Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: **Обгрунтування параметрів процесу електродугового зварювання корпусу контейнера**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи $МП_м$-61
спеціальності
131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Пасічник А.С. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Барановський В.М. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль (підпис) Ткаченко І.Г. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри (підпис) Окіпний І.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2022

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*
(повна назва факультету)

Кафедра *інжинірингу машинобудівних технологій*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Окіпний І.Б
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2022 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *магістр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту *Пасічник Артем Сергійович*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Обгрунтування параметрів процесу електродугового зварювання корпусу контейнера*

Керівник роботи *Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «*11» листопада 2022* року *№ 4/7-904*
2. Термін подання студентом завершеної роботи *. 15.12.2022 р.*
3. Вихідні дані до роботи: *ескізний проект деталі, базовий процес зварювання корпусу контейнера*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналітична частина. 2.Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина. 4. Проєктна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів):
креслення корпусу контейнера, базовий технологічний процес зварювання

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	*К.т.н., доц. Ткаченко І.Г.*		
Безпека в надзвичайних	*Д.т.н., проф. Стадник І.Я.*		
ситуаціях			

7. Дата видачі завдання *15 листопада 2022 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналітична частина*	16.11-20.11	
2	*Науково-дослідна частина*	21.11-30.11	
3	*Технологічно- конструкторська частина*	01.12-07.12	
4	*Проєктна частина*	07.12-.11.12	
5	*Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях*	12.12-15.12	
6	*Графічна частина*	20.11-15.20	

Студент _____ *Пасічник А.С.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Барановський В.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пасічник А.С. Обгрунтування параметрів процесу електродугового зварювання корпусу контейнера. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 131 Прикладна механіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2022.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 23 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 70 сторінках, має 20 рисунків і 18 таблиць.

Мета роботи – підвищення якості зварних з'єднань шляхом обгрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання поздовжніх і кільцевих швів корпусу контейнера.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано існуючу та розроблено нову технологію збирання та зварювання контейнера.

Розраховано параметри режимів зварювання, вибрано зварювальне обладнання та супутні матеріали.

Спроектована установка для складання та зварювання корпусу контейнерів, що дозволяло суттєво зменшити трудомісткість та підвищити якість його виготовлення.

У розділі з безпеки життєдіяльності описано правила виробництва робіт, які забезпечують безпечні умови праці на складально-зварювальній ділянці.

Ключові слова: *технологія, захисний газ, флюс, шов, електрод, струм, напруга, виріб, устаткування, складально-зварювальне пристосування*.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА …….. 9
1.1. Аналіз конструкції виробу ……. 9
1.2. Матеріал виробу та його зварюваність …… 9
1.3. Умови експлуатації виробу 12
1.4. Постановка задач та методи їх вирішення …….. 13
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ……... 15
2.1. Обгрунтування параметрів технологічного процесу електродугового зварювання деталей корпусу контейнера ……. 15
2.2. Обгрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу деталей корпусу контейнера 15
2.3. Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень ……. 29
3. ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА ……. 31
3.1. Базовий варіант технологічного процесу …… 31
3.2. Проектований варіант технологічного процесу …….. 34
3.3. Вибір способу зварювання 35
3.4. Розрахунок параметрів зварювання корпусу контейнера …….. 41
3.4.1. Розрахунок параметрів зварювання для поздовжнього стику та кільцевих швів обичайки …… 41
3.4.2 Розрахунок параметрів механізованого зварювання в суміші захисних газів плавким електродом …… 47
4. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА ……... 53
4.1. Вибір зварювального та збирального обладнання …….. 53
4.2. Планування обладнання та робочих місць ділянки …… 59
4.3. Контроль якості зварних з’єднань …… 62
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ …… 64

5.1. Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці складання та зварювання виробу …….. 64
5.2. Техніка безпеки під час зварювальних робіт …….. 65
5.3. Пожежна безпека …… 67
5.4. Безпека під час роботи з підйомними пристроями ……. 68
ВИСНОВКИ ……..... 70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 71
ДОДАТКИ 73

ВСТУП

Актуальність теми. Існуюча технологія виготовлення корпусу контейнера із сталі 30ХГСА, яка відноситься до середньовуглецевої легованої сталі перлітного класу передбачає певні труднощі процесу зварювання деталей.

