

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

**магістр**

(освітній рівень)

на тему: **Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення автоклаву для варки рідкого скла та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей металу зварного шва**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МЗм

Спеціальності "Прикладна механіка" 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Романів В.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лазарюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Барановський В.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Ярема І.Т.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 \_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

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

1. Тема проекту (роботи) Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення автоклаву для варки рідкого скла та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей металу зварного шва

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

Затверджені наказом по університету від «28» вересня 2020 року №4/7-686

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 10 грудня 2020 року

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Науково-дослідна частина.  
Конструкторська частина. Розрахунок основних техніко-економічних показників.  
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Автоклав для варки рідкого скла. Пристрій для обрізки кромки обичайки. Роликовий стенд.  
Пристрій для зварювання кільцевих швів. Аналіз очікуваних структур. Режими зварювання та характеристики ЗТВ. Розрахунок роликового стенду. Механізована дільниця складання та зварювання циліндричних посудин.



## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота, на тему: «Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення автоклаву для варки рідкого скла та дослідження структурно-фазових перетворень та властивостей металу зварного шва» складається із 5 частин розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 80-аркушів формату А4 (з додатками 118 с.) та графічної частини об'ємом 8 аркушів формату А1. Записка складається із таких частин: аналітичний, технологічний, науково-дослідний, конструкторський, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Мета кваліфікаційної роботи – підвищення продуктивності праці і якості продукції.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 33 рисунки, 33 таблиці та додатки (36 с.). При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 23 літературних джерела.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання автоклаву для варки рідкого скла. Запропоновано: технологію напівавтоматичного зварювання автоклаву; розраховано параметри режиму зварювання; запропоновано раціональне устаткування і пристосування; запропоновано конструкцію та розраховано роликостен, проведено дослідження впливу параметрів режиму зварювання на структуру і механічні властивості металу шва; проведено розрахунки з організаційно-економічних питань; розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: АВТОКЛАВ, НАПІВАВТОМАТ, АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, УСТАТКУВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, РОЛИКОВИЙ СТЕНД, ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 Аналітична частина	9
1.1 Загальна характеристика автоклаву для варки рідкого скла	9
1.2 Технічні умови на виготовлення виробу	9
1.3 Характеристика основного металу	12
1.4 Методи збирання та зварювання циліндричних посудин	13
1.5 Способи зварювання та зварювальні матеріали, які застосовуються при виготовленні циліндричних посудин	19
1.6 Мета та завдання кваліфікаційної роботи	20
2 Технологічна частина	22
2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання	24
2.2 Розрахунок режимів зварювання	26
2.3 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	28
2.4 Вибір устаткування для збирання автоклава	30
2.5 Вибір устаткування для обрізки кромek обичайок	31
2.6 Вибір зварювального устаткування	33
2.7 Контроль якості зварювання автоклава	36
2.8 Розробка та опис технології збирання та зварювання автоклава	39
2.9. Розрахунок основних техніко–економічних показників технології складання та зварювання автоклава	41
2.10 Висновки по технологічній частині.	47
3. Науково-дослідницька частина	49
3.1 Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання з обробленням кромek	49
3.2 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання, виконаного механізованим зварюванням в CO <sub>2</sub>	53
3.3 Аналіз очікуваної структури ЗТВ	55
3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання	56

3.5 Висновки	61
4. Конструкторська частина	62
4.1 Розрахунок роликового стенду	62
4.2 Висновки	71
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	72
5.1 Інженерні рішення по підвищенню безпеки технологічного процесу та устаткування	72
5.2 Аналіз джерел забруднень на ділянці складання і зварювання	74
5.3 Заходи запобігання викидів у навколишнє середовище, а також їхньому зниженню	76
Загальні висновки кваліфікаційної роботи	78
Перелік літератури	79
Додатки	81
Додаток 1	82
Таблиця 1 Зміна глибини провару в залежності від струму і діаметра електродного дроту	82
Таблиця 2 Хімічний склад низьколегованого зварювального дроту марки Св-08Г2С	82
Таблиця 3 Технологічні характеристики УОНІ 13/45	83
Таблиця 4 Механічні властивості металу шву при нормальній температурі	83
Таблиця 5 -Технічна характеристика установки для складань стиків обичайок	83
Таблиця 6 - Технічна характеристика установки для термічної обрізки торців обичайок і днищ	84
Таблиця 7 - Технічна характеристика установки АСТА	85
Таблиця 8 -Технічні характеристики зварювальної головки АД-135	86
Таблиця 9 Технічна характеристика зварювальних напівавтоматів	87
Таблиця 10 Технічна характеристика зварювальних випрямлячів	88
Таблиця 11 Технічна характеристика пальників	88
Додаток 2 Послідовність технологічного процесу складання та зварювання корпусу автоклава	89
Додаток 3 Розрахунок режимів та геометричних розмірів при	

зварюванні таврових з'єднань	93
Додаток 4 Розрахунок режимів та геометричних розмірів при зварюванні стикових з'єднань з обробленням кромки в нижньому положенні	96
Додаток 5 Нормування основних зварювальних операцій. Розрахунок собівартості виготовлення корпусу автоклава	101

## ВСТУП

Зварювання – одна із найбільш поширених технологій у машинобудуванні. Зварювання дозволяє заощадити в середньому до 20 відсотків металу та значно знизити трудомісткість виготовлення конструкції виробу. Зварюванням називають технологічний процес отримання нероз’ємного з’єднання деталей на міжмолекулярному рівні. Перевагами зварювання є також простота зварного шва та з’єднання деталей будь-яких форм, герметичність та щільність з’єднання; безшумність процесу; можливість автоматизації процесу.

Зварювати можна металічні заготовки будь – якої товщини. Міцність зварного з’єднання в більшості випадків не поступаються міцності основного металу. Отже, зварювання має значний вплив на загальний рівень технології виготовлення циліндричних виробів як резервуари та цистерн, з дотриманням усіх експлуатаційних властивостей.

Застосування механізованого технологічного процесу виготовлення виробу типу автоклав, дозволило значно підвищити ефективність виробництва, підвищити якість виробу та модернізувати технологію.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання автоклаву для варки рідкого скла та досліджено структурно-фазові перетворення та властивості металу зварного шва, обґрунтовано вибір способу зварювання, зварювальних матеріалів та устаткування для здійснення складання та зварювання конструкції автоклава, також розроблено операції технологічного процесу, розраховано його економічну ефективність та заходи охорони праці працівників. За приведеними розрахунками виконано необхідні креслення та графічно-аналітичний матеріал.



## **1. Аналітична частина**

### **1.1 Загальна характеристика автоклаву для варки рідкого скла**

Автоклав місткістю 3,2 м<sup>3</sup> призначений для варки рідкого скла. Виготовлений резервуар випробовують на міцність і щільність гідравлічним тиском 1 МПа. Загальний вигляд автоклава представлено на рисунку 1.1.

Конструкція автоклава – тонкостінна горизонтальна циліндрична посудина із товщиною стінок 16 мм. Дана посудина складається з двох донець 1 і обичайки 2 з'єднаних за допомогою зварювання із патрубком з кришкою. З боків приєднані сполучні фланці 4 і 5 для подачі пари та води і виходу рідкого скла. Для забезпечення міцності автоклава та кращого змішування скла розташовані ребра жорсткості довжиною 660 мм. Посудина виготовляється зі сталі СтЗпс і розраховується на тиск 0,6 МПа для робочої температури до +200 °С. Вага конструкції 1570 кг.

### **1.2 Технічні умови на виготовлення виробу**

Розрахунок, проектування та виготовлення автоклаву повинні вестися у відповідності до ДНАОП 000 – 1.08 – 94: “Правила, пристрої та умови безпечної експлуатації парових та водонагрівних котлів” [1].

Вимоги до сталей визначені “Правилами пристроїв та безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском” [2]. До матеріалів котлів, теплообмінних апаратів та посудин, що працюють під високим тиском висуваються додаткові вимоги:

- вуглецеву сталь застосовують для деталей, апаратів та посудин під тиском при розрахункових температурах до 450° С;
- вуглецеві сталі, що застосовуються для виготовлення деталей з розрахунковою температурою 250°С та більше, повинні задовольняти вимогам, які висуваються до котельних сталей спокійної плавки;
- застосування легованих сталей для котлів, теплообмінних апаратів та посудин тиску є предметом спеціального розгляду.



Матеріали, які використовуються для виготовлення та ремонту котлів, теплообмінних апаратів та посудин тиску [2], повинні бути наділені доброю зварюваністю, а також міцністю та пластичними характеристиками, які забезпечують надійну та тривалу роботу в заданих умовах експлуатації.

При виготовленні посудин під тиском необхідне виконання наступних вимог [2]: число зварних з'єднань повинне бути мінімальним; не рекомендується розташовувати зварні з'єднання в місцях концентрації напруги і на ділянках, підданих дії згинаючого моменту; стикові з'єднання з неповним проплавленням і зварні з'єднання внапусток не допускаються; конструкція і розташування зварних з'єднань не повинне обмежувати можливість їхнього якісного з'єднання, виконання і проведення контролю передбаченими методами; продовжені зварні з'єднання елементів, як правило, не повинні бути продовженням одним іншого. виконання зварювальних робіт допускається при температурі навколишнього середовища не нижче 0°C; при приварюванні штуцерів, труб, фланців до відповідного складальним елементам застосовуються таврові, кутові чи стикові з'єднання; зварювання елементів посудин повинні вироблятися відповідно до вимог виробничих інструкцій, розроблених з урахуванням специфіки виготовлення виробів.

При виготовленні посудин, що працюють під тиском [2], овальність обичайок у будь-якому перетині не повинний перевищувати 1%, а для діаметра більш 2000 мм – не більш 20 мм.

Для еліптичних днищ згідно “Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском” відхилення профілю випускної частини не повинний перевищувати [2]: для днищ діаметром до 500 мм – 1 % від номінального внутрішнього діаметра; для днищ діаметром понад 500 мм – 1,25 % від номінального внутрішнього діаметра.

Експлуатація казанів, сепараторів і посудин [2], що працюють під тиском, зв'язана з підвищеною небезпекою, тому матеріали для їхнього виготовлення повинні задовольняти вимогам і володіти: високими механічними властивостями; великим опором повзучості; малою схильністю до старіння; стійкістю до зміни структур; гарною зварюваністю.

Перераховані міцнісні та пластичні властивості мають забезпечити надійну експлуатацію виробів протягом розрахункового терміну служби. При відсутності сертифіката всі необхідні випробування проводять на заводі-виготовлювачі.

### 1.3 Характеристика основного металу

Для виготовлення автоклава використовують сталь марки СтЗпс.

СтальЗпс, відноситься до групи маловуглецевих, добре зварюваних [3, 4]. Зварюваність – здатність металу або сполучення металів створювати при встановленій технології зварювання з'єднання, які відповідають вимогам, обумовленим конструкцією та експлуатацією виробу.

Зварюваність металу залежить від хімічних та фізичних властивостей [3], кристалічної решітки, ступеня легування, наявності домішок та інших факторів.

Вуглецеві сталі умовно поділяють на чотири групи зварюваності [3, 4]: I – добре зварювані; II – задовільнено зварювані (для отримання якісних зварних з'єднань необхідне суворе дотримання режимів зварювання, спеціальні присадочні матеріали, визначені температурні умови, а в деяких випадках підігрів, термообробка); III – обмежено зварювані (для отримання якісних зварних з'єднань додатково необхідні підігрів, попередня або наступна термообробка); IV – погано зварювані.

Віднесення сталей до різних груп здійснюється в залежності від вмісту вуглецю. СтЗпс відноситься до I групи – добре зварюваних сталей [4]. Маловуглецева сталь СтЗпс добре зварюється всіма способами зварювання. Забезпечення рівномірності зварного з'єднання не викликає утруднень. Шви мають задовільну стійкість до кристалізаційних тріщин [4, 5]. Це зумовлено низьким вмістом вуглецю. Однак в сталях, які вміщують вуглець, по верхній межі ймовірність утворення холодних тріщин підвищується, особливо із зростанням швидкості охолодження (підвищення товщини металу, зварювання при від'ємних температурах, зварювання швами малого перерізу). В цих умовах попередження тріщин досягається попереднім підігрівом до 120...200 °С. Хімічний склад сталі СтЗпс наведений у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі Ст3пс, % [3]

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	не більше	
							S	P
Ст3пс	0,13	0,3	0,56	0,3	0,3	0,3	0,045	0,04

Механічні властивості сталі Ст3пс наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі Ст3пс, [3]

Марка сталі	Тимчасовий опір, МПа	Межа текучості, МПа	Відносне подовження, %	Ударна в'язкість, кгм/см <sup>2</sup>
Ст3пс	380-470	210-240	21-23	7-10

Перевіримо схильність основного металу до утворення холодних тріщин, при найбільш несприятливому легуванні, тобто при максимальному вмісті легуючих елементів та домішок, по еквівалентному вмісту вуглецю  $C_e$  за формулою Міжнародного інституту зварювання [6]:

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

де символи хімічних елементів означають їх вміст в сталі в %.

$$C_e = 0,13 + \frac{0,56}{6} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,23 \%$$

Таким чином, при вмісті в сталі Ст3пс легуючих елементів та домішок по максимуму  $C_e = 0,23 \%$ , що нижче допустимого значення  $C_e = 0,425$  та в цьому випадку неможливе утворення холодних тріщин. Однак у реальних умовах таке поєднання елементів мало ймовірно.

#### 1.4 Методи збирання та зварювання циліндричних посудин

Посудини, що працюють під тиском [7], звичайно виготовляють у формі циліндра, тора чи сфери (рисунок 1.2 а, б, в).

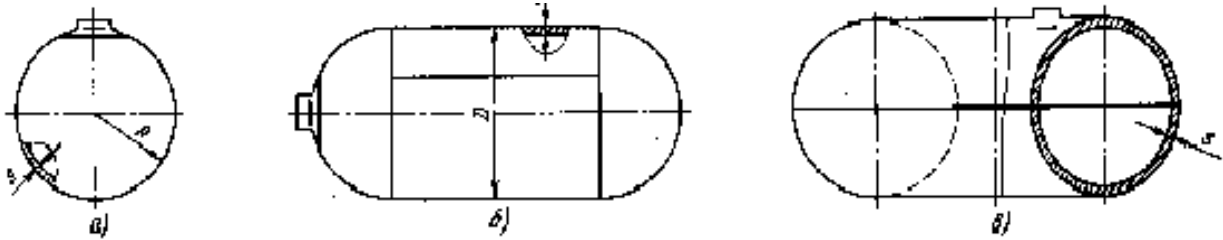


Рисунок 1.2 Типи посудин тиску

Характерними для посудин є стикові з'єднання. Обичайки зварюють прямо-лінійними подовжніми швами. Кільцевими швами з'єднують сферичні денця й обичайки, круговими швами вварюють штуцера в сферичні, циліндричні і торові елементи.

Тонкостінні судини (товщиною до 7 мм) виготовляють як з низьковуглецевих і низьколегованих сталей низкою і середньої міцності, так і зі сталей високоміцних і особливо міцних, сплавів титану, алюмінію, магнію, застосовуючи зварювання в захисних газах.

Приклади конструктивного оформлення стикових з'єднань показані на рисунку 1.3. З'єднання без підкладки (рисунок 1.3, а) є основним, але становить труднощі для складання і зварювання з повним проплавленням. З'єднання з підкладкою, що залишається, (рисунок 1.3, б) дозволяють спростити складання і зварювання кільцевого шва, але застосовні лише для сталей низької і середньої міцності, що мають гарну зварюваність і малу чутливість до концентраторів напруги. З'єднання з місцевим стовщенням стінки в зоні шва (рисунок 1.3, в) використовують у разі потреби компенсувати розміщення основного металу в зоні з'єднання.

Приклади конструкцій зварних посудин показані на рисунку 1.4, 1.5. Корпус фільтра (рисунок 1.4) має тонкостінну оболонку і твердий фланець. Така конструкція дозволяє виконувати складання і зварювання кільцевого шва між обичайкою і днищем на розтискному оправленні [7].

Технологія збирання та однобічного зварювання подовжніх швів тонкостінних посудин передбачає застосування стендів із клавішними притисками (рисунок 1.7), що забезпечують рівномірне і щільне притиснення крамок до підкладки.

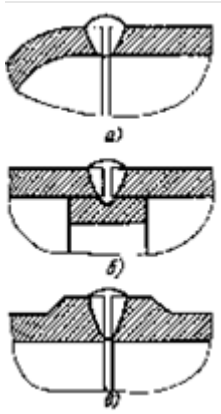


Рисунок 1.3 Конструктивне оформлення кільцевих стиків

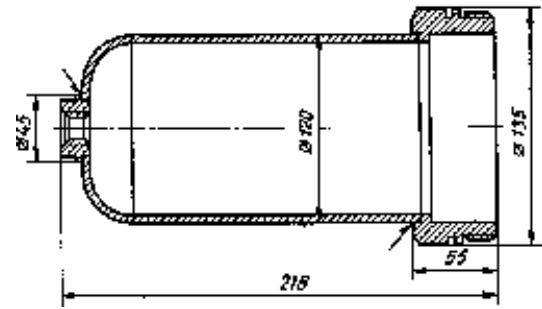


Рисунок 1.4 Корпус фільтра

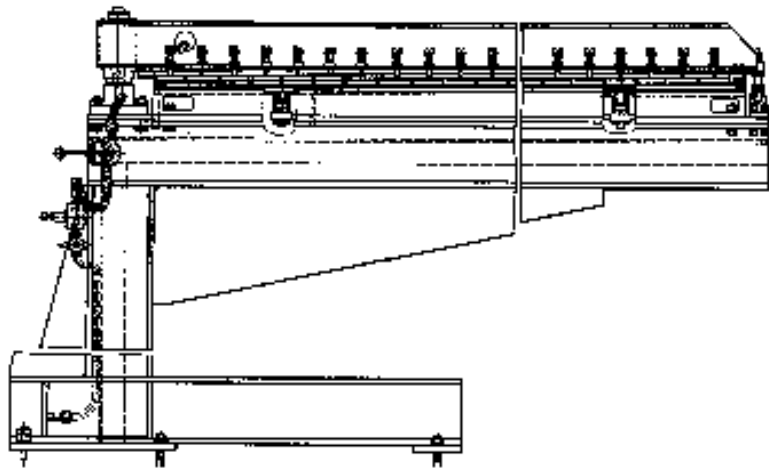


Рисунок 1.5 Стенд для складання подовжніх швів

На рисунку 1.8 показане поперечний переріз пристосування для притиску кромки. Кромки обичайки притискаються до ложементу 2 з підкладкою 3 клавішними притисками 1, закріпленими на балках 5. Тиск на клавіші передається пневмопідводами 4. Установка та притиснення кромки обичайки виробляються в такій послідовності.

