

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітній рівень)

на тему: Вдосконалення технології зварювання реактора високого тиску  
та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей зварного шва

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МТм

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Скоропляс В.В..

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Підгурський М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Ярема І.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТ  
доц., кт.н. Окіпний І.Б.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

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

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення технології зварювання реактора високого тиску та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей зварного шва

Керівник проекту (роботи) Підгурський М.І., д.т.н, проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «24» вересня 2021 року №4/7-791

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2021 року

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Аналітична частина. Науково-дослідна частина. Технологічна частина.

Конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки .Перелік посилань. Додатки.

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

- стенд для зварювання корпусу реактора високого тиску;

- установка для складання та зварювання реактора високого тиску

- зварювальний апарат;

- графотехнологія.



## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра, на тему: «Вдосконалення технології зварювання реактора високого тиску та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей зварного шва» складається із 5 частин розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 72 - аркуша формату А4 та графічної частини об'ємом 7 аркушів формату А1 та 1 аркуш А0. Записка складається із таких частин: аналітичний, технологічний, науково-дослідний, конструкторський, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Мета кваліфікаційної роботи – підвищення продуктивності праці, матеріало- та енергозбереження, покращення експлуатаційних характеристик зварної конструкції корпусу хімічного реактора.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 24 рисунки, 8 таблиці та додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 23 літературних джерела.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання хімічного реактора високого тиску. Запропоновано: технологію автоматичного дугового зварювання корпусу реактора під флюсом; розраховано параметри режиму зварювання; запропоновано раціональне устаткування і пристосування; проведено розрахунки конструкції зварювального устаткування, проведено дослідження та прогнозування структурно-фазових перетворень в результаті термічного впливу процесу зварювання на матеріал виробу та його механічні властивості; розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: КОРПУС ХІМІЧНОГО РЕАКТОРА, ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ, ЗВАРЮВАННЯ ПО ВУЗЬКОМУ ЗАЗОРУ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Аналітична частина	9
1.1 Опис конструкції виробу	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу	9
1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції	11
1.3.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів	11
1.3.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні	12
1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу	13
1.3.4 Вимоги до складання зварної конструкції	13
1.3.5 Вимоги до якості виробу	14
1.4 Методи збирання та зварювання циліндричних посудин	13
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка завдання на проектування	15
2 Технологічна частина	17
2.1 Вибір і обґрунтування способу зварювання	17'
2.2 Вибір зварювальних матеріалів	19
2.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання	20
2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування	26
2.5 Вибір методу контролю якості	32
2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення виробу	36
2.6.1 Заготівельні операції	36
2.6.2 Складальні операції	37
2.6.3 Зварювальні операції	39
2.6.4 Опоряджувальні операції	40
2.6.5 Допоміжні операції	41
2.6.6 Контрольні операції	41
2.7 Нормування технологічного процесу виготовлення зварного виробу і витрат матеріалів та електроенергії	42
2.10 Висновки	43

3. Науково-дослідна частина	44
3.1 Вибір розрахункової схеми поширення теплоти при зварюванні	44
3.2 Розрахунок термічного циклу для стикового зварного з'єднання	46
3.3 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу	49
3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання	51
3.5 Висновки	55
4. Конструкторська частина	56
4.1 Розрахунок зварювальної консолі	56
4.2 Розрахунок консолі на міцність	58
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	60
5.1 Дотримання правил охорони праці у технологічному процесі зварювання	60
5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою	62
5.3 Протипожежні заходи, передбачені в технологічному процесі зварювання	67
Загальні висновки кваліфікаційної роботи	69
Перелік посилань	71
Додатки	73

## ВСТУП

Впровадження інновацій у технологічний процес виготовлення зварних виробів має на меті підвищення продуктивності праці при зниженні собівартості виробу, зменшення матеріаломісткості та проведення енергозбереження. Понад 80 відсотків зварних конструкцій виготовляється способом дугового зварювання. Проте широкий спектр зварних конструкцій викликає необхідність постійного оновлення операцій технології зварювання, покращення її відтворюваності, особливо у серійному виробництві.

Зварювання виробів оболонкового типу проводять з листових матеріалів. Головним завданням при цьому є зниження трудомісткості виготовлення конструкції, використання по можливості маловуглецевих сталей, які володіють хорошою зварюваністю та малою чутливістю до концентрації напружень. Тому застосування розрахункових методів прогнозування експлуатаційних властивостей матеріалу виробу після зварювання є актуальною задачею конструювання та проектування технологічного процесу зварювання.

Одними з найважливіших способів підвищення продуктивності зварювального виробництва та якості виробів залишається механізація та автоматизація технологічних операцій. Модернізація та заміна застарілого обладнання не лише дозволяє збільшити об'єм випуску виробів, але суттєво полегшити складання та зварювання конструкції, зменшити її трудомісткість.

Проведення складально-зварювальних операцій при виготовленні циліндричних посудин часто ускладнюється транспортуванням крупних зварюваних частин. Тому розташування монтажних швів проводять одночасно з вибором способу зварювання. Важливим елементом технологічного процесу є дотримання норм з охорони праці та підвищення безпеки на зварювальній ділянці. Першочерговим завданням із планування заходів безпечних умов праці є впровадження інженерних нововведень для зменшення ризиків та шкідливих впливів на робітників, і лише після цього використання індивідуальних засобів захисту.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції виробу

Хімічний реактор (рисунок 1.1) є агрегатом для проведення різноманітних хімічних реакцій при різних тисках та температурах при створенні кінцевого продукту при дотриманні максимальної ефективності процесу. Конструкція і основні параметри промислового реактора різноманітні з об'ємом від декілька десятків см<sup>3</sup> до сотень м<sup>3</sup>, з тиском до 150МПа при температурі до 500 °С. При високій температурі та високому тиску застосовують спеціальний реактор високого тиску (реактор), який є посудиною високого тиску та в даному випадку призначений для гідротермального синтезу та кристалізації продуктів реакції при температурах до 280 °С у хімічній промисловості.

В залежності від призначення, характеру теплообмінного процесу корпуси посудин високого тиску виготовляють у вигляді циліндричних, конічних та сферичних оболонок, які з'єднані з плоскими чи випуклими днищами зварними швами. Залежно від технології посудини високого тиску діляться на типи з одношаровою та багатошаровою стінками. Посудини з монолітною стінкою мають високу надійність при циклічних навантаженнях. Проте їх недоліком є значна складність зварювання та термооброблення через великі товщини стінок.

Даний хімічний реактор – це трубчатий реактор з нерухомим шаром, замкнена проста зварна посудина з кришкою для роботи з внутрішнім надлишковим тиском від 0,5 бар до 3 бар при температурах до 300 °С. Корпус реактора складається з днища, фланця та обичайок. Основою корпусу реактору є шість зварених між собою обичайок, виготовлених з прокатного листа, які з'єднані поздовжнім швом. Готові обичайки з'єднані між собою кільцевими швами.



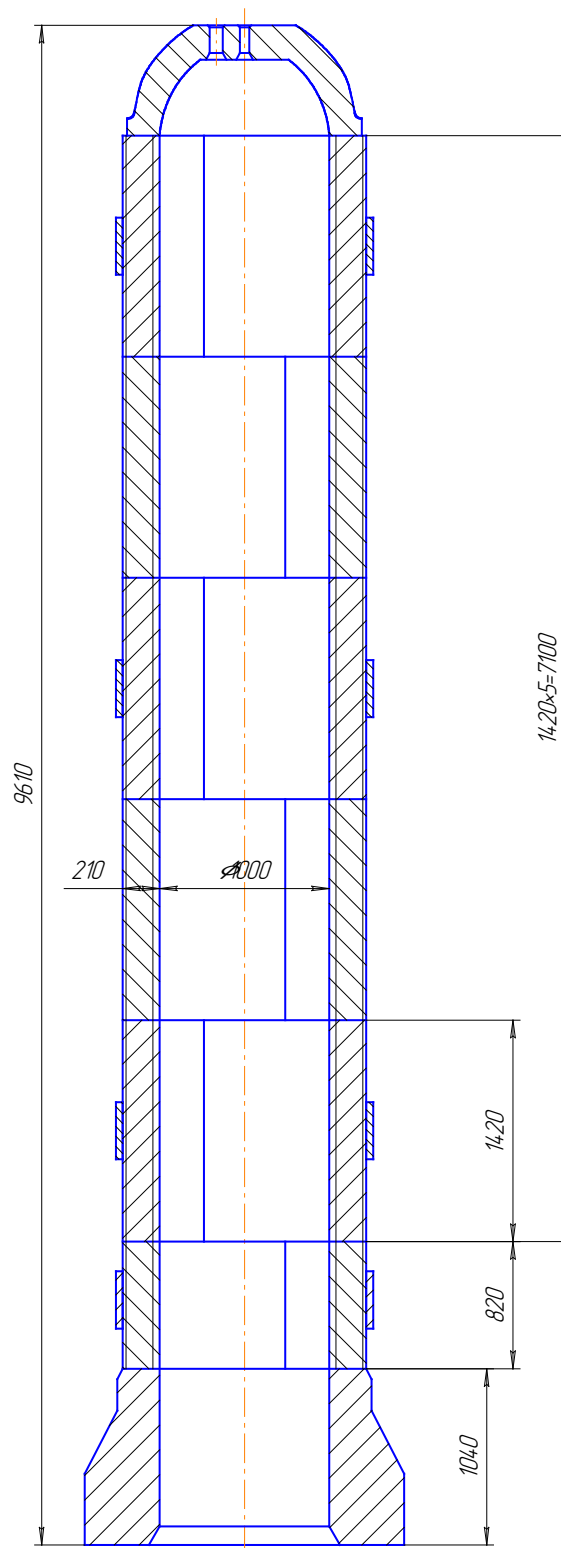


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд корпусу ректору високого тиску для гідротермального синтезу

## 1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення великогабаритних циліндричних посудин використовується листовий прокат. Враховуючи умови роботи реактора та умову зменшення вартості конструкції, як конструкційний матеріал для виготовлення корпусу можна застосувати маловуглецеву конструкційну якісну сталь марки 20К, яка рекомендована для виготовлення посудин, що працюють під тиском. Для виготовлення корпусу реактора використовуємо прокат товщиною 36 мм.

Хімічний склад та механічні властивості сталі марки 20К наведено в таблиці 1.1 та 1.2.

Таблиця 0.1 - Хімічний склад сталі 20К, %, ГОСТ 5520-79, [1]

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
0,16-0,24	0,15-0,30	0,35-0,65	<0,040	<0,040	<0,30	<0,30	<0,08	<0,008	<0,30

Таблиця 0.2 - Механічні властивості сталі 20 К товщиною 21-40 мм, [1]

Границя міцності, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне видовження, %	Ударна вязкість, Дж/см <sup>2</sup>
400-510	235	24	54

Зварюваність – це складна характеристика металу, що показує здатність матеріалу, в умовах термодформаційної дії циклу зварювання, утворювати нероз’ємне зварне з’єднання з необхідними експлуатаційними вимогами. Серед критеріїв зварюваності і здатність до окиснення, опірність гарячим та холодним тріщинам, здатність витримувати певну швидкість охолодження, відповідність після зварювання міцнісних характеристик. Як бачимо з таблиці 1.2 міцність та в’язкість визначаються не лише хімічним складом, а і умовами термооброблення.

Проведемо перевірку за еквівалентом вуглецю  $C_e$  на імовірність утворення холодних тріщин за максимальними значеннями легуючих елементів за рекомендаціями Міжнародного інституту зварювання [2]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (0.1)$$

де  $C$  – вміст хімічних елементів у %.

$$C_e = 0,24 + 0,65/6 + 0,3/5 + (0,3 + 0,3)/15 = 0,41\%$$

Отже, для обраної сталі 20К  $C_e = 0,41\%$ , що є меншим допустимого рекомендованого значення  $C_e = 0,425$ , що підтверджує добру зварюваність сталі. Добру зварюваність підтверджено і в рекомендаціях до зварюваності сталі 20К, де зазначено «зварюється без обмежень», за умови відповідності хімічного складу заявленої у довіднику.

### **1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції**

#### **1.3.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів**

При виборі матеріалу для конструкції основним фактором є забезпечення оптимальних експлуатаційних характеристик – міцності та жорсткості, границі текучості, та міцності, ударної в'язкості, наслідки при втраті цілісності, вартість матеріалу, наявність стандартного сортаменту.

Серед факторів, що впливають на вибір матеріалу, приймають до уваги ті фактори, які можуть змінюватися в процесі експлуатації та впливати в подальшому на працездатність, такі як характер, знакоперемінність навантаження, тривалість навантаження, температура та середовище, наявність можливих концентраторів, зменшення ресурсу міцнісних та пластичних характеристик, створення різного роду залишкових напружень, зварюваність матеріалу, можливість ремонту, втрата жорсткості конструкції.

Для виготовлення корпусу реактор, що працює під надлишковим тиском необхідно дотримуватись певних технічних вимог та рекомендацій. Такі умови до сталей визначені “Правилами пристроїв та безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском” [3].

Під час створення посудин, що працюють під тиском, дотримуються певних вимог, а саме: мінімальна кількість зварних з’єднань, зварювання не проводять в небезпечних місцях концентрації напружень, не допускаються стики з неповним проплавленням, розташування з’єднань повинно бути зручним для зварника та для проведення контролю якості, проведення робіт не допускається при мінусовій температурі, зварювання правдиться з врахуванням виробничих інструкцій та можливостей. Особливі вимоги виставляються до судин, що працюють під тиском, так їх овальність не повинна перевищувати 1% .

Марку сталі обирають з врахуванням її зварюваності та класу конструкції. Для отримання з’єднань з високими механічними характеристиками з міцності чи ударної в’язкості використовують сталі з підвищеним вмістом марганцю. Якість металів повинна відповідати технічних вимогам і, а партії повинні бути сертифіковані заводами – виробниками. Листовий прокат не повинен мати надлишкову хвилястість, тріщини, корозію, дефекти, які можуть зменшити його надійність [3] .

### **1.3.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні**

Внутрішня поверхня складальних елементів зварної конструкції має бути чистою та зачищеною від бруду, окалини та іржі.

Зварні шви корпусу агрегату повинні зачищатися до одного рівня з його внутрішньою поверхнею з допустимим посиленням не більше як 0,05 мм. Технологічні операції повинні бути доступними до місця зварювання. Шорсткості повинні мати відповідність до вимог ГОСТ 28759.4.

### **1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу**

Під час усього терміну експлуатації ЗЗ повинні мати достатню міцність, стійкість та витривалість при заданому необхідному навантаженні та середовищі. Міцність самого металу шва повинна повністю відповідати міцності для основного металу.

При проектуванні технологічного процесу зварювання доцільно вибрати такі матеріали та способи зварювання, щоб утворення тріщин, пористості, непроварів, інших дефектів пришовної зони було мінімальним.

Конструкція корпусу реактору має забезпечити [3]:

- 1) можливість проведення зварювальних робіт згідно до встановлених вимог;
- 2) доступне розташування пристроїв нагрівання та термооброблення;
- 3) доступність засобів контролю якості усіх зварних з'єднань, що передбачено відповідними методиками;
- 4) можливість ремонтних робіт.

З метою забезпечення необхідної глибини проплавлення проводити розробку кромки відповідно до стандартів зварювання та товщини металу.

Конструктивні різні елементи готових зварних з'єднань перевіряють на відповідність вимогам технічної документації. Щоб встановити зварники, зварні з'єднання повинні маркуватися.

### **1.3.4 Вимоги до складання зварної конструкції**

Перед проведенням складання всі деталі перевіряються за необхідними кресленнями, а саме габаритні розміри, кути зрізу, якість підготовки кромки, чистоту поверхні згідно стандартів:

- а) при ручному дуговому зварюванні згідно ГОСТ 5264-80;
- б) при автоматизованому зварюванні під шаром флюсу – ГОСТ 8713-79;
- в) при дуговому зварюванні в захисних газах – ГОСТ 14771-79.