Складністю при зварюванні цих сталей є утворення загартованих структур у шві та зоні термічного впливу, які можуть призвести до крихкого руйнування шва.

У зв'язку з цим для отримання якісного зварного з'єднання необхідно: вибрати зварювальні матеріали та визначити технологічні прийоми та режими зварювання; виконати контроль якості з'єднань відповідно до вимог КД.

Після вивчення існуючого процесу складання та зварювання контейнера запропоновано замінити ручне дугове зварювання поздовжніх та кільцевих швів корпусу контейнера на автоматизоване під шаром флюсу, а зварювання шпангоутів і прихваток – на механізоване в середовищі захисного газу.

Метою дослідження є підвищення якості зварних з’єднань шляхом обгрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання поздовжніх і кільцевих швів корпусу контейнера.

Задачі дослідження:

- на основі аналізу існуючих технологій розробити удосконалену технологію збирання та зварювання корпусу контейнера;

- дослідити параметри електродугового зварювання корпусу контейнера;

- розрахувати параметри та режими автоматизованого електродугового зварювання деталей контейнера під шаром флюсу та в захисному газі;

- вибрати зварювальне обладнання та супутні матеріали;

- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зварювання корпусу контейнера.

Предмет дослідження – параметри та режими автоматичного електродугового зварювання поздовжніх і кільцевих швів корпусу контейнера.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень зварювання та математичної статистики.

Отримані результати. Запропоновано удосконалену технологію збирання та технологічний процес електродугового зварювання корпусу контейнера та досліджено основні процеси зварювання**.**

Практичне значення. Результати роботи можна застосовувати під час розрахунку параметрів і режимів електродугового зварювання.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2022 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2022 р., м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, 5 розділів пояснювальної записки, 7 додатків і списку використаних джерел з 23 найменувань. Основний зміст пояснювальної записки виконано на 70 сторінках, має 20 рисунків і 18 таблиць.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз конструкції виробу

Контейнер є оболонковою конструкцією, що складається з обичайки 1 (рис. 1.1), днища 2, горловини 3 та шпангоутів 4. Цей контейнер є герметичним виробом, призначеним для зберігання рідких відходів.

Геометричні розмірні параметри виробу такі:

- довжина виробу становить 838 мм;
- діаметр корпусу 430 мм;
- товщина стінки 4 мм;
-товщина днища складає 100 мм;
- кількість шпангоутів – 2 шт.

При виготовленні виробу виконується один поздовжній шов, довжиною 660 мм і два кільцеві шви, довжиною 430 мм кожен, які з'єднують обичайку з горловиною та днищем.

Зварювання обичайки зі шпангоутами, виконують кутовими швами в шаховому порядку. Внутрішні шпангоути виконані з прокатного двотавра і забезпечують необхідну жорсткість конструкції, а також оберігають стінку обичайки від короблення, яке може статися в процесі зварювання та термообробки виробу.

Днище контейнера товщиною 100 мм забезпечує стійкість виробу від перекидання.

1.2 Матеріал виробу та його зварюваність

Матеріалом виробу є сталь 30ХГСА за ГОСТ 4543-71, яка відноситься до середньо вуглецевих легованих сталей перлітного класу.

Механічні властивості матеріалу, або сталі 30ХГСА [1, с. 179], зазначені в табл. 1.1. Хімічний склад сталі 30ХГСА наведено у табл. 1.2.