Поворотом ексцентрикового валика 1 (рисунок 1.8) із прокладки висуваються фіксатори 2, після чого до упору в них праворуч заводиться перша кромка і затискується подачею повітря в шланг. Потім фіксатори забирають, другу кромку

подають в упор у затиснену першу і затискають своїми притисками. Таким чином, досягається точна установка стику, що зварюється, по осі підбивки.

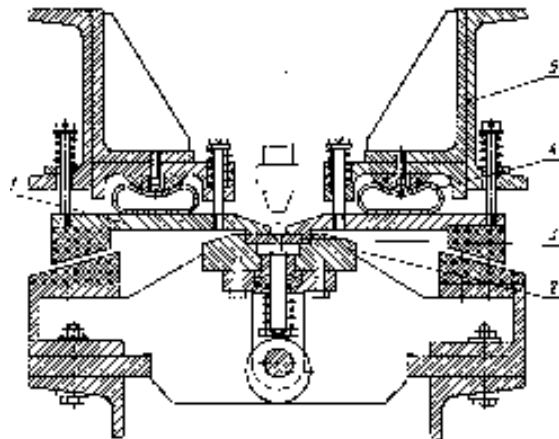


Рисунок 1.6 Пристосування для притиску кромки подовжнього шва

У багатосерійному виробництві тонкостінних посудин для виконання складально-зварювальних операцій необхідно застосовувати високопродуктивне оснащення. На рисунку 1.9, а показана схема установки, що здійснює приймання обичайки, орієнтування стику, притиснення його до підкладки симетрично щодо формуючої канавки в підкладці, виконання звареного шва, звільнення обичайки з затиснення, її скидання [7, 8].

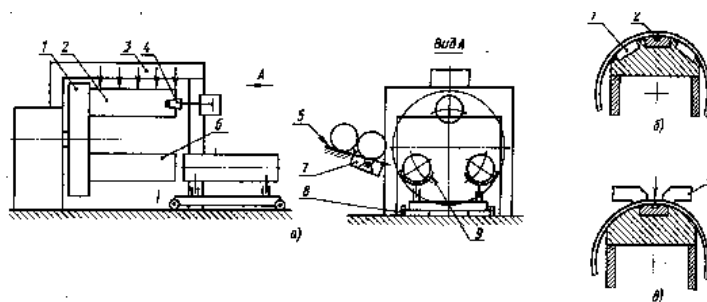


Рисунок 1.7 Напівавтоматична установка для складання та зварювання подовжніх швів обичайок

Від обичайок, розташованих на похилому накопичувачі 5, відсікачем 7 відокремлюється одна обичайка і скочується на прийомне місце 9 візка 8. При прямованні цього візка обичайка насувається на консоль 6 планшайби, що знаходиться в положенні прийому, опускається на неї, а візок відходить у вихідне положення.



Оператор орієнтує одну з кромки уздовж осі канавки 2 (рисунок 1.9, б) підкладки і фіксує її вакуумними присосками 7. Другу кромку установлюють упиртул до першого. Складальна операція завершується установкою західних планок і включенням крокового повороту планшайби 1 (рисунок 1.9, а). Точна установка стику під зварювальну голівку забезпечується конусним фіксатором 4, що одночасно використовується для закріплення кінця консольної балки 2 щодо порталу 3. Кромки обичайки затискають клавішними притисками 1 (рисунок 1.9, б). Операція зварювання може виконуватися без участі оператора. Після її закінчення клавішні притиски і фіксатори відходять, і поворот планшайби 1 (рисунок 1.9, а) переносить заварену обичайку на позицію знімання, де вона підхоплюється прийомним пристроєм візка.

При зварюванні подовжніх швів тонкостінних обичайок виникають деформації, характер яких показаний на рисунку 1.10.

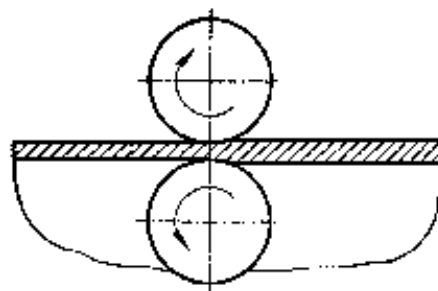
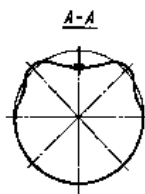
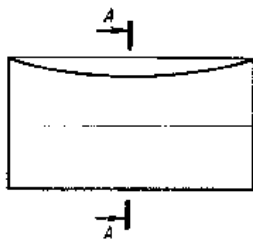


Рисунок 1.8 Характер деформацій обичайки від подовжнього шва

Рисунок 1.9 Схема прокатки шва для усунення деформацій

Виправлення цих деформацій може бути виконано прокаткою шва й навколошовної зони роликми прокатної машини за схемою на рисунку 1.11.

Зварювання кільцевих швів, зібраних встик без підкладки, що залишається, як правило, виконують на внутрішній розтискній підкладці. Однак унаслідок розігріву і розширення металу в зоні зварювання можливий відхід кромки і підкладки (рисунок 1.12), що викликає їхній взаємний зсув, чи навіть пропалювання.

Для притиснення кромки до підкладки можна застосовувати зовнішні стяжні лінії (рисунок 1.13), але при цьому переміщення кромки усувають лише частково.

Більш ефективним виявляється притиснення кромки до підкладного кільця роликми, що перекочується по кромках безпосередньо перед зварювальною дугою

(рисунок 1.14). Пристосування закріплюється на консолі перед зварювальною головою. Присадний зварювальний дріт 2 проходить під ролик 1, що має кільцеву проточку.

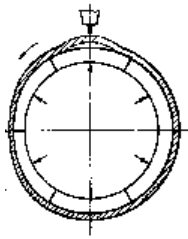


Рисунок 1.10 Схема підйому кромки при зварюванні кільцевого стику на розтискної підкладці

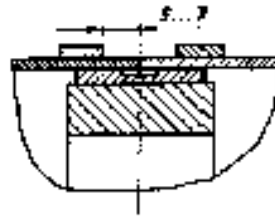


Рисунок 1.11 Стяжка кільцевого стику за допомогою стяжних стрічок

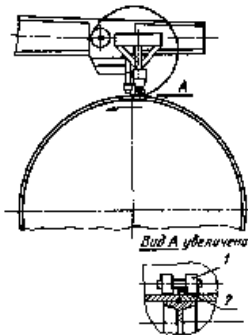


Рисунок 1.12 Пристосування для притиснення кромки до підкладного кільця перед зварювальною головою

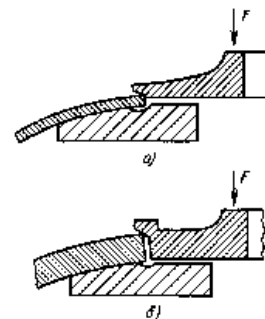


Рисунок 1.13 Конструкція стику фланцевого з'єднання

Для забезпечення високої якості кругових швів посудин при вварюванні в них штуцерів і фланців так само, як і при зварюванні подовжніх і кільцевих швів, доцільно забезпечити якісне притиснення кромки до підкладки з формуючою канавкою (рисунок 1.15, а, б).

Більш ефективним є притиск кромки оболонки через кромку фланця (рисунок 1.16, б), однак така схема може бути використана при товщині елементів, що з'єднуються, не більш 2 мм. У випадку більшої товщини елементів, що з'єднуються, доцільно застосовувати фланці з технологічним виступом (рисунок 1.16, а, б).

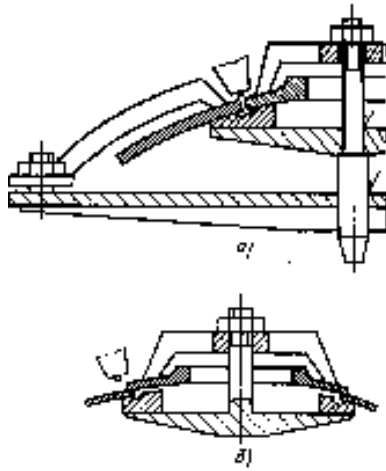


Рисунок 1.14 Пристосування для складання фланців

### **1.5 Способи зварювання та зварювальні матеріали, які застосовуються при виготовленні циліндричних посудин**

При виготовленні корпусів посудин можуть бути застосовані наступні способи електродугового зварювання плавленням: ручне дугове зварювання покритими плавкими електродами; електродугове зварювання у середовищі захисних газів; електродугове зварювання під флюсом [8].

Ручне дугове зварювання покритими електродами можливе в усіх просторових положеннях шву та в місцях, які недоступні для виконання механізованого зварювання. Швидкість ручного дугового зварювання близько 10 м/год. Без скосу кромок можливо зварювати сталь товщиною до 6 мм [4, 8].

Зварювання під флюсом знайшло широке застосування, що можна пояснити його високою продуктивністю, високою якістю та стабільністю властивостей зварних конструкцій, що виготовляються, кращими умовами праці при зварюванні, меншими витратами зварювальних матеріалів та електроенергії, ніж під час ручного дугового зварювання покритими електродами.

До недоліків механізованого зварювання під флюсом відноситься можливість зварювання лише в нижньому або близькому до нижнього положеннях.

При цьому способі зварювання підвищується глибина проплавлення основного металу та швидкість розплавлення електродного дроту, тобто досягається висока продуктивність процесу зварювання. Так, при автоматичному зварюванні під флюсом у стик без скосу кромки можна зварювати сталь товщиною до 16 мм. Швидкість автоматичного зварювання під флюсом може досягати 120 м/год [4, 7].

При зварюванні кутових швів збільшена глибина провару забезпечує при цьому самому катеті шву більший розрахунковий переріз, тому для цього способу зварювання катет може назначатися менший, ніж для шву, що виконаний ручним дуговим зварюванням.

У випадку автоматизованого зварювання подання зварювального дроту в зону дуги та пересування його здійснюється спеціальними механізмами. Механізоване зварювання плавкими електродами у середовищі захисних газів з усіх способів дугового зварювання плавленням має найбільше застосування. В ньому складаються переваги перед ручним зварювання покритими електродами та механізованим зварювання під флюсом.

Шляхом механізованого зварювання в середовищі захисних газів можуть виконуватися шви в усіх просторових положеннях при високій густині зварювального струму. Крім того, при цьому способі зварювання можливий візуальний нагляд за процесом зварювання та формування шву, відсутні операції по засипанню та видаленню флюсу та шлаку.

До недоліків цього способу, в порівнянні зі зварюванням під флюсом, відноситься необхідність застосування захисних заходів проти світової та теплової радіації дуги та загазування приміщення захисними газами; в порівнянні з ручним зварюванням покритими електродами – небезпечність здування захисного газу при повітрі.

## **1.6 Мета та завдання кваліфікаційної роботи**

Кваліфікаційна робота ставить собі за мету навчитися застосовувати набуті під час навчання знання в реальних умовах виробництва. В даній кваліфікаційній

роботі розроблена та спроектована дільниця складання та зварювання корпусів автоклава для варки рідкого скла. Була розроблена технологія, яку вигідно застосовувати на даному виробництві.

Задачі проектування:

1. Провести вибір способу зварювання та зварювальних матеріалів;
2. Розрахувати та вибрати параметри режиму зварювання;
3. Вибрати технологічне устаткування для складання та зварювання автоклава;
4. Розробити технологію зварювального процесу;
5. Провести проектування та розрахунки складально-зварювального оснащення;
6. Забезпечить потрібну міцність зварювальних швів;
7. Забезпечити належний рівень якості продукції;
8. Провести аналіз небезпечних та шкідливих факторів даного типу зварювального виробництва та шляхів їх подолання;
9. Провести розрахунок техніко – економічних показників технології складання та зварювання автоклава.

## 2 Технологічна частина

### 2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Як було вище встановлено, матеріал зварюваних деталей автоклава – сталь СтЗпс, яка відноситься до групи маловуглецевих, добре зварюваних.

Для даної групи сталей типовими способами зварюваннями є перераховані способи (див. таблицю 2.1).

Таблиця 2.1 Типові способи зварювання сталі СтЗпс

Матеріал	Способи зварювання									
	Е	АП	ІП	Ф	Ш	Г	ІН	П	ЕП	Л
СтЗпс	+	++	(+)	++	++	+	(+)	(+)	(+)	(+)

«++» – рекомендується переважно;

«+» – рекомендується;

«(+）」 – рекомендується обмежено.

Так як сталь СтЗпс не містить Ti, Al та інші легуючі елементи з високою хімічною активністю, то з подальшого аналізу виключаємо способи дугового зварювання плавкими (ІП) та неплавкими електродами (ІН) в дорого вартісних інертних газах [21].

Сталь СтЗпс не відноситься до тугоплавких матеріалів і тому немає необхідності в застосуванні способів зварювання з дорого вартісним устаткуванням та високою густиною енергії: плазмового (П), електронно-променевого (ЕП) та лазерного (Л).

З точки зору розміщення при зварюванні та товщини зварюваного металу виключаємо з розгляду електрошлакове зварювання (Ш), яке дозволяє проводити зварювання лише у вертикальному положенні та застосовується для великої товщини.

Таким чином, для подальшого аналізу залишаються способи ручного дугового зварювання покритими електродами (Е), у вуглекислому газі (АП), під флюсом (Ф) та газове (Г). Оцінимо можливість їх застосування при зварюванні сталі товщиною від 10 до 16 мм.

Очевидно, що при такій товщині недоцільно застосовувати низькопродуктивне газове зварювання (Г) (багатопрхідне зварювання з присадкою).

Оцінка кількості проходів дає уяву також про продуктивність способів зварювання: чим менша кількість проходів (більша потужність дуги), тим вище продуктивність. З точки зору продуктивності зварювання у вуглекислому газі займає кращу позицію, ніж ручне дугове зварювання (Е), яке має найменшу продуктивність.

Зварювання під шаром флюсу (Ф) має ще ряд переваг перед ручним дуговим зварюванням:

- висока якість зварювального шву внаслідок доброго захисту металу зварювальної ванни розплавленим шлаком від кисню та азоту повітря;
- економія електродного металу при значному зниженні втрат на чад та розбризкування (при ручному дуговому зварюванні ці втрати складають 20...30%, під флюсом 2...5 %);
- економія електроенергії за рахунок більш повного використання тепла дуги, витрати зменшуються на 30...40%.

Зварювання у вуглекислому газі також має ряд переваг по відношенню до ручного дугового зварювання (Е). Це відсутність шлакової корки, яку при ручному зварюванні потрібно видаляти; більша можливість механізації та автоматизації процесу; відсутність втрат електродного металу, пов'язаних з огарками [21].

Ручне дугове зварювання (Е) має перевагу перед зварюванням під флюсом з точки зору положення зварювання. При ручному дуговому зварюванні можливі всі просторові положення, в той час як зварювання під флюсом дозволяє вести процес зварювання лише в нижньому або близькому до нижнього положеннях.

Враховуючи вище перераховані способи при зварювання стиків обичайок обираємо автоматичне зварювання у вуглекислому газі. Для уникнення пропалів кромки та для забезпечення належної якості зворотної сторони стикового шву автоматичне зварювання стиків обичайок будемо виконувати на керамічних підкладках (для кореневого шва).

Для зварювання обичайок корпусу автоклава з днищем обираємо автоматичне зварювання у вуглекислому газі [21]. Для приварювання підкладних кілець до днища обираємо напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі, так як автоматичне зварювання неприйнятне через положення зварювання.

Для коротких прямолінійних та кругових швів приварювання різних патрубків, фланців, листів застосовуємо напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі. А для прихватів, які виконуються при складанні обираємо мобільне в цьому відношенні ручне дугове зварювання.

## 2.2 Розрахунок режимів зварювання

Форми і розміри шва в основному визначаються режимом зварювання. Режимом зварювання називають сукупність факторів, що визначають умови протікання процесу зварювання [9]. Самі фактори називають елементами (складовими параметрами) режиму зварювання. Елементи режиму умовно можна розділити на основні і додаткові. До основних елементів режиму при дуговому зварюванні звичайно відносять: струм в амперах (А), рід і полярність струму, діаметр або перетин електрода в міліметрах (мм), напруга на електродах у вольтах (В), швидкість утворення шва - швидкість зварювання в метрах у годину (м/год) чи в сантиметрах у хвилину (см/хвил). При автоматичному зварюванні під флюсом з постійною швидкістю подачі електродного дроту часто замість струму оперують поняттям швидкості подачі електродного дроту (м/год) визначальної в цих умовах струм. Чим вище швидкість подачі, тим більше повинний бути струм для того, щоб забезпечити розплавлювання подаваного в зону зварювання дроту [8].

До додаткових режимів при всіх способах дугового зварювання відносять: величину вильоту електродного дроту (мм), склад і будівля (щільність, розміри часток) флюсу або склад і товщину покриття, початкову температуру основного металу, положення електрода або електродного дроту в просторі (вертикальне, похиле) і положення виробу при зварюванні .



У зварювальній практиці звичайна зміна одного з елементів режиму, як правило, супроводжується змінами інших елементів, що і забезпечує одержання шва заданої форми.

Зміна струму зв'язана з глибиною провару прямою залежністю. З ростом струму глибина провару збільшується, а зі зменшенням струму зменшується. Такий вплив струму на глибину провару обумовлюється зміною тиску, що робиться стовпом дуги на поверхню, і збільшенням або зменшенням погонної енергії зварювання.

