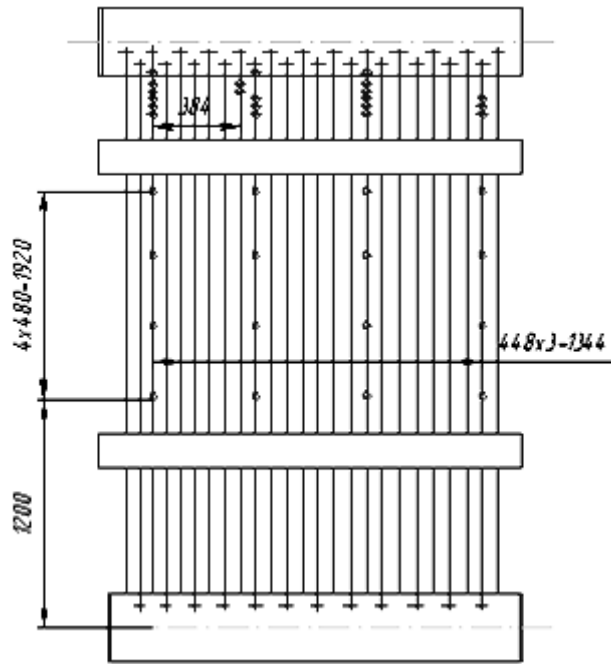


Рисунок 2.11 – Схема встановлення приварних планок

2.6.3 Складально-зварювальні операції

Складання та зварювання складальних одиниць та самої конструкції проводимо наступним чином:

- 1) встановити в пристосування деталь по фіксатору;
- 2) встановити в пристосування деталі із фіксуванням по пазу і до упору до деталі;
- 3) встановити в пристосування деталь;
- 4) притиснути встановлені деталі в пристосуванні притискачем;
- 5) виконати зварювання в допустимих місцях;
- 6) відкріпити складальну одиницю в пристосуванні і зняти;
- 7) провести кінцеве зварювання складальної одиниці.

Зварювання стикового з'єднання двох труб здійснюється за схемою рисунку 2.12. З допомогою ручного центратора, рисунок 2.13.

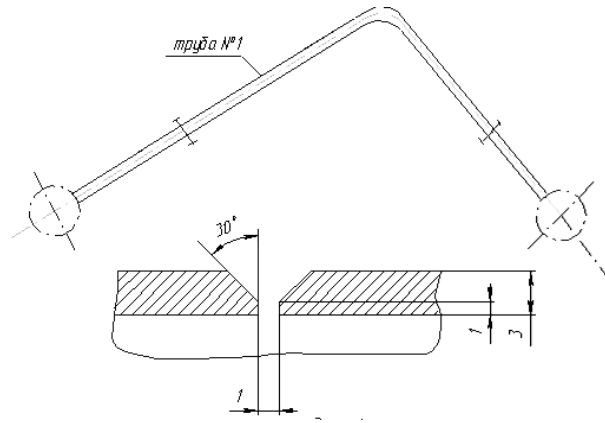


Рисунок 2.12 – Схема зварювання стикового з'єднання

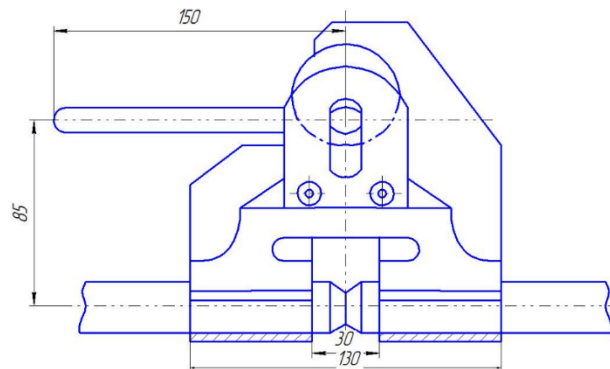


Рисунок 2.13 – Схематичне зображення ручного центратора труб

З'єднання труб з камерами проводиться за допомогою напівавтоматичного зварювання в середовищі суміші захисних газів. Збирання проводиться на прихопленнях у складальному пристосуванні рисунок 2.14.

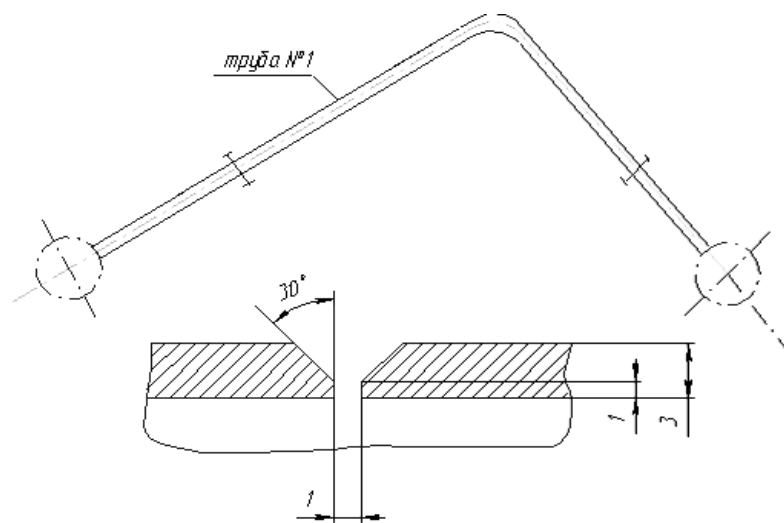


Рисунок 2.14 – Схема зварювання труб з камерами

Приварка гребінок проводиться по всій довжині контакту з трубами. Збирання здійснюється за допомогою прихоплень і складальних пристосувань. Вимоги до виконання і розмірів прихоплень, заходи з підготовки зварювальних матеріалів аналогічні вимогам при з'єднанні труб з камерами.

2.6.4 Опоряджувальні операції

Після виконання зварювання проводимо зачищення швів, видалення металевих бризок з поверхонь зварних вузлів. Проводимо зачистку зварюваних поверхонь згідно рисунка 2.15.