Складання проводять в складальних пристосуваннях та спеціальних стендах. При виготовленні корпусів дотримуються усіх вимог документації. Кромки, шириною не менше як 15 мм, до зварювання чистять від іржі і бруду до металевого блиску. Поверхня кромки не повинна мати жодних подряпин із глибиною більше 0,5 мм.

При складанні потрібно забезпечити паралельність усіх стиків для кромки і постійних зазор між ними [3].

Закріплення кромки проводити за допомогою спеціальних складальних пристосувань.

Підготовлення кромки для зварювання виконується механічним способом або термічним різанням з заключною механічною обробкою. При цьому краї повинні бути оброблені механічно абразивом і не мати значної шорсткості. З метою зменшення імовірності потрапляння водню до зони зварювання кромки ретельно зачищаються від слідів окалини, масла, фарб та інших забруднюючих речовин.

Для прихваток використовують спеціальні присадні матеріали, що передбачені техдокументацією. В подальшому прихватки видаляються.

### **1.3.5 Вимоги до якості виробу**

Якість зварювальних робіт забезпечується наступними вимогами:

- 1) вони проводяться лише відповідними матеріалами;
- 2) без дефектів;
- 3) з точністю складання;
- 4) застосування ультразвукового контролю якості.

Дефекти в ЗТВ та шві не допускаються.

Під час зварювання виробу повинні також перевірятися:

- відповідність матеріалів вимогам НД;

- відповідність якості кромок та складання;
- дотримання техпроцесу зварювання;
- дефекти та раковини на поверхні корпусу за ГОСТ 19903;
- матеріали що виготовлені методами тиску підлягають термообробленню;
- корпус ректора повинен бути міцним. Розриви, протікання та деформації не допускаються;
- тиск руйнування для корпусу реактору повинен бути не менше 5 МПа;
- дефекти можна виправляти лише раз;
- тимчасовий опір на розрив становить не менше, ніж 370 кгс/мм<sup>2</sup>;
- зовнішні поверхні корпусу реактору фарбуються емаллю червоного кольору згідно ГОСТ 9.132.

#### **1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка завдання на проектування**

Базовий технологічний процес виготовлення ректору високого тиску виявляє наступні недоліки:

- а) для зварювання використовується ручне дугове зварювання штучними покритими електродами з низькою продуктивністю;
- б) застосовується морально застаріле обладнання;
- в) у складальних пристроях, використовуються механічні затискачі та використовується ручна праця.

У даній роботі для зварювання кільцевих швів запропоновано використати автоматичне зварювання під шаром флюсу. Для складальних робіт корпусу реактора планується застосувати механізоване складально-зварювальне оснащення із заміною ручних притискачів на пневматичні. З метою уникнення транспортування виробу пропонується його складання проводити на суміщеній єдиній оснастці. Такі інновації допоможуть знизити час виготов-

лення конструкції, знизити рівень монотонної ручної праці та підняти рентабельність виробництва. Використання суміщеної складальної і зварювальної оснастки дозволить підвищити точність складання та якість зварних швів.



## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір і обґрунтування способу зварювання

На загал підбір способу зварювання обичайок і вибір типу зварювального устаткування залежить від форми, габаритів конструкції, довжини і розміщення зварних швів, типу виробництва.

Для зварювання товщин металу до 36 мм можна застосувати автоматичне зварювання під шаром флюсу або електрошлакове зварювання.

Зварювання під флюсом має наступні переваги [9]:

а) добрий захист розплаву від азоту і кисню;

б) достатньо великий об'єм розплавленого металу та тривале його перебування у рідкому стані сприяє активному перебігу усіх хімічних реакцій між розкислюючим шлаком та металом;

в) дуга горить в бульбашці, утвореній парами і газами, які виділяються при плавленні флюсу і металу, тому шар рідкого шлаку, який після кристалізації і остигання шва перетворюється в тверду кірку на його поверхні, і додатково захищає ділянку зварювання від взаємодії з воднем та киснем.

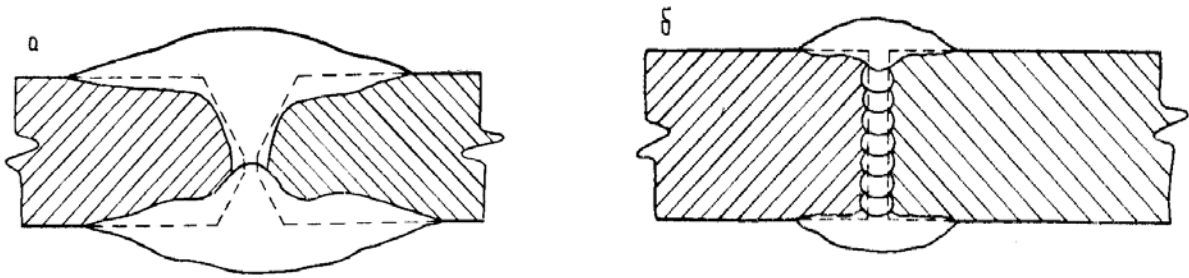
До переваг електрошлакового зварювання відносять можливість зварювання різної товщини, можливість переналаштування зварювальної установки на новий прохід, проведення зварних робіт без зняття фасок, висока продуктивність способу, отримання високої якості з'єднань. Серед недоліків слід відмітити можливість зварювання лише вертикальні шви. Тому для зварювання обичайок обираємо дугове зварювання під шаром флюсу.

Відносно складання та зварювання фланців. Тут є проблема, адже товщина основного металу, який необхідно проварити складає 60 мм, а довжина шва – 200 мм. Тут також застосування електрошлакового зварювання не є раціональним рішенням, так як довжина шва незначна і в кінцевому етапі отримати високу якість зварного

з'єднання важко із-за трудомісткості процесу зварювання та значних витрат на зварювальні матеріали та обладнання. При тому процес ЕШЗ можна проводити лише у вертикальному положенні, що ускладнює підготовчі операції.

Тому для вирішення цієї проблеми ми вибираємо більш просте рішення – механізоване зварювання по вузькому зазору сталей значних товщин плавким електродом в середовищі захисних газів.

Так, при зазорах 6 – 10 мм поперечне укорочення складає лише 0,25 мм.



а – ручне дугове зварювання; б – механізоване зварювання по вузькому зазору

Рисунок 2.1– Порівняння об'єму наплавленого металу при зварюванні сталі значної товщини [4]

Найбільш важливі та характерні переваги зварювання по вузькому зазору:

1. При цьому способі видно з рисунку 2.1, що знижується об'єм і вага наплавленого металу, що в свою чергу призводить [5]:

а) до зниження витрат зварювальних матеріалів;

б) до підвищення продуктивності праці.

2. Зменшується усадка рідкого металу та пластичні деформації стиснення основного металу, в зв'язку з чим різко зменшується поперечне укорочення.

3. В зв'язку з використанням невеликої погонної енергії різко зменшуються розміри зони термічного впливу. Завдяки незначному тепловмісту в основний метал, можна зварювати матеріали навіть дуже чутливі до термічного циклу.

4. Легко виконати точний контроль і регулювання хімічного складу наплавленого металу, так як зварювання виконується в контрольованій атмосфері і з мінімальним розплавленням основного металу.

5. Вузький і глибокий зазор стабілізує зварювальний процес і підвищує ефективний коефіцієнт корисної дії джерела нагріву.

6. Знижуються накладні витрати завдяки [4]:

а) зниженню необхідної кількості електричної енергії;

б) скороченню механічної та газополуменевої обробки кромки під зварювання.

Однак, процес зварювання має і відомі недоліки, пов'язані з обов'язковим виконанням наступних двох умов [6]:

а) чітке підтримання постійного вильоту електродного дроту по мірі заповнення зазору;

б) достатньо точне направлення електродного дроту чітко по центру зазору.

## **2.2 Вибір зварювальних матеріалів**

При виборі присадного матеріалу для зварювання дотримуємося умов рівномірності конструкції та шва без дефектів, із експлуатаційними властивостями згідно вимог до усієї конструкції. Як правило для забезпечення високих механічних властивостей металу шва, необхідних значень перенесення елементів в середовищі дуги, низькою здатністю до утворення гарячих тріщин застосовують присадні матеріали леговані кремнієм та марганцем.

Можемо рекомендувати для автоматичного дугового зварювання під флюсом обичайок даної конструкції з маловуглецевої сталі 20К флюс АН-348А і зварювальний дріт марки Св-08А.

Хімічний склад зварювального дроту марки Св-08А та флюсу АН – 348А приведено в таблицях 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту марки Св–08А, % [7, 8]

Марка дроту	C	Si	Ni	Cr	Mo	Mn	Ti	S	P
Св–08А	0,05 – 0,1	не > 0,03	0,25	0,1	–	0,35 – 0,60	–	не > 0,03	не > 0,03

Таблиця 2.2 – Хімічний склад зварювального флюсу марки АН – 348А, % [7]

Марка флюсу	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P
АН–348А	40– 41	34– 38	6,5	5– 7,5	4,5	4– 5,5	2,0	0,15	0,12

### 2.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання

При визначенні режиму зварювання необхідно так вибрати його параметри, щоб забезпечити отримання швів даних розмірів, форми і якості. В зв'язку з цим раціональніше проводити не вибір параметрів режиму зварювання, а їх розрахунок.

Розрахунок параметрів режиму зварювання виконуємо у відповідності з методикою В. П. Демянцевича [5].

Вихідні параметри розробки кромок під зварювання.

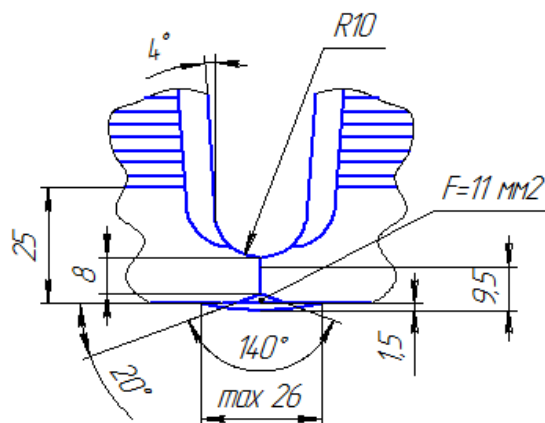


Рисунок 2.2 – Геометричні параметри внутрішнього шва

Загальну площу наплавленого металу  $F_H$ , мм<sup>2</sup>, розраховуємо за формулою

$$F_H = 0,73 \cdot e \cdot g + F_{\Delta}, \quad (2.2)$$

де  $e$  – ширина шва, мм;

$g$  – висота підсилення, мм;

$F_{\Delta}$  – площа розроблення, мм<sup>2</sup>.

$$F_H = 0,73 \cdot 26 \cdot 1,5 + 11,0 = 39,7 \text{ мм}^2.$$

Вихідна ширина шва  $e_H = 18$  мм.

Вихідна висота шва  $H_H = 9,5$  мм.

Площа наплавлення за один прохід  $F_H = 39,7$  мм<sup>2</sup>.

Вихідну глибину проплавлення  $h_u$ , мм, розраховуємо за формулою:

$$h_u = H_u - \frac{F_H}{0,73 \cdot e_u}, \quad (2.3)$$

де  $F_H$  – площа наплавлення за один прохід, мм<sup>2</sup>.

$$h_u = 9,5 - \frac{39,7}{0,73 \cdot 18} = 6,5 \text{ мм}.$$

Визначаємо величину зварювального струму  $I_{св}$ , А, за формулою:

$$I_{св} = (80 \div 100) \cdot h_u, \quad (2.4)$$

де  $h_u$  – глибина проплавлення, при однопрохідному зварюванні, мм.

$$I_{св} = (80 \div 100) \cdot 6,5 = 520 \div 650 \text{ А}.$$

Приймаємо зварювальний струм  $I_{зв} = 560$  А.

Величину напруги на дузі  $U_d$ , В, розраховуємо за формулою:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{св}, \quad (2.5)$$

де  $d_3$  – діаметр електродного дроту, мм.

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{4}} \cdot 560 = 34 \text{ В}$$

Приймаємо напругу на дузі  $U_d = 36$  В.

Величину густини струму  $j$ , А/мм<sup>2</sup>, розраховуємо за формулою:

$$j = \frac{4 \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_3^2}, \quad (2.6)$$

$$j = \frac{4 \cdot 560}{\pi \cdot 4^2} = 45 \text{ А/мм}^2$$

Швидкість зварювання  $V_{зв}$ , м/год, розраховуємо за формулою:

$$V_{св} = \frac{A}{I_{св}} \quad (2.7)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від діаметра електродного дроту, А·м/год, може бути вибраний по таблиці і для  $d_{эл}=4$  мм береться з інтервалу  $(16...20) \cdot 10^3$ .

$$V_{св} = 28,6 \div 35,7 \text{ м/ч.}$$

Приймаємо швидкість зварювання  $V_{зв} = 28,8$  м/год = 0,8 см/с

Виліт електроду  $l_e$ , мм, розраховуємо за формулою:

$$l_e = 10 \cdot d_e, \quad (2.8)$$

$$l_e = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мм.}$$

Величину погонної енергії зварювання  $q_n$ , Дж/см, розраховуємо за формулою:

$$q_n = \frac{I_{св} \cdot U_d \cdot \eta_n}{V_{св}}, \quad (2.9)$$

де  $\eta_n$  - ефективний ККД нагріву виробу дугою, який для зварювання під флюсом рівний 0,8 – 0,85.

Приймаємо  $\eta_n = 0,8$ . Тоді:

$$q_n = \frac{560 \cdot 36 \cdot 0,8}{0,8} = 20160 \text{ Дж/см.}$$

Коефіцієнт форми проплавлення  $\varphi_{пр}$ , розраховуємо за формулою:

$$\varphi_{пр} = k' \cdot (19 - 0,01 I_{св}) \cdot \frac{d_{эл} \cdot U_d}{I_{св}}, \quad (2.10)$$

$$\text{де } k' = 0,367 \cdot j^{0,1925} = 0,367 \cdot 45^{0,1925} = 0,762.$$

$$\varphi_{пр} = 0,762 \cdot (19 - 0,01 \cdot 560) \cdot \frac{4 \cdot 36}{560} = 2,63.$$

Глибину проплавлення  $h'_p$ , см, розраховуємо за формулою:

$$h'_p = 0,0076 \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\varphi_{пр}}}, \quad (2.11)$$

$$h_p' = 0,0076 \cdot \sqrt{\frac{20160}{2,63}} = 0,67 \text{ см} = 6,7 \text{ мм.}$$

Перевірка:  $\Delta h_\delta = \frac{6,7 - 6,5}{6,5} \cdot 100 = 2\%$

Ширину шва  $e_p'$ , см, розраховуємо за формулою:

$$e_p' = h_p \cdot \varphi_{np}, \quad (2.12)$$

$$e_p' = 6,7 \cdot 2,63 = 1,75 \text{ см} = 17,5 \text{ мм.}$$

Перевірка:  $\Delta e_p' = \frac{17,5 - 18}{18} \cdot 100\% = -3\%$ .

Швидкість подачі електродного дроту  $V_{III}$ , см/с, розраховуємо за формулою:

$$V_{III} = \frac{I_{cv} \cdot U_{эл}^{эф} + I_{cv}^2 \cdot \rho_t \cdot \frac{l_э}{F_э}}{F_{эл} \cdot \gamma_{эл} \cdot \Delta h}, \quad (2.13)$$

де  $U^{эф}$  - ефективне падіння напруги в активній плямі електроду, В;

$F_{эл}$  - площа електроду,  $\text{см}^2$ ;

$l_э$  - довжина вильоту електроду, см;

$\rho_t$  - питомий опір, Ом·см;

$\gamma_{эл}$  - густина електродного металу,  $\text{г/см}^3$ ;

$\Delta h$  - зміна ентальпії, Дж/г.

$$V_{III} = \frac{560 \cdot 8,86 + 560^2 \cdot 49 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{4}{0,126}}{0,126 \cdot 7,83 \cdot 2000} = 2,53 \text{ см/с} = 91 \text{ м/ч}.$$

Площу перерізу наплавленого металу  $F_{н.р.}$ ,  $\text{мм}^2$ , розраховуємо за формулою:

$$F_{н.р.} = \frac{V_{III} \cdot F_{эл}}{V_{cv}}, \quad (2.14)$$

$$F_{н.р.} = \frac{91 \cdot 0,126}{28,8} = 39,6 \text{ мм}^2,$$

Перевірка:  $\Delta = \frac{F_{н.р.} - F_n}{F_n} \cdot 100 = \frac{39,6 - 39,7}{39,7} = 0\%$ .