Тік є тим елементом режиму, за рахунок зміни якого в більшості випадків у зварювальній практиці змінюють у бажаному напрямку глибину провару основного металу. На ширину шва струм впливає незначно, що при рішенні практичних питань можна не враховувати.

Зменшення діаметра електрода при тім же струмі приводить до зменшення рухливості стовпа дуги і, як наслідок, до збільшення глибини провару. Збільшення діаметра електрода приводить до зменшення глибини провару. Особливо чітко помітний вплив діаметра електрода на глибину провару при зварюванні на невеликих струмах. При зростанні струму вплив діаметра електрода згладжується. Дані, що ілюструють це положення при зварюванні під флюсом, наведені в таблиці 1, Додаток 1. З даних, приведених у даній таблиці, випливає, що задана глибина провару може бути досягнута при зниженні діаметра електрода при меншому струмі. Однак використання цього явища не завжди можливо, тому що застосування електрода малого діаметра приводить до погіршення формування шва за рахунок зменшення ширини провару й утруднення точного напрямку електрода по шву (при механізованих способах зварювання) через малу його твердість і розігрів електрода (при зварюванні вручну) [10].

Напруга на електродах при дуговому зварюванні робить дуже незначний вплив на глибину провару, яким у більшості випадків можна зневажити. Ширина шва зв'язана з напругою на електродах прямою залежністю. Зі збільшенням напруги на електродах ширина шва збільшується. При зменшенні напруги - зменшується. З всіх елементів режиму напруга на електродах впливає на ширину шва і є

елементом режиму, за рахунок якого в зварювальній практиці при механізованих способах зварювання в більшості випадків змінюють ширину шва в бажаному напрямку.

При зварюванні вручну покритими електродами напруга змінюється в незначних межах (від 18 В до 22 В) і тому не є елементом режиму, за рахунок якого можна в бажаному напрямку змінювати ширину шва [8].

Вплив швидкості зварювання на глибину провару при дуговому зварюванні носить складний характер. При малих швидкостях зварювання (порядку 10,0...12,0 м/год при зварюванні під флюсом; 1,0...1,5 м/год. при зварюванні вручну) глибина провару за інших рівних умов мінімальна. Це зв'язано з тим, що при вертикальному розташуванні дуги, характерному для цих випадків, знижується інтенсивність витиснення зварювальної ванни з-під основи дуги. При цьому в основі дуги утворюється шар рідкого металу, що перешкоджає проплавленню основного металу. Підвищення швидкості зварювання до деякого значення, що залежить від умов зварювання, приводить до збільшення глибини провару [8, 10].

Так, при зварюванні під флюсом, збільшення швидкості зварювання від 10 до 25 м/год приводить до збільшення глибини провару. Подальше збільшення швидкості зварювання викликає зниження глибини провару.

Розрахунок режимів та геометричних розмірів при зварюванні таврових з'єднань приведено у Додатку 3.

Результати розрахунку приведені на рисунку 2.1 і в таблиці 2.3.

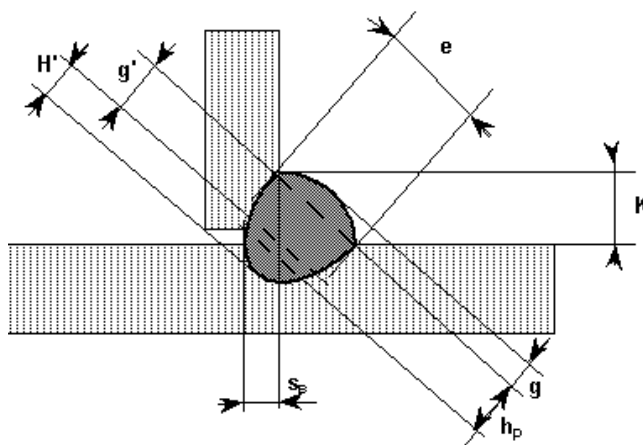


Рисунок 2.1 Геометричні параметри таврового з'єднання.

Таблиця 2.2 Режими зварювання таврових з'єднань.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	Ізв, А	d <sub>з</sub> , мм	U <sub>д</sub> , В	V <sub>св</sub> , м/год	F <sub>н</sub> , мм <sup>2</sup>	H', мм	e, мм	g', мм	s <sub>в</sub> , мм	h <sub>р</sub> , мм	γ
Тавровий без оброблення кромки	230	1,2	29	8,7	40	3,6	12,6	6,3	3,3	8,0	1,3

Розрахунок режимів та геометричних розмірів при зварюванні стикових з'єднань з обробленням кромки в нижньому положенні приведено у Додатку 4.

Для виконання стикових з'єднань товщиною 16 мм у нижньому положенні на підкладках застосуємо одностороннє зварювання з V-подібним обробленням кромки. Заповнення кореня шва та заповнення оброблення зробимо також автоматом у CO<sub>2</sub>. Для зварювання першого проходу вибираємо [5] діаметр зварювального електродного дроту  $d_3 = 1,6$  мм [4, 8].

Отримані режими і геометричні параметри зварного шва приведені на рисунку 2.2 і в таблиці 2.4.

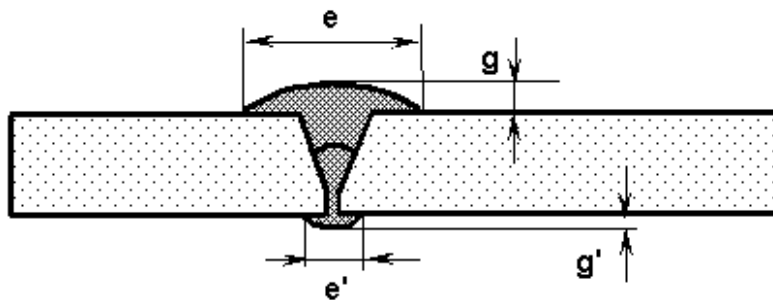


Рисунок 2.2 Геометричні параметри стикового з'єднання з одностороннім обробленням кромки

Таблиця 2.3 Режими зварювання стикового з'єднання.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	Ізв, А	d <sub>с</sub> , мм	U <sub>д</sub> , В	V <sub>зв</sub> , м/год	F <sub>н</sub> , мм <sup>2</sup>	лицева сторона			зворотня сторона		
						e, мм	g, мм	Ψ <sub>л</sub>	e', мм	g', мм	Ψ <sub>об</sub>
Корінь шва (механізована в CO <sub>2</sub> )	281	1,6	29	32,0	88	--	--	--	9,6	0,9	10
Другий прохід (механізована в CO <sub>2</sub> )	362	1,6	33	55,4	84	21	2,1	10	--	--	--

Таким чином, за один прохід автоматом у CO<sub>2</sub> (при зварюванні кореню шва) і другим проходом автоматом в CO<sub>2</sub> забезпечується зварювання стикового шва з V-подібним одностороннім обробленням кромки.

### 2.3 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Для механізованого зварювання в середовищі захисного газу обираємо вуглекислий газ першого сорту (ГОСТ 8050 – 76). Так як вуглекислий газ викликає окислення металу киснем [13], що вивільняється при зварюванні, то дріт повинен містити необхідну кількість розкислюючих елементів, якими є кремній та марганець. Згідно ГОСТ 2246 – 70 обираємо дріт Св – 08Г2С [11].

Зварювальний дріт марки Св – 08Г2С відноситься до низьколегованих зварювальних дротів; його хімічний склад наведений в таблиці 2, Додаток 1.

Електроди для ручного дугового зварювання маловуглецевої сталі обираємо з ГОСТ 9467 – 75 з умовним позначенням У – електроди для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву до 600 МПа.

У відповідності з вищевказаним ГОСТом обираємо тип електродів, враховуючи відповідність конструкції – Е42А – для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей із тимчасовим опором розриву до 500 МПа, коли до металу зварних швів висувають підвищені вимоги з пластичності та ударної в'язкості.

Обираємо покриття електродів. Кислі покриття складаються в основному з окислів заліза та марганцю, кремнезему та феромарганцю. Електроди з кислим покриттям технологічні, однак наявність окислів марганцю робить їх токсичними.

Основні покриття не містять окислів марганцю. Метал шву, що виконаний електродом з основним покриттям має високу пластичність. Цими електродами варять важливіші конструкції.

Целюлозні покриття складаються з целюлози, органічної смоли, феросплавів, тальку та ін. Ці покриття зручні для зварювання в будь – якому просторовому положенні, але дають наплавлений метал зниженої пластичності.

Рутилові покриття мають в своєму складі переважаючу кількість рутилу  $TiO_2$ . Рутилові покриття технологічні, менш шкідливі для дихальних шляхів зварювальника, чим інші.

Враховуючи всі вищеназвані для ручного дугового зварювання електроди обираємо електроди типу E42A УОНІ 13/45 А (ГОСТ 9467 – 75).

Характеристика технологічних властивостей електродів типу E42A марки УОНІ 13/45 наведена в таблиці 3, Додаток 1.

Механічні властивості металу шву, виконаного електродами марки УОНІ 13/45, наведені в таблиці 4, додаток 1. електроди даної марки дозволяють проводити зварювання в будь – якому просторовому положенні. Металічний стрижень електродів марки УОНІ 13/45 виготовляється із зварювального дроту марки Св 08 або Св 08А (ГОСТ 2246 –70) [11].

Електроди марки УОНІ 13/45 мають електродне покриття основного типу. Воно містить карбонат кальцію, карбонат магнію, плавиковий шпат, феросплави та деяку кількість кремнезему. Газовий захист розплавленого металу забезпечується вуглекислим газом та окисом вуглецю, що утворюються внаслідок дисоціації карбонатів.

Метал, наплавлений електродами даного типу з основним покриттям, має гарну стійкість до утворення кристалізаційних тріщин та старіння, високими показниками ударної в'язкості як при позитивних, так і при від'ємних температурах, мінімальним вмістом кисню та азоту.

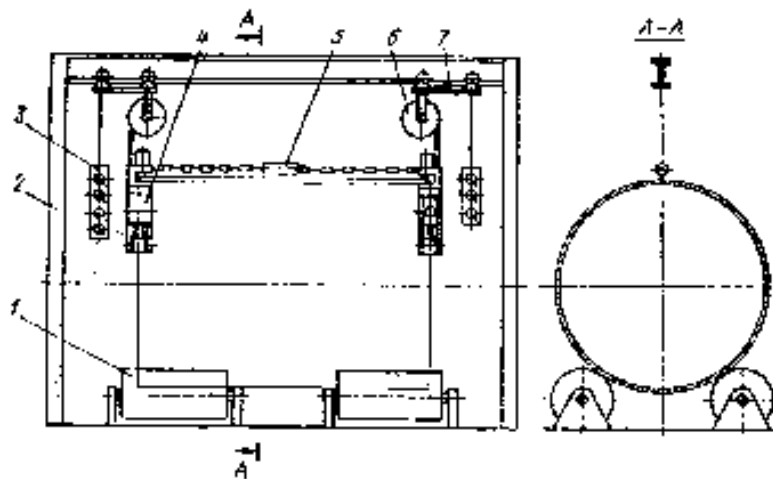
Недоліком даного виду покриттів електродів є підвищена чутливість до по-роутворення при зволоженні покриття, подовженні дуги, при наявності окалини, іржі або масла на зварюваних кромках.

З метою отримання зварюваних швів високої якості перед застосуванням зварювальні електроди повинні бути піддані пропалюванню – для видалення вологи з електродного покриття.

Пропалювання електродів необхідно проводити у спеціальних печах для пропалювання електродів. Температура пропалювання електродів марки УОНІ 13/45 А – 320-350 °С, час витримки 1-2 години.

## 2.4 Вибір устаткування для збирання автоклава

Відповідно до існуючої технології подовжній стик обичайки збирається вручну. Для підвищення продуктивності і поліпшення умов праці доцільне застосування спеціалізованого складального станда, що дозволяє: сполучати подовжні кромки обичайки в одній площині з заданим зазором; вирівнювати торцеві кромки обичайки. Виконання перерахованих операцій можливо на установці для складання подовжніх стиків обичайок, зображеної на рисунку 2.3 [12], таблиця 5, Додаток 1.



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

Рисунок 2.3 Стенд для складання подовжнього стику обичайки

Установка складається з порталної рами 2, двох гідравлічних стяжок 4 (рисунку 2.3) для сполучення і з'єднання подовжніх кромки і гідравлічної стяжки 5 для вирівнювання торцевих кромки. Стяжки 4 (рисунку 2.4) за допомогою пружинних підвісок 6 закріплені на візках 7, що пересуваються на рамі 2. На цих же візках закріплені панелі керування 3. Стяжка 5 для вирівнювання торцевих кромки являє

собою гідроциліндр із двома ланцюгами, не кінцях яких маються гачки, що зачіпаються за кромки обичайки. Під час складання обичайка знаходиться на роlikоопорах 1.

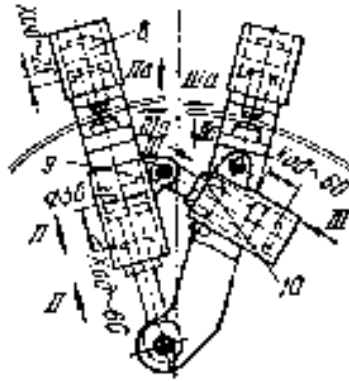


Рисунок 2.4 Гідравлічна стязка 4 для сполучення і з'єднання подовжніх кромок

Перед складанням обичайку повертають стиком нагору і стязкою 5 вирівнюють торцеві кромки. Після цього стязками 4 вирівнюють і сполучають із заданим зазором подовжні кромки. Фіксація кромок виконується електроприхватами, починаючи із середини стику.

## 2.5 Вибір устаткування для обрізки кромки обичайок

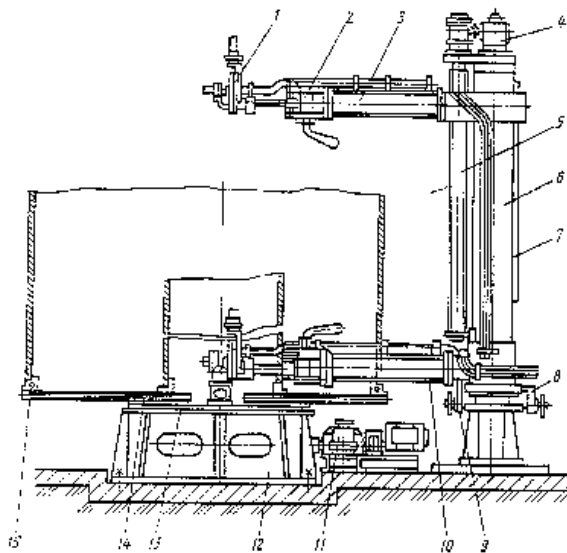
При складанні і зварюванні корпусу автоклава через нерівність кромки, що сполучаються, величина зазору по довжині може бути різною. Це приводить до одержання неякісного зварного з'єднання.

Обрізка торців обичайок дозволяє більш якісно виконувати складання, обрізка може здійснюватися такими способами: вручну за допомогою різаків; на спеціальних токарських чи фрезерних верстатах; з використанням спеціалізованих установок для газової чи плазмової обрізки.

Ручна обрізка – трудомісткий і малопродуктивний процес, тому доцільно використовувати механізований процес. Установка для термічної обрізки має перед верстатним токарно-фрезерним устаткуванням ряд переваг, а саме: мінімальну масу; більш низьку вартість; невеликі розміри займаної площі; простоту обслуговування.

Установка [13] для термічної обрізки торців обичайок і днищ (рисунк 2.5), таблиця 6, Додаток 1, складається з поворотної колони 7, верхньої 9 і нижньої 5 консолей, станини 14, поворотного пристрою 1, планшайби 2 і приводи планшайби.

На кінцях консолей закріплені кронштейни 11, що представляють собою паралелограми з головками 12 для установки різаків. На головках розташовані рухливий супорт і копіювальний ролик, що дозволяє регулювати зазор між соплом різка й обрізує поверхню, а також дозволяє установлювати різак під потрібним кутом. Наявність двох консолей дає можливість закріпити два різакі і зрізувати одночасно обидва торці обичайки, установленної на східчасті башмаки 3 планшайби 2, положення яких регулюється в залежності від діаметра обрізаємих деталей. Консолі постачаються змінними голівками для кріплення як газових, так і плазмових різаків.



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

Рисунк 2.5 Установка для термічної обрізки торців обичайок

Рухлива частина поворотного пристрою 1 приводиться в обертання від електродвигуна постійного струму через коробку передач, муфту і черв'ячний редуктор.



Застосування електродвигуна постійного струму і коробки передач дає можливість регулювати в широких межах частоту обертання планшайби в залежності від діаметра обичайок, тобто забезпечувати необхідні швидкості газового чи плазмового різання.

## 2.6 Вибір зварювального устаткування

Автомати для дугового зварювання в середовищі захисних газів забезпечують виконання наступних операцій: запалювання дуги на початку зварювання; подачу електродного дроту в зону дуги; регулювання параметрів дуги; пересування дуги уздовж кромки, що зварюються; напрямком електрода по шву; припинення процесу зварювання з суміщенням операцій заварки кратера і припинення подачі захисного газу через визначений інтервал часу.

Для одержання якісного зварного з'єднання на стиках корпусу автоклава необхідно: щоб у процесі зварювання була можливість спостереження за горінням дуги і регулювання її довжини; виконувати коливання зварювального пальника при зміні зазору по довжині.

Наявні автомати (ТС-35, АДСП і ін.) найчастіше не мають можливість змінювати амплітуду і частоту коливань зварювального пальника під час зварювання, тому більш доцільно використовувати спеціалізовані установки.

Зварювальна установка АСТА (автомат для зварювання теплообмінних апаратів) призначена для зварювання подовжніх і кільцевих швів і дозволяє: при еліптичності конструкції підтримувати однакову довжину дуги за рахунок подачі пальника нагору чи вниз; змінювати амплітуду і частоту коливань пальника в процесі зварювання, що дозволяє якісно виконувати зварні шви при зміні зазору по довжині; робити зварювання плавким і неплавким електродом у середовищі аргону і вуглекислого газу. Технічні характеристики установки АСТА приведені у таблиці 7, Додаток 1.