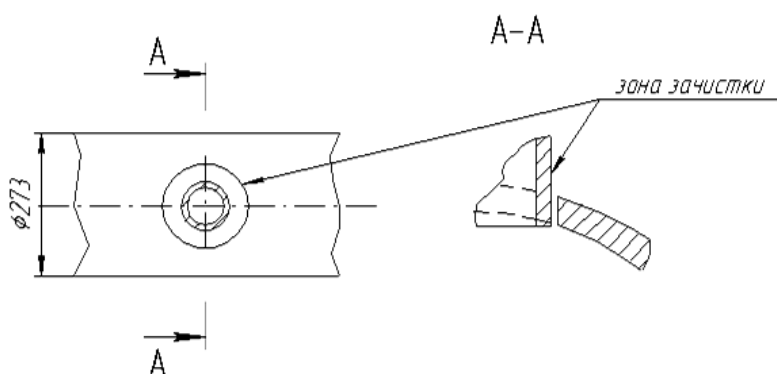


Рисунок 2.15 – Схема зачищення зварних швів

Для опоряджувальних операцій використовуємо окуляри ЗП – 12 – 72, молоток 7850-0103ц15хФ, зубило 8810 – 0223, шліфувальна машина Kinzo 8E282, кромкорізу NКОВ15AIR, щітка дискова металева ЩД-06.

2.6.5 Допоміжні операції

При виготовленні стінки котла виконуємо наступні допоміжні роботи:

- налагоджувальні;
- перевантажувальні;
- підйомно-транспортні.

Перед початком зварювання проводимо налагодження обладнання, регулюємо витрати захисного газу, виліт електродного дроту, встановлюємо параметри необхідного режиму зварювання. При виконанні перевантажувальних і підйомно – транспортних робіт здійснюємо встановлення деталей в кондуктори і кантувач, перевезення заготовок на робоче місце. Транспортування вузлів на наступні операції.

2.6.6 Контрольні операції

Контрольні операції містять комплекс контрольних робіт на кожному етапі виготовлення зварної конструкції. Сюди входять:

- контроль вхідних зварювальних матеріалів;
- контроль зварювальних матеріалів;
- контроль якості заготівельних, складальних, опоряджувальних операцій та операції зварювання;
- контроль зварних з'єднань і готової продукції.

Контроль розмірів труб після відрізання проводяться у відповідності з рисунком 2.16.

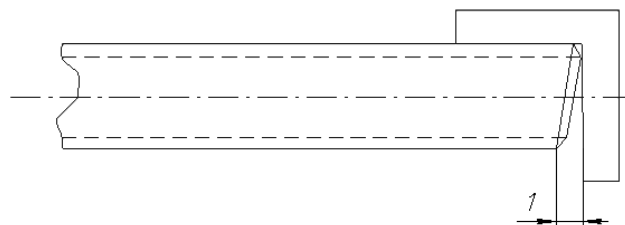


Рисунок 2.16 – Контроль розмірів трубчатих заготовок

Всі зварні шви підлягають 100% оптично-візуальному та вимірювальному контролю. Зовнішнім оглядом перевіряємо форму і розміщення швів у відповідності з кресленням [19], наявність зовнішніх дефектів, деформації вузлів, внутрішні дефекти в швах контролюємо ультразвуковим ехо-імпульсним методом з допомогою дефектоскопа УД2-12 та методом ультразвукової дефектоскопії технологією фазової решітки з допомогою

дефектоскопа AlfascanI16:64PR. Схема ультразвукового контролю представлена на рисунку 2.17.

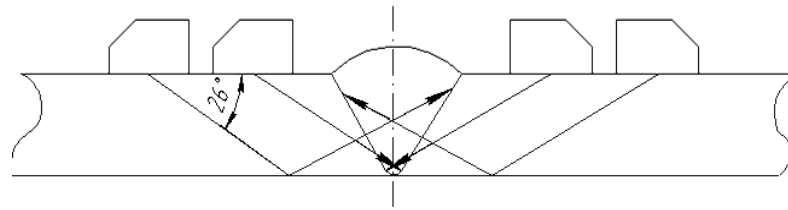


Рисунок 2.17 - Схема ультразвукового контролю

Висновки до другого розділу:

Для реалізації технологічного процесу виготовлення стінки котла КВ-ГМ-100 було запропоновано:

- напівавтоматичне зварювання у захисній суміші газів $Ar + 18\% CO_2$;
- для зварювання використати напівавтомат ПДГ-312, пальник ГДПГ-302 та випрямляч ВДГ-303-У;
- послідовні складальні операції проводити на складально-зварювальному пристосуванні з пневматичними притискачами;
- впровадити систему контролю якості з ультразвуковим контролем ехо-імпульсним методом та додатково методом фазованої решітки для трубопроводів малого діаметру.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір типу пристосувань, які застосовуються при виготовленні конструкції

Головне призначення складальних пристосувань це забезпечення необхідної послідовності складання деталей, їх фіксування в потрібному положенні, забезпечення необхідної точності складання за розмірами, формою, величини зазорів, проведення прихоплювань. Зварювання пристосування повинні забезпечити необхідну якість зварювальних робіт обраним способом та зменшити деформації. Вони складаються з фіксаторів, притискачів, упорів, стягуючих та розпірних пристроїв, складальних стендів, кондукторів і т.п. Для спеціального складального пристрою виготовляють жорсткий каркас з упорами. Виріб залишається в складально-зварювальному пристосуванні до кінця технологічного процесу.

Спочатку проводять складання та прихоплення, далі проводять зварювання. Для конструювання складального пристосування враховують особливості конструкції виробу, технологію зварювання та програму випуску.

Для проектування складально – зварювальних пристосувань використовують креслення деталей і виробів в цілому, технічні умови на виготовлення і приймання виробу, а також програма вказаного випуску.

Розроблення пристосувань – один із етапів технологічного підготовки виробництва виробів. Конструювання нового пристосування або модернізація існуючого проводяться на основі:

- аналіз технічної документації, умов та креслень після закінчення проектування виробу. Принципові питання створення зварної конструкції вирішуються на початковому етапі її проектування. Подальша технологічне опрацювання включає вибір раціональних заготовок, вибираються конструктивні та технологічні бази, відпрацьовується зручність підходів обладнання до місць зварювання, уточняється конструкція зварних з'єднань, проводяться технологічні заходи щодо усунення напружень та деформацій.. Конфігурація складальних деталей повинна дозволити легке складання виробу, прихоплювання та подальше зварювання з допомогою простих та недорогих пристосувань;

- розробка технології виготовлення виробу;
- аналіз виробничої річної програми випуску виробу;
- техніко-економічне обґрунтування найкращого варіанту пристосування із числа можливих.

Відповідно до наведених вимог та враховуючи особливості технології складальних та зварювальних робіт стінки котла будемо використовувати складальне пристосування для зварювання відразу після операції складання без транспортування.

3.2 Обґрунтування вибраних баз при виготовленні зварної конструкції

Складальні одиниці трубного вузла стінки котла повинні складатися за певною послідовністю технологічного процесу за правилами базування. У таких вузлах, деталі які входять у дотик з поверхнями пристосувань будуть базами для встановлення послідуєчих деталей. У трубному вузлі базування здійснюється на конусних поверхнях, рисунок 3.1.