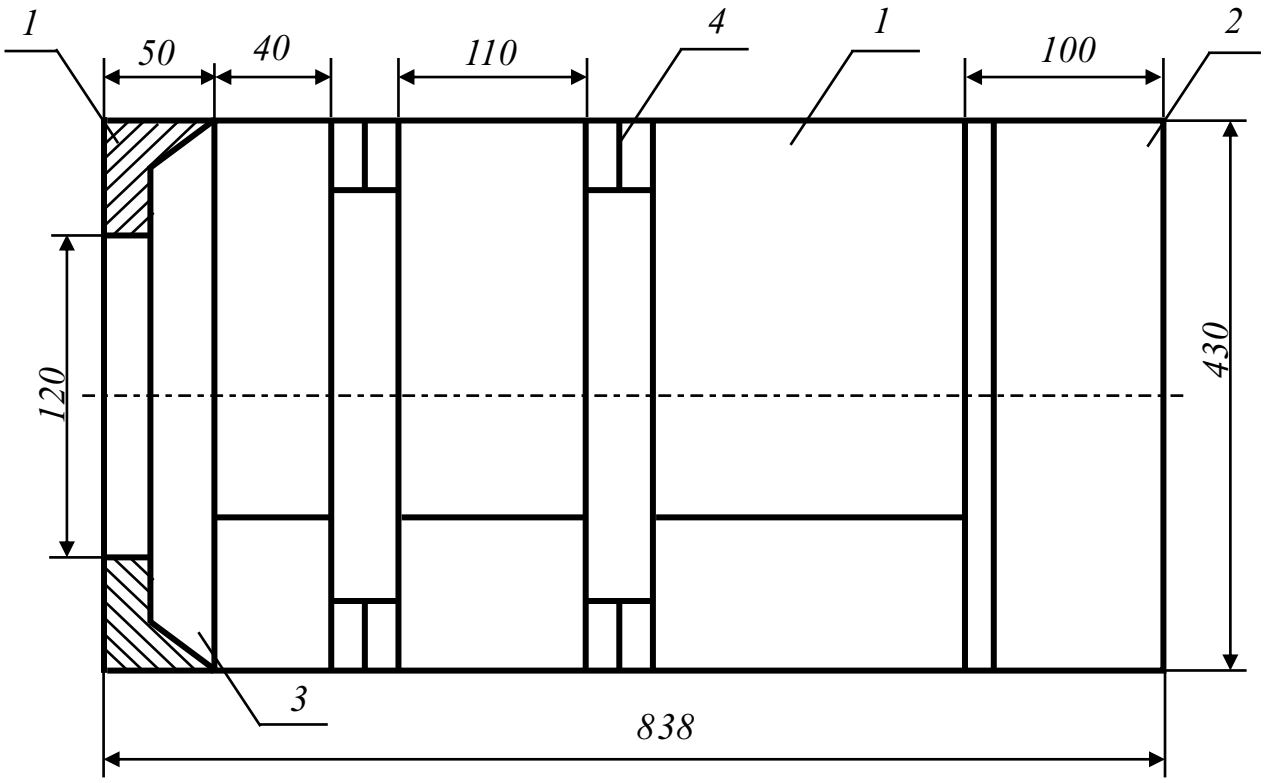


Рисунок 1.1 – Ескізний проект контейнера: 1 – обичайка; 2 – днище; 3 – горловина; 4 – шпангоут

Особливістю при зварюванні даної сталі є утворення гартових структур у шві та зоні термічного впливу (ЗТВ), що створюють небезпека крихкої руйнації.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості виробу із сталі 30ХГСА: загартування 880^0 С, масло; відпустка 600^0 С, вода

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	δ_5, %	ψ, %	KCU, Дж/м^2	HB
940	1040	19	62	127	300

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 30ХГСА по ГОСТ 4543-71 в %

C	*Cr*	*Mn*	*Si*	*Ni*	*Mo*	*S*	*P*
0,3	0,8..1,2	0,8..1,1	0,8..1,1	0..0,3	0..0,3	0,025	0,025

Підвищений вміст вуглецю в сталі 30ХГСА сприяє схильності до перегріву та загартування, утворення гарячих і холодних тріщин у зварному з'єднанні та пор у шві та зоні термічного впливу (ЗТВ), що створюють небезпеку крихкого руйнування.

Для оцінки схильності металу зварного з'єднання до тріщино утворення в процесі зварювання необхідно виконати відповідні розрахунки [1].

Для оцінки схильності сталі до утворення холодних тріщин визначимо загальний еквівалент вуглецю за формулою (1.1)

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr+V}{5} + \frac{Ni}{10} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \le 0{,}45\% \qquad (1.1)$$

$$C_{экв} = C + \frac{1.1}{6} + \frac{1.1}{24} + \frac{1.2}{5} + \frac{0.3}{10} + \frac{0.3}{4} + \frac{0.3}{13} + \frac{0.025}{2} = 0{,}79\%$$

У зв'язку з тим, що $C_{екв}$ більше 0,45% для запобігання утворенню холодних тріщин для даної марки стали необхідний попередній підігрів кромок.