Висоту підсилення  $g_p'$ , мм, розраховуємо за формулою:

$$g_p'' = \frac{F_{н.р.} - F_n}{0,73 \cdot e_p}, \quad (2.15)$$

$$g_p'' = \frac{39,6 - 39,7}{0,73 \cdot 17,5} = 0 \text{ мм}.$$

Визначаємо розрахункову глибину проплавлення  $h_p''$ , мм, за формулою:

$$h_p'' = H - \frac{F_{н.р.} - F_n}{0,735 \cdot e_p}, \quad (2.16)$$

$$h_p'' = \left( 9,5 + \frac{39,6}{0,73 \cdot 17,5} \right) + \frac{39,6 - 39,7}{0,73 \cdot 17,5} = 9,75 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт гостроти шва  $k$ ,  $\text{см}^{-2}$ , розраховуємо за формулою:

$$k = \frac{4 \cdot (\ln h_p'' + 3,5)}{e_p'^2}, \quad (2.17)$$

де  $h_p''$  і  $e_p'$  - глибина проплавлення, і ширина шва відповідно, см

$$k = \frac{4 \cdot (\ln 0,975 + 3,5)}{1,75^2} = 4,54 \text{ см}^{-2}.$$

1- Площа проплавлення основного металу  $F_{np}$ ,  $\text{см}^2$ , розраховуємо за формулою:

$$F_{np} = h_p'' \cdot \sqrt{\frac{\pi}{k}} - F_n, \quad (2.18)$$

$$F_{np} = 6,7 \cdot \sqrt{\frac{3,14}{4,54}} - 0,396 = 0,4135 \text{ см}^2 = 41,35 \text{ мм}^2.$$

2- Долю участі основного металу в шві  $\gamma_0$ , мас.%, розраховуємо за формулою:  $\gamma_0 = \frac{F_{np}}{F_{np} + F_{н.р.}} \cdot 100\%$ , (2.19)

$$\gamma_0 = \frac{0,4135}{0,4135 + 0,396} \cdot 100 = 50 \%$$

Будуємо лінію сплавлення за формулами (2.19, 2.20)

$$h_y = h_p'' \cdot \exp(-k \cdot y^2) \quad (2.20)$$

$$y = 0 \div \frac{e_p'}{2} \quad (2.21)$$



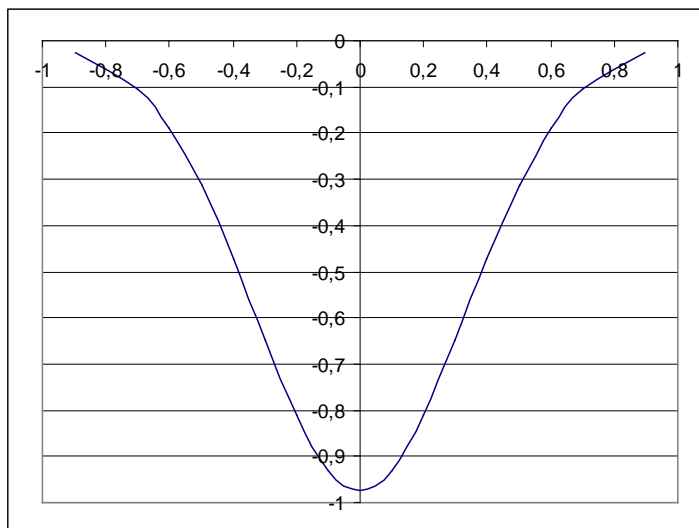


Рисунок 2.3 – Лінія сплавлення

За даними розрахунку приймаємо вибрані параметри режиму зварювання для внутрішнього шва, дані наведені в таблиці 2.5. Для двох зовнішніх швів розрахунок режимів зварювання зробимо аналогічно внутрішньому шву за формулами (2.1-2.20), результати розрахунку наведені в таблиці 2.3 [5].

Таблиця 2.3 – Режими зварювання корпусу реактору

Параметри режиму	Внутрішній шов	Зовнішній шов (1)	Зовнішній шов (2)
Діаметр електроду, мм	4	3	5
Виліт електроду, мм	40±2	30±2	50±2
Зварювальний струм, А	560±10	500±10	625±10
Напруга, В	36±2	36±2	42±2
Швидкість зварювання, м/год	28,8	21,5	24,5
Вид струму	Постійний, зворотної полярності		

Геометричні параметри виконаних зварних швів наведені на рисунку 2.4.

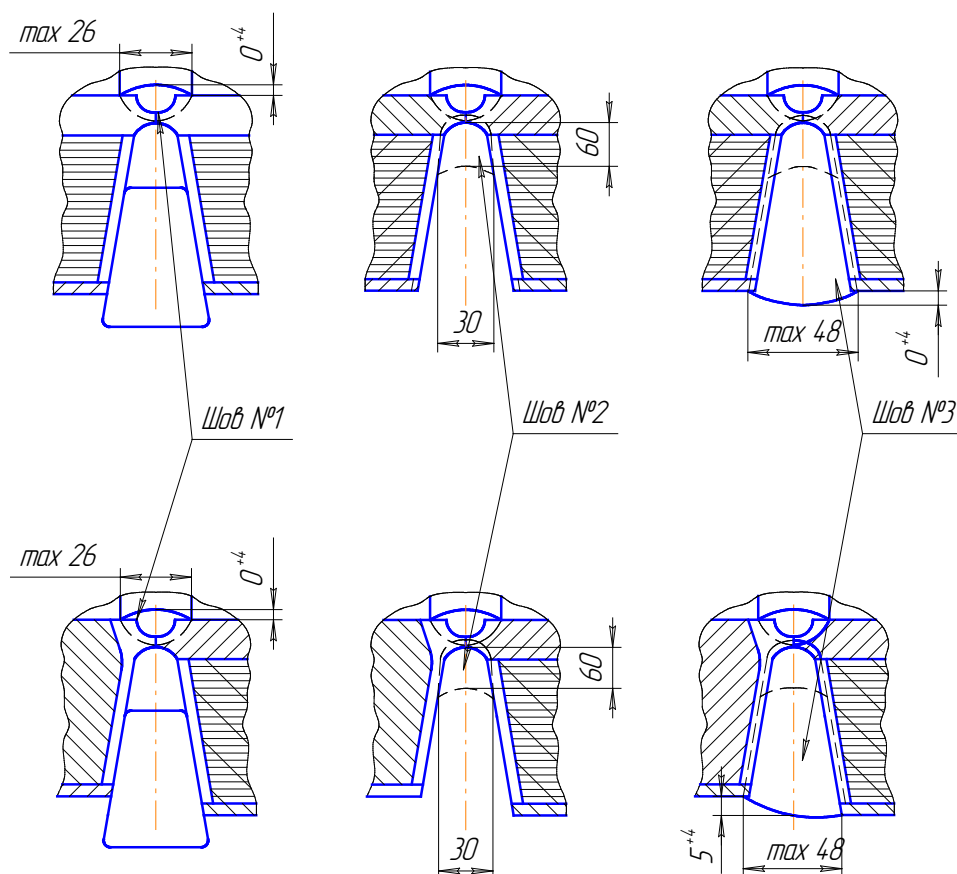


Рисунок 2.4 – Геометричні параметри зварних швів

## 2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування

Для складання та обертання корпусу реактору вибираємо роликівий стенд призначений для обертання циліндричних виробів в процесі зварювання. В нашому випадку роликівий стенд призначений для обертання обичайок в процесі зварювання їх кільцевих швів, а також для надання необхідного положення обичайок при зварюванні їхніх повздожніх стиків (рисунок 2.5).

Роликівий стенд призначений для складання і зварювання корпусів посудин високого тиску при виготовленні їх з окремих обичайок. На ньому можуть бути здійснені наступні операції:

- а) збирання корпусу посудини;
- б) зварювання кільцевих і повздожніх швів.

Збирання корпусу полягає в підготовці стика до зварювання із забезпеченням вимог, що ставляться до корпусу: співвісність обичайок при зварюванні кільцевого шва. На стенді одночасно може проводитися зварювання двох кільцевих швів (рисунок 2.6).

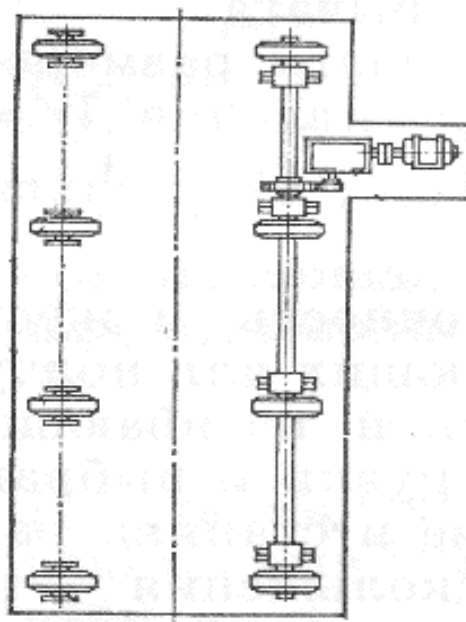
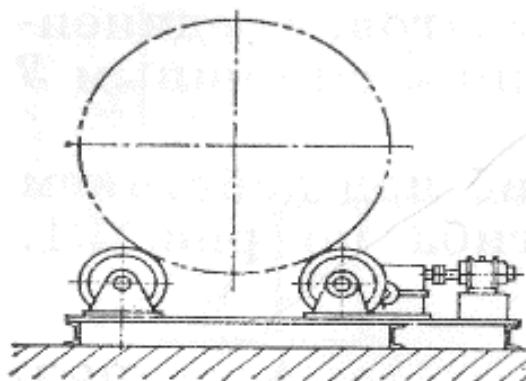


Рисунок 2.5– Принципова схема роликового стенду [6]

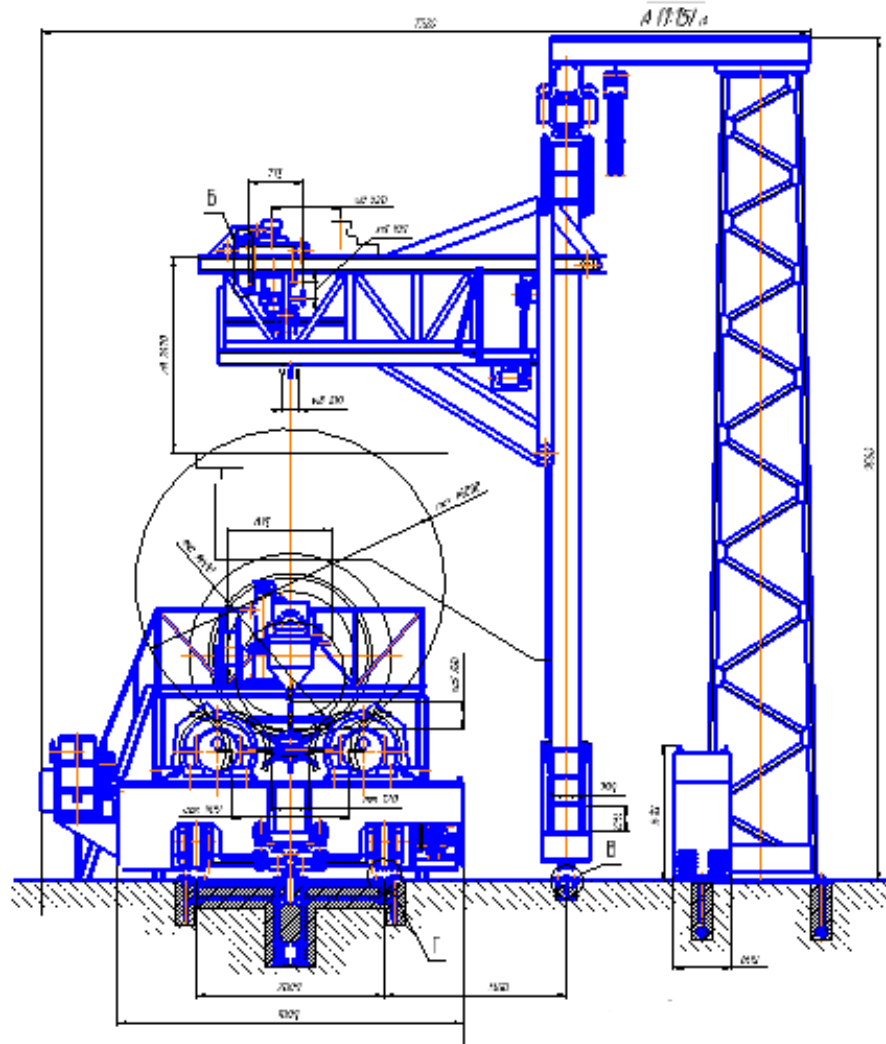


Рисунок 2.6 – Стенд для складання та зварювання реактору

Роликовий стенд для складання і зварювання кільцевих швів складається з візків, встановлених на рейковому шляху, двох направляючих роликів, встановлюваних по обох кінцях стенда, і двох велосипедних візків з балконами.

Дві крайні візки - приводні. На кожному приводному візку встановлено по два опорних ролика, один з яких має привід для обертання посудини. Привід включає в себе електродвигун постійного струму, два редуктора: конічно-циліндричний і черв'ячний, а також черв'ячну передачу, колесо якої насаджено на вісь ролика. Електродвигун постійного струму з системою керування дозволяє шляхом безступінчастого регулювання отримати будь-яку задану швидкість обертання посудини в діапазоні 9-90 м / годину [7].

Візки пересуваються по рейковому шляху для встановлення на необхідну довжину виробу. Приводи пересування візків складаються з асинхронного електродвигуна, черв'ячного редуктора та відкритої зубчастої пари, колесо якої насаджене на вісь ходового катка.

Центральні візки несуть на собі по дві пари холостих опорних ролики. Кожна пара роликів може незалежно один від одного змінювати свою міжцентрову відстань. Для цього служить привід, розташований в рамі візка, що складається з асинхронного електродвигуна, трьох черв'ячних редукторів, вихідний вал яких представляє собою ходовий гвинт. Ходові гайки пов'язані з плитами опорних роликів, що переміщуються по направляючих рами. При включенні приводу "вперед" або "назад" відбувається ковзання та розсування роликів. Для роздільного включення правої або лівої пари роликів служить роздатковий механізм, що складається з двох кулачкових муфт, що включаються поперемінно вручну через систему важелів. Для визначення необхідного горизонтального переміщення роликів залежно від необхідного вертикального переміщення конструкції служить діаграма, розташована на пульті управління візка. Контролюється величина переміщення ролика за спеціальною лінійкою, візуально. Для обмеження переміщення роликів служать кінцеві вимикачі. Для пересування візків по рейковому шляху служать приводи, аналогічні приводам пересування "привідних візків".

Для виключення зсуву візків у поперечному до рейкового шляху напрямку (на величину зазору між ребрами ходового колеса і головки рейки) для кожного візка є «фіксатор», що охоплює своїми роликами бічні поверхні головки одного з рейок. Корпус фіксатора кріпиться до рами візка болтами, після виставлення - за допомогою зварного шва (рисунок 2.7).