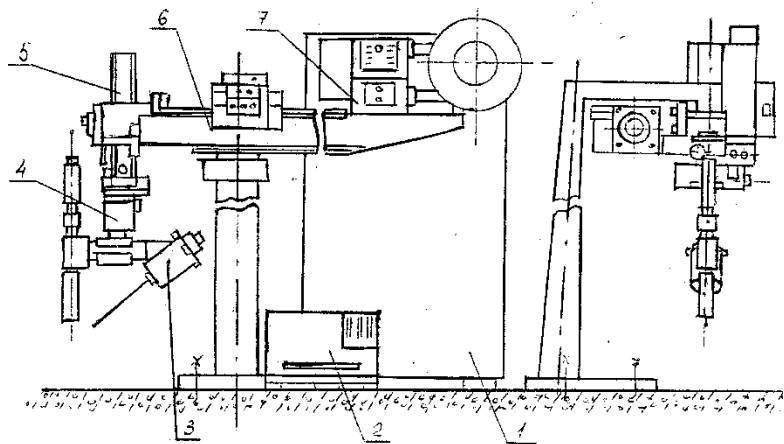
Установка АСТА [14] складається з рами, трьох колон, роликкоопор, привода зварювальних головок, шафу керування і переносних пультів керування. На рамі встановлені два ряди роликкоопор: приводні опори з електричним приводом і вільно

сидячі перекидні опори. При складанні корпусів великого діаметра перекидні опори відкидаються на зовнішню стінку, а при зварюванні малих діаметрів – на внутрішню. По кінцях рами в поперечному напрямку переміщуються два візки, що несуть на собі колони зі штангами. Штанги мають горизонтальний хід уздовж корпусу посудини. На кожній штанзі встановлена зварювальна головка, подавальний механізм зварювального дроту і касета.

Зварювання подовжнього шва обичайки доцільно виконувати після складання, не допускаючи операції транспортування і кантування обичайки. Основною вимогою, пропонованим до зварювального устаткування, у цьому випадку є те, що воно не повинне утрудняти процес зварювання.

Для зварювання подовжнього шва обичайки використовується зварювальна головка АД-135 (рисунок 2.6) [15], таблиця 8, Додаток 1.

Зварювальна головка складається з механізму прямолінійного переміщення 6 із приводом. На кінці механізму кріпиться зварювальна головка 4 із системою пошуку і спостереження за швом 3.



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

Рисунок 2.6 Зварювальна установка АД-135

На протилежному кінці встановлені подаючий пристрій 7 і касета з дротом. Пальник виконаний з водяним охолодженням корпусу і сопла. Проводи і шланги, які підведені до пальника, вмонтовані в гумовий рукав. Механізм горизонтального переміщення 6 призначений для напрямку пальника по стику. Механізм вертикального переміщення служить для регулювання величини зазору між виробом і пальником під час зварювання. Датчик 3, що копіює, передає інформацію про відхилення лінії стику через блок керування 1 на механізми горизонтального і вертикального переміщення, а також передає команди на пошук шва. Пальник і датчик кріпляться до механізмів переміщень за допомогою підвіски, конструкція якої дозволяє регулювати положення датчика щодо пальника по трьох координатах:

- уздовж шва – 50-80 мм за рахунок висування внутрішнього стрижня корпусу підвіски з фіксуючим положення стопорним гвинтом;
- поперек шву і по вертикалі (10 мм за рахунок повороту датчика під дією гвинтів у корпусі підвіски).

Для механізованого зварювання плавким електродом, застосуємо зварювальні напівавтомати виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО). Зварювальні напівавтомати КЗЭСО це могутні із широким діапазоном регулювання зварювальних параметрів, призначені для зварювання суцільним дротом маловуглецевої і низьколегованої сталі в захисному середовищі вуглекислого газу, а також легованих і нержавіючих (корозійностійких) сталей у середовищі аргону довгими і переривчастими швами, у всіх просторових положеннях. Технічна характеристика приведена в таблиці 9, Додаток 1.

З джерел живлення для механізованого зварювання можна рекомендувати зварювальні випрямлячі виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО). КИУ 301, КИУ 501, КИУ 1201 – універсальні зварювальні випрямлячі для комплектації зварювальних напівавтоматів і автоматів для зварювання в середовищі захисних газів і під флюсом, а також для ручного дугового зварювання, різання штучними електродами всіх типів на прямій і зворотній полярності. Технічна характеристика випрямлячів приведена у таблиці 10, Додаток 1.

Каховський завод електрозварювального устаткування випускає пальники для дугового зварювання. Пальники призначені для дугового зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> у всіх просторових положеннях сталевим суцільним і порошковим дротом. Технічні характеристики представлені в таблиці 11, Додаток 1.

## **2.7 Контроль якості зварювання автоклава**

Контроль та якість збирання і зварювання корпусу автоклава виробляється на основі попереднього та поопераційного контролю [9] якості зварних швів.

Попередній контроль включає: контроль якості основного металу за сертифікатами; атестацію зварювальників; контроль зварювального устаткування, апаратури, інструменту, оснастки; контроль якості зварювальних матеріалів.

Поопераційний контроль включає: контроль якості підготовки кромки під зварювання; контроль якості складання та електроприхватів; контроль виконання технологічного процесу.

Контроль якості виконаних швів включає: зовнішній огляд та вимірювання; рентгенографування в обсязі 50% для кільцевих двохсторонніх швів; для односторонніх кільцевих швів на підкладках, що залишилися, в обсязі 100% – ультразвуковий контроль; гідравлічні випробування проводяться по окремому технологічному процесу. Контроль якості включає в себе перевірку якості підготовки під зварювання; перевірку вузла на відповідність розмірам креслення та формі; контроль якості зварних швів.

Перевірка якості підготовки з'єднань під зварювання включає в себе зовнішній огляд та вимір. Контроль зовнішнім оглядом та вимір конструкцій, які складаються, проводиться з метою перевірки: правильності форми деталей та зварюваних кромки; якості обробки зварюваних кромки та поверхонь, що прилягають до них (відсутність на них тріщин, вихватів та інших дефектів); чистоти зварюваних кромки та поверхонь, що прилягають до них (відсутність на них забруднень, іржі, фарби, масла та т.д.); правильності форми, розташування та якості прихваток, гребінок, та інших деталей, що кріпляться.

Зовнішній огляд деталей, які складаються під зварювання, повинен проводитися по всій довжині зварюваних кромок та поверхонь, що прилягають.

Зовнішній огляд зварюваних деталей повинен проводитися після закінчення складання та повторно безпосередньо перед зварюванням.

Контроль якості складання під зварювання за допомогою вимірів проводиться з метою перевірки: кута розділення кромок; глибини розділення кромок; розміру притуплення кромок; положення вершини розділення; величини зазору між деталями; правильності суміщення поверхонь деталей в стикових з'єднаннях; місце розташування та розмірів прихваток, місце розташування деталей, що кріпляться.

Всі виміри здійснюються після контролю зовнішнім оглядом, або одночасно з ним. Виміри на деталях проводяться до складання їх у виріб. Контроль виміром проводиться за допомогою вимірювального інструменту та шаблонів, що забезпечують потрібну точність виміру та допустимих до використання метрологічною службою заводу.

Контроль зовнішнім оглядом та виміром якості складання під зварювання повинен відображатися в журналі поопераційного контролю.

Конструктивні елементи підготовки кромок повинні відповідати вимогам державних стандартів на механізоване та автоматичне зварювання.

Контроль якості зварюваних швів зовнішнім оглядом та виміром проводиться під час зварювання та при заключному прийомі посудин.

Стикові шви, окрім контролю зовнішнім оглядом та виміром, піддаються контролю на непроникливість та рентгенографуванню. Перед зовнішнім оглядом поверхня шву та поверхні, що прилягають, повинні бути очищені від бризів металу, шлаку, копиті, інших забруднень.

Зовнішній огляд зварних з'єднань проводиться для перевірки якості зачищення зварюваних поверхонь перед накладенням наступних валиків, закопчених швів та навколошовної зони від шлаку, бризів, копиті, окалини; та виявлення тріщин у шві та навколошовній зоні, пропалів, не заварених кратерів, напливів, зсуву

зварного шву, свищів, пор, раковин, підрізів, неправильності форми шву, а також шлакових включень на поверхні шву.

Зовнішній огляд швів та навколошовної зони повинен проводитися по всій довжині швів з двох боків. Зовнішній огляд проводиться візуально.

Вимірювання зварних швів та з'єднань проводиться для перевірки: ширини шву; форми та висоти посилення шву; катета шву; довжини та кроку переривання шву; глибини та довжини підрізів; зсуву вершини стикового шву; величини неспівпадання поверхонь деталей в стикових з'єднаннях.

Контроль виміром проводиться за допомогою вимірювальних інструментів та шаблонів, які допущені до застосування метрологічною службою заводу.

Конструктивні елементи зварних швів та їх розміри повинні відповідати вимогам державних стандартів на механізоване зварювання та автоматичне зварювання під флюсом.

Не допускається в зварюваних швах наявність окремих пор, розміром більше 10% мінімальної товщини зварюваних деталей, які входять до зварного з'єднання; підрізів основного металу глибиною 0,5...1 мм, довжиною більше 15мм та підрізів більше 1 мм даної довжини.

Перевірці рентгенографуванням підлягають шви: стикові, обичайок корпусу автоклава в обсязі 100%; стикові кільцеві обичайки корпусу з переднім днищем та із заднім днищем в обсязі 50%.

Ультразвуковому контролю підлягають замикаючі шви обичайки корпусу із заднім та з переднім днищем, виконані на підкладках, що залишаються. Обсяг контролю – 50%. Ультразвуковий контроль призначений для виявлення в зварних швах та навколошовній зоні тріщин, непроварів, несплавлень, пор, шлакових включень, інших дефектів без розшифровки їх характеру, але з визначенням координат, умовних розмірів та кількості виявлених дефектів.

Для проведення ультразвукового контролю використовується дефектоскоп УД-10УА, який призначений для непорушного контролю якості виробів, виготовлених із сталі з малим затуханням ультразвукових хвиль.

Випробування стиснутим повітрям проводять для перевірки герметичності швів корпусу. В автоклав нагнітають стиснуте повітря під тиском 50 кПа. Шви покривають пінообразною сумішшю на основі мила. В місцях, де є наскрізні дефекти, утворюються пухирці.

Останньою контрольною операцією при виготовленні корпусу є гідро випробування автоклава на міцність та щільність зварних з'єднань. Корпус автоклава заповнюється водою та в ньому створюється надмірний тиск  $7,5 \text{ кгс/см}^2$  (0,75 МПа), що перевищує робочий у 1,5 рази. Після витримки протягом 5...6 хвилин навколошовну зону обстукують молотком з круглим бойком, та шви оглядають з метою виявлення течі, капель, запотівань.

## **2.8 Розробка та опис технології збирання та зварювання автоклава**

Розробка й опис технологічного процесу виготовлення автоклава ведеться відповідно до обраного устаткування [7] й обліку того, що технологічні операції виконуються на механізованій ділянці.

Розроблювальна технологія і послідовність операцій повинні забезпечити: підвищення якості готових виробів; зменшення витрат праці і матеріалів; поліпшення умов праці.

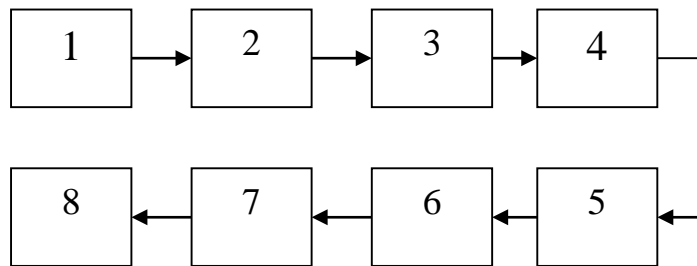
А також, задовольняти вимоги до зварних з'єднань. Ці вимоги зводяться до того, що зварні з'єднання в залежності від типу й умов роботи конструкції повинні мати достатню міцність і пластичність.

Для стикових з'єднань повинні бути забезпечені повний провар елементів, що з'єднуються, і форма посилення з плавним переходом від основного металу до металу шва.

Наявність плавного переходу позитивно виявляється на міцності при вигині, технологічних операцій, зв'язаних з вальцюванням і виправленням. Великий вплив на міцність зварних з'єднань роблять тріщини, непровар і інші дефекти при зварюванні. Тому при розробці технологічного процесу особлива увага повинна бути приділена вибору способів і режимів зварювання, при яких мінімальні імовірність утворення дефектів, а також деформацій, при яких створюється поле залишкових

напруг, знижуючи при цьому міцність конструкції в цілому. Зварні шви повинні задовольняти вимогам ГОСТу по геометричних розмірах, іншим правилам контролю зварних швів і не повинні мати шлакових включень, непроварів, підрізів, напливів і інших дефектів.

Технологічний процес складання і зварювання корпусу автоклава приведено на технологічній схемі, рисунок 2.7.



1 – складання подовжнього стику обичайки; 2 – зварювання подовжнього шва обичайки; 3 – обрізки торців обичайок; 4 – складання корпусу автоклава; 5 – зварювання кільцевих швів корпусу; 6 – установка і зварювання деталей насичення; 7 – контроль якості і випробування; 8 – виправлення дефектів, здача ОТК.

Рисунок 2.7 Технологічна схема виготовлення автоклава

Підготовка та складання обичайок корпусів автоклава під зварювання проводиться за кресленням. Тип зварного шву та конструктивні елементи підготовки кромки обираємо за ГОСТ 14771 – 76.

1. Зварювання поздовжніх швів обичайок корпусів автоклава здійснюється на керамічних підкладках в середовищі  $\text{CO}_2$ .

Порядок складання та зварювання стикового з'єднання корпусу наступний:

- кромки стику обичайки зачистити до металічного блиску з кожного боку та по торцях;

- зібрати стик корпусу шляхом підвальцювання з попереднім натягненням кромки всередину;



- виконати електроприхватки зовні не більше 4-х по довжині стику обичайки, розташовуючи їх на 100 – 120 мм від краю стику;
- встановити вхідну та вихідну планки розміром 100×100 мм на кінцях стику, приварити їх ручним дуговим зварюванням з двох боків;
- перед установленням керамічних підкладок на корпус автоклава провести підварювання із внутрішньої сторони від кінця корпусу на довжину до 100 мм напівавтоматичним зварюванням в CO<sub>2</sub>;
- встановити керамічні підкладки та заварити автоматичним зварюванням у CO<sub>2</sub> з оберненим формуванням шва.

Послідовність технологічного процесу складання та зварювання корпусу автоклава наведено в Додатку 2.

## **2.9. Розрахунок основних техніко–економічних показників технології складання та зварювання автоклава**

В даному розділі приведений розрахунок основних техніко–економічних показників технології складання та зварювання автоклава.

Нормування основних зварювальних операцій (ручне дугове та механізоване зварювання) та собівартість виготовлення автоклава приведено в додатку 3. Собівартість виготовлення автоклава включає витрати на основні та зварювальні матеріали, енергію для технологічних цілей та заробітну плату виробничих працівників.

### **Розрахунок кількості устаткування та виробничих приміщень**

Розрахунок кількості устаткування проводиться за формулою:

$$N_o = \frac{T_{заг.зв.}}{\Phi_{\delta} * K_{в.н.}} шт,$$

$T_{заг.зв.}$  – загально річний час зварювання;

$\Phi_{\delta}$  – діючий фонд робочого часу,  $\Phi_{\delta} = 2036$  год;

$K_{в.н.}$  – коефіцієнт виконання норм,  $K_{в.н.} = 1,2$ .

Кількість устаткування при автоматичному зварюванні в CO<sub>2</sub>:

$$N_{o.a} = \frac{T_{заг.зв.а.}}{\Phi_{\delta} * K_{в.н.}},$$

$$T_{заг.зв.а.} = T_{зв.а.} * 100 = 10,0 * 100 = 1000 \text{ годин.}$$

$$N_{o.a} = \frac{1000}{2036 * 1,2} = 0,41 \text{ шт.}$$

Отже, для виконання автоматичного зварювання в CO<sub>2</sub> необхідний один автомат АД-135.

Кількість устаткування для механізованого зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> при

$$T_{заг.зв.н/а} = T_{зв.н/а} * 100 = 13,7 * 100 = 1370 \text{ годин становитиме:}$$

$$N_{o.н/а} = \frac{T_{заг.зв.н/а}}{\Phi_{\delta} * K_{в.н.}} = \frac{1370}{2036 * 1,2} = 0,56 \text{ шт}$$

отже для виконання механізованого зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> необхідний 1 (один) напівавтомат КП 006.

Збирання та зварювання корпусів автоклаву проводиться на лінії збирання та зварювання, що складається з наступних ділянок:

- комплектації заготовок;
- автоматичного зварювання стикових швів обичайок;
- зварювання кільцевих зовнішніх швів;
- випробувань корпусів.

Габаритні розміри корпусу автоклаву 1400×3960 мм.

Робоча площа - це сума площ приміщень, призначених для виготовлення продукції, включаючи площі проміжних складів заготовель.

Площу займану площадками для складування заготовок, приймають у 2-4 рази менше площі під устаткування. Розрахунок площі необхідної для розміщення устаткування представлений у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Розрахунок площі, займаної технологічним устаткуванням.

Вид технологічного устаткування і оснастки	Площа займана одиницею устаткування, м <sup>2</sup>	Кількість устаткування, шт	Загальна займана площа, м <sup>2</sup>
Стенд для складання обичайок	13,3	1	13,3
Стенд для складання корпусу посудини	38,5	1	38,5
Зварювальна головка АД-135	12,1	1	12,1
Зварювальний напівавтомат КП 006	1,85	1	1,85
Установка для обрізки кромки обичайок та днищ	39,6	1	39,6
Стенд для контролю якості зварних з'єднань	40,0	1	40
Стенд гідровипробувань	51,8	1	51,8
Разом:			197,15

Площу займану площадками для складування заготовок приймаємо порядку 110 м<sup>2</sup>.