Розрахунок температури попереднього підігріву виконаємо за формулою (1.2)

$$T = 350 * (C_{об} - 0{,}25)^{0{,}5} \qquad (1.2)$$

де: $C_{об}$ – узагальнений вуглецевий еквівалент.

Узагальнений вуглецевий еквівалент $C_{об}$ розраховується за формулою

$$C_{об} = C'^{Сеф}_{экв} * (1 - 0{,}005t) \qquad (1.3)$$

де t = 4 мм, товщина металу.

$$C'^{Сеф}_{экв} = \mathrm{C} + \frac{\mathrm{Mn} + \mathrm{Cr}}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \qquad (1.4)$$

$$C'^{Сеф}_{экв} = 0{,}3 + \frac{1{,}1 + 1{,}2}{9} + \frac{0{,}3}{18} + \frac{7 * 0{,}3}{90} = 0{,}59$$

$$C_{об} = 0{,}59 * (1 - 0{,}005 * 4) = 0{,}578$$

$$T = 350 * (0{,}578 - 0{,}25)^{0{,}5} = 200{,}55C$$

Призначимо температуру попереднього підігріву $T = 200$ °С

Для оцінки схильності металу шва до утворення гарячих тріщин використовується формулою (1.5)

$$HSC = \frac{C \cdot (S + P + 0{,}04 \cdot Si + 0{,}01 \cdot Ni) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad (1.5)$$

Гарячі тріщини, як правило, утворюються в металі зварного з'єднання, який складається з основного та наплавленого металу.

Для автоматичної зварювання частка наплавленого металу становить 45%, а основного 55%.

Враховуючи частку основного та наплавленого металу, а також хімічний склад сталі (див. табл. 1.1) та зварювального дроту (див. табл. 2.4) визначаємо безрозмірний показник схильності металу до утворення гарячих тріщин по формулі (1.6)

$$HSC = 0{,}55 \cdot \left(\frac{0{,}3 \cdot (0{,}025 + 0{,}025 + 0{,}04 \cdot 1{,}1 + 0{,}01 \cdot 0{,}3) \cdot 10^3}{3 \cdot 1{,}1 + 1{,}2 + 0{,}3} \right) +$$

$$+ 0{,}45 \cdot \left(\frac{0{,}18 \cdot (0{,}025 + 0{,}025 + 0{,}04 \cdot 0{,}3 + 0{,}01 \cdot 0{,}3) \cdot 10^3}{3 \cdot 0{,}7 + 1{,}2 + 1{,}1} \right) = 2{,}8 + 1{,}09 = 3{,}89.$$

Отримане значення $HSC < 4$, тому гарячі тріщини не утворюються, супутній підігрів не потрібно [2, с. 58].

1.3 Умови експлуатації виробу

Контейнер є герметичним виробом, який призначений для довготривалого зберігання рідких неагресивних промислових відходів за температури від -20 до +40 (^{0}С).

Продукти, що зберігаються поміщаються в контейнер способом наливу через горловину. У процесі експлуатації контейнер сприймає статичне навантаження, яке буде виникати під дією сили ваги продукту, що зберігається в об’ємі контейнера

1.4 Постановка задач та методи їх вирішення

Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик виробництва корпусу контейнера шляхом забезпечення якісних швів процесу зварювання деталей за рахунок обгрунтування параметрів і режимів електродугового зварювання та застосування сучасного технологічного обладнання.

Задачі, які виносяться на кваліфікаційну роботу магістра:

- проаналізувати існуючі технології виготовлення корпусу контейнера ;
- на основі аналізу обгрунтувати прогресивний спосіб зварювання деталей корпусу контейнера;
- провести розрахунок параметрів і режимів електродугового зварювання;
- виконати комплекс наукових досліджень процесу зварювання.

Відповідно до поставленого завдання для забезпечення основних вимог при зварюванні контейнера можуть використовуватися наступні способи зварювання:

1) Ручне дугове зварювання штучними електродами;

2) Лазерне зварювання;

3) Електронно-променеве зварювання;

4) Автоматичне зварювання під шаром флюсу;

5) Напівавтоматичне зварювання в середовищі захисного газу (суміші газів);

6) Автоматичне зварювання серед захисного газу (суміші газів).