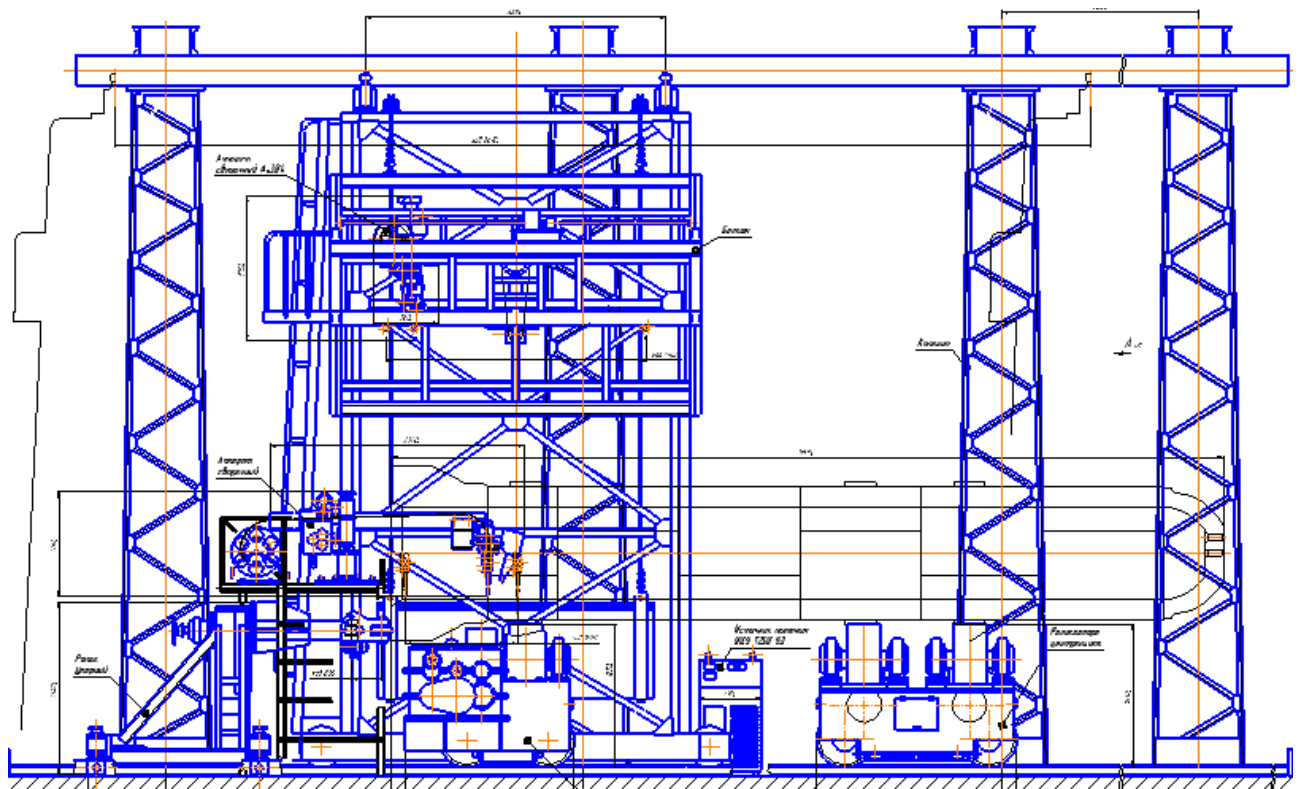


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд стану для виготовлення корпусу реактору [6]

На велосипедному візку знаходиться робоче місце зварника, зварювальне обладнання і пульт управління станом. Підйом і опускання балконів здійснюється по рамі велосипедного візка за допомогою приводу з рейковим зачепленням. Ваги балконів врівноважені контрвантажами. На кожному з балконів встановлений візок зі зварювальною головкою типу АБС і індивідуальний підйомник вантажопідйомністю 100 кг, призначений для підйому бухт з дротом і флюсу на балкони. Підйомник складається з стійки, стріли, що обертається і приводу підйому. Висота підйому балкону обмежується кінцевим вимикачем [10].

Упорні ролики, встановлювані з двох або однієї сторін зварюваної конструкції (або її частини), служать для фіксації конструкції в осьовому напрямку, що необхідно при автоматичному зварюванні кільцевого шва. На рамі ролика є чотири кріплення для головки рейки. Осьова фіксація упорного ролика здійснюється за допомогою направляючої рейки, що проходить між рейками на всій довжині стану, в ребра якої впирається в спеціальний виступ рами ролика. Положення ролика по висоті і виліт пінолі може змінюватися в залежності від розмірів царги і положення її торця, до якого він піджимається. В осьовому напрямку піноль ролика висувається гвинтом.

Для вертикального переміщення в кронштейні, на якому кріпиться ролик, є пази; фіксування заданого положення здійснюється затягуванням болтів, що кріплять кронштейн до рами.

Зварювання проводиться автоматом типу А-384. Шлях для переміщення зварювального автомата розміщений на велосипедному візку (балконі) (рисунок 2.8).

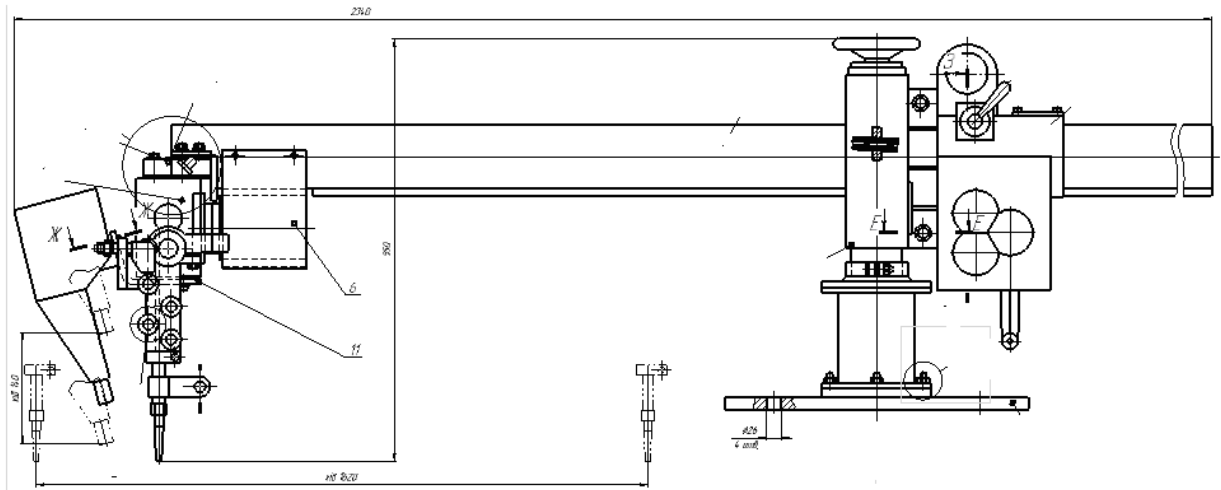


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд автомату типу А-384

Автомат типу А-384 складається з зварювальної головки АБС, самохідного візка, бункера з пиловідвідним пристроєм, касети для зварювального дроту і кнопкового пульта.

Технічна характеристика автомату А-384:

Характеристика	Значення
Діаметр електродного дроту, мм.....	3 - 6
Сила зварювального струму.....	400 – 1250
Швидкість подачі електроду, м/хв.....	0,5 – 3,75
Маса комплекту, кг.....	160
Об'єм бункера, л .....	20.

В якості джерела живлення вибираємо випрямляч ВДУ 1250 УЗ.

Характеристика	Значення
Напруга мережі живлення, В.....	380
Номінальний зварювальний струм (при ПР=100%), А.....	1250
Номінальна напруга зварювання, В.....	44
Напруга холостого ходу, В.....	55
ККД, % .....	83
Межі регулювання зварювального струму .....	250-1250
Вага, кг.....	520

Випрямляч ВДУ 1250 УЗ характеризується сучасною високонадійною елементною базою, надійним запалюванням і стійким горінням дуги. Призначений для зварювання під флюсом і в захисному газі.

## 2.5 Вибір методу контролю якості

Завданням контролю є встановлення наявності або відсутності дефектів в зварних швах та виявлення їх розмірів і характеру. Така інформація, по-перше, дозволяє оцінити можливість ремонту; по-друге, вияснити причини утворення дефекту та намітити заходи, які дозволяють запобігти його появі.

- тріщин всіх видів і напрямків;
- свищів і пористості зовнішньої поверхні шва;
- подрізів;
- проплавів, незаплавлених кратерів;
- зміщень і спільного відведення кромок зварюваних елементів понад норми;
- непрямолінійності з'єднаних елементів;
- невідповідності форми і розмірів швів вимогам технічної документації.



В основі радіаційних методів контролю лежить іонізуюче випромінювання рентгенівських променів і гамма випромінювання. І те і інше випромінювання має електромагнітну природу.

Контроль зварних з'єднань радіоактивними методами базується на зміні рентгенівського та гамма-випромінювання в результаті втрати частини енергії при проходженні ними матеріалу в залежності від його густини та товщини [4].

Контролю магнітними методами піддаються тільки феромагнітні матеріали [4].

Контроль якості зварних з'єднань також включає:

- а) перевірку атестації персоналу;
- б) перевірку складально-зварювального, термічного і контрольного устаткування, апаратури, приладів та інструментів;
- в) контроль якості основних матеріалів;
- г) контроль якості зварювальних матеріалів;
- д) операційний контроль технології зварювання;
- е) контроль виправлення дефектів.

При виготовленні різного типу зварних конструкцій, зокрема, зварного корпусу реактору, для забезпечення високої якості зварних з'єднань необхідно проводити контроль на всіх стадіях проектування й виробництва.

Один з основних етапів контролю якості проводиться при підготовці й здійсненні технологічного процесу. Він складається з перевірки [5]:

- зварюваності матеріалів, що запускаються у виробництво, що проводиться у зв'язку з можливими відхиленнями плавлення основного металу, металу електродів, дроту й флюсів від сертифікатних значень;
- умов підготовки й зберігання вихідних матеріалів (наприклад, просушки електродів або очищення зварювального дроту);
- справності устаткування й апаратури - перевіряють справність регулюючих механізмів, вимірювальних приладів, стан струмопідводів і газової апаратури;
- якість заготовок, складання, виконання технології зварювання, а також кваліфікацію й дисципліну зварювальників.

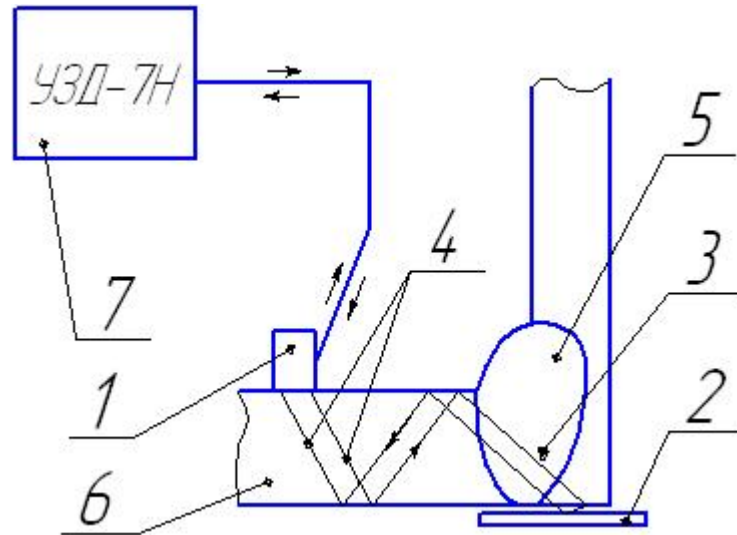
Другий етап контролю включає контроль якості готових виробів і окремих вузлів зварних швів. По впливу на матеріал або виріб методи контролю поділяють на руйнуючий контроль (РК) і неруйнуючий контроль (НРК). До руйнуючих методів контролю відносять механічні випробування, металографію, корозійні випробування, технологічні проби на зварюваність та ін.

Недоліками РК є те, що випробування проводяться на зразках, моделях, рідше на готових виробках, але не на тих об'єктах, які надалі застосовуються в експлуатації. Для забезпечення вірогідності випробувань кількість зразків повинна бути досить великим. При цьому витрачається велика кількість матеріалів, виготовлення зразків вимагає трудомісткої механічної обробки.

НРК здійснюється на виробках, призначених до експлуатації. При цьому оцінюються основні властивості, що характеризують якість зварного з'єднання.

Перевагами НРК: випробування проводяться на самих виробках і на небезпечних ділянках; можна контролювати будь-який виріб з партії, навіть всі, якщо це потрібно; можна проводити контроль під час експлуатації виробу без припинення його роботи, у тому числі неодноразово. У порівнянні із РК заощаджуються матеріали й витрати праці на підготовку й проведення випробувань.

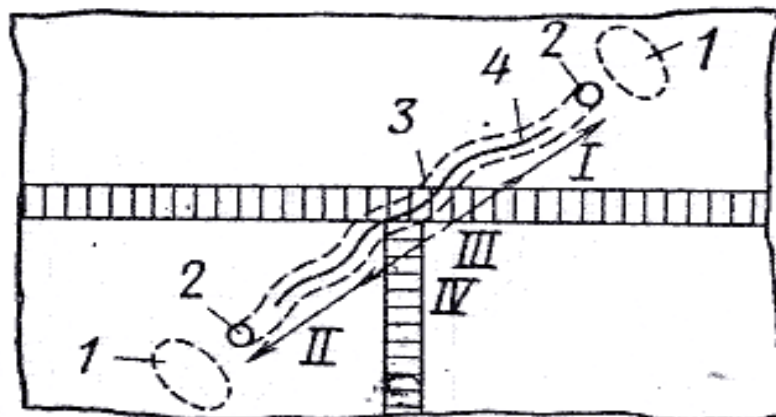
Для контролю зварних швів корпусу реактору ультразвуком застосовуються ультразвукові дефектоскопи УЗД-7Н, ДУК-13 або УДМ-1М. Перед застосуванням ультразвукового контролю зварний шов зачищають від металевих бризок, окалини. Зачищену поверхню протирають і наносять на неї шар контактної змазки. Схема ультразвукового контролю зображена на рисунку 2.3.



1 – шукач; 2 – екран; 3 – дефект; 4 – ультразвукові хвилі; 5 – зварний шов;  
6 – основний метал; 7 – джерело ультразвукових хвиль

Рисунок 2.9 – Схема ультразвукового контролю

Виправлення браку. Великі тріщини у швах ліквідують шляхом їхнього наступного заварювання. Для цього попередньо свердлять наскрізні отвори на відстані 40—50 мм від кожного кінця тріщини, щоб попередити її подальше поширення. Потім пневматичним зубилом, газовим різакон для поверхневого різання або повітряно-дуговим різакон роблять V- або X- подібне оброблення тріщини, зачищають її кромки від шлаків і заварюють зворотно – ступінчастим способом (рисунок 2.10).



1 – місця підігріву; 2 – засвердлення отвору; 3 – оброблення кромки тріщини;  
4 – тріщина; I, II, III, IV – послідовність заварювання

Рисунок 2.10 – Схема виправлення зварного з'єднання з тріщиною

Іноді перед зварюванням метал нагрівають газовим пальником до температури 150 – 200° С для того, щоб зварний шов та нагріті ділянки остигали одночасно. Це дозволяє уникнути появи залишкових напружень на кінцях шва.

Шви із внутрішніми дрібними тріщинами, непроварами, газовими й шлаковими включеннями повністю вирубують або виплавляють і зварюють знову. Аналогічним способом роблять із перепаленими ділянками.

У зварних конструкціях, виготовлених з вуглецевих сталей, застосовують як виплавку, так і вирубку швів, а у конструкціях виготовлених з легованих сталей шви можна тільки вирубувати, тому що при виплавці відбувається зміна структури й властивостей основного металу.

## 2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення виробу

Технологічний процес виготовлення корпусу реактора складається з ряду технологічних операцій, серед них заготівельні, допоміжні, складально-зварювальні, та контролю якості.

### 2.6.1 Заготівельні операції

Для виготовлення корпусу реактора застосовують листовий прокат. Для усунення можливих деформацій використовують правильну багатовалкову машину.

Схема правлення прокату показана на рисунку 2.11.

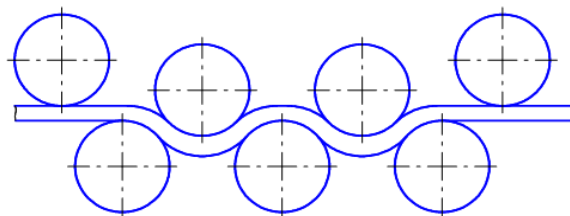


Рисунок 2.11 – Схема процесу правлення листового прокату

Для різання використовують машини термічного, кисневого, плазмового та лазерного різання. Дану операцію проводимо на машині термічного різання S-CUT 3 (рисунок 2.12).