Принципи базування деталей зварної конструкції використовують три перпендикулярні площини. При накладанні на заготовку зварного виробу

шести координатних зв'язків, конструкція буде позбавлена всіх степенів вільності, рисунок 3.2, [18].

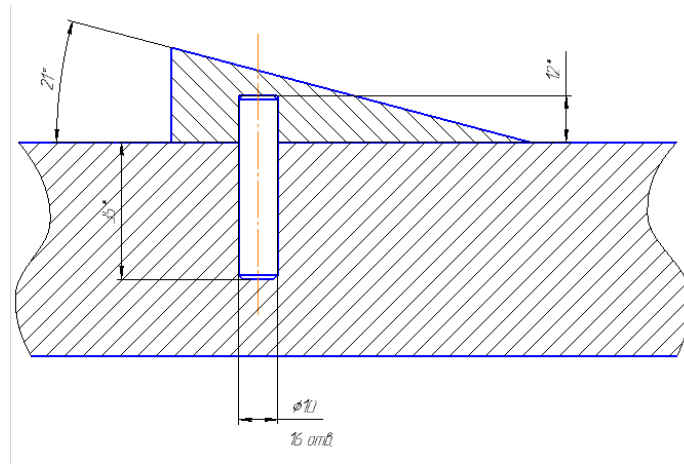


Рисунок 3.1- Схема базування деталі

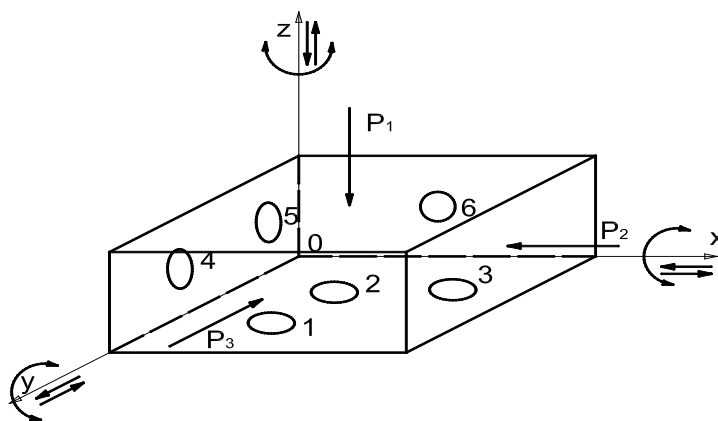
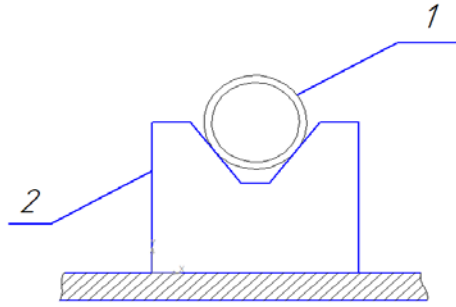


Рисунок 3.2 – Базування виробу

Особливістю складання зварюваного виробу стінки котла є послідовне орієнтування деталей та суміщення їх за складальним кресленням та закріплення перед зварюванням за допомогою притискачів та прихоплювання.

Форма поверхні складальних одиниць визначає і поверхню деталей пристосування. Тому трубні деталі камери будемо базувати на установочних жорстких призмах для фіксації осі даних циліндричних деталей. Призма позбавляє заготовку чотирьох ступенів вільності і представляє собою подвійну напрямну установочну базу. Це дозволить забезпечити точність та зручність встановлення (знімання) та зварювання даного вузла, а також

запобігти подальшій деформації. Схематичне зображення базування циліндричної заготовки в призмі показано на рисунку 3.3.



1- циліндрична заготовка; 2 – призма

Рисунок 3.3 – Схема базування циліндричної заготовки в призмі

3.3 Вибір типу затискних елементів складально-зварювальних пристосувань та їх розрахунок

Притискачі призначені для закріплення у визначеному положенні деталей при складанні та прихопленні для запобігання зміщення деталі та запобігання деформацій. Затискні елементи (механізми), до яких відносяться притискачі та затискачі, призначені для закріплення деталей зварюваного виробу в процесі складання і зварювання після їх встановлення в пристосування.

Притискачі забезпечують:

- правильне прикладання та напрямок притискного зусилля для закріплення деталей без зсувів відносно встановлених баз;
- надійне закріплення деталей на протязі всього процесу складання та зварювання;
- швидкодію;
- можливість зручного встановлення деталей в пристосування, зручність при зварюванні вузла, а також можливість знімання виробу із пристосування після зварювання;
- зручний підхід до них для легкого приведення в дію;
- безпечність в роботі.

Притискачі бувають ручними та механізованими. Механізовані притискачі дають більшу силу притискання, кращий рівень механізації, проте є дорожчими та складнішими в експлуатації. Ручні притискачі поділяють на клинові, гвинтові, ексцентрикові, важільні, байонетні. За видом приводу механізовані притискачі діляться на пневматичні, гідравлічні, пневмогідравлічні електромагнітні, з постійним магнітом. В деяких випадках притискачі об'єднують з упорами або фіксаторами і виконують у вигляді комплексного вузла переналагоджувальних та універсальних складальних пристосувань.

Найбільш поширеними механічними притискачами є гвинтові притискачі, які є зручними, надійними, простими в експлуатації та застосовуються в умовах відпрацювання технології виготовлення та для дрібносерійного виробництва.

З метою зменшення ручної праці, підвищення надійності затискання, підвищення рівня механізації технологічних операцій, зменшення часу на складання конструкції, зниження собівартості виробу застосовують механічні притискачі з пневмоприводом. Пневматичні приводи використовують стиснене повітря, яке попередньо очищається від пилу, вологи, але з ропиленим мастилом. Тиск може коливатися в системі не більше 10%. Для ввімнення пневмовприводів застосовуються золотники, для односторонньої дії з триходовими кранами, для двосторонньої чотириходові крани. З метою зменшення шуму стисненого повітря, на виході використовують глушники.

У зварювальних пристосуваннях широко застосовують поршневі пневматичні циліндри, [17, 20]. Головна їх перевага у швидкості дії та дистанційному керуванні для кріплення великогабаритних деталей. Поршневі циліндри є двосторонньої дії, в яких переміщення поршня в обидві сторони здійснюється за рахунок подачі стиснутого повітря, та односторонньої дії, коли повернення відбувається за рахунок пружини або власної маси. Розрахунок пневмопритискача зводиться до визначення діаметра поршня з метою

створення певного тиску. Схематичне зображення пневматичного притискача розподільчої камери приведено на рисунку 3.4.