Аналіз 1-го методу.

Ручне дугове зварювання характеризується мобільністю обладнання і використовується для зварювання у важкодоступних місцях. До недоліків даного методу відноситься – мала продуктивність процесу та залежність якості зварного шва від практичних навичок зварювальника.

Аналіз 2-го та 3-го способів.

Представлені методи зварювання застосовуються при зварюванні тугоплавких та хімічно активних металів.

Використання цих методів передбачає значні витратами електроенергії та наявність сучасного обладнання.

Аналіз 4-го методу.

Даний метод відрізняється високою продуктивністю та використовується при виробництві конструкцій зі сталей та сплавів. А також цей метод характеризується стабільністю властивостей зварного з'єднання та низькою витратою зварювальних матеріалів. До недоліків можна віднести можливість виконання робіт тільки в нижньому положенні, тому що відбувається стікання розплавлених флюсу і металу при відхиленні площини шва від горизонталі. Даний метод використовують для протяжних швів.

Аналіз 5-го методу.

Даний спосіб відрізняється високою продуктивністю. Також цей спосіб характеризується рівномірною швидкістю зварювання, можливість використання кількох установок одночасно, високою автоматизацією.

Аналіз 6-го способу.

Зварювання в захисних газах передбачає з'єднування вручну, напівавтоматичне або автоматичне з’єднання.

При чому деталь в просторі може бути в різних положеннях, а товщина сягати від десятих часток до десятків міліметрів. Навіть при малих зварювальних струмах даний вид зварювання забезпечує стабільне горіння дуги.

Після вивчення існуючого процесу складання та зварювання контейнера запропоновано замінити ручне дугове зварювання поздовжніх та кільцевих швів корпусу контейнера на автоматизоване під шаром флюсу, а зварювання шпангоутів і прихваток – на механізоване в середовищі захисного газу.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Обгрунтування параметрів технологічного процесу електродугового зварювання деталей корпусу контейнера

Обгрунтування параметрів технологічного процесу зварювання деталей корпусу контейнера проведемо в два основні етапи згідно з проведеним аналізом і вибраними нами технологіями зварювання відповідних деталей корпусу контейнера:

- автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу;
- механізованого електродугового зварювання в середовищі захисного газу.

При цьому будемо визначати основні параметри процесу електродугового зварювання деталей корпусу контейнера:

- силу зварювального струму $I_{зв}$, А;
- напругу дуги зварювання $U_д$, В;
- швидкість зварювання $\vartheta_{зв}$, м/с;
- швидкість подачі електродного дроту $\vartheta_{п.д}$, м/с.

2.2 Обгрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу деталей корпусу контейнера

Автоматизованим електродуговим зварювання під шаром флюсу будемо виконувати зварювання обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням з застосуванням мідної підкладки.

При цьому:

- зварювальний струм є постійним і має зворотну полярність;
- вибираємо зварювальний дріт марки Св-12Х2НМА;
- вибираємо флюс марки АН 348А.

Схема до розрахунку параметрів автоматичного зварювання під шаром флюсу зварного з'єднання представлене на рис. 2.1.

Сила зварювального струму $I_{зв}$ (А) під час виконання автоматичного зварювання під шаром флюсу обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням з застосуванням мідної підкладки визначається за відомою формулою

$$I_{зв} = \Omega h_p . \tag{2.1}$$

де Ω – коефіцієнт, який залежить від вибраної технології електродугового зварювання;

h_p – глибина проплавлення основного металу, яка розраховується залежно від заданих конструктивних розмірів шва, мм.