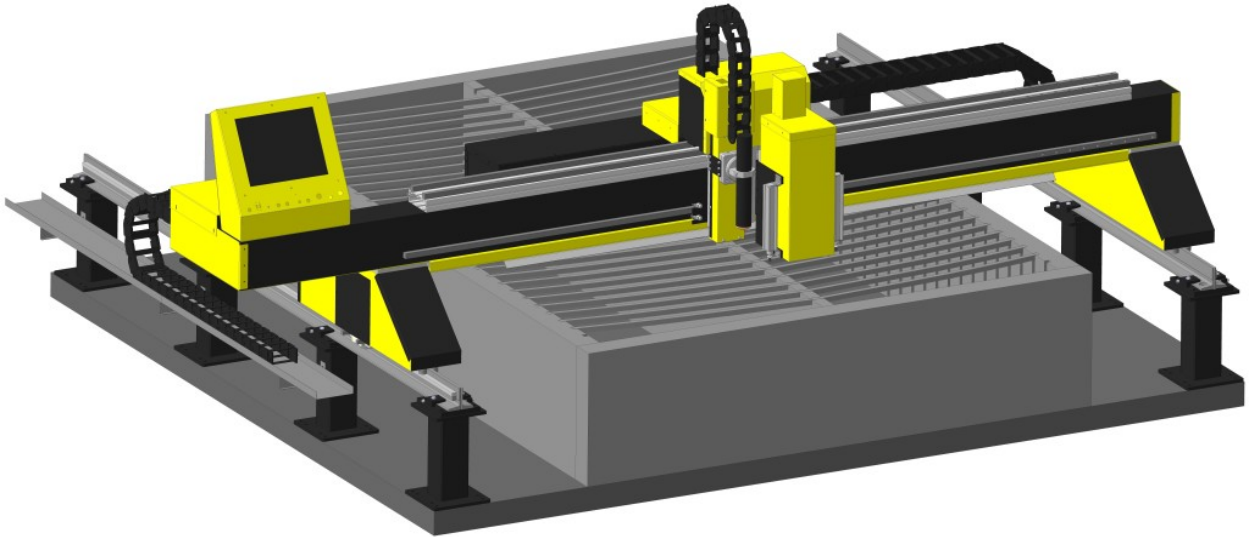


Рисунок 2.12 – Установка для термічного різання S-CUT 3

Форму обичайки надаємо на операції вальцювання на чотири валькові вальці. Після термічного різання і вальцювання проводимо зачистку кромки під зварювання. Для цього використовуємо кутошліфувальну машину та спеціальний кромко-строгальний верстат, кутник шаблони.

Перед зварюванням видаляємо поверхневий шар та бруд пікоструйною машиною. Листовий прокат плануємо зберігати в сухих приміщеннях на горизонтальних дерев'яних брусах, щоб уникнути корозії та деформації.

### **2.6.2 Складальні операції**

При складанні посудини корпусу забезпечуємо їх таке взаємне розміщення деталей, в якому вони повинні знаходитись в готовому вигляді. Складальний вузол повинен володіти і жорсткістю, і міцністю, щоб зменшити деформації при зварюванні.

Під час першого етапу складання, проводимо налаштування оснащення для складання двох обичайок на відповідний типорозмір. Тоді, проводимо встановлення краном обичайки на рейки, попередньо підклавши під обичайку (між обичайкою і

рейкою) підкладки 500x60x10 - дві штуки зі сталі 09Г2С. Таким чином, щоб торець обичайки був перпендикулярний осі рейок і фронт збирання розташувався у вертикальній площині. Тоді, проводимо фіксацію обичайки клинами з двох сторін відповідно з рисунком 2.13. Проводимо збирання з торцем бандажа технологічну планку 100x250x10 з вуглецевої сталі.

#### Рисунок 2.13- Схема складання обичайки під зварювання

Розміщуємо на стику три місця установки технологічних клинів через 120 по довжині кола збираного стику. Встановлюємо по розмітці в розробку у верхньому положенні стику два технологічних клини. Приварюємо клини до зовнішніх обичайок царг по двох сторонах швом катетом 6 мм, довжина шва на один клин  $L = 80$  мм електрод типу Е-50 марки АНО-11 діаметром 5 мм по ГОСТ 9467-75. Проводимо кріплення стику з внутрішньої сторони з базової царги прихватками (довжина прихватки 200 мм, висота 5 мм) навпроти клинів. Електрод типу Е-50 марки АНО-11 за ГОСТ 9467-75 діаметром 5 мм.

Наступним етапом встановлюємо двійник на підготовлені ролики зварювального стенду для зварювання кільцевого шва. Для цього збираємо з торцем

двійника захисне кільце під опорний ролик, проводимо прихоплення і приварюємо кільце до бандажу через технологічні планки. Тоді, налаштуємо і встановлюємо опорний ролик для зварювання двійника.

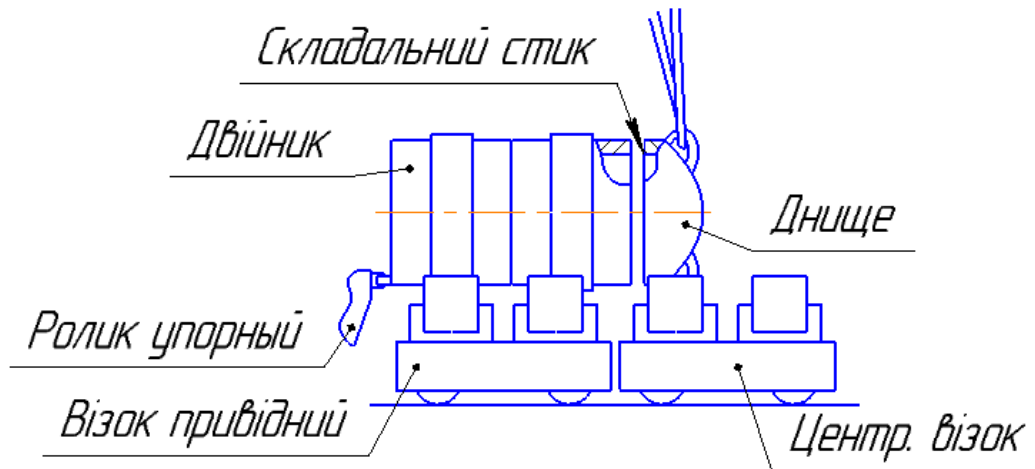


Рисунок 2.14 – Схема складання днища з обичайкою

Після виконання цих операцій, проводимо налаштування роликівого стану для складання і зварювання з кінцевими частинами корпусу (днищем і фланцем). Для цього встановлюємо на стэнд рулонну частина корпусу (двійник), проводимо виміри торців елементів, що стикуються перед складанням. Застроплюємо кінцевий елемент і підводимо до рулонної частини корпусу. Поворотом рулонної частини на стэнді стикуємо деталі. Перед складанням кінцевої частини з рулонною частиною корпусу під кінцеву частину повинна бути підведена роликкоопора для підстрахування з зазором приблизно 30 мм між роликкооперами і зовнішнім діаметром.

### 2.6.3 Зварювальні операції

В загальному складання та зварювання складальних одиниць корпусу реактору проводимо наступним чином:

- 1) встановити в пристосування деталь із фіксуванням по фіксатору;
- 2) встановити в пристосування деталі із фіксуванням по пазу і до упору деталі;
- 3) встановити в пристосування деталь;
- 4) притиснути встановлені деталі в пристосуванні пневматичним притискачем;

- 5) виконати зварювання в допустимих місцях;
- 6) відкріпити складальну одиницю в пристосуванні і зняти;
- 7) провести кінцеве зварювання складальної одиниці.

Виконати зварювання зварного з'єднання №1; по довжині 100 мм з одного боку відповідно з за схемою рисунку 2.15.

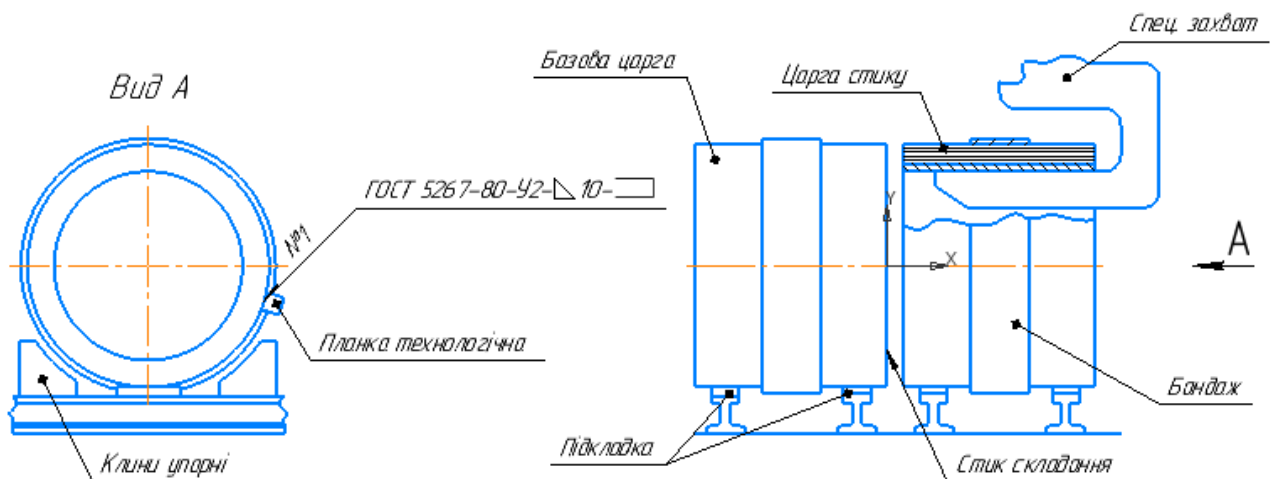


Рисунок 2.15 – Схема зварювання кільцевого шва

Зварювання стику двійника виконуємо із зовнішнього боку між клинами (3 прохід) з супутнім підігрівом торців обичайок до температури  $220 \pm 20$  °С.

#### 2.6.4 Опоряджувальні операції

Після виконання операцій зварювання проводимо зачистку швів, видалення металевих бризок з усіх поверхонь зварних вузлів. Для опоряджувальних операцій застосовуємо окуляри ЗП-12-72, молоток 7850 - 0103ц15х Ф, зубило 88 10-02 23, шліфувальну машину Kinzo 8E282, щітку дискову металеву ЩД-06.



### 2.6.5 Допоміжні операції

При виготовленні корпусу реактору виконуємо налагоджувальні, перевантажувальні та транспортні допоміжні роботи:

Перед початком зварювання налагоджуємо обладнання, регулюємо витрати захисного газу, виліт електродного дроту, встановлюємо параметри режиму зварювання. При виконанні перевантажувальних і підйомно-транспортних робіт здійснюємо встановлення частин в кондуктори і кантувач.

### 2.6.6 Контрольні операції

До контрольних операцій входить і контроль вхідних матеріалів, зварювальних матеріалів, якості усіх операцій, а також контроль зварних з'єднань і готових виробів.

При виготовленні корпусу реактору проводимо заміри найбільшого і найменшого внутрішнього діаметрів торців обичайок.

Проводимо контроль величини найбільшого і найменшого внутрішнього діаметрів торців царг. Також контролюємо геометричні параметри торців царг. Контролюємо наявність дефектів: кристалізаційних тріщин і пор в наплавленому шарі. Контролюємо геометричні параметри зварного з'єднання у відповідності з рисунком 2.16.

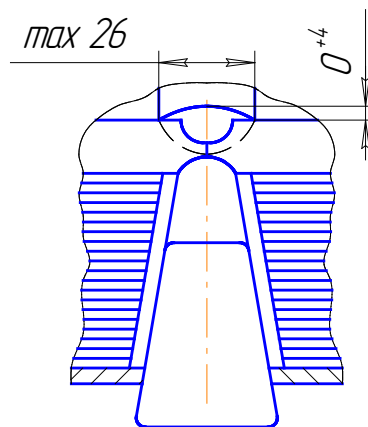


Рисунок 2.16 – Контроль геометричних параметрів зварного з'єднання

Крім цього виконуємо контроль кольоровою дефектоскопією 100% місць зрізання технологічних клинів. Також здійснюємо контроль просвічуванням 100% довжини шва із зовнішньої й внутрішньої сторони.

## 2.7 Нормування технологічного процесу виготовлення зварного виробу і витрат матеріалів та електроенергії

Нормування витрат зварювальних матеріалів здійснюється з метою встановлення їх кількості, необхідної для виготовлення зварної конструкції і забезпечити економічне витрачання і раціональне використання матеріалів у зварювальному виробництві підприємств промисловості і будівництва. Загальні правила нормування витрат, втрат і відходів зварювальних матеріалів та методи їх визначення у зварювальному виробництві встановлює ДСТУ 3159-95 "Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання".

Розрахунок норм витрат зварювальних матеріалів стикового шва за ГОСТ 8713-79. Загальна довжина повздовжніх швів 7920 мм. Загальна довжина кільцевих швів при зварюванні обичайок 21980 мм. Тому, загальна довжина усіх швів 29900 мм:

Витрата флюсу обчислюється за формулою (2.22):

$$G_{\phi} = G_{\text{др}} \cdot K_{\phi}, \text{ кг} \quad (2.22)$$

$$K_{\phi} = 1,1$$

Витрата зварювального дроту обчислюється за формулою (2.34):

$$G_{\text{др}} = G_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}}, \text{ кг} \quad (2.23)$$

$$K_{\text{в}} = 1,02$$

$$G_{\text{н}} = F \cdot L \cdot \gamma, \text{ кг} \quad (2.24)$$

де  $\gamma = 7850 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі;

$$F = F_{\text{н}} + F_{\text{пр}}$$

$$F = 39,6 + 41,35 = 80,95 \text{ мм}^2$$

$$G_{\text{н}} = 80,95 \cdot 10^{-6} \cdot 29,9 \cdot 7850 = 19 \text{ кг}$$

$$G_{\text{н}} = 19 \cdot 1,02 = 19,38 \text{ кг}$$

$$G_{\text{ф}} = 19 \cdot 1,1 = 20,9 \text{ кг.}$$

Витрати електроенергії на погонну довжину шва 1м при механізованому зварюванні визначаємо за формулою [11]:

$$A = \frac{0,001 \cdot U_{\text{д}} \cdot I_{\text{зв}}}{\eta \cdot V_{\text{зв}}}, \quad (2.25)$$

де  $U_{\text{д}}$  – напруга на дузі, В;

$I_{\text{зв}}$  – сила зварювального струму, А;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії установки;

$V_{\text{зв}}$  – швидкість зварювання, м/год.

$$A = \frac{0,001 \cdot 36 \cdot 560}{0,83 \cdot 25} \approx 0,97 \text{ (кВт·год)/м.}$$

Загальні витрати електроенергії для виготовлення корпусу реактору визначаємо, як добуток питомих витрат електроенергії на довжину шва:

$$Q_{\text{езаг}} = 0,97 \cdot 29,9 \approx 29 \text{ кВт·год.}$$

### Висновки

1. Для зварювання корпусу реактора обрано автоматичне зварювання під шаром флюсу.
2. Розраховано режими зварювання для зовнішніх та внутрішнього зварних швів.
3. Для зварювання кільцевих та поздовжніх швів обираємо роликний стенд з велосипедними візками. На стенді може одночасно зварюватись два кільцевих шва.
4. Для зварювання використовуємо автомат типу А-384 та джерело живлення вибираємо випрямляч ВДУ 1250 УЗ.
5. Запропоновано технологію виготовлення корпусу реактору високого тиску.
6. Проведено нормування витрат зварювальних матеріалів та електроенергії.