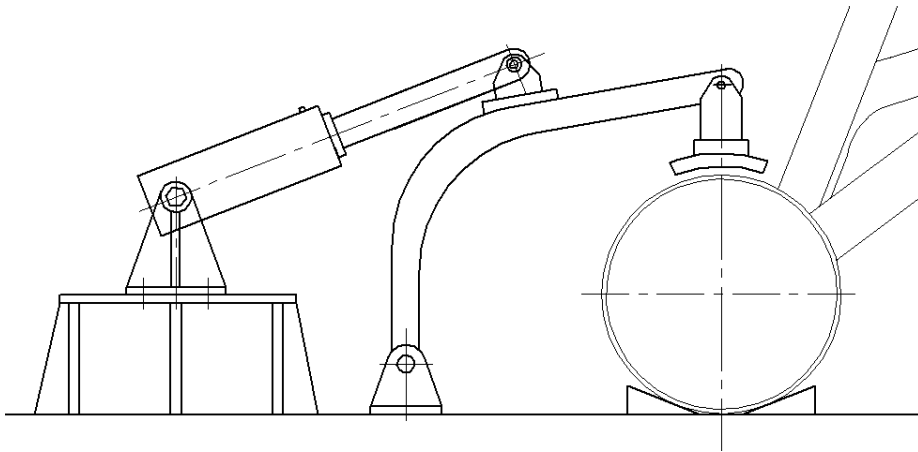


Рисунок 3.4 – Пневматичний притискач розподільчої камери

Проведемо розрахунок пневматичного циліндра для притискача складальної пристрою.

Вага розподільчої камери: $G = 845,5 \text{ кгс}$.

Найменша сила притиску P_{\min} складе:

$$P_{\min} \leq G, \quad (3.1)$$

Далі: $P = 3G = 3 * 845,5 = 2536,5 \text{ кгс}$.

Застосуємо умову для 6 пневмоциліндрів стенду:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = \frac{P}{6} = \frac{2536,5}{6} = 422,75 \text{ кгс}.$$

Розрахуємо силу на штоці:

$$P = \frac{\pi D^2}{4} * P_0 * \eta_n, \quad (3.2)$$

де D – діаметр пневмоциліндру, см;

P_0 - питомий тиск стиснутого повітря, який становить $4 - 6 \text{ кгс/см}^2$;

η_n - ККД пневмоциліндра ($\eta_n = 0,85 \dots 0,95$).

Отже, діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi P_0 \eta_n}}. \quad (3.3)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 422,75}{3,14 * 4 * 0,9}} = 12,2 \text{ см} = 122 \text{ мм} .$$

Приймаємо за стандартним рядом: $D = 125 \text{ мм}$

Дійсна сила на штоці становить:

$$P = \frac{3,14 * 12,5^2}{4} * 4 * 0,9 = 441,5 \text{ кгс} .$$

Обираємо за ДСТУ ГОСТ 15608 – 81 пневмоциліндр 1011 – 125x150 УХЛ4 із характеристиками: $D_{ц} = 125 \text{ мм}$, $d_{ш} = 32 \text{ мм}$, сила на штоці: штовхання - 4200Н, тяги – 4000Н за и тиску 0,4 МПа.

Для складання великогабаритної конструкції у складі складального стенду доцільно застосувати, крім шести механізованих пневмоциліндрів, також гвинтові притискачі для початкового виставлення та фіксації розподільчих камер, рисунок 3.5, 3.6. При розрахунку зусиль притискання враховують можливе деформування конструкції в процесі зварювання, а також дотримання зазорів між деталями виробу.

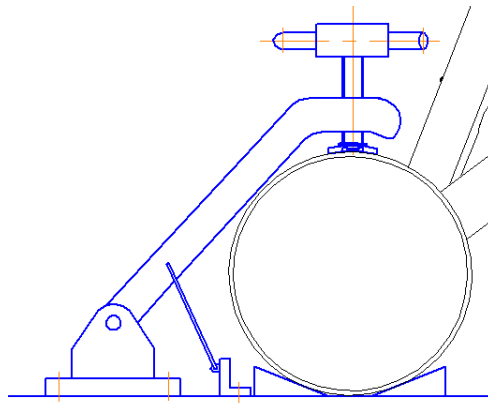


Рисунок 3.5 – Гвинтовий притискач розподільчої камери

Враховуючи виробничий досвід багатьох машинобудівних заводів і проектних організацій для закріплення деталей, зусилля кожного окремого затискача вибирають в межах 2...10 кН [20].

Враховуючи масу пристосування і виробу, обираємо зусилля притискання деталей величиною 10 кН.

Визначаємо діаметр притискного гвинта та момент його затяжки для закріплення заготовки з силою $Q = 10$ кН. Притискний кінець гвинта виконано плоским торцем. Визначаємо довжину l та діаметр d_0 рукоятки, розміри поперечного перерізу корпусу притискача $h \times \delta$, кількість витків різьби та висоту гайки. Обираємо матеріал гвинта сталь 45, $\sigma_T = 80$ МПа; матеріал корпусу гвинта сталь марки Ст 3, $[\sigma] = 160$ МПа.

При визначенні внутрішн. діаметру гвинта, враховуючи коефіцієнт скручування $\gamma = 1.5$.

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \gamma \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.5 \cdot Q}{3.14 \cdot [\sigma]}} \approx 1.4 \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{[\sigma]}}$$

$$d_{\text{вн}} = 1.4 \sqrt{\frac{10000}{80 \cdot 10^6}} = 1.4 \sqrt{1.25 \cdot 10^{-4}} = 0.015652 \text{ м}; d_{\text{вн}} = 15.652 \text{ мм};$$

За стандартом ГОСТ 9150 – 59 обираємо гвинт $M20 \times 2.5$ з $d_{\text{вн}} = 17.294$ мм, $d_3 = 20$ мм.