Тоді загальна площа ділянки

$$S_{\text{обц}} = S_{\text{сб}} + S_{\text{ск}}$$

$S_{\text{обц}}$  – загальна площа ділянки, м<sup>2</sup>

$S_{\text{сб}}$  – площа займана устаткуванням, м<sup>2</sup>

$S_{\text{ск}}$  – площа займана складськими площадками, м<sup>2</sup>

$$S_{\text{обц}} = 197,8 + 110 = 307,8 \text{ м}^2$$

Ширина прольоту є стандартної і дорівнює 18 м (кратної 6 м). Довжина прольоту визначається по формулі:

$$l = \frac{S_{\text{обц}}}{B}$$

$l$  – довжина прольоту, м

$B$  – ширина прольоту, м

$$l = 307,8 / 18 = 17,1 \text{ м}$$

Приймаємо довжину прольоту 18 м. Тоді загальна площа ділянки вийде:

$$S_{\text{обц}} = 18 \times 18 = 324 \text{ м}^2$$

## Визначення вартості обладнання

Для автоматизованого обладнання будемо використовувати зварювальний автомат АД-135 з джерелом живлення КИУ 501. Загальна вартість за ринковими цінами вживаного обладнання складає 40000 грн. Для механізованого зварювання напівавтомат КП006 з джерелом живлення ВС 300Б. Загальна вартість 8900грн. Для ручного дугового зварювання – джерело живлення ВДУ306 з баластними реостатами РБ 302, кількістю 2 штуки. Загальна вартість – 8300грн.

Амортизаційні відрахунки при механізованому зварюванні розраховуються за формулою:

$$Ca = \frac{T_{\text{заг.зв}} \cdot n \cdot A_{\text{обл}} \cdot 16,6\%}{\Phi_{\text{д}} \cdot K_3 \cdot 100};$$

де:  $T_{\text{заг.зв}}$  – загальнорічний час зварювання, год.;

$n$  – кількість обладнання;

$A_{\text{обл}}$  – вартість обладнання, грн.;

$\Phi_{\text{д}}$  – діючий фонд робочого часу, год.;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження обладнання.

$$Ca(\text{проект}) = \frac{(10 + 13,7) \cdot 100 \cdot (40000 + 8900) / 2 \cdot 16,6\%}{2036 \cdot 0,54 \cdot 100} = 11543 \text{ грн.}$$

$$Ca(\text{існ}) = \frac{(40,17 \cdot 100 \cdot (3500 + 650) \cdot 2 \cdot 16,7\%}{2036 \cdot 0,87 \cdot 100} = 3307 \text{ грн.}$$

## Розрахунок чисельності працюючих

Розрахунок чисельності працівників – зварників проводимо за формулою:

$$P_p = \frac{T_{\text{заг.зв.}}}{\Phi_{\text{д}} * K_{\text{в.н.}}} \text{чол,}$$

Для обслуговування зварювального автомату АД-135 чисельність працівників складе:

$$D_{\text{сд}} = \frac{100}{2036 * 1,2} = 0,41 \text{ – один чоловік.}$$

Для робіт на зварювальному напівавтоматі КП 006 чисельність працівників складе:

$$D_{\text{сд}} = \frac{1370}{2036 * 1,2} = 0,56 - \text{один чоловік.}$$

При зварюванні автоклаву ручним дуговим зварюванням необхідно:

$$T_{\text{заг.зв.р}} = T_{\text{зв.р}} * 100 = (19,96 + 15 + 5,21) * 100 = 4017 \text{ години}$$

$$D_{\text{сд}}(\text{д}) = \frac{4017}{2036 * 1,2} = 1,64 \text{ чол.} = 2 \text{ чол.}$$

Кількість працівників – збиральників, які обслуговують лінію збирання – зварювання корпусів автоклаву розраховується за формулою:

$$P_{\text{зб}} = 1,8 * P_{\text{зв}},$$

$P_{\text{зв}}$  – загальна кількість зварників – 2 чоловік.

$$P_{\text{зб}} = 1,8 * 1 = 3,6 - \text{чотири чоловіка.}$$

При ручному зварюванні (існуючій технології):

$$P_{\text{зб}}(p) = 1,8 * 2 = 4 \text{ чол}$$

Кількість допоміжних працівників розраховується за формулою:

$$P_{\text{доп.пр.}} = 0,45 * P_{\text{осн.пр.}}, \text{ чол}$$

$P_{\text{осн.пр.}}$  – чисельність основних працівників, яка дорівнює

$$P_{\text{осн.пр.}} = P_{\text{зб}} + P_{\text{зв}} = 4 + 2 = 6 \text{ чоловік.}$$

$$P_{\text{доп.пр.}} = 0,45 * 6 = 2,7 - \text{три чоловіка.}$$

При ручному зварюванні (існуючій технології):

$$P_{\text{осн.пр}}(p) = P_{\text{зв}}(p) + P_{\text{зб}}(p) = 2 + 4 = 6 \text{ чол.}$$

$$P_{\text{доп.пр.}} = 0,45 * 6 = 2,7 = 3 \text{ чол}$$

Для керівництва роботою та технологічним процесом виготовлення корпусів автоклава необхідно 1 (одного) майстра.

В таблиці 2.3 наведена чисельність працівників, які обслуговують ділянку виготовлення корпусів автоклаву.

Таблиця 2.3 Чисельність працівників, які обслуговують лінію виготовлення автоклаву

Працівники	Чисельність, чол.
Зварники	2
Збиральники	4
Допоміжні працівники	3
Майстер ділянки	1
<b>Разом</b>	<b>10</b>

При ручному дуговому зварюванні загальна чисельність працівників складає 10 робітників.

### Визначення фонду заробітної плати

Витрати на заробітну плату працівників зварників визначимо з формули:

$$Зпр.зв. = r * n * T_{заг.зв.}, \text{ грн}$$

$r$  – коефіцієнт середньогодинної тарифної ставки працівників – зварників 4 розряду,  $r = 3$  грн.;

$n$  – коефіцієнт додаткової заробітної плати,  $n = 2$ .

$$Зпр.зв.(проп) = 2 * 3 * (1370 + 1000) = 14220 \text{ грн.}$$

При ручному зварюванні:  $Зпр.зв.(існ) = 2 * 3 * 4018 = 24108$  грн

Витрати на заробітну плату працівників – збиральників визначимо за формулою:

$$Зпр.зб. = 1,8 * Зпр.зв. \text{ грн}$$

$$Зпр.зб.(проп) = 1,8 * 14220 = 25596 \text{ грн.}$$

При ручному зварюванні:  $Зпр.зб.(існ) = 1,8 * 24108 = 43394$  грн

Загальнорічні витрати на заробітну плату основних працівників (зварників та збиральників) складатимуть

$$Сосн.пр(проп) = Зпр.зв. + Зпр.зб. = 14220 + 25596 = 39816 \text{ грн.}$$

При ручному зварюванні:  $Сосн.пр.(існ) = 24108 + 43394 = 67502$  грн.

Відрахування на соціальні страхування визначаємо за встановленим нормативом – 37,5 % від суми загальнорічних витрат на заробітну плату.

$$C_{соц.с}(прон) = 39816 * 0,375 = 14931 \text{ грн.}$$

$$C_{соц.с}(існ) = 67502 * 0,375 = 25313 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні витрати з фонду заробітної плати при річній програмі 100 (сто) автоклавів в рік складуть

$$C_{з.п}(прон) = 39816 + 14931 = 54747 \text{ грн.}$$

$$C_{з.п.}(існ) = 67502 + 25313 = 92816 \text{ грн.}$$

### **Розрахунок технологічної собівартості**

Загальнорічна собівартість виготовлення автоклаву розраховується за формулою:

$$C_{заг.р.} = C_{зв.м.} + C_{з.п.} + C_{т.ен.} + C_a, \text{ грн}$$

$C_{зв.м.}$  – вартість зварювальних матеріалів, грн;

$C_{з.п.}$  – загальнорічні витрати з фонду заробітної плати;

$C_{т.ен.}$  – загальнорічні витрати на технологічну енергію, грн.

$C_a$  – амортизаційні відрахування, грн.

$$C_{заг.р}(прон) = 32516 + 54747 + 11543 = 98806 \text{ грн.}$$

Собівартість виготовлення одного корпусу автоклаву складе 988 грн.

$$C_{заг.р}(існ) = 36394 + 92816 + 3307 = 132517 \text{ грн}$$

Собівартість виготовлення ручним дуговим зварюванням (по існуючій технології) одного корпусу автоклаву складе 1325 грн.

### **Техніко – економічні показники**

Річний економічний ефект від застосування нових технологічних процесів механізації і автоматизації виробництва визначається по формулі:

$$E = (C_1 - C_2) - e (K_2 - K_1); \text{ тис. грн.}$$

де:  $(C_1 - C_2)$  – різниця собівартості виготовлення виробу по існуючій і пропануємої технологіям, тис грн.

$(K_2 - K_1)$  – різниця капітальних затрат по існуючій і пропануємої технологіям, тис грн.

0,15 – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень.

$$E = (133 - 99) - 0,15 \cdot (40 + 8,9 - 8,3) = 28 \text{ тис грн.}$$

Строк окупності обладнання розраховуємо по формулі:

$$\Delta T = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) = (40 + 8,9 - 8,3) / (133 - 99) = 1,2 \text{ року}$$

Розрахунки техніко-економічних показників зведені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 Техніко-економічні показники ділянки виготовлення автоклавів

Показники	По існуючій технології	По пропонуваній технології	Різниця
1. Річна програма, шт.	100	100	-
2. Час зварювання виробу, год.	40,18	23,7	16,48
3. Кількість робітників, чол.			
основних	6	6	0
всього	10	10	0
4. Витрати на обладнання, тис. грн.	8	49	-41
5. Витрати на зварювальні матеріали, тис. грн.	36	22	14
6. Загальні витрати на заробітну плату, тис. грн.	93	55	38
7. Технологічна собівартість річної програми, тис. грн.	133	99	34
8. Технологічна собівартість одиниці виробу, грн.	1325	988	338
9. Річний ефект, тис. грн.	-	-	28
10. Строк окупності, рік			1,2

## 2.10 Висновки по технологічній частині.

У розробленому технологічному процесі виготовлення автоклава запропоновані наступні технічні рішення:

- зварювання стикових з'єднань з обробленням кромки рекомендується проводити автоматичним зварюванням у середовищі CO<sub>2</sub> у два проходи. Для кільцевих на підкладних кільцях, подовжніх швів на керамічних підкладках;

- зварювання таврових і кутових з'єднань рекомендується проводити механізованим зварюванням у CO<sub>2</sub>;

- використання автоматичної установки для обрізки торцевих кромки обичайок і днищ що дозволяє механізувати газорізальні операції;



- заміна двостороннього способу зварювання, що вимагає операції строгання кореня шва, однобічним зварюванням;

- застосування для зварювання спеціалізованих автоматичних установок АД-135;

- розроблена технологія контролю якості автоклава, та методи виправлення дефектів зварних з'єднань.

Упровадження перерахованих нововведень дозволяє:

- знизити трудомісткість виготовлення виробів;

- підвищити якість виробів;

- скоротити технологічний цикл зварювальних операцій;

- поліпшити умови праці зварників.

### 3 Науково-дослідницька частина

#### 3.1 Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання з обробленням кромки

При зварюванні плавленням застосовуються потужні концентровані джерела енергії. Локалізація теплоти в місці з'єднання і подальше її поширення у виробі приведе до різноманітних структурних і деформаційних процесів, що в остаточному підсумку впливає на працездатність і якість зварних з'єднань [5, 10]. Регулюючи потужність джерела, початкову температуру виробу можна в широких межах змінювати властивості зварних з'єднань. Вплив цих параметрів на зварювальні процеси дозволяє оцінити теорія теплових процесів при зварюванні.

Розподіл і зміна температури при зварюванні виробів обчислюються по формулах, отриманим у результаті рішення диференціального рівняння теплопровідності при визначених початкових і крайових умовах [5, 10, 17]:

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

Найбільше поширення для теплових процесів зварювання одержав спосіб рішення диференціального рівняння (3.1) методом джерел.

Рішення цього рівняння при дії зварювального джерела, що безупинно рухається в напрямку осі  $x$  з постійною швидкістю  $v$ , буде більш простим у системі координат, що рухається, де початок координат збігається з джерелом. Так, при зварюванні масивних виробів зміна температури в часі в якій-небудь точці тіла можна розрахувати по формулі [17]:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma (4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_x}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right) \quad (3.1)$$

де:  $q$  - ефективна теплова потужність джерела, для дугового зварювання

$$q = I_{зв} \cdot U_{д} \cdot \eta \quad (\eta - \text{ефективний КПД нагрівання});$$

$v$  - швидкість переміщення джерела, см/с;

$\alpha$  - коефіцієнт температуропровідності;

$t_2 = t - t_1$  – час поширення теплоти елементарного джерела, введеного в якій-небудь точці О, потужність якого  $q = dt_1$  ( $t_1$  час досягнення джерелом точці О с моменту початку руху,  $t$  – час досягнення температури  $T$  у крапці з координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  з початку руху джерела);

$R$ -відстань від джерела до розглянутої точки,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} ; \quad (3.2)$$

При збільшенні швидкості переміщення зварювального джерела градієнт температури тіла в напрямку зварювання увесь час зменшується. Про це можна судити по витягнутості ізотерми температурного поля в напрямку осі  $x$ . При великих швидкостях зварювання можна зневажити поширенням теплоти уздовж напрямку руху джерела, розрахункові формули зміни температури в точках тіла при цьому значно спрощуються. При однопрохідному зварюванні пластин розрахунок температури в часі в якій-небудь точці тіла виконується по формулі [10, 17]:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (3.3)$$

$\delta$  - товщина зварних листів, см;

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

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

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

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

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну поверхні пластини з навколишнім середовищем;

$T_0$  – початкова температура виробу.

Зміна максимальних температур у напрямку, перпендикулярному осі переміщення джерела, для однопрохідного зварювання пластин, розраховується по рівнянню:

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c\gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2y_0} \quad (3.4)$$

При розрахунку розподілу температур у напрямку, перпендикулярному руху джерела, за рівнянням (3.4) доцільно знайти перше значення  $y_0$  вважаючи, що  $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу). Якщо врахувати початкову температуру виробу  $T_0$  то рівняння (3.4) перетвориться в наступний вид:

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot v (T_m - T_0)} \quad (3.5)$$

Для визначення структурних складових і механічних характеристик ЗТВ визначається величина тривалості охолодження  $\tau$ , що знаходять з термічного циклу розрахованих по формулах теорії поширення тепла при зварюванні. Для швидко-рухомих джерел при однопрохідному зварюванні листів:

$$\tau = \frac{q^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.6)$$

При товщині металів, що зварюються, більш 12 мм необхідно робити оброблення кромки і робити зварювання в два і більш проходи. Для зварювання автоклава при товщині 16 мм необхідно робити оброблення (для забезпечення міцності корпусу). Розрахунок режимів зварювання проведений у розділі 2. Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання з обробленням кромки, зробимо для останнього проходу. Вхідні дані для розрахунку:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності	0,08
величина струму дуги, А	362
напруга дуги, В	33

ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	8393
швидкість зварювання, см/с	1,54
товщина листів, що зварюються, см	1,6

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки  $y_0$ , скористаємося рівнянням (3.5) вважаючи, що  $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c \gamma \cdot v (T_m - T_0)} = 0,13 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі для стикового зварювання пластин у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (3.5) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 3.1. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 Нагрів та охолодження стикового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
$T^\circ\text{C}$	1350	1227	687	340	253	190	162	134	105	84

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ, рисунок 3.1.

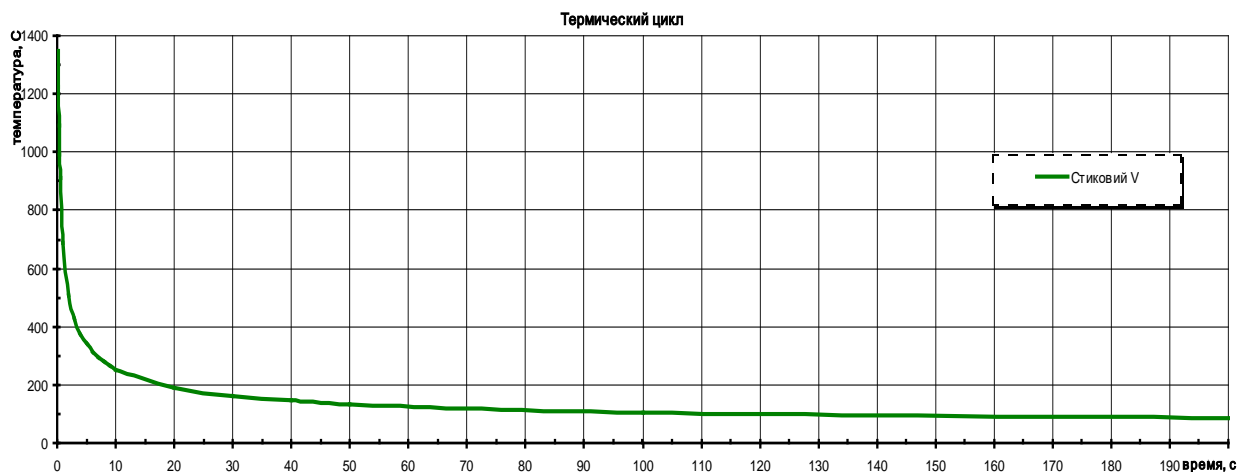


Рисунок 3.1 Нагрів та охолодження стикового зварного з'єднання

За отриманим значенням будемо криву охолодження, а потім переносимо її на діаграму термодинамічного розпаду аустеніту сталі СтЗпс (рисунок 3.3).