## 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір розрахункової схеми поширення теплоти при зварюванні

У даному технологічному процесі застосовується дугове зварювання із значною потужністю та високою швидкістю зварювання. Потужне введення теплоти з одного боку підвищує продуктивність роботи, з іншого боку приводить до значних змін структури та в результаті може стати причиною дефектів та зниження експлуатаційних властивостей зварного з'єднання. Вторинну структуру у металі шва та зони термічного впливу можна змінювати через регулювання питомої потужності джерела нагрівання, зміну початкової температури поверхні, зміною форми кромки зварного з'єднання. Для теоретичного оцінювання впливу термічних процесів на структуру та властивості зварних з'єднань використовуємо закономірності поширення теплоти у твердих тілах та теоретичні аспекти теорії термічних процесів при зварюванні.

Для розрахунку розподілення температури на поверхні використовують розв'язки диференціального рівняння теплопровідності із застосуванням методу джерел:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.1)$$

Згідно даного методу перед розрахунками проводиться схематизація тіл та джерел тепла, а далі проводиться розрахунки за тією схемою «тіло+джерело нагрівання», що найбільше підходить для заданих умов зварювання. Порівняльні розрахунки проведені автором для зварювання пластин різної товщини за різними схемами показали виникнення значних похибок при їх неправильному виборі [12].

Найбільш простою схемою є випадок дугового наплавлення на масивне тіло, схема рухомого точкового джерела на поверхні напівобмеженого тіла [13]. Дже-

рело нагрівання при цьому безперервно рухається на поверхні за віссю  $x$  із постійною швидкістю зварювання  $v$ , і початок координат є уточці розміщення і джерела нагрівання. Розрахунок ведуть за виразом:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma (4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_x}{2a} \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}}\right) \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right) \quad (3.2)$$

де:  $q$  - ефективна теплова потужність, для дугового джерела  $q = I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta$  ( $\eta$  - ефективний к.к.д. джерела нагрівання);

$v$  - швидкість зварювання, см/с;

$\alpha$  - коеф. температуропровідності;

$t_2 = t - t_1$  - час поширення теплоти з потужністю  $q = dt_1$  ( $t_1$  час з моменту руху,  $t$  - час досягнення тем-ри  $T$  у певній точці);

$R$  - радіус - вектор від точки до джерела,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \quad (3.3)$$

Якщо швидкість зварювання збільшується, зміна температури поверхні тіла постійно зменшується. Ізотерма набуває більш витягнутого характеру. Тому використовуючи гіпотезу одномоментності зварювання з нескінченно великими потужністю та швидкістю можна отримати простіші розрахункові вирази, не приймаючи до розрахунку поширення теплоти перед джерелом тепла [13]. Схема потужного швидкодіючого джерела тепла в пластині розв'язується за формулою:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (3.4)$$

$\delta$  - товщина пластини, см;

$\lambda$  - коеф. теплопровідності, Вт/см К;

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

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

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

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну з поверхні до навколишнього середовища;

$T_0$  – початкова температура деталі.

Гradient для температур максимуму у напрямку, що перпендикулярний осі переміщення нагрівання, для зварювання пластин, отримується за виразом:

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c\gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2y_0} \quad (3.5)$$

Якщо розраховується температура у поперечному сеченні зварного шва знаходять приємлиме значення  $y_0$  рахуючи, що  $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$  (Т ліквідусу). В результаті отримуємо:

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot v (T_m - T_0)} \quad (3.6)$$

З метою отримання значень складу структури та механічних властивостей металу зони термічного впливу визначається тривалість охолодження  $\tau$  за термічним циклом. Для швидкорухомих джерел зварювання пластини вираз набуде форми [13]:

$$\tau = \frac{q^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.7)$$

### 3.2 Розрахунок термічного циклу для стикового зварного з'єднання

З метою забезпечення міцності зварного шва корпусу посудин під тиском при товщині металу більше 7 мм рекомендують проводити оброблення кромки. Розрахунок режимів зварювання було проведено у розділі 2. Відмінність розрахунку термічного циклу з різним обробленням кромки у тому, що з обробленими кромками розрахунок ведеться по останньому проході.

Розрахунки проведено для зовнішнього шва 1, зовнішнього шва 2 та внутрішнього шва.

Визначимо  $y_0$ , враховуючи, що  $T_m = T_{\text{ліквідусу}} = 1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \kappa(T_m - T_0)} = 0,8 \quad \text{см}$$

Вихідні дані для розрахунку для зовнішнього шва 1:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,08
величина струму дуги, А	500
напруга на дузі, В	36
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	12600
швидкість зварювання, см/с	0,6
товщина пластин, що зварюються, см	0,95

Вихідні дані для розрахунку для зовнішнього шва 2:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,08
величина струму дуги, А	625
напруга на дузі, В	42
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	18375
швидкість зварювання, см/с	0,68
товщина пластин, що зварюються, см	0,95

Визначимо  $v_0$ , враховуючи, що  $T_m = T_{\text{ліквідусу}} = 1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \kappa(T_m - T_0)} = 1,04 \text{ см}$$

Вихідні дані для розрахунку для внутрішнього шва:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,08
величина струму дуги, А	560
напруга на дузі, В	36
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	14112
швидкість зварювання, см/с	0,8
товщина пластин, що зварюються, см	0,95

Визначимо  $v_0$ , враховуючи, що  $T_m = T_{\text{ліквідусу}} = 1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \kappa(T_m - T_0)} = 0,68 \text{ см}$$

Проведемо розрахунок для зварювання пластин за виразом (3.4) у табличній формі. Результати розрахунку у таблиці 3.1. Графік на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку нагрівання та охолодження для стикового зварного з'єднання

Час, с		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	
зовнішній 1, Т°С		32	236	542	797	982	1324	1296	1180	1080	
зовнішній 2, Т°С		20	20	20	22	30	219	771	1091	1245	
Внутрішній, Т°С		20	27	78	185	322	909	1302	1346	1313	
5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	100,0	200,0
233	214	200	188	179	170	126	106	94	85	65	49
999	932	877	831	791	756	553	457	398	356	251	172
1314	1340	1342	1332	1315	1294	1077	925	820	741	527	357
1261	1207	1156	1109	1066	1028	779	650	568	509	357	242



Термічний цикл зварювання представлений для критичної ділянки перегрівання зони термічного впливу. Крива охолодження представлена на рисунку 3.1 та накладена на термокінетичну діаграму розпаду переохолодженого аустеніту для сталі 20К.

### 3.3 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу

Структура основного металу, що прилеглий до шва, у процесі зварювання змінюється, оскільки різні ділянки перебувають різний час при різних температурах. Відповідного до термічного циклу охолодження ділянки зони термічного впливу матимуть різні розміри, структуру та механічні властивості [17].

З метою аналізу структурних перетворень в зоні термічного впливу дані термічного циклу представляють на кінетичній діаграмі розпаду переохолодженого аустеніту. Графік термокінетичних перетворень побудований за даними змін твердості та структури даної марки сталі дозволяє передбачити структуру на ділянці зони термічного впливу за термічним циклом певної точки на поверхні виробу. Термокінетична діаграма представляється у логарифмічних координатах часу, а також температури. Така діаграма будується в координатах температура - час. Для отримання результату облік часу під час охолодженні аустеніту розпочинають з відліку, коли температура стає менша критичної температури  $A_{c3}$ . Вище температури  $A_{c3}$  стан аустеніту невірноважений та нестійкий термодинамічно, а нижче температури  $A_{c3}$  може відбуватися в залежності від швидкості охолодження перлітне, або бейнітне, або мартенситне перетворення [14, 15].

Діаграма зміни переохолодженого аустеніту для сталі марки 20К представлена на рисунку 3.2. Накладений на дану діаграму термічний цикл охолодження металу критичних ділянок зони термічного впливу показує зміни структури та дозволяє передбачити механічні властивості ослабленої ділянки перегрівання.

Термічний цикл для зовнішніх та внутрішніх зварних швів розроблюваної технології показує, що структура після зварювання знаходиться у перлітно-феритній зоні діаграми розпаду аустеніту.

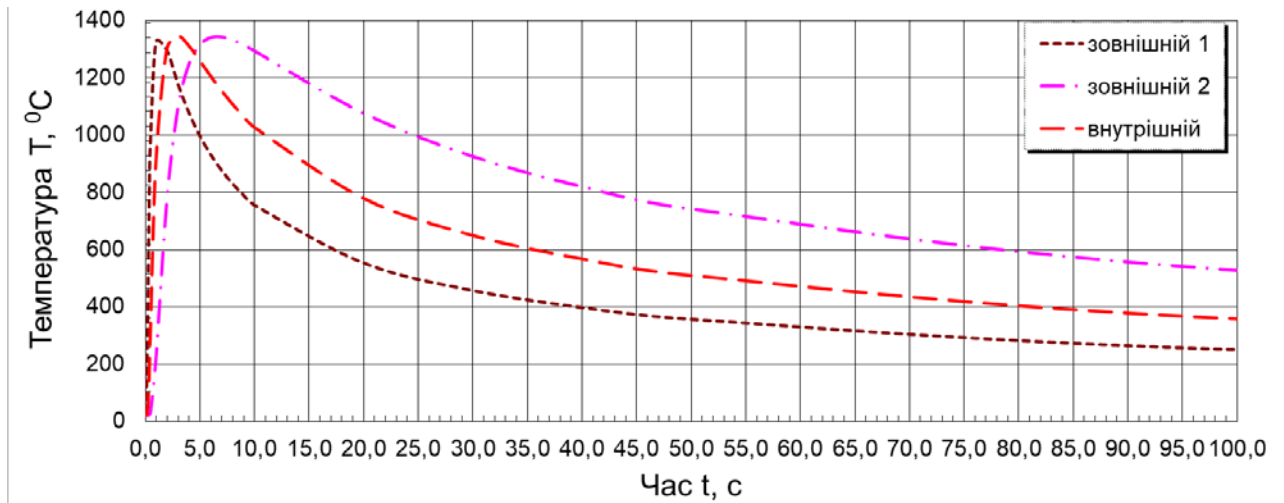


Рисунок 3.1 - Термічний цикл зварювання для зовнішнього 1, 2 та внутрішнього шва

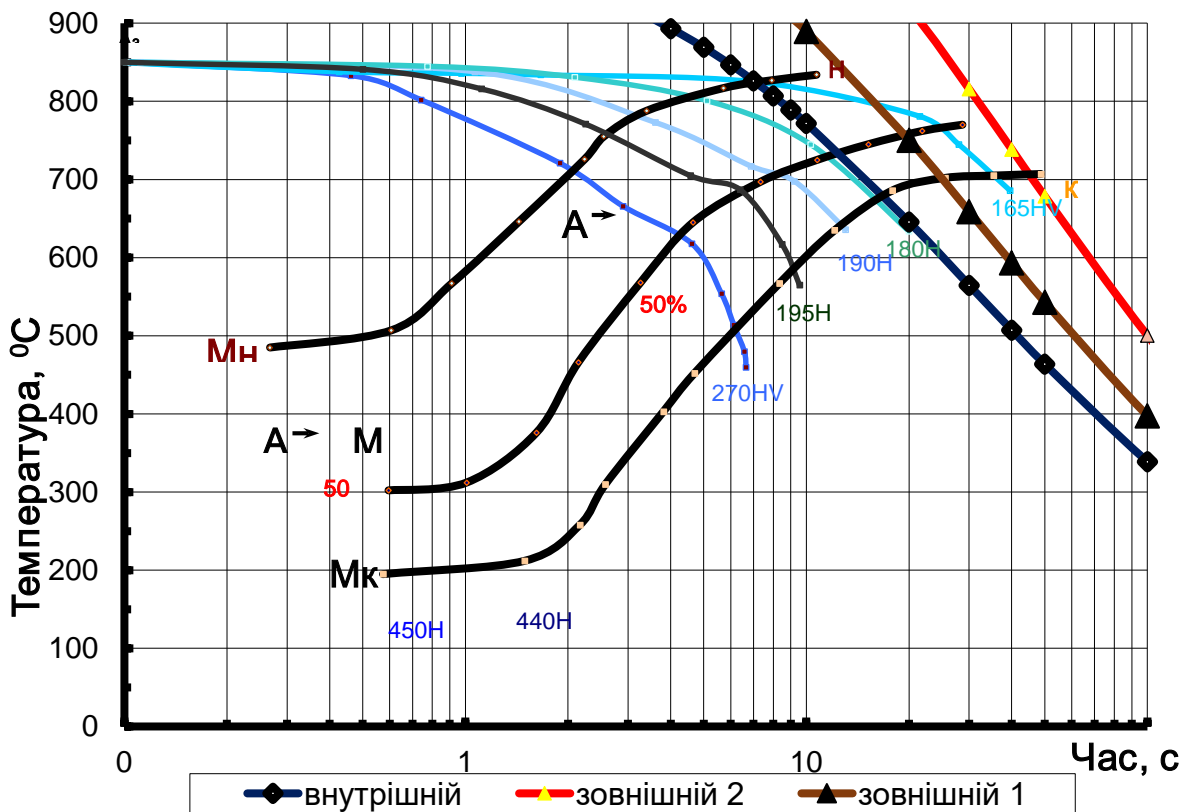


Рисунок 3.2 – Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту для сталі 20К та термічні цикли для зовнішніх та внутрішніх зварних швів

Перлітна структура має необхідні експлуатаційні фізико-механічні властивості: достатню твердість, необхідну пластичність та міцність. Також ферито-перлітна структура демонструє добру зварюваність та високу стійкість до утворення гарячих тріщин.

### 3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання

У Інституті електрозварювання імені Є.О. Патона розроблено спеціальну програму для прогнозування фазового складу ділянок зони термічного впливу вуглецевих сталей. Характеристики  $\tau_m$ ,  $s_m$ ,  $\tau_\phi$ ,  $\tau_{\phi+II}$ ,  $s_\phi$ ,  $s_{\phi+II}$  рахуються залежно від складу за регресійними експериментальними залежностями [16].

$$\ln \tau_m = -2,1 + 15,5 C + 0,96 Mn + 0,84 Si + 0,65 Cr + 0,74 Mo + 0,55 Ni + 0,3 Al + 4,0 W + 0,5 Cu - 0,25 Nb - 13,5 C^2 - 0,8 Si^2; \quad (3.8)$$

$$\ln \tau_m = 1,45$$

$$\ln s_m = 0,56 - 0,41 C + 0,1 Mn + 0,14 Cr - 0,3 Mo + 2,7 Ti - 1,1 Nb + 0,5 Cu + 1,7 C Mo; \quad (3.9)$$

$$\ln s_m = 0,57$$

$$\ln \tau_\phi = 0,66 + 10 C + 1,3 Mn - 0,48 Si + 1,3 Cr + 1,5 Mo + 0,8 Ni - 1,4 W +$$

$$3,5 C Mn - 50 C V - 5,9 C^2 + 0,8 Si^2; \quad (3.10)$$

$$\ln \tau_\phi = 3,99$$

$$\ln s_\phi = 1,23 + 0,17 Mn - 0,34 Si + 0,3 Cr - 0,5 Mo + 0,31 Ni + 0,09 Nb - 0,43 W - 0,3 Cu; \quad (3.11)$$

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

$$\ln \tau_{\phi+II} = 0,34 + 5,2 C + 1,8 Mn + 0,53 Si + 0,33 Cr + 2,9 Mo + 0,86 Ni + 1,5W + 1Cu - 60 C V - 5,1 C^2 + 0,7 Si^2; \quad (3.12)$$

$$\ln \tau_{\phi+II} = 2,58$$

$$\ln s_{\phi+II} = 0,91 - 0,9 C + 0,09 Mn + 0,08 Cr + 0,34 Mo + 0,15 Ni + 0,85 V + 2,2Ti + 0,43 W; \quad (3.13)$$

$$\ln s_{\phi+II} = 0,84$$

Час охолодження  $\tau$  розраховується за термічними циклами охолодження в конкретних точках на поверхні виробу. Для схеми швидкорухомого потужного лінійного джерела на поверхні пластини це наступний вираз

$$\tau = \frac{q^2}{4\pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.14)$$

$q$  – ефективна теплова потужність;

$\lambda$  – коеф. теплопровідності;

$v$  – швидкість джерела нагрівання;

$c\gamma$  – об'ємна теплоємність;

$\delta$  – товщина пластини.