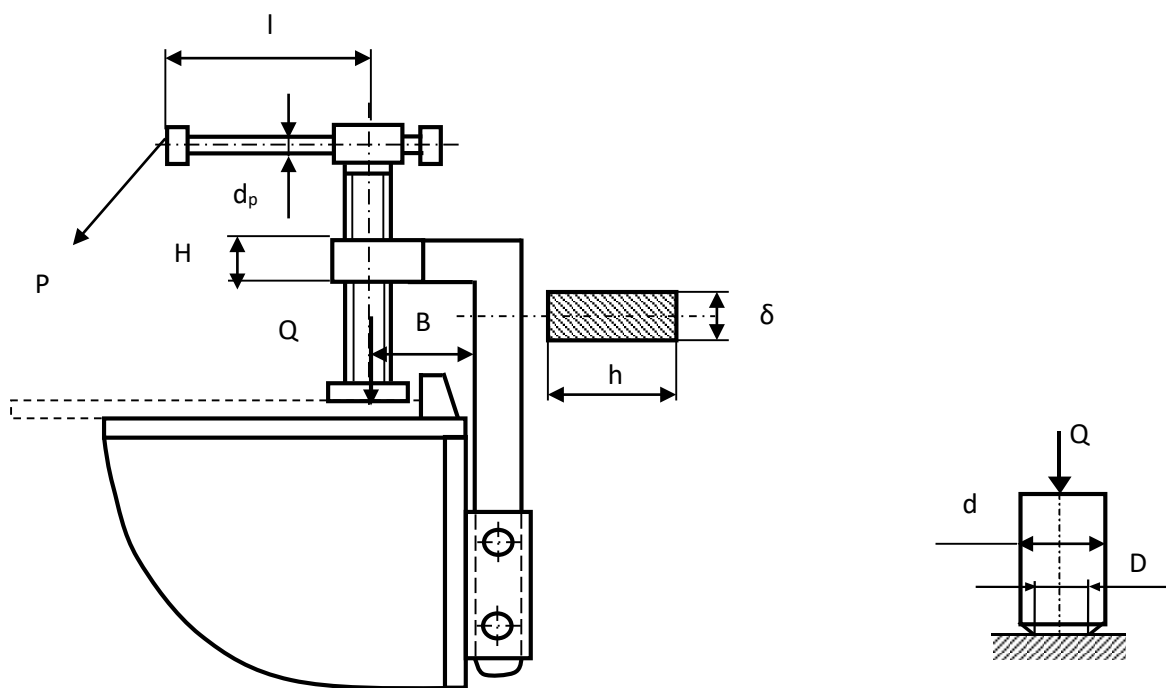


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема гвинтового притискача з плоским торцем

Момент затяжки гвинта з плоским торцем

$$M_{\text{пт}} = Q[r_{\text{cp}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + M_{\text{пт}}] = Q\left[r_{\text{cp}} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + \frac{1}{3} \mu D\right],$$

де $\mu = 0,1$ – коефіцієнт тертя ковзання;

$$D = 0,8d;$$

$$\begin{aligned} M_{\text{пт}} &= 10 \cdot 10^3 \cdot \left(0,45 \cdot 0,020 \cdot 0,1614 + \frac{1}{3} 0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,020 \right) = \\ &= 10 \cdot 10^3 (14,5626 \cdot 10^{-4} + 5,333 \cdot 10^{-4}) = 19,859 \text{ нм} \end{aligned}$$

Визначаємо довжину рукоятки, якщо зусилля на рукоятці $P=100$ Н

$$l = \frac{M_c}{P} = \frac{14,526}{100} = 0,145 \text{ м}$$

приймаємо $l=150$ мм; а у випадку плоского торця

$$l = \frac{M_c}{P} = \frac{19,859}{100} = 0,199 \text{ м},$$

приймаємо $l=200$ мм.

Діаметр поруччя гвинта визначаємо з умови міцності

$$\sigma = \frac{Pl}{W} \leq [\sigma], \text{ де для круглого перерізу осьовий момент опору } W \approx 0,1 \cdot d_p^3$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{Pl}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 0,15}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,012 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр поруччя $d_p = 12$ мм.

Визначаємо кількість витків різьби в гайці

$$n = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_{\text{гн}}^2) p_0},$$

де $p_0 = 9 \dots 13$ МПа, питомий тиск в різьбі для сталеві гайки та сталевого гвинта.

$$n = \frac{10000}{\frac{3,14}{4} (0,020^2 - 0,017294^2) 10 \cdot 10^6} = \frac{10000}{0,785 (4 \cdot 10^{-4} - 2,99 \cdot 10^{-4}) 10 \cdot 10^6} = 12,63$$

Встановимо $n = 13$ витків.

Визначимо висоту гайки для заходів різьби $m = 1$

$$H = \frac{nS}{m}; \quad S = 2\pi r_{cp} \operatorname{tg} \alpha.$$

Для кроку різьби $S=2,5$ мм H складе

$$H = \frac{13 \cdot 2,5}{1} = 32,5 \text{ мм.}$$

Визначимо далі розміри притискача $b \times \delta$; за товщиною $\delta=10$ мм.

Момент згину для сили Q $M_z = Qb$.

За рівнянням міцності, шукаємо ширину корпусу

$$\sigma = \frac{QB}{W} + \frac{Q}{b\delta} \leq [\sigma], \quad \sigma \leq 1,05[\sigma].$$

Визначимо поперечний переріз корпусу

$$\sigma = \frac{6QB}{b^2\delta} \leq [\sigma], \quad \text{звідки } b = \sqrt{\frac{6QB}{\delta[\sigma]}};$$

$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,01 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,061 \text{ м.}$$

Приймаємо $b = 60$ мм.

Перевіримо корпус гвинтового притискача на міцність

$$\sigma = \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,06^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,06 \cdot 0,01} = 333 \text{ МПа.}$$

Отже, $\sigma > [\sigma]$, що недопустимо. Змінюємо розміри і беремо $b = 70$ мм.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,07^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,07 \cdot 0,01} = 1,224 \cdot 10^8 + 1,429 \cdot 10^7 = \\ &= 122,4 + 14,29 = 137,3 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Приймаємо остаточно, $b = 70$ мм при товщині $\delta=10$ мм.

Розрахунок трубного центратора.

Достатня сила попередньої затяжки винта, що забезпечує нерозкриття стику деталей, є необхідною умовою надійності та герметичності з'єднання, [20].

Розрахункова сила на винт визначається за наступною формулою:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} [\sigma], \quad (3.9)$$

де d - внутрішній діаметр різьби, мм;

$[\sigma]$ - допустиме напруження, кгс/см².

$$F = \frac{3,14 * 3,6^2}{4} * 250 = 2543 \text{ кгс}.$$

Щоб запобігти розкриттю стиків деталей з'єднання, треба забезпечити умову:

$$F_0 > F(1 - \chi), \quad (3.10)$$

де χ - коефіцієнт зовнішнього навантаження, приймається 0,2...0,3.

Таким чином, достатня сила попередньої затяжки:

$$F_0 = 2543 * (1 - 0,3) = 1780 \text{ кгс}.$$

Потрібна сила затяжки:

$$F_0 = \frac{kF}{if}, \quad (3.11)$$

де k - коефіцієнт надійності з'єднання; $k = 1,5$;

i - число пар площин стику;

f - коефіцієнт тертя ковзання; $f = 0,15$.

Отримаємо: $F_0 = \frac{1,5 * 2543}{2 * 0,15} = 1271,5 \text{ кгс} < F_0 = 1780 \text{ кгс} = 17456 \text{ Н}$ - умова

виконується.