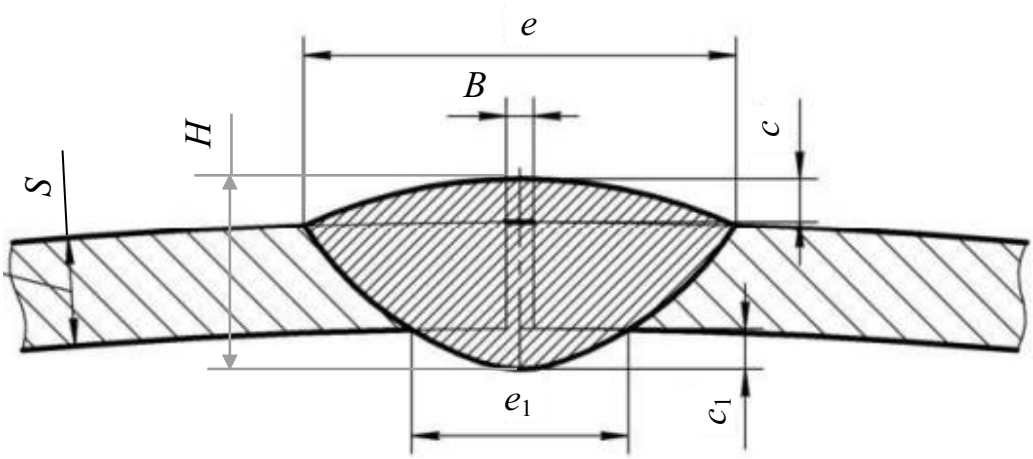


Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку параметрів автоматичного зварювання під шаром флюсу

При цьому розрахункова глибина h_p проплавлення основного металу визначається за залежністю

$$h_p = H - \frac{F_н}{0{,}73e}, \tag{2.2}$$

де H – висота утвореного зварювального шва, мм;

$F_н$ – площа наплавленого металу, мм^2;

Тоді

$$F_н = 0{,}73ec + BS + 0{,}73e_1c_1 = 0{,}73\left(ec + e_1c_1\right) + BS\,. \tag{2.8}$$

При цьому з урахуванням формул (2.3) і (2.8) маємо

$$I_{зв} = \Omega\left(H - \frac{0{,}73\left(ec + e_1c_1\right) + BS}{0{,}73e} \right). \tag{2.9}$$

Згідно з рис. 2.1 висота зварювального шва Н буде визначатися як

$$H = S + c + c_1\,. \tag{2.10}$$

Таким чином остаточна формула, яка характеризує функціональну залежність зміни зварювального струму $I_{зв}$ від геометричних параметрів зварювального шва під час автоматичного зварювання під шаром флюсу обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням і застосуванням мідної підкладки та з урахуванням формул (2.3), (2.9) і (2.10) буде мати вигляд

$$I_{зв} = \Omega\left(S + c + c_1 - \frac{0{,}73\left(ec + e_1c_1\right) + BS}{0{,}73e} \right), \tag{2.11}$$

або

$$I_{зв} = \Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e} \right). \tag{2.12}$$

При початкових умовах Ω = 70-80-90, c = 1,5 мм, c_1 = 1,5 мм, e_1 = 4 мм, B = 1 мм згідно з формулою (2.12) побудовано тривимірну графічну залежність зміни зварювального струму $I_{зв}$ залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $I_{зв} = f\left(S, e\right)$.

Графічну залежність зміни зварювального струму $I_{зв}$ залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $I_{зв} = f\left(S, e\right)$ наведено на рис. 2.2а, а на рис. 2.2б наведено залежність зміни зварювального струму $I_{зв}$ як функція $I_{зв} = f\left(S\right)$.

e – ширина зварювального шва, мм;

Тоді з врахуванням формул (2.1) та (2.2) сила зварювального струму $I_{зв}$ визначається за формулою

$$I_{зв} = \Omega\left(H - \frac{F_н}{0{,}73e} \right). \tag{2.3}$$

При цьому площа наплавленого металу $F_н$ визначається залежно та згідно з конструктивними геометричними розмірами шва (рис. 2.1)

$$F_н = F_в + F_з + F_{зв}; \tag{2.4}$$

де $F_в$ – площа наплавленого валика, мм^2;

$F_з$ – площа наплавленого металу в зазор, мм^2;

$F_{зв}$ – площа наплавленого зворотного валика, мм^2.

Відповідні площі наплавленого металу визначаються на наступними формулами:

- площа наплавленого валика $F_в$

$$F_в = 0{,}73ec; \tag{2.5}$$

- площа наплавленого металу в зазор $F_з$

$$F_в = BS, \tag{2.6}$$

де B – зазор між зварювальними кромками, мм;

S – товщина зварного з'єднання, мм;

c – висота підсилення зварювального шва, мм;

- площа наплавленого зворотного валика $F_{зв}$

$$F_в = 0{,}73e_1c_1, \tag{2.7}$$

де e_1 – ширина підсилення шва з зворотної сторони, мм;

c_1 – висота підсилення шва з зворотної сторони, мм.