Відсоткове співвідношення для різних складників структури розраховується по наступним формулах:

- загальна к-сть мартенситу:

$$M(\tau) = 100 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_m}{\lg s_m} \right) \right], \% \quad (3.15)$$

$\Phi(x)$  – інтегральна функція для нормального розподілу;

$\tau$  – час для охолодження, щоб утворилось 50% мартенситу;

$s_m$  – постійна, що характеризує швидкість спадання вмісту мартенситу при рості  $\tau$ .

- загальна к-сть фериту:

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\max} \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \phi}{\ln s_\phi} \right), \% \quad (3.16)$$

$\Phi_{\max}$  – найбільша к-ість фериту, який утвориться при повільному охолодженні.

$$\Phi_{\max} = 100 \left[ \frac{1 - (C - 0,02)}{0,81 - 0,11Mn - 0,05Mo} \right], \% \quad (3.17)$$

- загальна сума фериту і перліту:

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 100\Phi\left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_{\phi + \Pi}}{\ln s_{\phi + \Pi}}\right) \% ; \quad (3.18)$$

- загальна к-ість бейніту:

$$B(\tau) = 100 - M(\tau) - [\Phi + \Pi](\tau), \% ; \quad (3.19)$$

- загальна к-ість перліту:

$$\Pi(\tau) = [\phi + \Pi](\tau) - \phi(\tau), \% ; \quad (3.20)$$

В

таблиці 3.2 зведено результати розрахунків складників структури для трьох основних зварних швів технології зварювання реактора високого тиску.

Таблиця 3.2 - Складники структури для зовнішнього та внутрішнього зварних швів

Найменування	Зовнішній 1	Зовнішній 2	Внутрішній
Тривалість охолодження, с	56	93	40
Кількість мартенситу, %	0	0	0
Макс. кількість фериту, %	76	76	76
Кількість фериту, %	39	51	31
Кількість фериту та перліту, %	96	98	91
Кількість бейніту, %	4	2	9
Кількість перліту, %	57	48	60

Результати розрахунку узгоджуються з експериментальними дослідженнями мікроструктури зварного шва, представленими на рисунку 3.3.

Також за емпіричними експериментально-встановленими формулами можна розрахувати орієнтовні значення механічних властивостей різних ділянок зони термічного впливу [16]:

$$HV = M(\tau) * (309 + 494 * C + 622 * C^2 + 17,7 * Mn) + B(\tau) * (234 + 122 * C) + [\Phi + \Pi](\tau) * (98 + 275 * C + 15,4 * Mn); \quad (3.21)$$

$$\sigma_6 \text{ (МПа)} = M(\tau) * (798 + 3215 * C) + B(\tau) * (590 + 960 * C + 39,7 * Mn + 200 * V) + [\Phi + \Pi](\tau) * (297 + 1360 * C + 60 * Mn + 140 * V); \quad (3.22)$$

$$\sigma_{0,2} (\text{МПа}) = M(\tau) * (662 + 1610 * C) + B(\tau) * (500 + 460 * C + 120 * C^2 + 150 * V) + [\Phi + \Pi](\tau) * (187 + 926 * C + 47 * \text{Mn} + 90 * V); \quad (3.23)$$

$$\delta (\%) = M(\tau) * (12,2 - 67 * C^2 - 1,5 * \text{Mn} + 0,76 * \ln \tau) + B(\tau) * (21,3 - 35,6 * C - 4 * \text{Mn} - 5 * V + 1,84 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (36,5 - 127 * C + 153 * C^2 - 1,16 * \text{Mn} + 0,66 * \ln \tau); \quad (3.24)$$

$$\psi (\%) = M(\tau) * (48,5 - 158 * C - 116 * C^2 + 0,98 * \ln \tau) + B(\tau) * (53,3 - 132 * C + 103 * C^2 - 5,1 * \text{Mn} - 10 * V + 3,4 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (65,4 - 88 * C - 82 * C^2 - 6,7 * \text{Mn} + 18 * V + 0,6 * \ln \tau); \quad (3.25)$$

$$K_{СИ} (\text{Дж/м}^2) = M(\tau) * (1,06 - 2,8 * C + 1,3 * C^2 - 0,081 * \text{Mn} + 0,05 * \ln \tau) + B(\tau) * (1,3 - 1,6 * C - 0,08 * \text{Mn}) + [\Phi + \Pi](\tau) * (1,47 - 1,8 * C + 0,8 * C^2 - 0,076 * \text{Mn} - 0,045 * \ln \tau). \quad (3.26)$$

Отримані розрахункові дані зводимо в таблицю 3.3.

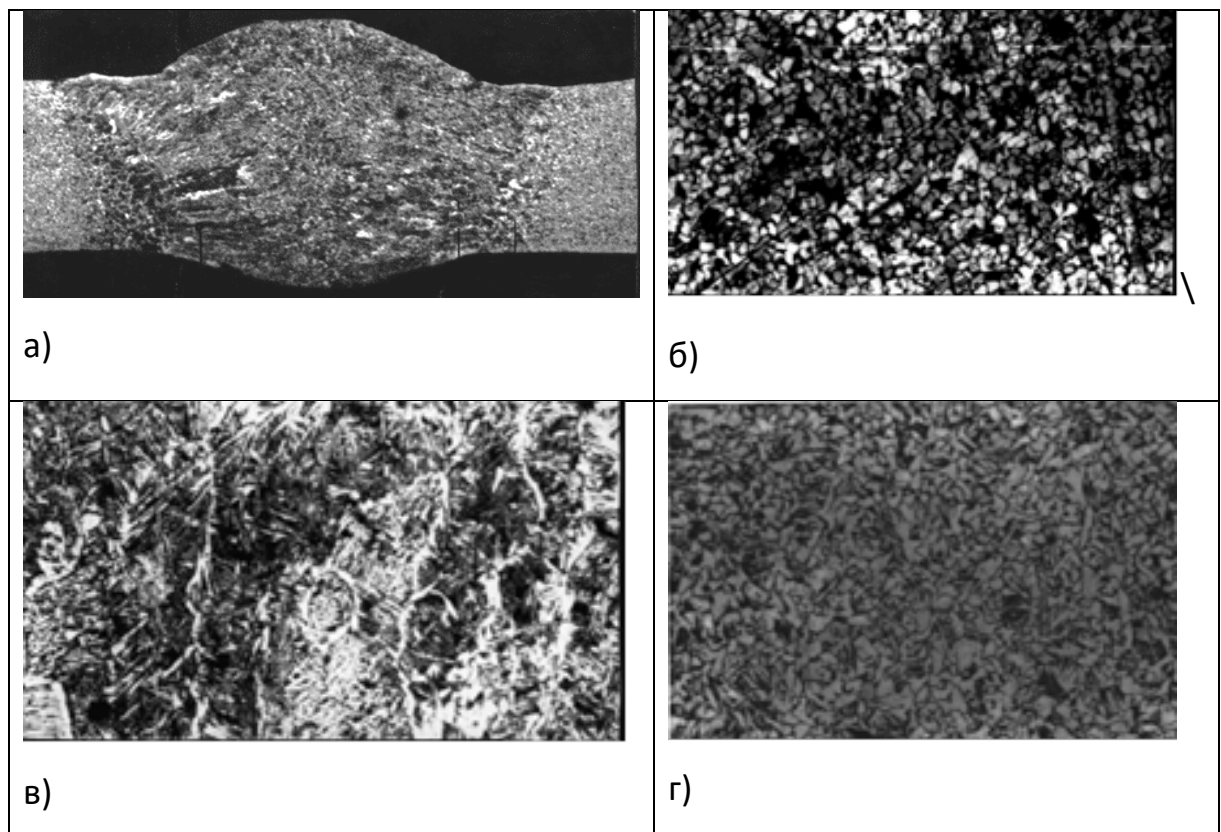


Рисунок 3.3 – Мікроструктура зварного шва сталі марки 20К:

а) мікрошліф, б) основний метал, в) метал шва, г) зона термічного впливу

Таблиця 3.3 Прогнозовані механічні характеристики зони термічного впливу

Найменування	Зовнішній 1	Зовнішній 2	Внутрішній
Твердість HV	162	159	167
Границя міцності, МПа	608	602	617
Відносне видовження, %	19	20	19
Відносне звуження, %	43	44	43
Ударна в'язкість, МДж/м <sup>2</sup>	0,9	0,9	0,9

Прогнозовані механічні властивості ЗТВ показують дещо завищені показники міцності у порівнянні з властивостями сталі у стані поставки, але це характерно для матеріалу після проведення термічного оброблення даної сталі, і в цілому розрахунки демонструють достатньо високий запас міцності перлітної-феритної структури. При визначенні лабораторним аналізом максимальних значень вмісту хімічних елементів у даній сталі 20К та при виникненні холодних тріщин, необхідно застосувати попереднє підігрівання перед зварюванням з метою зменшення швидкості охолодження.

### 3.5 Висновки

На підставі проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз технології зварювання деталей обичайки реактора високого тиску показав, що для розрахунку температурного поля та аналізу структурно-фазового стану зони термічного впливу доцільно використати схему швидкорухомого потужного лінійного джерела тепла.

2. Розрахунок термічних циклів зварювання зовнішніх та внутрішніх швів дозволяє прогнозувати ферито-перлітну структуру з твердістю 159-167 HV, відносним видовженням 19% та границею міцності біля 600 МПа.

3. Враховуючи, що максимальні значення еквіваленту вуглецю можуть перевищувати критичні рекомендовані значення для даної марки сталі, доцільно проводити ретельний вхідний аналіз партій металу, та у випадку виникнення холодних тріщин застосувати попереднє підігрівання виробів.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Розрахунок зварювальної консолі

Зварювальна консоль працює в умовах деформації згину. Необхідно розрахувати величину прогину при максимальному вильоті консолі, враховуючи, що на кінці є механізм подачі, правильний механізм і флюсобункер.

Допустимий прогин на кінці консолі становить 3 мм. Для визначення прогину від навантажень необхідно підібрати переріз консолі.

Вибираємо переріз консолі порожнистий, яке має такі розміри: зовнішній діаметр  $D = 140$  мм, внутрішній діаметр  $d = 70$  мм [18].

Максимальна довжина, на яку висувається консоль, вибирається виходячи з центрів тяжіння закріплення на стійці і кріплення механізмів подачі і правлення, а також флюсобункера і становить  $l_{\max} = 2100$  мм.

Маса балки  $m$ , кг, розраховується за формулою:

$$m = \rho \cdot V, \quad (4.1)$$

де  $\rho$  – густина сталі, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм вибраного перерізу, м<sup>3</sup>.

Об'єм перерізу  $V$ , м<sup>3</sup>, розраховується за формулою:

$$V = (R^2 - r^2) \cdot \pi \cdot l, \quad (4.2)$$

де  $R$  і  $r$  – радіуси найбільшого і найменшого діаметрів перерізу відповідно, м;

$l$  – максимальна довжина консолі, м.

$$V = (0,07^2 - 0,035^2) \cdot 3,14 \cdot 2,1 = 0,024 \text{ м}^3,$$

Маса балки буде:

$$m = 7800 \cdot 0,024 = 187,2 \text{ кг}.$$

Сили, що діють на балку створюють згинний момент:

- 1) Зосереджена сила,  $P = 300$  Н;
- 2) Розподілене навантаження по консолі,  $q$ , Нм;

Розподілене навантаження  $q$ , Нм, розраховується за формулою:



$$q = m \cdot g \cdot l, \quad (4.3)$$

Де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ,

$l$  – максимальна довжина консолі,  $\text{м}$ .

$$q = 187,2 \cdot 9,81 \cdot 2,1 = 3856,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо згинний момент  $M_{зг}$ ,  $\text{Нм}$ , який розраховується за формулою:

$$M_{изг} = P \cdot l + q \cdot \frac{l^2}{2}; \quad (4.4)$$

$$M_{изг} = 300 \cdot 2,1 + 3856,5 \cdot \frac{2,1^2}{2} = 9133,6 \text{ Нм}.$$

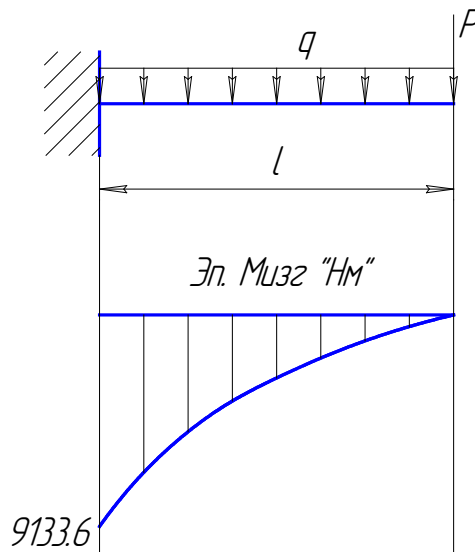


Рисунок 4.1 – Епюра згинного моменту

Прогин балки  $f$ ,  $\text{м}$ , розраховується за формулою:

$$, \quad (4.5)$$

де  $E$  – модуль пружності Юнга,  $\text{Па}$ ;

$I$  – момент інерції перерізу,  $\text{м}^4$ .

Момент інерції  $I$ ,  $\text{м}^4$ , перерізу розраховується за формулою [19]:

$$, \quad (4.6) \text{де } D \text{ і } d \text{ – діаметри перерізу ба-}$$

лки, найбільший і найменший відповідно,  $\text{м}$ ;

$$I = (0,14^4 - 0,07^4) \cdot \frac{3,14}{64} = 17,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4,$$

Прогин балки:

$$f = \frac{9133,6 \cdot 2,1}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 17,6 \cdot 10^{-6}} = 0,0027 \text{ м} = 2,7 \text{ мм} \leq 3 \text{ мм}.$$

Даний прогин менший допустимого, відповідно, підібраний переріз підходить.

## 4.2 Розрахунок консолі на міцність

Консоль - оперта балка, призначена для розміщення і переміщення механізму подачі від зварювального апарату А-384 масою 300 Н і флюсобункера, при цьому балка отримує напруження згину [19].

Матеріал, з якого виготовляється балка сталь ВСт3сп.

Механічні властивості сталі за ГОСТ 535-88:

Межа текучості  $\sigma_{0,2}$ , МПа\_не менше 235;

Межа міцності  $\sigma_b$ , МПа\_не менше 430;

Відносне видовження  $\delta$ , %\_21.

При розміщенні зварювального апарату в крайньому положенні, балка прогинається на величину  $f_{\max}$ .

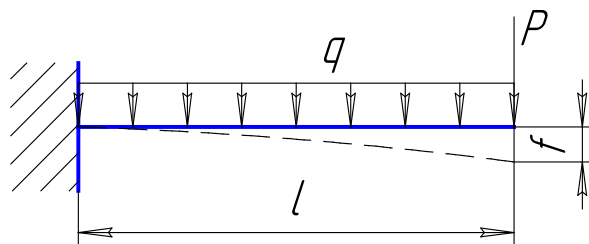


Рисунок 4.2 – Схема навантаження

Допустиме нормальне напруження  $[\sigma]$ , МПа, розраховується за формулою [19]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_a}{k_s}, \quad (4.7)$$

де  $\sigma_b$  – межа міцності сталі, МПа;

$k_3$  – коефіцієнт запасу міцності.

$$[\sigma] = \frac{430}{1,25} = 344 \text{ МПа}.$$

Діючі напруження  $\sigma$ , МПа, розраховується за формулою:

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W_{mp}}, \quad (4.8)$$

де  $M_{зг}$  – згинний момент, Нм;

$W_{тр}$  – осьовий момент інерції, м<sup>3</sup>.

Осьовий момент інерції  $W_{тр}$ , м<sup>3</sup>, розраховується за формулою:

$$W_{mp} = \frac{\pi \cdot D \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}{32}, \quad (4.9)$$

де  $D$  і  $d$  – найбільший і найменший діаметри перерізу відповідно, м;

$$W_{mp} = \frac{3,14 \cdot 0,14 \cdot \left(1 - \left(\frac{0,07}{0,14}\right)^4\right)}{32} = 0,013 \text{ м}^3.$$

Розрахуємо діючі напруження за формулою (4.7):

$$\sigma = \frac{9133,6}{0,013} = 0,703 \text{ МПа} \leq 344 \text{ МПа}.$$

Діючі напруження менші допустимих, відповідно, підібраний переріз підходить [19].