3.4 Принцип роботи складально – зварювальних пристосування

Для складально-зварювальних стенду стінки котла використовуємо трубні центратори, гвинтові та пневматичні затискачі, упори та призми. Для виготовлення зварних конструкцій високої якості потрібне правильне складання деталей зварюваного виробу, тобто їх правильне взаємне встановлення та закріплення.

Складально-зварювальні операції проводяться за послідовними операціями складання та зварювання труб з допомогою центратора,

складання та зварювання труб з розподільчими камерами (гребінками), складання та зварювання труб з планками.

На першому етапі складання збираються труби №1 з допомогою центратора. Далі на призми встановлюються та фіксуються розподільчі камери №1 і №2 на складальному пристосуванні з допомогою гвинтових та пневматичних притискачів. Наступною операцією складаються та зварюються труби №1 та камери №1 та №2. Далі, проводиться складання та прихоплення труб з планками, рисунок 2.8. Транспортування деталей здійснюється за допомогою лебідки.

Застосування комбінованого складально-зварювального стенду для виготовлення стінки котла дозволяє виконувати зварювання в одному пристрої без переміщення. Це забезпечує необхідну точність складання, величину зазорів. Використання шести пневмопритискачів дозволяє швидко, дистанційно та надійно зафіксувати деталі без ручної праці, виконати притискання одночасно в шести точках.

Висновки до третього розділу:

В результаті розрахунку елементів складально-зварювального пристосування: отримано:

1. Стандартну модель пневмоциліндра 1011 – 125x150 УХЛ4 ,
2. Гвинтовий притискач з плоским торцем з діаметром гвинта 20 мм,
3. Перевірено умови міцності з'єднань трубного центратора для сили затягування 17,5 кН.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Працездатність людини – оператора

Працездатність людини означає її здатність виконувати роботу з відповідною якістю і в установлений час. Ця здатність залежить від зовнішніх та внутрішніх факторів.

Зовнішні фактори включають такі аспекти як кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаємин в колективі та вплив факторів середовища. Ці фактори можуть впливати на працездатність людини.

Внутрішні фактори включають рівень підготовки, тренуваність та емоційну стійкість людини. Рівень підготовки та тренуваність важливі для ефективного виконання роботи, а емоційна стійкість може впливати на стійкість працездатності під час різних функціональних станів, які виникають під час роботи.

В процесі роботи людина може переживати різні функціональні стани, які впливають на її рівень працездатності. Існує чотири фази працездатності (рисунок 4.1): пристосування до роботи, стійка працездатність, субкомпенсація та втома, [21]. Тривалість кожної фази і весь цикл роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи.

Загалом, працездатність людини залежить від взаємодії зовнішніх і внутрішніх факторів, а також від її загальної фізичної та психологічної готовності до виконання роботи, [21].

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ,

адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ($t_1 - t_2$) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

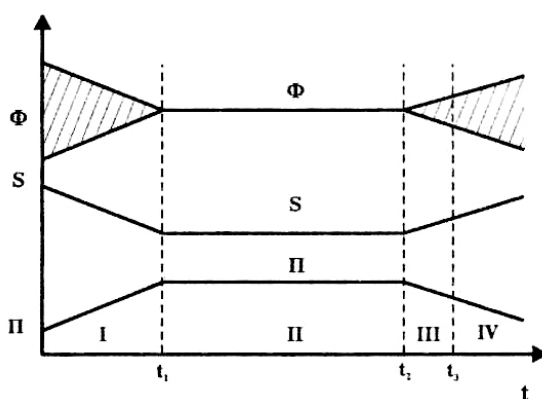


Рисунок 4.1 – Фази працездатності: Ф – показник функціонального стану; Б – помилки роботи; П – продуктивність праці.

Збільшення кількості технічних і технологічних відмов призводить до зниження надійності систем. Часто це впливає з незгоди між різними компонентами системи "людина-машина-середовище". Люди-оператори керують машинами і забезпечують їх обслуговування, тому оператор вважається важливою складовою, від якої залежить надійність всієї системи "людина-машина-середовище" (ЛМС). Сучасне виробництво вимагає відповідності якісному обладнанню, технологіям і людям, які є складовими елементами системи "людина-машина-середовище". Але людина не є просто елементом системи - вона є найважливішою складовою.

Процеси удосконалення технології та обладнання з кожним роком розвиваються, однак можливості людини, особливо психофізіологічні,

поступово зменшуються. Це створює відчутну негативну диспропорцію між технологічними процесами та обладнанням, які постійно покращуються, і психофізіологічними та фізичними можливостями людини, яка бере участь у праці. Ця негативна тенденція впливає на кількість нещасних випадків на виробництві. Оптимізація процесу праці є складною комплексною задачею, яку сприяє ергономіка. За допомогою ергономіки можна оптимізувати умови та процес праці, а також підвищувати професійну майстерність.

Функціонування системи «ЛМС» стає ефективним лише тоді, коли працюють ефективно як технічні компоненти, так і людина-оператор. Оцінка продуктивності оператора здійснюється на основі надійності, ергономічності та ризику виникнення небезпечних ситуацій. Загальна надійність системи «ЛМС» залежить від надійності як обладнання (машини), так і оператора. Оператор є ключовим елементом, що забезпечує працездатність системи «ЛМС». В технологічній системі саме людина здійснює роботу зі зміною і контролем стану об'єктів виробництва, технічного обслуговування та ремонту технологічного обладнання. Людина-оператор керує та обслуговує техніку, тому вона є важливим елементом, на якому ґрунтується надійність складної системи «ЛМС».

Оператора оцінюють за його надійністю, що визначається як ймовірність виконання роботи або завдання якісно і в установлений термін за заданих умов. Надійність діяльності оператора у системі "ЛМС" залежить від його організму та здатності надійно керувати технічними засобами та забезпечувати їх обслуговування. Зазвичай, надійність оператора представляють у формі структурної та функціональної надійності. Структурна надійність відображає здатність оператора зберігати працездатність протягом певного часу при певних умовах. Функціональна надійність виражає здатність оператора виконувати покладені на нього функції відповідно до завдання в той же термін і при тих самих умовах. Для безпечного функціонування системи "ЛМС" важлива є функціональна надійність, тому надійність оператора характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності та своєчасності. Як

і для технічних засобів, основним показником безпомилковості роботи є ймовірність безпомилкового виконання завдання. Ця ймовірність розраховується як для окремої операції, так і для всього завдання (алгоритму) в цілому.

Суб'єктивні фактори, які впливають на роботу оператора, залежать від його стану, індивідуальних характеристик, морально-психологічних якостей, медико-біологічних показників та рівня підготовки до даного виду діяльності. Ці фактори мають бути враховані при організації роботи оператора, що гарантує безпеку функціонування системи "ЛМС".