### 3.2 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання, виконаного механізованим зварюванням в CO<sub>2</sub>

Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання при механізованому зварюванні в CO<sub>2</sub> зробимо по тій же схемі, що і розрахунок стикового з'єднання без оброблення кромки. Але тут необхідно врахувати, що частина тепла витрачається на нагрівання полиці (біля двох третіх), а частина на нагрівання стінки (одна третина). Зробимо розрахунок для полиці  $\delta=1,6$  см.

Вихідні дані для розрахунку:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності	0,08
величина струму дуги, А	230
напруга дуги, В	28
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	4560
швидкість зварювання, см/с	0,24

Визначимо відстань від джерела до розглянутої точки  $y_0$ . Для цього скористаємося рівнянням (3.5) вважаючи, що  $T_m=T_l=1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c \gamma \cdot \nu (T_m - T_0)} = 0,82 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі при зварюванні таврового з'єднання для полиці. Розрахунок виконується по формулі (3.5) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 3.2. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 Нагрів та охолодження таврового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	11,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T°C	20	45	960	1011	630	359	254	164	94	57

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

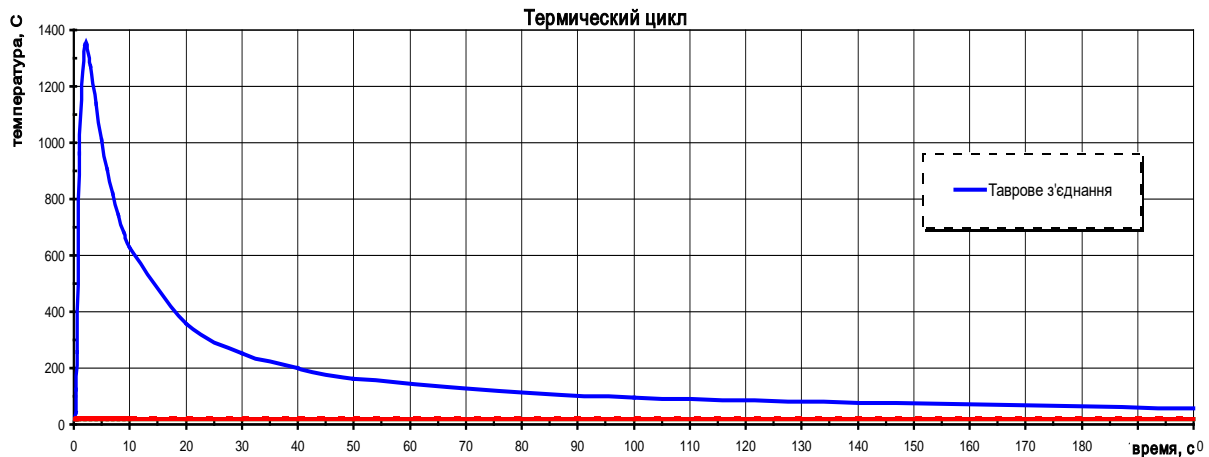


Рисунок 3.2 Нагрів та охолодження таврового зварного з'єднання

За отриманими значеннями будують криву охолодження, а потім переносять її на діаграму термокінетичного розпаду аустеніту сталі СтЗпс (рисунок 3.3).

Проведені розрахунки дозволяють визначити параметри процесу зварювання, що характеризується нормальним режимом. У таких процесах зварювальний струм, основний параметр режиму і не перевищує прийнятих норм. Продуктивність процесу зварювання при цьому найчастіше не відповідає вимогам сучасного виробництва.

Розробляються і знаходять застосування в деяких випадках технологічні процеси зварювання, що характеризуються «підвищеним» режимом. Швидкість зварювання однопрохідних швів на таких режимах збільшується в 1,5-2 рази в порівнянні зі зварюванням на нормальному режимі. Однак прагнення до підвищення продуктивності процесу наштовкується на ряд серйозних перешкод.

По отриманим значенням будують криві охолодження для стикового і таврового з'єднання і переносимо їх на діаграму термокінетичного розпаду аустеніту сталі СтЗпс (рисунок 3.3).

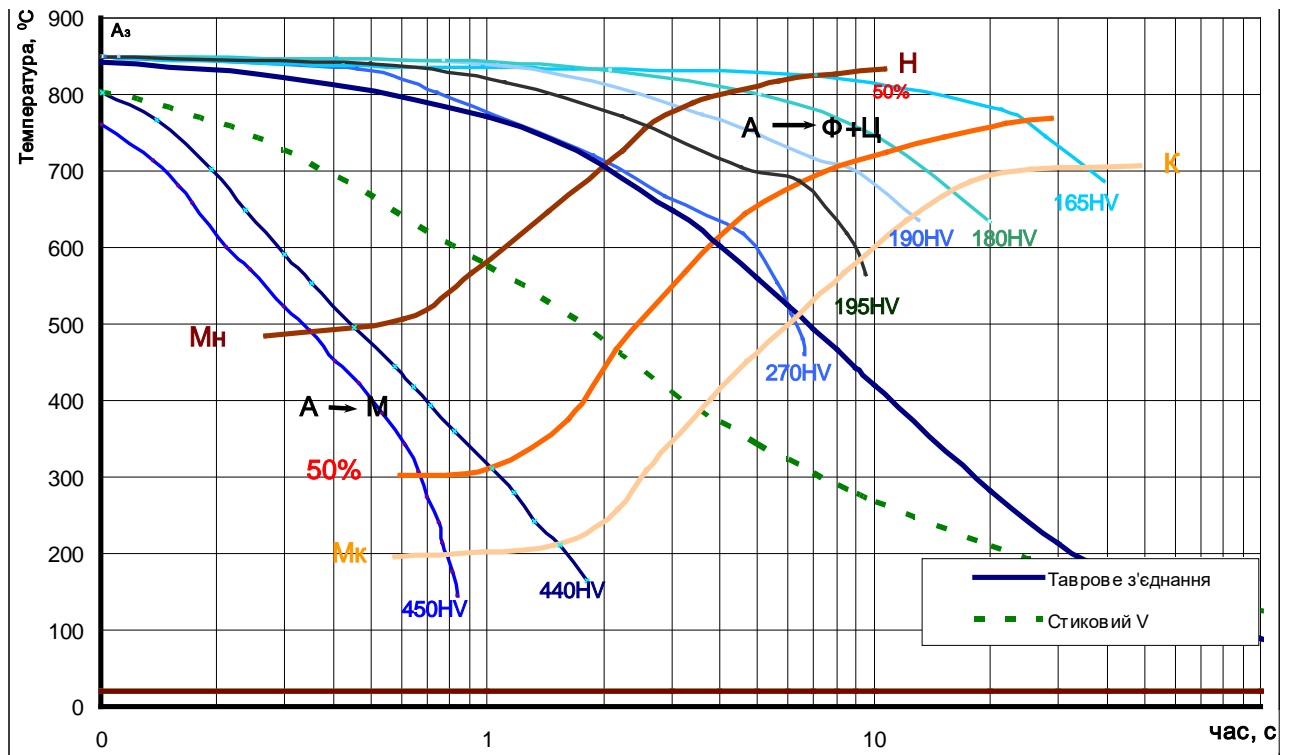


Рисунок 3.3 Діаграма термокінетичного розпаду аустеніту у сталі СтЗпс

### 3.3 Аналіз очікуваної структури ЗТВ

При зварюванні основний метал у прилеглих ділянках шва піддається своєрідній термічній обробці. Ділянки, що примикають до шва, зі зміненою в порівнянні з основним металом структурою одержали назву - зона термічного впливу (ЗТВ). Структура металу в цій зоні змінюється відповідно до термічного циклу нагрівання й охолодження.

Для судження про структурні перетворення в ЗТВ при зварюванні необхідно розташовувати дані по кінетиці перетворення аустеніту. Структурні зміни в ЗТВ можна оцінити по діаграмах термокінетичного перетворення, побудованими для умов зварювання. Така діаграма будується в координатах температура - час. Через великі діапазони розглянутого часу його відкладають у логарифмічному масштабі.



Відлік часу при охолодженні аустеніту починається з моменту, коли температура металу досягає критичної точки  $A_{c3}$ . Вище цієї температури аустеніт термодинамічною стійкий, нижче - аустенітний стан хиткий і у залежності від температурно-часових умов може перетерплювати перлітне, бейнітне (проміжне) чи мартенситне перетворення [5, 6, 10] .

Діаграма термокінетичного перетворення аустеніту сталі СтЗпс показані на рисунку 3.3. Нанесені на цю діаграму термічні цикли охолодження металу високотемпературних ділянок ЗТВ (1 - термоцикл охолодження зварного стикового шва, виконаного автоматичним зварюванням в середовищі  $CO_2$  з обробленням кромки; 2 - термоцикл охолодження таврового з'єднання виконаного механізованим зварюванням у  $CO_2$ ) можна судити про структурні зміни в цій зоні і прогнозувати механічні властивості найбільш слабкої ділянки зварного з'єднання.

Так при охолодженні по термоциклу 1 структура металу буде складатися з бейніту і мартенситу. Метал з такою структурою має підвищену твердість, міцність і задовільну пластичність. Метал при такій структурі, не так схильний до утворення гартівних структур, як при мартенситній. Збільшивши режим зварювання можна одержати бейнітну структуру, або зробити підігрів [10].

При охолодженні по термоциклу 2 утворюється ферито-перлітна структура (рисунок 3.3). Ферито-перлітна структура є м'якої. Метал з такою структурою характеризується невисокою твердістю і достатньою пластичністю. Сталі з ферито-перлітною структурою, мають гарну зварюваність і високу стійкість до утворення гарячих тріщин.

### **3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання**

Розрахунок очікуваних структур виробляється по формулах, розроблених у ІЕЗ ім. Патона, що дозволяє прогнозувати фазовий склад високотемпературних ділянок ЗТВ і її механічні властивості. Параметри  $\tau_m$ ,  $s_m$ ,  $\tau_f$ ,  $\tau_{f+п}$ ,  $s_f$ ,  $s_{f+п}$  розраховуються в залежності від складу сталі за наступними рівняннях регресії [10, 18]:

$$\ln \tau_M = -2,1 + 15,5 C + 0,96 Mn + 0,84 Si + 0,65 Cr + 0,74 Mo + 0,55 Ni + 0,3 V + 4,0 Al + 0,5 W + 0,8 Cu - 0,25 Nb - 13,5 C^2 - 0,8 Si^2; \quad (3.7)$$

$$\ln \tau_M = 0,4$$

$$\ln s_M = 0,56 - 0,41 C + 0,1 Mn + 0,14 Cr - 0,3 Mo + 2,7 Ti - 1,1 Nb + 0,5 Cu + 1,7 C Mo; \quad (3.8)$$

$$\ln s_M = 0,56$$

$$\ln \tau_\phi = 0,66 + 10 C + 1,3 Mn - 0,48 Si + 1,3 Cr + 1,5 Mo + 0,8 Ni - 1,4 W + 3,5 C Mn - 50 C V - 5,9 C^2 + 0,8 Si^2; \quad (3.9)$$

$$\ln \tau_\phi = 2,77$$

$$\ln s_\phi = 1,23 + 0,17 Mn - 0,34 Si + 0,3 Cr - 0,5 Mo + 0,31 Ni + 0,09 Nb - 0,43 W - 0,3 Cu; \quad (3.10)$$

$$\ln s_\phi = 1,22$$

$$\ln \tau_{\phi+II} = 0,34 + 5,2 C + 1,8 Mn + 0,53 Si + 0,33 Cr + 2,9 Mo + 0,86 Ni + 1,5W + 1Cu - 60 C V - 5,1 C^2 + 0,7 Si^2; \quad (3.11)$$

$$\ln \tau_{\phi+II} = 2,16$$

$$\ln s_{\phi+II} = 0,91 - 0,9 C + 0,09 Mn + 0,08 Cr + 0,34 Mo + 0,15 Ni + 0,85 V + 2,2Ti + 0,43 W; \quad (3.12)$$

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

Тривалість охолодження  $\tau$  визначимо з термічних циклів ЗТВ, розрахованих по формулах теорії поширення тепла при зварюванні. Зокрема, для швидкорухаючих джерел для зварюванню листів [10, 17]

$$\tau = \frac{q^2}{4\pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.13)$$

$q$  – ефективна теплова потужність зварювального джерела нагрівання;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;

$v$  – швидкість зварювання;

$c_v$ - об'ємна теплоємність;

$\delta$  – товщина листа.

Процентне співвідношення структурних складових у ЗТВ розраховується по наступним формулах:

- кількість мартенситу [18]:

$$M(\tau) = 100 \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_M}{lg s_M} \right) \right], \% \quad (3.14)$$

$\Phi(x)$ - інтегральна функція нормального розподілу;

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

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

- кількість фериту [18]:

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\max} \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_\phi}{\ln s_\phi} \right), \% \quad (3.15)$$

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

$$\Phi_{\max} = 100 \left[ \frac{1 - (C - 0,02)}{0,81 - 0,11Mn - 0,05Mo} \right], \% \quad (3.16)$$

- сумарна кількість фериту і перліту [18]:

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 100 \Phi \left( \frac{\ln \tau - \ln \tau_{\phi+\Pi}}{\ln s_{\phi+\Pi}} \right) \% \quad (3.17)$$

- кількість бейніту:

$$B(\tau) = 100 - M(\tau) - [\Phi + \Pi](\tau), \% \quad (3.18)$$

- кількість перліту:

$$П(\tau)=[\Phi+П](\tau)-\phi(\tau), \%; \quad (3.19)$$

Результати розрахунку складових структур для різних видів зварювання (автоматична в CO<sub>2</sub> з обробленням кромок, механізоване в CO<sub>2</sub> для таврових з'єднань) представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Складові структури для різних видів зварювання

Найменування	стиковий V	тавровий
Тривалість охолодження, с	1,65	6,6
Кількість мартенситу, %	43	1
Макс. кількість фериту, %	85	85
Кількість фериту, %	3	18
Кількість фериту та перліту, %	3	36
Кількість бейніту, %	55	63
Кількість перліту, %	0	18

Механічні властивості ЗТВ у залежності від структурного стану і режиму охолодження визначають за наступними емпіричними формулами [18]:

$$HV = M(\tau)*(309 + 494*C + 622*C^2 + 17,7*Mn) + B(\tau)*(234 + 122*C) + [\Phi+П](\tau)*(98 + 275*C + 15,4*Mn); \quad (3.20)$$

$$\sigma_0,2 \text{ (МПа)} = M(\tau)*(798 + 3215*C) + B(\tau)*(590 + 960*C + 39,7*Mn + 200*V) + [\Phi+П](\tau)*(297 + 1360*C + 60*Mn + 140*V); \quad (3.21)$$

$$\sigma_{0,2} \text{ (МПа)} = M(\tau)*(662 + 1610*C) + B(\tau)*(500 + 460*C + 120*C^2 + 150*V) + [\Phi+П](\tau)*(187 + 926*C + 47*Mn + 90*V); \quad (3.22)$$

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

$$+ 0,66 \cdot \ln \tau); \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \psi(\%) = & M(\tau) \cdot (48,5 - 158 \cdot C - 116 \cdot C^2 + 0,98 \cdot \ln \tau) + B(\tau) \cdot (53,3 - 132 \cdot C + \\ & + 103 \cdot C^2 - 5,1 \cdot Mn - 10 \cdot V + 3,4 \cdot \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) \cdot (65,4 - 88 \cdot C - 82 \cdot C^2 - \\ & - 6,7 \cdot Mn + 18 \cdot V + 0,6 \cdot \ln \tau); \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} KСИ \text{ (Дж/м}^2\text{)} = & M(\tau) \cdot (1,06 - 2,8 \cdot C + 1,3 \cdot C^2 - 0,081 \cdot Mn + 0,05 \cdot \ln \tau) + \\ & + B(\tau) \cdot (1,3 - 1,6 \cdot C - 0,08 \cdot Mn) + [\Phi + \Pi](\tau) \cdot (1,47 - 1,8 \cdot C + 0,8 \cdot C^2 - 0,076 \cdot Mn - \\ & - 0,045 \cdot \ln \tau). \end{aligned} \quad (3.25)$$

Отримані розрахункові дані зводимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 Механічні властивості ЗТВ

Найменування	стиковий V	тавровий
Твердість HV	307	209
Границя міцності, МПа	934	659
Границя плинності, МПа	687	452
Відносне подовження, %	13,5	19,7
Відносне звуження, %	34	44
Ударна в'язкість, МДж/м <sup>2</sup>	0,9	1,1

### 3.5 Висновки

На підставі проведених розрахунків можемо зробити висновки:

1. Розрахунок термічного циклу показує, що при зварюванні таврових і кутових з'єднань структура ЗТВ має ферито - перлітну структуру з твердістю 209 HV.
2. При зварюванні стикових швів розрахунок термічного циклу показує, що структура має велику кількість мартенситу (43 %). Кількість мартенситу можна зменшити при використанні біль вищих режимів, або застосувати підігрів.

## 4 Конструкторська частина

### 4.1 Розрахунок роликового станду

Для обертання обичайки корпусу автоклава під час зварювання застосовуються роликові станди, які монтуються з роликоопор привідних (ведучих) та холостих.

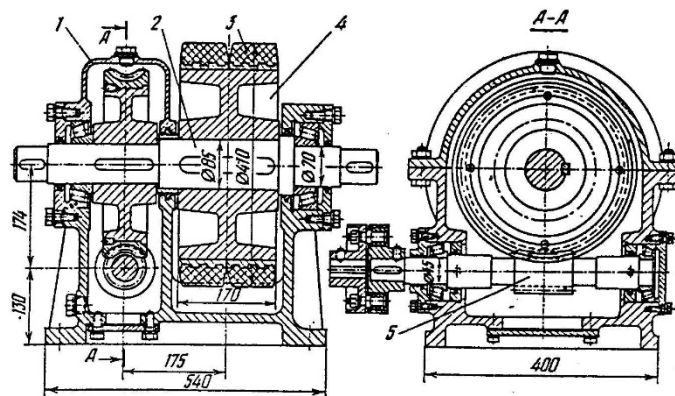
Так як центр ваги виробів співпадає з їх подовжною віссю, то застосовуємо типову схему роликового станду з одним ведучим рядом роликів та одним холостим. Ведучі ролики насаджені на спільний привідний вал та забезпечені гумовими грузошинами для збільшення сили зчеплення з обертовим виробом [7]. Загальний вид роликового станду зображений в графічній частині проекту.