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Дотримання правил охорони праці у технологічному процесі зварюванні

Розглянутий вище спосіб зварювання потребує дотримання визначного комплексу правил охорони праці, які знайшли відображенні в технологічному процесі і суворо дотримуються при виконанні зварювальних робіт. При виконанні робіт на зварювальному автоматі А - 384, з метою охорони праці всі технологічні процеси виконуються згідно вимог інструкції з безпечної експлуатації устаткування.

Вимоги техніки безпеки до експлуатації устаткування:

а) устаткування повинно бути заземлено. Заземлено повинно бути джерело живлення і шафа керування;

б) при роботі і ремонті устаткування існують джерела небезпеки:

електричний струм;

механічна дія;

в) забороняється допускати до ремонту сторонніх працівників;

г) при ремонті устаткування використовують тільки справний інструмент.

Перед початком роботи устаткування зварник– оператор проводить технічний огляд устаткування:

а) перевірити комплектацію зварювального апарату;

б) виконати, при необхідності, змащування ходової частини;

Під час роботи устаткування, необхідно дотримуватись таких вимог з техніки безпеки і слідкувати за [21]:

а) витіканням води і температурою води в системах охолодження;

б) струмопередаючими деталями вторинного контуру;

в) кількістю мастила на деталях, які труться;

г) станом різьбових з'єднань;

д) станом насосної установки згідно її експлуатаційним документам;

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

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

При роботі на зварювальному автоматі, забороняється:

а) доторкатись до струмоведучих частин і електроустаткування ;

б) працювати при несправностях в одному із механізмів;

в) знаходитись стороннім предметам в зоні рухомих частин машини.

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

Заходи боротьби з несправностями машини і їх попередженнями:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Правилами техніки безпеки категорично забороняється доторкатись до струмоведучих частин устаткування, не дозволяється відкривати двері шаф і джерела живлення під час роботи устаткування. Найбільша небезпека виникає при випадковому контакті з елементами первинного контуру джерела живлення, який знаходиться під напругою 380В, чи у випадку прибирання, чи замикання обмотки на вторинний виток зварювального випрямляча. Для попередження від ураження струмом, вторинний виток і корпус джерела живлення надійно заземлюють [13].

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

Причини пожеж, які можуть виникнути при зварюванні конструкцій великого діаметра зварювальним автоматом А-384 можуть бути різноманітними:

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

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

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

Виходячи із вищесказаного можна зробити висновок, що при автоматичному зварюванні конструкцій великого діаметра зварювальним автоматом А-384 спроектований технологічний процес задовольняє вимогам електробезпеки і пожежної безпеки.

## **5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою**

Захисне заземлення – передбачене з'єднання з землею або її еквівалентом металічних не струмоведучих частин, які можуть випадково бути під напругою.

Захисне заземлення є ефективною мірою захисту при живленні електроустановки від електричних мереж напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю і напругою більше 1000 В з любым режимом нейтралі.

У відповідності ПУЕ захисне заземлення потрібно виконувати при паузі змінного струму 380 В і більше і постійного струму 440В і більше у всіх електроустановках; при номінальній напрузі змінного струму більше 42 В і постійного струму більше 110 В - тільки в електроустановках, які розміщені в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також в зовнішніх установках; при будь-якій напрузі змінного і постійних струмів, у вибухонебезпечних установках.

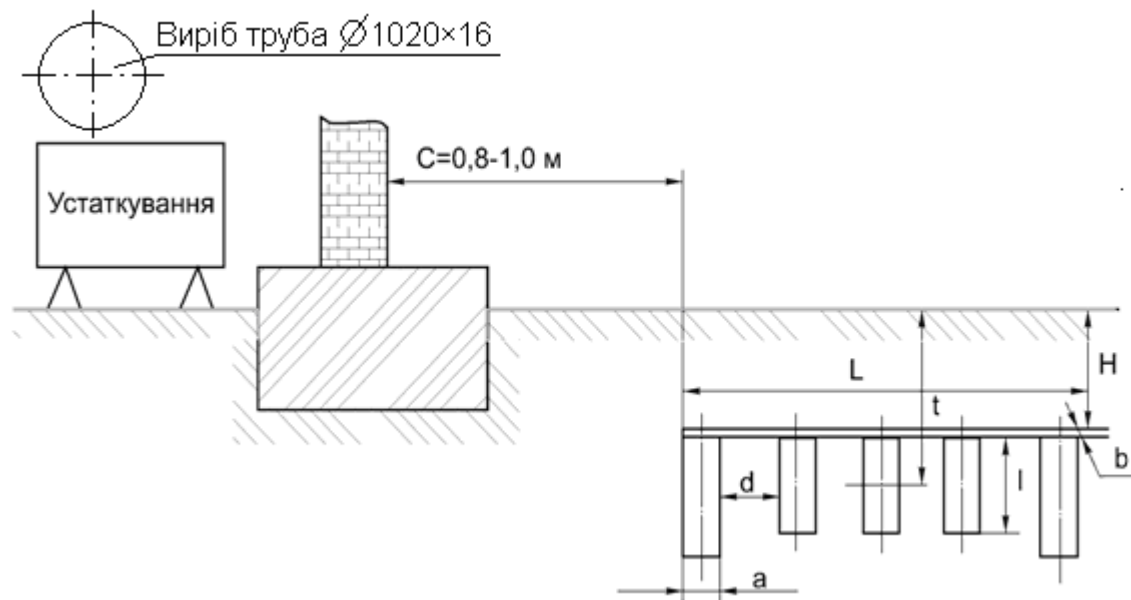
Захисна дія заземлення основана на зниженні напруги дотику, що досягається шляхом зменшення потенціалу на корпусі устаткування відносно поверхні землі.

Заземлюючим пристроєм називається наявність заземлювача (металевого провідника чи групи провідників, які безпосередньо знаходяться в контакті із землею) і заземлюючих провідників, які з'єднують частини електроустановки із заземлювачем.

Матеріалом захисного заземлюючого пристрою є сталь. В залежності від розміщення заземлювачів по відношенню до устаткування, яке заземлене – заземлення буває виносне і контурне.

Метою розрахунку є визначення кількості і розмірів заземлювачів і складання плану розміщення заземлювачів.

Схема розрахунку захисного заземлюючого пристрою для технологічного устаткування показано на рисунку 6.1 [20, 22].



- $C$  – відстань від стіни до заземлювачів;  
 $L$  – довжина заземлювача;  
 $H$  – відстань на яку заглиблений заземлювач;  
 $b$  – ширина стрічки;  
 $l$  – довжина кутників;  
 $d$  – крок.

Рисунок 5.1 – Схема розрахунку заземлюючого пристрою

Розрахунок захисного заземлюючого пристрою проводимо за [23].

Завдання: розрахувати захисне заземлення ділянки з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380В з ізольованою нейтраллю. В якості електродів – заземлювачів приймаємо сталеві конструкційки (кутники) довжиною  $l$  і діаметром  $d$ , які з'єднані між собою сталеву смужкою шириною  $b = 0,04$  м, що показано на рисунку 6.1. Коефіцієнти використання заземлювачів  $\eta_z$  і з'єднувальної стрічки  $\eta_c$ . Крок між заземлювачами рівний  $d$ . Заглиблення верхнього кінця конструкційки і з'єднувальної стрічки  $H=0,7$ м. Питомий опір ґрунту  $\rho$ .

Дано:  $\rho = 150$  Ом м;  $l=3$ м;  $a = 0,045$ м;  $d = 6$ м;  $\eta_z = 0,74$ ;  $\eta_c = 0,75$ .

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту  $\rho_p$  в якому мав бути розміщений заземлювач за формулою:



$$\rho_p = \rho \cdot \Psi, \quad (5.1)$$

де  $\Psi$  - кліматичний коефіцієнт, який вибирається в залежності від вологості ґрунту,  $\Psi = 1,32$ .

Звідси:

$$\rho_p = 150 \cdot 1,32 = 198 \text{ Ом} \times \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (конструкції), заглибленого нижче рівня землі на  $H = 0,7\text{м}$  за формулою:

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \times \pi \times \ell} \times \left( \ell_n \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ell_n \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right), \quad (5.2)$$

де,  $t = H + 0,5 \times l$  - відстань від поверхні ґрунту до середини конструкції;

$$t = 0,7 + 0,5 \times 3 = 2,2\text{м}$$

Звідси:

$$R_3 = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 3} \times \left( \ell_n \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} \ell_n \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 41,7 \text{ Ом}.$$

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_3}{R_i \times \eta_3}, \quad (5.3)$$

де  $R_n$  – нормований опір заземлюючого пристрою (ПУЕ).

Звідси:

$$n = \frac{41,7}{4 \times 0,74} = 14.$$

Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги за формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_c} \times \ell_n \frac{2 \times L_c}{\hat{a} \times H}, \quad (5.4)$$

Звідси:

$$R_c = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 81,9} \times \ell_n \frac{2 \times (81,9)^2}{0,04 \times 0,7} = 3,81 \text{ Ом}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги, якщо електроди розміщені в ряд:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot (n-1). \quad (5.5)$$

Якщо, смуги розміщені по контуру, то:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 14 = 88,2 \text{ м};$$

$$L_c = 1,05 \cdot 6 \cdot (14-1) = 81,9 \text{ м}.$$

Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою за формулою:

$$R_{\text{зп}} = \frac{R_3 \times R_c}{R_3 \times \eta_{\text{п}} + R_c \times \eta_3 \times n},$$
$$R_{\text{зп}} = \frac{41,7 \cdot 3,81}{41,7 \cdot 0,46 + 3,81 \cdot 0,74 \cdot 14} = 2,71 \text{ Ом}. \quad (5.6)$$

Величина опору штучних заземлювачів задовольняє вимогу  $R_{\text{ЗП}} \leq 4 \text{ Ом}$ .

### 5.3 Протипожежні заходи, передбачені в технологічному процесі зварювання

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

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

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

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

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

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

На дільниці цеху, де виконуються зварювальні роботи, для швидкої ліквідації пожеж, які можуть виникнути, є первинні засоби пожежогасіння: вогнегасник, бочки з водою, відра, ящики з піском лопати, сокири та інше [23].

Підвищення вогнетривкості дільниці і всього підприємства можливо облицюванням або оштукатурюванням металевих конструкцій. Перевагою користуються облицювальні матеріали, які володіють мінімальною масою і мінімальним коефіцієнтом температуропровідності. Так при облицюванні сталеві колони гіпсовими плитами товщиною 60мм границя вогнетривалості підвищується від 0,25

до 3,3 годин. В дільниці також існують протипожежні перешкоди, до них відносять стіни, перегородки, перекриття, двері, люки, вікна. Протипожежні стіни повинні бути виконані із негорючих матеріалів, мати границю вогнетривкості не менше 2,5 годин і опиратись на фундаменти. Двері, вікна, люки в протипожежних стінах повинні мати границю вогнетривкості не менше 1,2 годин, а перекриття – 1 годину. В дільниці також повинен висіти на стіні план евакуації людей на випадок виникнення пожежі. При виникненні пожежі працівники повинні покинути дільницю і будівлю на протязі мінімального часу, який визначається короткою відстанню від місця їх знаходження до виходу на зовні [20, 23].

Використання на підприємстві, зокрема і в дільниці, автоматичних засобів визначення пожежі являється одним із основних умов забезпечення пожежної безпеки, так як дозволяє повідомити черговий персонал про пожежу і місце її виникнення [22].

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

Виходячи із вищесказаного можна зробити висновок, що при зварюванні конструкцій великого діаметра зварювальним автоматом А-384 протипожежні заходи, передбачені в спроектованому технологічному процесі задовольняють вимогам пожежної безпеки роботи працівників на підприємстві.

## **Загальні висновки кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра**

На основі проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

Для виготовлення корпусу хімічного реактора високого тиску для гідротермального синтезу будемо використовувати сталь 20К, яка добре зварюється всіма способами зварювання.

Зварювання стикових з'єднань рекомендуємо проводити автоматичним дуговим зварюванням під шаром флюсу. Для зварювання кільцевих та поздовжніх швів обираємо роликаний стенд з велосипедними візками. На стенді може одночасно зварюватись два кільцевих шва. Для зварювання використовуємо автомат типу А-384 та джерело живлення вибираємо випрямляч ВДУ 1250 УЗ.

Розрахунок термічних циклів зварювання зовнішніх та внутрішніх швів дозволяє прогнозувати ферито-перлітну структуру з твердістю 159-167 НV, відносним видовженням 19% та границею міцності біля 600 МПа.

У розробленому технологічному процесі виготовлення реактору запропоновано наступні технічні рішення:

- використання суміщеного складально-зварювального устаткування на базі роликіваного стенду, що дозволяє збирати корпус посудини та зварювати як кільцеві шви, так і поздовжні шви;
- застосування механізоване зварювання в середовищі захисних газів по вузькому зазору, що зменшить усадку рідкого металу, пластичні деформації стиснення основного металу та розміри зони термічного впливу;
- застосування автоматичного дугового зварювання під шаром флюсу;
- розроблена технологія контролю якості корпусу реактору, та методи виправлення дефектів зварних з'єднань.

Упровадження перерахованих нововведень дозволяє:

підвищити продуктивність праці;

знизити трудомісткість виготовлення виробу;

підвищити якість виробу;  
скоротити технологічний цикл зварювальних операцій;  
зменшити витрати електроенергії;  
поліпшити умови праці зварників.

## Перелік посилань

1. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
2. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
3. Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1998. - 373 с.
4. Акулов А.И. Технология и оборудования сварки плавлением [Текст] / А.И. Акулов – М.:Машиностроение,1977, – 432с.
5. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением [Текст] / Б. Е. Патон. – М.: Машиностроение, 1974.– 768с.
6. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О.Кривов, К.О Зворикін,- К.:КВІЦ,2012.-896с.
7. Костін О.М. Зварювальні матеріали [Текст]: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
8. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г.Биковський, І.В. Пінковський. – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
9. Гитлевич А.Д. Механизация и автоматизация сварочного производства [Текст] / А.Д. Гитлевич, Л.А. Этингоф . – М.: Машиностроение, 1997. – 280 с.
10. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении: Организация и технология [Текст] / Н.И. Рыжков. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
- 11.Юрьев В.Б. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники [Текст] / В.Б. Юрьев – М.: Машиностроение, 1972.- 142 с.
12. Яцюк В.О., Ситарчук В.О., Скоропляс В.В. Особливості вибору схеми розрахунку поширення теплоти при зварюванні деталей типу пластина // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) / М-во

- освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. Т. 1. – с. 7-8.
13. Коперсак, В.М. Теорія процесів зварювання [Текст]: Текст лекцій (в двох частинах) / В.М. Коперсак – 4-е вид., випр. і доп. – К.: НТУУ «КПІ». – 228 с.
14. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів: Навч. посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 236 с.
15. Теория сварочных процессов [Текст] / Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
16. 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.
17. T. Vuherer, P. Maruschak, and I. Samardžić, “Behavior of coarse grain heat affected zone during cycle loading,” *Metalurgija*, 51, 301–304 (2012).
18. Севбо П.І. Конструювання та розрахунок механічного зварювального устаткування / Київ, Наук. думка, 1978. – 400 с.
19. Опір матеріалів / Під ред. акад. АН УРСР Пісаренко Г.С. – 5-е вид., перероб. та доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – 775 с.
20. Жидецький В.Ц., Джигірей В.С. Основи охорони праці. – Львів: “Афіша”, 2000. – 350 с.
21. Брауде М.З. Охрана труда при сварке в машиностроении [Текст] / М.З. Брауде. – М.: Машиностроение, 1978. – 144с.
22. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении [Текст] / Е.Я. Юдин – М.: Недра, 1983. – 432с.
23. Левченко О.Г. Охрана праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240с.



## Додатки