Індивідуальні особливості оператора визначаються загальним станом його здоров'я, нервовою системою та психофізіологічними характеристиками. Вони визначають здатність людини до навчання й тренування і є основою для професійного відбору. Індивідуальні особливості оператора оцінюються на основі критеріїв безпомилковості, працездатності, витривалості та готовності до екстреної роботи, стійкості до перешкод, емоційної стійкості, відновлення працездатності під час відпочинку, різноманітності методів та прийомів роботи, гнучкості й здатності швидко змінювати стратегію дій, швидкості прийняття й виконання рішень тощо.

Увага займає важливе місце серед психічних процесів, що впливають на якість роботи оператора. Вона характеризується здатністю мозку до відповідних реакцій на певні сигнали, збільшенням чутливості аналізаторів і зменшенням часу реакції на очікувані сигнали, а також підвищенням готовності виконавчого апарату до цих сигналів. Рівень уваги визначає ступінь налаштованості людини до сприймання і обробки інформації.

Надійність оператора залежить від здатності розподіляти і переключати увагу. Об'єктивні фактори поділяються на ергономічні та фактори середовища. До факторів середовища відносяться умови праці та фактори трудового процесу. Умови праці впливають на здоров'я та працездатність людини і регулюються санітарними нормами. Особливості трудового процесу визначають

психофізіологічні фактори, такі як важкість і напруженість праці, які характеризують фізичну та розумову навантаженість відповідно.

Відновлення працездатності (відпочинок) є важливою фазою в життєдіяльності людини. Тривалість цієї фази може варіюватися від кількох хвилин до кількох діб, залежно від індивідуальних потреб та обставин.

Під час регламентованих перерв, які мають на меті зниження нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, а також запобігання розвитку позотонічної (статичної) втоми, доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ. Ці вправи можуть бути спрямовані на розслаблення м'язів, покращення кровообігу, витягування, зміщення та стимулювання рухів, які сприяють відновленню енергії та психофізичному відпочинку. Вони можуть включати легкі розтяжки, дихальні вправи, м'язові релаксації та інші техніки, спрямовані на покращення загального самопочуття та відновлення працездатності. Ці спеціально розроблені комплекси вправ можуть бути використані як частина організації праці, щоб підтримувати ефективність та здоров'я працівників, зменшувати негативний вплив робочого процесу на організм та покращувати загальну якість роботи.

4.2 Аналіз та характеристика потенційних небезпек та шкідливостей на зварювальній ділянці механічного цеху

Дільниця механічного цеху, де проводиться виготовлення стінки котла, має потенційно небезпечні операції та шкідливі фактори які загрожують здоров'ю працівників

Технологічний процес виготовлення трубних заготовок передбачає нарізку нарізку листів на гільйотинних ножницях Н-478, трубних заготовок на стрічкопильних верстатах та зняття фаски кромкорізами, транспортування заготовок за допомогою мостового крана КМ 16; зварювання електродуговим

зварюванням напівавтоматом ПДГ-312 в середовищі газової суміші аргону та вуглекислоти.

Так, під час виготовлення трубної конструкції, на робочому місці виникають забрудненість та загазованість повітря, підвищений рівень шуму, опромінення ультрафіолетовими променями, можливі опіки, удари, притискання. Тому, потрібно дотримуватись правил техніки безпеки та експлуатації обладнання [22, 23]. Аналіз та характеристика потенційно небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення показано в табл.4.1.

Таблиця 4.1-Аналіз потенційних небезпек виробничих факторів

Джерела небезпек	Характеристика потенційних небезпечних виробничих факторів та їх допустимі значення
Мостовий кран двохбалочний КМ16 (Q=16т). Тип двигуна МТН512-6, N=55кВт	Знаходження працівника у зоні можливого падіння вантажу, удари від подавальних пристроїв
Різка на гільйотинних ножницях Н3121в N=30кВт	Рівень звукової потужності при f=125Гц Lp=100дБ, фактичний Lp=115-120дБ, незахищені струмоведучі частини
Напівавтоматичне електродугове зварювання ПДГ-312, випрямляч ВДУ-303	Виділення окислу марганцю 0,11-0,7мг/м ³ , допустимий 2,5-мг/м ³ . Високий струм до 300 А. Висока напруга 380В. Рівень звукової потужності Lp=108дБ при f=125Гц. Інфрачервоне випромінювання 140Вт/м ² до 25% тіла[23], ультрафіолетове випромінювання при λ=280-315нм допустима величина 0,05Вт/м ² , фактична 8Вт/м ²
Повітряно-плазмова різка CUT-100 N=15кВт	Висока температура плазми 6000-2000 °С Допустимий рівень звукової потужності Lp=100дБ при f=125Гц . Ультрафіолетове випромінювання при λ=280-315нм допустима величина 0,05Вт/м ² , інфрачервоне випромінювання 140Вт/м ³ . Випари окислу марганцю 0,3мг/м ³ , хрому 0,5 мг/м ³

При зварюванні конструкції стінки котла використовуються різні види зварювання, при яких виділяються шкідливі речовини, які негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Тому при зварюванні необхідно користуватися санітарно-гігієнічними вимогами до повітря робочої зони (ДСН 3.3.6.042 – 99 „Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”). Інтенсивність виділення шкідливих газів залежить від способу зварювання, марки зварювальних матеріалів і зварюваного металу. При виготовленні

конструкції стінки котла використовується сталь 20, та зварювальні матеріали: зварювальний дріт Св-О8Г2С, вуглекислий газ та аргон.

Для забезпечення безпеки монтажу та експлуатації основного зварювального та допоміжного механічного обладнання, на складально-зварювальній ділянці з виготовлення стінки котла передбачено ряд заходів (таблиця 4.2):

- встановлення та монтаж установок виконують згідно з робочими кресленнями та монтажними планами;
- від ураження електричним струмом використовується захисні заземлення, захисні кожухи струмопідвідних частин обладнання;
- для захисту від світлового випромінювання ділянка зварювання обладнується огорожею, працюючим видається захисний одяг, маски, взуття та рукавиці;
- при експлуатації зварювального обладнання і електроустановок необхідно дотримуватися «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», [24].