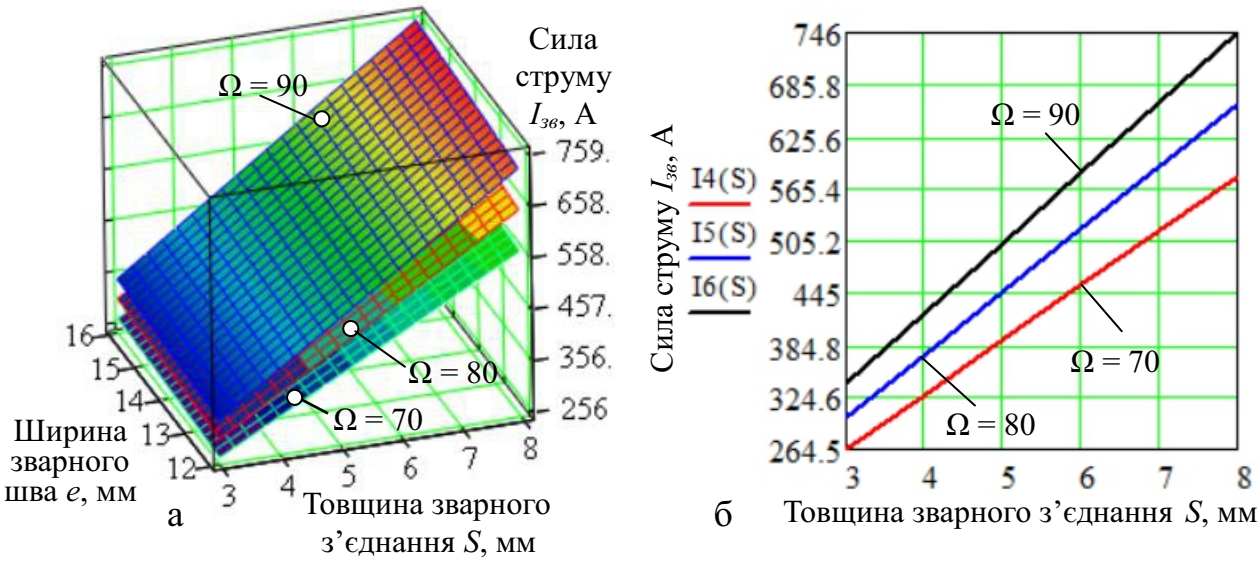


Рисунок 2.2 – Залежність зміни зварювального струму $I_{зв}$ як функція: а – $I_{зв} = f(S,e)$; б – $I_{зв} = f(S)$

Аналіз наведених залежностей (рис. 2.2) показує, що сила зварювального струму $I_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом змінюється в межах від 264,5 до 746 А залежно від конструктивно-геометричних розмірів зварного шва (ширини e та товщини S зварного шва), а також від конструктивного коефіцієнта Ω.

При цьому зміна $I_{зв}$ має прямопропорційний характер – зі збільшенням e та S сила зварювального струму $I_{зв}$ також збільшується, причому домінуючий вплив, який призводить до значного збільшення $I_{зв}$ має товщина зварного шва S. При збільшенні товщини зварного шва S в межах від 3 до 8 мм сила зварювального струму $I_{зв}$ збільшується приблизно в межах 300…400 А, або приблизно в 2 рази.

На рис. 2.3 наведено номограму для визначення сили зварювального струму $I_{зв}$, яку побудовано згідно з залежністю (2.12) як функція $I_{зв} = f(S,e)$.

Користуються номограмою наступним чином.

Вибирають геометричні розміри шва, наприклад, товщина зварного шва S = 5 мм (рис. 2.3), а ширина e = 14 мм.

Тоді на пересічені двох прямих ліній кривої залежності (точка А) встановлюють значення сили зварювального струму $I_{зв}$, при цьому:

- за Ω = 70 с$^{-1}$ сила струму дорівнює $I_{зв}$ = 400 А (червона крива);
- за Ω = 80 с$^{-1}$ сила струму дорівнює $I_{зв}$ = 450 А (синя крива);
- за Ω = 90 с$^{-1}$ сила струму дорівнює $I_{зв}$ = 500 А (чорна крива).