Станд монтується на фундаментній рамі. Привідні ролики забезпечені гумовими грузошинами для збільшення сили зчеплення з обертовим виробом. Крім того, гумові грузошини забезпечують більш плавне обертання барабану, особливо в момент перекачування через ролики поздовжніх швів виробу або виступаючих кромок листів. Ця обставина обумовлює доцільність постановки гумових грузошин також і на холостих роликоопорах.

Привід станду має два електродвигуна: постійного струму – для обертання з робочою, зварювальною швидкістю та змінного струму – для обертання з маршовою швидкістю. Переключення приводу з робочої швидкості на маршову та навпаки проводиться електромагнітною муфтою з дистанційним кнопковим управлінням.

Приводна роликова опора є уніфікованою та має вбудований черв'ячний редуктор (рисунок 4.1) та вал, який має хвостовики для з'єднання з головним привідним валом та сусідніми роликами.

В якості холостих роликоопор використовуються перекидні роликоопори (рисунок 4.2), які дозволяють швидко змінювати відстань між рядами роликів, тобто шляхом перекидання роликів перестроювати стандарт на інший діапазон діаметрів зварюваних виробів, що актуально при переході від великого діаметру до меншого.



1 – корпус редуктора; 2 – вал; 3 – грузошина; 4 – ролик; 5 – черв'як

Рисунок 4.1 Привідна роlikоопора

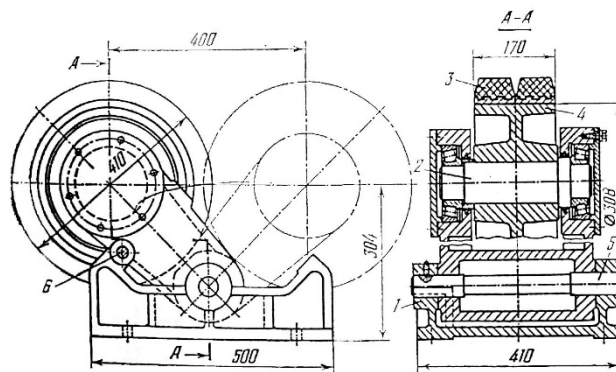


Рисунок 4.2 Холоста перекидна роlikоопора

1 – основа; 2 – вісь ролика; 3 – гумова грузошина; 4 – ролик; 5 – вісь шарніру; 6 – фіксатор

З міркувань уніфікації вісь холостої роlikоопори робиться такою, щоб обертатися, а в привідних роlikоопорах (з'єднаних спільним валом) інакше.

Для діаметру 1200 мм необхідно розраховувати відстань  $L$  між віссю холостих та привідних роlikоопор.

Допустимий діапазон діаметрів для даної відстані  $L$  обмежується двома крайніми (небезпечними) станами виробів на стенді:

- при надто великому діаметрі в порівнянні з величиною  $L$  та, відповідно, при дуже малому центральному куті розпору  $\alpha$  положення, що обертається, на стенді виробу може виявитися нестійким, особливо якщо центр ваги виробу не співпадає з центром його окружності, тобто є деякий дисбаланс виробу;

- при дуже малому діаметрі виробу, що обертається, в порівнянні з величиною  $L$  кут  $\alpha$  буде занадто великим та може виникнути явище затяжки виробу з наступним його заклинюванням та навіть поломкою стенду через розпирні зусилля на роликах, які різко зростають.

Втрата стійкості та перекидання виробу наступає при критичному для даного кута  $\alpha$  значенні ексцентриситету (рисунок 4.3).

$$e_{кр} = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad (4.1)$$

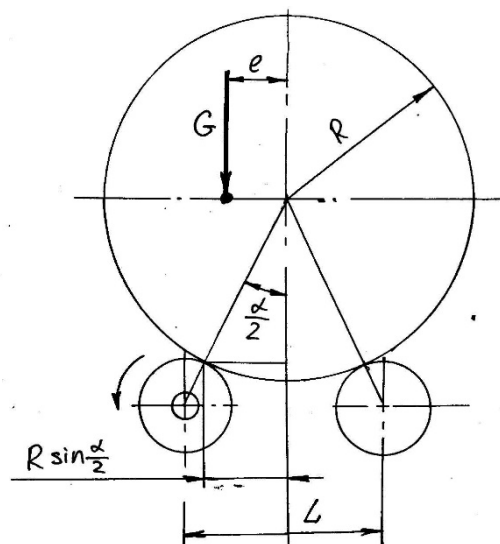


Рисунок 4.3 Розрахункова схема роликового стенду для визначення критичного дисбалансу виробу

Допустимий діапазон центральних [19] кутів  $\alpha$ , в межах якого можна безпечно працювати на стенді, дорівнює  $50 \div 120^\circ$ .

Відповідні відстані між роликооперами  $L$  знайдемо з формули (4.2), підставивши діаметр зварюваного виробу  $D$  (1200 мм):



$$L = \sin \frac{\alpha}{2} (D + D_p), \quad (4.2)$$

$D_p$  – діаметр ролику.

Для типового роликового стенду з роликоопорами  $D_p = 410$  мм отримаємо при  $\alpha_{min} = 50^\circ$ ,  $\alpha_{max} = 120^\circ$ :

$$L_{min} = \sin \frac{\alpha_{min}}{2} (D_{min} + D_p) = \sin \frac{50}{2} (1200 + 410) = 680 \text{ мм};$$

$$L_{max} = \sin \frac{\alpha_{max}}{2} (D_{max} + D_p) = \sin \frac{120}{2} (1200 + 410) = 1394 \text{ мм}.$$

Враховуючи той факт, що холості опори перекидні, з ходом осі ролику 400 мм, обираємо середню відстань між привідними та холостими роликоопорами  $L = 1037$  мм, при цьому  $L_{max} = 1394$  мм,  $L_{min} = 680$  мм.

Розрахуємо діапазон діаметрів для обраної відстані  $L$ .

$$D_{max} = \frac{L_{max}}{\sin \frac{\alpha_{min}}{2}} - D_p = \frac{1394}{\sin \frac{50}{2}} - 410 \approx 2991 \text{ мм}.$$

$$D_{min} = \frac{L_{min}}{\sin \frac{\alpha_{max}}{2}} - D_p = \frac{680}{\sin \frac{120}{2}} - 410 \approx 326 \text{ мм}.$$

Розрахуємо навантаження на роликоопори та вал приводу роликового стенду. Розрахункова схема роликового стенду наведена на рисунку 4.4.

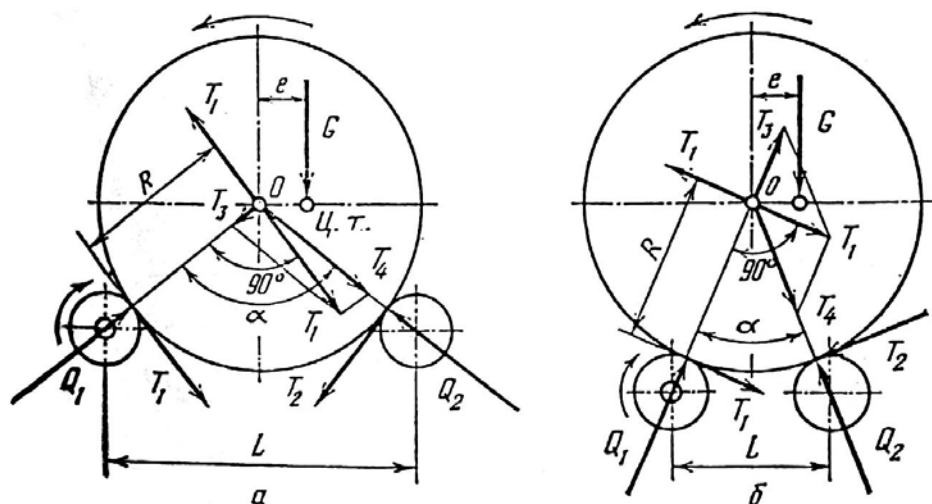


Рисунок 4.4 Розрахункові схеми роликового стенду

а) при  $\alpha > 90^\circ$ ;

б) при  $\alpha < 90^\circ$ .

Визначимо величину окружного зусилля  $T_1$  на привідних роликах з умови врівноваження, по-перше, вантажного моменту  $M_{кр} = G * e$ , а по-друге, опору обертанню холостих роликоопор:

$$T_1 = G \frac{e}{R} + T_2, \quad (4.3)$$

$R$  – радіус обертового виробу (600 мм);

$G$  – центральна сила, рівна вазі обертового виробу (автоклава) –  $G=1570$  кгс;

$e$  – ексцентриситет центра ваги;

$T_2$  – опір обертанню холостих роликів.

$$T_2 = Q_2 * \frac{f d_p + 2 \mu}{D_p}, \quad (4.4)$$

$Q_2$  – опорна реакція холостої роликоопори при її обертанні під навантаженням:

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{T_1}{\sin \alpha} - \frac{T_2}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (4.5)$$

$f$  – коефіцієнт тертя у підшипниках роликоопор (застосовуючи підшипники качання з конічними роликотідшипниками отримаємо  $f = 0,02$ );

$d_p$  – діаметр осі ролика в підшипниках (для уніфікованих роликів, які ми розраховуємо),  $d_p = 7$  см;

$\mu$  – коефіцієнт тертя качання (для обгінних роликів  $\mu = 0,25 \div 0,35$  см)

Зробивши деякі перетворення отримаємо кінцевий вираз для величини необхідного окружного зусилля  $T_1$  на привідних роликоопорах:

$$T_1 = G * \left( \varepsilon + \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b * \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \right) \quad (4.6)$$

Аналогічно для холостих роликоопор:

$$T_2 = G * \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b * \sin \alpha + \cos \alpha - 1}, \quad (4.7)$$

$\varepsilon = e/R$  – ексцентриситет центру ваги виробу, який виражений в долях радіусу виробу (дисбаланс),  $\varepsilon = 0,042$ ;

$$b = \frac{D_p}{fd_p + 2\mu} \text{ – постійна величина.}$$

Для обичайки корпусу автоклава при різних положеннях перекидних роликкоопор кут  $\alpha = 80^\circ$ .

Таким чином,

$$b = \frac{41}{0,02 * 7 + 2 * 0,3} = 55,4$$

$$T_1 = 1570 * \left( 0,02 + \frac{0,042 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \sin 80 + \cos 80 - 1} \right) = 854,5 \text{ Н};$$

$$T_2 = 1570 * \frac{0,042 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \sin 80 + \cos 80 - 1} = 200,3 \text{ Н}$$

Знайдемо опорні реакції холостої  $Q_2$  та привідної  $Q_1$  роликкоопори:

$$Q_1 = \frac{G}{2 * \cos \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{\varepsilon * \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b * \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) =$$

$$= \frac{1570}{2 * \cos \frac{80}{2}} * \left( 1 - \frac{0,042 * \cos 80}{\sin \frac{80}{2}} + \frac{0,042 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \cos \frac{80}{2} - \sin \frac{80}{2}} \right) = 10320 \text{ Н};$$

$$Q_2 = b * (T_1 - G * \varepsilon) = 55,4 * (854,5 - 1570 * 0,042) = 11097 \text{ Н.}$$

Максимальне навантаження на одну роликкоопору

$$P_1 = \frac{\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}}{i_p} * k_p; \quad P_2 = \frac{\sqrt{Q_2^2 + T_2^2}}{i_p} * k_p, \quad (4.8)$$

$P_1$  – навантаження на одну ведучу роликкоопору;

$P_2$  – те ж саме, на холосту;

$I_p$  – число роlikоопор в одному ряді, на які спирається виріб, для автоклава довжиною 3,18 м  $I_p = 4$ ;

$K_p$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження на роliках (для обгінних роликів (при  $I_p = 4$ ,  $K_p = 1,3$ );

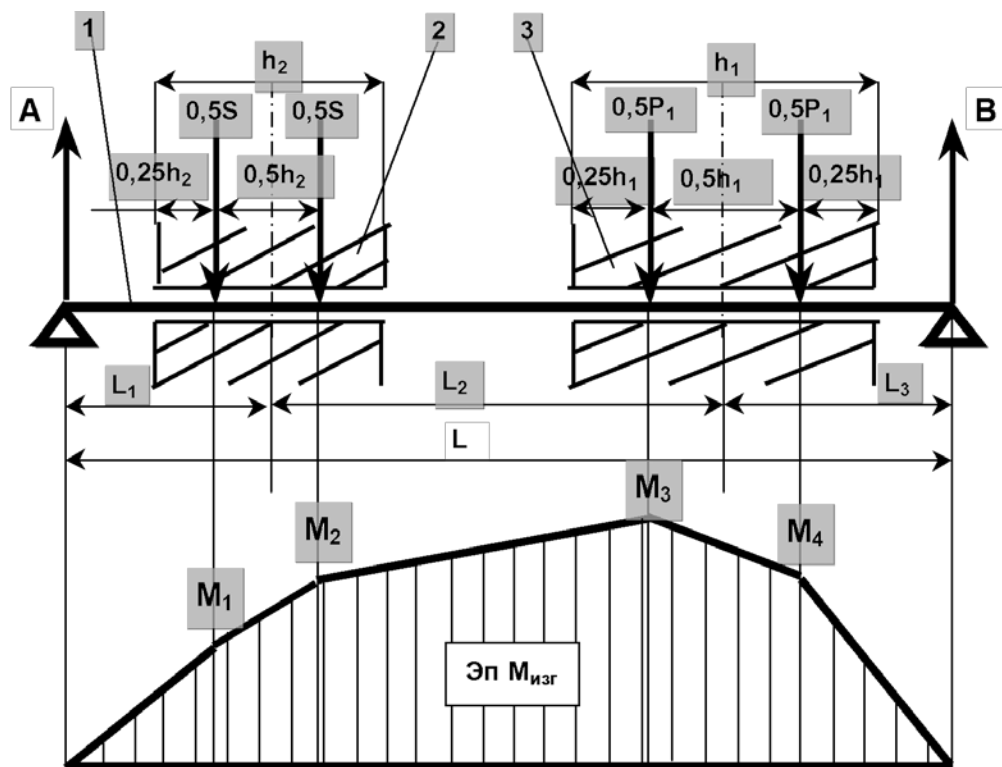
$$P_1 = \frac{\sqrt{10320^2 + 854,5^2}}{2} * 1,3 = 3236 \text{ Н};$$

$$P_2 = \frac{\sqrt{11097^2 + 200,3^2}}{2} * 1,3 = 3468 \text{ Н}.$$

При даному навантаженні обираємо моделі роlikоопор: привідна

РП – 0,5, перекидна холоста РХП – 0,5, з номінальним навантаженням на опору 5,0 кН.

**Розрахуємо вал привідної роlikоопори.** Розрахункова схема валу наведена на рисунку 4.5.



1 – вал; 2 – маточина черв'ячного колеса; 3 – маточина ролика

Рисунок 4.5 Розрахункова схема валу

Найбільше окружне зусилля у черв'ячному колесі

$$S = T_1 * \frac{D_p}{D_4} = 854,5 * \frac{41}{28,8} = 1216 \text{ Н}, \quad (4.9)$$

$D_4$  – діаметр початкової окружності черв'ячного колеса 28,8 см.

Під дією сил  $P_I$  та  $S$  вал привідної роликкоопори піддається вигину. Для спрощення розрахунку всі діючі на вал сили приведені в одну площину. Звичайними методами опору матеріалів визначаємо вигинаючі моменти в небезпечних перерізах валу та будуємо епюр вигинаючих моментів, при цьому всі розміри по довжині валу, маточині ролику та шестерні беремо з рисунку 4.1:

$$L = 40 \text{ см}, L_I = 8 \text{ см}, L_2 = 17,5 \text{ см}, L_3 = 14,5 \text{ см}; h_1 = 17,5 \text{ см}, h_2 = 11 \text{ см}.$$

Найбільший вигинаючий момент діє в перерізі III:

$$M_{III} = 29,37 \text{ кН*см}.$$

В інших перерізах вигинаючі моменти мають менші значення:

$$M_I = 11,27 \text{ кН*см};$$

$$M_{II} = 19,73 \text{ кН*см};$$

$$M_{IV} = 23,35 \text{ кН*см}.$$

Визначимо обертаючий момент  $M_{об}$  на валу:

$$\begin{aligned} M_{об} &= T_1 * \frac{D_p}{2} + (f \frac{d_b}{2} + \mu) * \sqrt{Q_1^2 + T_1^2} = \\ &= 854,5 * \frac{41}{2} + (0,02 * \frac{7}{2} + 0,3) * \sqrt{10320^2 + 854,5^2} = 21350 \text{ Н*см} = 21,35 \text{ кН*см} \end{aligned} \quad (4.10)$$

$d_6$  – діаметр валу в підшипниках  $d_6 = 7$  см.

Еквівалентний розрахунковий момент  $M_e$  буде дорівнювати

$$M_e = \sqrt{M_{III}^2 + M_{об}^2} = \sqrt{29,37^2 + 21,35^2} = 36,31 \text{ кН*см}$$

Знайдемо розрахунковий діаметр валу  $d_6$ :

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{10 * M_e}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10 * 36,31}{5,50}} = 4,04 \text{ см} \quad (4.11)$$

Враховуючи послаблення валу шпонками в кресленнях приймалися діаметри від 70 до 85 мм.

Необхідна потужність на привідному валу роликкоопор отримуємо з формули:

$$N_g = \frac{M_{об} * \Pi_m}{97500}, \quad (4.12)$$

$\Pi_m$  – частота обертання валу при маршовій швидкості, для нашого прикладу  $\Pi_m = 10$  об/хвил.

Отримуємо

$$N_g = \frac{21,35 \cdot 100 \cdot 10}{97500} = 0,22 \text{ кВт.}$$

Необхідна потужність привідного електродвигуна

$$N = N_g / \eta_0 = 0,22 / 0,40 = 0,55 \text{ кВт,}$$

де  $\eta_0$  – загальний КПД привідного механізму,  $\eta_0 = 0,4$ .