Також при виготовленні стінки котла на складально-зварювальній ділянці механічного цеху необхідно дотримуватися наступних вимог техніки безпеки :

- забороняється заземлювати окремі частини обладнання паралельно;
- кожний пристрій, який відноситься до заземлення повинен безпосередньо бути заземлений;
- робота на зварювальному обладнанні дозволяється при наявності надійного заземлення зварювального джерела, шафи живлення та самого автомата;
- місце зварювання необхідно обгороджувати щитами;
- забороняється наявність біля місця зварювання легкозаймистих речовин;
- зварювальники можуть бути допущені до роботи після детального інструктажу з техніки безпеки;
- зварювальники повинні мати рукавиці, спецодяг та взуття;

- підключення, відключення та ремонт зварювального обладнання повинен проводити лише наладчик;
- відповідальність за техніку безпеки на дільниці несе начальник дільниці або майстер.

Таблиця 4.2- Технічні заходи захисту від виявлених потенційних небезпек виробничих факторів

Небезпечний фактор виробничого середовища	Проектний або вибраний захисний засіб	Технічна характеристика пристрою або захисту	Місце розміщення на плані або на обладнанні, час використання
Електротравматизм від струмопідвідних частин обладнання	Заземлення, подвійна ізоляція	Недоступність струмопідвідних частин. Відсутність небезпеки заземлення на корпус.	Постійне використання. При пошкодженій ізоляції дії заземлення
Пошкодження шкіри рук та очей стружкою металу	Захисне огороження, захисні окуляри тип 0,6;06-72; спецодяг, спец.рукавиці	Огороження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих. Окуляри захисні з прямою вентиляцією	По всій довжині виробу. Постійне використання
Травми органів зору через випромінювання	Захисне огороження, використання засобів індивідуального захисту, світлофільтри	Огороження повинно забезпечувати максимальний захист працюючих	Навколо місця зварювання. Постійне використання
Отруєння шкідливими речовинами	Вентиляційні установки	Зниження рівня концентрації шкідливих речовин у робочій зоні до гранично допустимого	Біля джерела виділення шкідливих речовин. Використання під час проведення технологічних операцій

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра було розроблено технологію виготовлення конструкції трубного вузла стінки котла КВ – ГМ – 100, який складається з розподільчих колекторів, труб та планок.

Для реалізації технологічного процесу виготовлення стінки котла КВ-ГМ-100 було запропоновано складально – зварювальні операції з допомогою напівавтоматичного електродугового зварювання у захисній суміші газів Ar + 18% CO₂. Послідовні складальні операції проводяться на складально-зварювальному пристосуванні з пневматичними притискачами. Дані інновації дозволять підвищити продуктивність виготовлення та якість складання зварних з'єднань та зварювання, зменшить втрати електродного металу через розбризкування та вигорання, покращить властивості зварних швів та забезпечить безпечні умови праці робітників з меншою частиною ручної праці. У відповідності з технологією виготовлення було розраховано режими зварювання, підібрано раціональне основне зварювальне обладнання та оснастку. З метою уникнення переробок та усунення дефектів у складній зварній конструкції трубного вузла запропоновано систему контролю, де крім оптично-візуального, вимірювального та ехо-імпульсного ультразвукового методу контролю, для турбопроводів малого діаметру ще додатковий ультразвуковий метод контролю з допомогою технології фазованої решітки.

Розроблено складально – зварювальне пристосування з пневматичним притискачем, що підвищує рівень механізації, скорочує час на виготовлення конструкції, зменшує собівартість виробу та зменшує ручну працю робітників. Проведено також міцнісні розрахунки для елементів технологічної оснастки: механічного гвинтового притискача та трубного центратора.

В приведеній кваліфікаційній роботі бакалавра запропоновано заходи із безпеки життєдіяльності та охорони праці, щодо покращення якості роботи оператора механізованих пристроїв та проаналізовано вплив потенційних небезпек та шкідливих факторів на здоров'я робітників

на зварювальній ділянці з виготовлення стінки котла, що дозволило покращити безпеку праці, зменшити професійні захворювання та попередити виробничий травматизм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции: Технология изготовления, автоматизация производства и проектирование сварных конструкций [Текст] / Г.А. Николаев, С.А. Куркин – М.: Высш.школа, 1999. – 540 с.
2. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
3. Bailey N. Weldability of Ferritic Steels / N. Bailey. – Cambridge : Abington Publishing, 1994. – 286 с.
4. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Розрахунково-графічна робота [Текст] / Укл. Сливінський О.А. –Київ: КПі ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 52 с.
5. Сефериан, Д. Металлургия сварки [Текст] / Д. Сефериан; пер. с фр. И. Н. Вороновицкого и В. Д. Тарлинского. – М.: Машгиз, 1963. –347 с. – Библиогр.: с. 339344. – 3500 экз. – Перевод изд.: Metallurgie de la Soudure / D. Seferian. Paris: Dunod.
6. Коперсак, В.М. Теорія процесів зварювання [Текст]: Текст лекцій (в двох частинах) / В.М. Коперсак – 4-е вид., випр. I доп. –К.: НТУУ «КПІ».-228 с.
7. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни для студентів напряму 050504 «Зварювання» // Укладачі: О.А. Сливінський, Н.М.Стреленко. - К.: НТУУ «КПІ», – 2012. - 39 с.
8. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1995. - 166 с.
9. Романів В. Є., Лазарюк В. В. Особливості застосування сумішей захисних газів при напівавтоматичному зварюванні плавким електродом // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / Романів В. Є., Лазарюк В. В. // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – с.18-19.

10. Костін О.М. Зварювальні матеріали [Текст]: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
11. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением [Текст]: учеб. / С.И. Думов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 640 с.
12. Биковский О.Г. Довідник зварника [Текст]: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
13. Александров О.Г. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, І.І. Заруба, І.В. Пінковський. – К.: Техніка, 1998. – 174 с.
14. Александров О.Г. Проектування та експлуатація обладнання для дугового зварювання [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк. – Львів: Новий світ – 2000, 2011. – 312 с.
15. Александров А.Г. Эксплуатация сварочного оборудования [Текст]: учебн. / И.И. Заруба, Н.В. Пинковский, А.Г. Александров. – К.: Будівельник, 1990. – 224с.
16. Дефектоскоп ТОРАЗ 16 <<https://industry.hlr.ua/node/structtest/ultrasonic-flaw-detection/ultrasonic-phased-array-method/manual-control/flaw-detector-topaz-16/>>
17. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
18. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк, Капустян О.Є. – Львів: Новий світ – 2000, 2013. – 224 с.
19. Волченко В.Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст]: учебн. / В.Н.Волченко. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
20. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві [Текст]: навчальний посібник. / А.С.Карпенко. – К.: Арістей, 2005. – 268 с.

21. Стищенко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є Стищенко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.
22. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
23. Жидецький В.Ц., Джигірей В.С. Основи охорони праці. – Львів:”Афіша”, 2000.-350 с.
24. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, <
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#n22> >

ДОДАТКИ