Перевіримо запас зчеплення привідних роликів з виробом

$$K_{зч} = \frac{Q_1 * \varphi}{T_1} \geq 3, \quad (4.13)$$

$\varphi$  – коефіцієнт зчеплення роликів з виробом, для обгінних роликів  $\varphi = 0,3 \div 0,4$ .

$$K_{зч} = \frac{10320 * 0,35}{854,5} = 4,23 > 3 \text{ зчеплення забезпечене.}$$

**Розрахуємо вал холостої роликкоопори.** Розрахункова схема валу наведена на рисунку 4.6.

Звичайними методами опору матеріалів [20] визначаємо вигинаючі моменти в небезпечних перерізах валу та будуємо епюр вигинаючих моментів, при цьому всі розміри по довжині валу беремо з рисунку 4.1:

$$L_3 = 14,5 \text{ см; } h_1 = 17,5 \text{ см.}$$

Найбільший згинаючий момент діє в перерізі II:

$$M_{II} = 17,56 \text{ кН*см.}$$

В іншому перерізі згинаючий момент має таке ж значення:

$$M_I = 17,56 \text{ кН*см;}$$

Допустима напруга на згін  $[\sigma] = 14 \text{ кН/см}^2$

Знайдемо розрахунковий діаметр валу  $d_g$ :

$$d_6 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \dot{I}_{\max}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 17,56}{3,14 \cdot 14,0}} = 2,34 \text{ см} \quad (4.13)$$

Враховуючи послаблення валу шпонками в кресленнях приймалися діаметри від 70 до 85 мм.

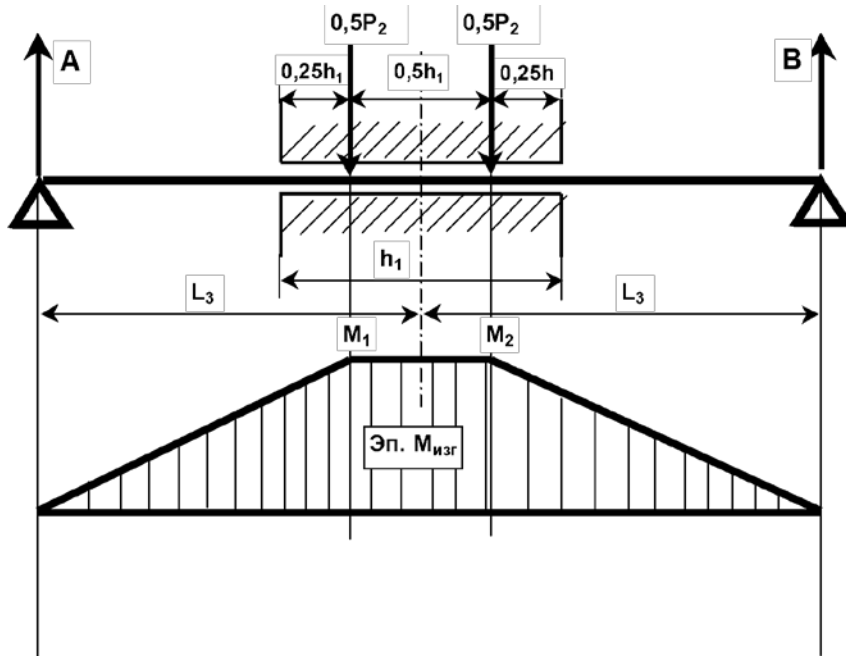


Рисунок 4.6 Розрахункова схема холостої роликкоопори

## 4.2 Висновки

Згідно проведеного розрахунку роликового стенду приймаємо:

1. Привідна роликкоопора РП – 0,5, перекидна холоста РХП – 0,5, з номінальним навантаженням на опору 5,0 кН.
2. Розрахований діаметр валу привідної роликкоопори 40 мм. Враховуючи послаблення валу шпонками в кресленнях приймалися діаметри 70мм.
3. Необхідна потужність привідного електродвигуна 0,22 кВт, а на стенді 0,55 кВт.
4. Розрахунковий діаметр валу холостої роликкоопори 23 мм. Враховуючи послаблення валу шпонками приймаємо діаметр 70мм.

## 5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

### 5.1 Інженерні рішення по підвищенню безпеки технологічного процесу та устаткування

Виробничі приміщення для збирально–зварювальних робіт повинні відповідати СНіП II-90-81, СН 245-71, ОНТП 24-86, санітарним правилам та іншим нормуючим документам [23].

Обсяг виробничого приміщення на одного працюючого складає 20 м<sup>3</sup>, а площа 6 м<sup>2</sup>, за виключенням площі, яку займає устаткування разом з проходами.

Для оздоровлення повітряного середовища в зварювальному цеху передбачені наступні заходи: заміна водяного опалення повітряним; місцевий відсмоктувач, умонтований у зварювальний автомат (з воронкоподібним витягом системи ВНІОП); використання загально-обмінної приточно–витяжної вентиляції.

Застосування місцевої витяжної вентиляції засноване на уловлюванні та віддаленні шкідливих речовин безпосередньо у джерела їх утворення. Витрати повітря  $L$ , яке підводиться від вмонтованого пилогазозабірника та зварювання під флюсом при струмі  $I = 775$  А знайдемо з формули:

$$L = 16 * \sqrt[3]{I} = 16 * \sqrt[3]{775} = 147 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрати повітря, що подається в приміщення загально-обмінною вентиляцією знаходять за формулою:

$$L_{np} = L + \frac{Z - L * (C_{p.z.} - C_{np})}{C_{уд} - C_{np}}, \quad (5.1)$$

$Z$  – кількість шкідливих речовин, які надходять до приміщення (мг/год);

$C_{p.z.}$ ;  $C_{np}$ ;  $C_{уд}$  – концентрація шкідливих речовин відповідно у повітрі робочої зони, в проточному та виділяемому повітрі (мг/м<sup>3</sup>).

$Z$  визначаємо за формулою:

$$Z = 1000 * m * Z_6, \quad (5.2)$$

$m$  – маса зварювальних матеріалів, кг/год;

$Z_6$  – питома виділення шкідливих речовин на 1 кг зварювального матеріалу, год/кг.



Для автоматичного зварювання під флюсом  $Z_6 = 0,024$  год/кг, тоді при  $m = 22,4$  кг/год:

$$Z = 1000 * 22,4 * 0,024 = 537,6 \text{ г/год.}$$

Концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони дорівнює гранично допустимій концентрації:  $C_{p.z.} = \text{ПДК} = 0,35 \text{ мг/м}^3$ .

Концентрація шкідливих речовин в проточному повітрі  $C_{np} = 0$ , а у видаляемому повітрі – знаходиться за формулою:

$$C_{y\delta} = C_{np} + 1,1 * (C_{p.z.} - C_{np}) \quad (5.3)$$

$$C_{y\delta} = 0 + 1,1 * (0,35 - 0) = 0,385 \text{ мг/м}^3.$$

Витрати повітря, що подається в приміщення системою загально-обмінної вентиляції:

$$L_{np} = 147 + \frac{537,6 - 147 * (0,35 - 0)}{0,385 - 0} = 1410 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Місце для забору свіжого повітря обирається з урахуванням напрямлення повітря, що переважає, удалині від місць забруднення.

Особи, молодші 18 років, до виконання електрозварювальних робіт не допускаються; жінки не допускаються до зварювання всередині замкнених та важкодоступних приміщень та до виконання ручного плазмового зварювання.

Зварники, які виконують роботи при виготовленні, монтажі та ремонті об'єктів котлонагляду піддаються випробуванням згідно вимог “Правил атестації зварювальників”.

Електрозварники, які допускаються до робіт, мають кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче II.

В закінченні розділу можливо зробити наступні висновки:

- проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів при виготовленні автоклава та розроблені заходи по їх усуненню;
- зроблено розрахунок вентиляції по результатам розрахунку викидів шкідливих речовин в приміщеннях.

## 5.2 Аналіз джерел забруднень на ділянці складання і зварювання

Відповідно до ГОСТу 17.21.04-77 джерела викидів шкідливих речовин поділяються на організовані і неорганізовані.

Неорганізованим називається викид спрямованих потоків, що надходять в атмосферу у вигляді направлених потоків газів у результаті порушення герметичності устаткування, а також при виконанні робіт на споруджуваних і ремонтваних замовленнях, що не мають систем газовідводу.

Організовані промислові викиди, надходять в атмосферу через спеціально споруджені газовідводи, повітроводи і труби.

Відповідно до ГОСТ 17.23.02-78 - для кожного джерела забруднень, повинні бути встановлені гранично допустимі норми викиду, що являють собою науково-технічний норматив, що забезпечує умови, що створюють граничну концентрацію, що перевищує граничнодопустимі норми для населення, рослинного і тваринного світу [23].

Значне забруднення повітря спостерігається там, де не локалізовані джерела забруднення повітря, не встановлена пилегазоочистна апаратура, і де боротьба з забрудненням повітря у виробничих приміщеннях здійснюється тільки засобами загально-обмінної вентиляції.

Держконтролю підлягають викиди підприємств для яких встановлені гранично припустимі норми, або тимчасово погоджені норми викидів.

Контроль за викидами здійснюється автоматичними приладами, а також за допомогою інструментальних методів виміру.

У процесі контролю визначаються наступні показники: концентрація забруднюючих речовин у газовому потоці, швидкість, температура, вологість і тиск газоповітряної суміші.

Основними джерелами забруднень навколишнього середовища при побудові суден є газові промислові викиди, рідкі і тверді відходи.

Газові промислові викиди утворюються в результаті провітрювання промислових будинків і суднових приміщень на різній стадії побудови суден: заготівельні цехи, стапельний, монтажно-добудований періоди і т.д.

Вони можуть містити шкідливі речовини, що неприємно пахнуть, і вибухонебезпечні речовини. Шкідливі і неприємно пахучі речовини утворюються при газо- і електрозварювальних роботах, а також при окремих технологічних процесах у ливарних, ковальських і інших цехах. До цих речовин відносяться пили і гази: окисли вуглецю, азоту, сірки і т.д.

Концентрація речовин у промислових викидах залежить від організації вентиляції об'єкта, і якщо не вжити заходів по її зниженню, може досягти значних величин. Наприклад, у системах місцевої вентиляції при електрозварювальних роботах вона складає 300 мг/м<sup>3</sup> повітря і більш.

Допустимий вміст пилу (С) у промислових викидах визначається по формулах:

- при об'ємі повітря, що викидається в атмосферу до 15000 м<sup>3</sup>/год (наприклад, вентилятор ВВД-9),  $C1=100K$ ;

- при об'ємі повітря, що викидається в атмосферу більш 15000м<sup>3</sup>/год,  
 $C2=(160-4L)K$ ;

$L$ -об'єм повітря, що видаляється, тис.м<sup>3</sup>/год;

$K$  - коефіцієнт, прийнятий залежності від гранично допустимої концентрації пилу. Визначається по таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Гранично припустима концентрація пилу

ГДК, мг/м <sup>3</sup>	До 2,0	2-4	4-6	Більш 6
К	0,3	0,6	0,8	1,0

Концентрація шкідливих і неприємно пахучих речовин у промислових викидах не повинна перевищувати в повітрі, що надходить у приміщення для провітрювання не більш 30% граничнодопустимих концентрацій для постійних робочих місць.

### 5.3 Заходи запобігання викидів у навколишнє середовище, а також їхньому зниженню

Основними заходами щодо зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу є удосконалення технологічних процесів, що виключає або зменшує викиди: створення нового покоління малогабаритних переносних отсорберів для зниження рівня і шкідливості викидів у замкнутих відсіках. Будівництво нових і підвищення ефективності існуючих очисних пристроїв; створення нових матеріалів що мають необхідні екологічні переваги (малотоксичні електроди, флюси, перетворювачі іржі); ліквідація джерела забруднень; комп'ютеризація техпроцесів, що дозволяє забезпечити точність виконання техрежимів та уникнути невиробничих втрат сировини й енергії.

При проектуванні будинків і споруджень необхідно користуватися правилами очищення поверхневих вод від забруднення їх стічними, одержати дозволу на спеціальне водовикористання за умови узгодження режиму споживання вод з наступними органами: державними санітарними і водними наглядами, органами охорони рибних запасів, геологічною і ветеринарною службами.

Критерій забруднень води - погіршення її якості, внаслідок зміни органолітичних властивостей і поява в її складі шкідливих речовин, що є небезпечними для людини, тваринного і рослинного світу.

З метою зниження забруднення ґрунтів різними промисловими відходами в практиці охорони земельних ділянок передбачаються заходи: утилізація, знешкодження методом спалювання, поховання на спецполігонах, організація удосконалення смітників.

При побудові автоклава доцільне застосування пиловловлювачів, у яких осідання пилу відбувається під дією сил інерції.

Повітря, що очищається, приводиться в обертальний рух, у результаті чого під дією відцентрової сили частки пилу відкидаються до стін патрубків і сковзаючи по них попадають у бункер.

Очищене від пилу повітря через внутрішню трубку виводиться з апарата.

Запилене повітря підводиться в систему зі швидкістю 16-22 м/с.

Обмеження вхідної швидкості обумовлене тим, що з подальшим її збільшенням ефективність очищення підвищується незначно.

Для очищення повітря від пилу і шкідливих речовин що викидаються вентиляторами в атмосферу пропонується використовувати апарат мокрої газоочистки ударно-інерційної дії - пиловловлювач вентиляційний мокрий (ПВМ) для дрібного пилу і "Циклон".

"Циклон" - пристрій для відділення твердих, великих часток від газу. Газ, що очищається, надходить в "Циклон", закручується в циліндричній частині корпусу, що утворює кільцевий простір, частки відкидаються до стінок і зсипаються в нижню частину "Циклона", що має форму конуса (повітря виводиться через верхню частину) [20].

Отже, проведено аналіз джерел забруднення навколишнього середовища при виготовленні автоклава; розроблено заходи по обмеженню забруднень навколишнього середовища.

## Загальні висновки кваліфікаційної роботи

На основі проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

Для виготовлення автоклава для варки скла використовується сталь СтЗпс, яка добре зварюється усіма способами зварювання.

Для зварювання стикових з'єднань з обробленням кромки рекомендуємо автоматичне зварювання у середовищі  $\text{CO}_2$  у два проходи. Для подовжнього шва на керамічних підкладках, а кільцевого шва на підкладних кільцях.

Зварювання таврових і кутових з'єднань рекомендуємо зварювати механізованим зварюванням у  $\text{CO}_2$ .

Розрахунок термічного циклу показує, що при зварюванні стикових зварних з'єднань у структурі ЗТВ існує може утворитися до 48% мартенситу з твердістю 307 HV, що вимагає проведення попереднього підігрівання. При зварюванні таврових і кутових з'єднань розрахунок показує ферито-перлітну структуру з необхідними міцністними властивостями.

У розробленому технологічному процесі виготовлення автоклаву запропоновані технічні рішення, які дозволять:

- використання автоматичної установки для обрізки торцевих кромки обичайок і днищ, що дозволяє механізувати газорізальні операції;
- заміна стикового зварного з'єднання з двостороннім обробленням кромки, що в результаті вимагає додаткової операції стругання кореня шва, на стикове зварне з'єднання з односторонньою обробкою кромки;
- застосування для зварювання спеціалізованих автоматичних і напівавтоматичних установок;
- розроблено технологію контролю якості автоклаву та методи виправлення дефектів зварних з'єднань.

Впровадження перерахованих нововведень дозволяє:

- знизити трудомісткість виготовлення виробу;
- підвищити якість виробу;
- скоротити технологічний цикл зварювальних операцій;
- поліпшити умови праці зварників.

## Перелік літератури

1. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1995. - 166 с.
2. Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1998. - 373 с.
3. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
4. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г.Биковський, І.В. Пінковський. – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
5. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізвуглецевих сплавів: Навч. посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 236 с.
6. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
7. Сварочное оборудование. Каталог-справочник.4 –Киев: “Наукова думка”, 1983. – 450 с.
8. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением: Учеб. для вузов [Текст] / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич; [Ред. изд. Т.Е. Черешнева]. - М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.
9. Технология электрической сварки плавлением. – Под ред. Патона Б.Е. – М.: К. – Машгиз, 1962. – 664 с.
10. Теория сварочных процессов [Текст]/ Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
11. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочник: В 2 т. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы/ С.А. Курланов, П.Н. Потапов и др.– М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
12. Гитлевич А.Д., Етингоф А.А. Механизация и автоматизация сварочно-го производства. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.

- 13.Механізація котельно – заготівельного та складально – зварювального виробництва/ Д.Т.Логанов, М.Т. Баранніков, Ю.К. Петропавловський та ін. – М.: Машинобудування, 1989. – 120 с.
- 14.Ахметов А.Р. Автоматическая сварка корпусов теплообменных аппаратов “Технология судостроения” №1, 1984 – 24-27с.
- 15.Сварочное оборудование. Каталог-справочник.4 –Киев: “Наукова думка”, 1983. – 450 с.
- 16.Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
- 17.Рыков А.М. Расчет и выбор режима дуговой сварки и параметров швов сварных соединений. – Николаев. НКИ, 1980. – 41 с
- 18.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.
- 19.14Севбо П.І. Конструювання та розрахунок механічного зварювального устаткування/ Київ, Наук. думка, 1978. – 400 с.
20. 15Опір матеріалів/ Під ред. акад. АН УСССР Пісаренко Г.С. – 5-е вид., перероб. та доп. – К.: Вища шк. Головне вид-во, 1986. – 775 с.
- 21.Романів В. Є., Лазарюк В. В. Особливості застосування сумішей захисних газів при напівавтоматичному зварюванні плавким електродом // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / Романів В. Є., Лазарюк В. В. // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – с.18-19.
- 22.Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005.- 268 с.
- 23.Жидецький В.Ц., Джигірей В.С. Основи охорони праці. – Львів:”Афіша”, 2000.-350 с.