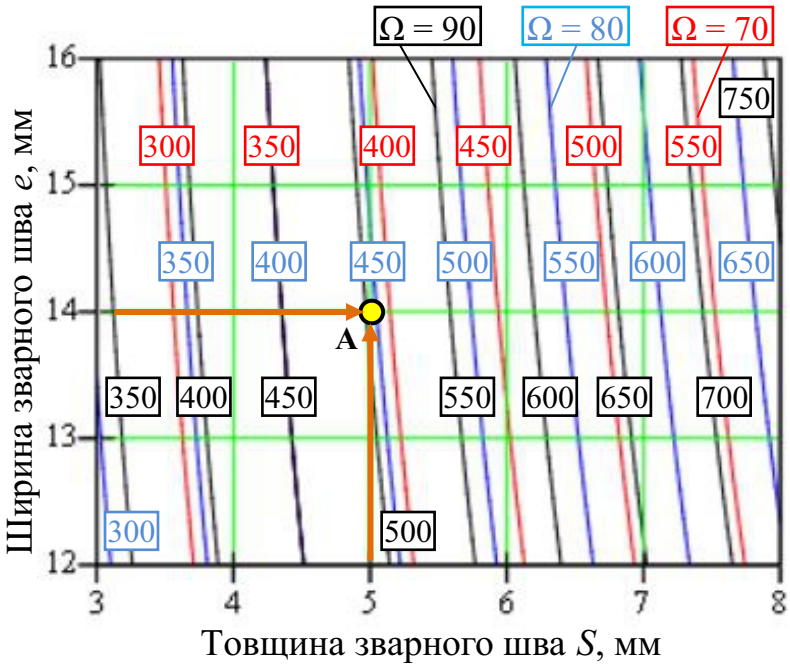


Рисунок 2.3 – Номограма для визначення сили зварювального струму $I_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання

Обгрунтування напруги дуги $U_д$ (В) автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом проведемо наступним чином.

Визначаємо напругу дуги зварювання, при цьому напруга дуги $U_д$ електродугового зварювання постійним зварювальним струмом з зворотною полярністю визначається за відомою формулою

$$U_д = \Theta + \frac{KI_{зв}}{1000\sqrt{d_e}} \pm 1. \qquad (2.13)$$

де K – коефіцієнт, який залежить від виду електродугового зварювання, В мм/А;

d_e – діаметр електродного дроту, мм.

Θ – напруга приросту, В.

Підставивши у формулу (2.13) значення зварювального струму $I_{зв}$ з виразу (2.12), отримаємо

$$U_{д} = \Theta + \frac{K\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0,73e} \right)}{1000\sqrt{d_e}} \pm 1 . \qquad (2.14)$$

Діаметр електродного дроту d_e визначимо з залежності

$$d_e = 1,13\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}} , \qquad (2.15)$$

де j – допустима щільність струму на вильоті електроду, А/мм^2.

Тоді з урахуванням (2.14) і (2.15) маємо

$$U_{д} = \Theta + \frac{K\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0,73e} \right)}{\sqrt{1,13}\cdot 1000\left(\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}} \right)^{\frac{1}{2}}} \pm 1 . \qquad (2.16)$$

Таким чином остаточна формула, яка характеризує функціональну залежність зміни напруги дуги зварювання $U_{д}$ від геометричних параметрів зварювального шва під час автоматичного зварювання постійним зварювальним струмом з зворотною полярністю під шаром флюсу обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням і застосуванням мідної підкладки та з урахуванням формул (2.12) і (2.17) буде мати вигляд

$$U_{д} = \Theta + \frac{K\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0,73e} \right)}{\sqrt{1,13}\cdot 1000\left(\sqrt{\frac{\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0,73e} \right)}{j}} \right)^{\frac{1}{2}}} \pm 1 , \qquad (2.17)$$

$$U_{\partial} = 20 + \frac{K\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}{\sqrt{1{,}13}\cdot 1000\frac{\left(\sqrt{\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\sqrt{j}\right)^{\frac{1}{2}}}} \pm 1\,, \qquad (2.18)$$

або

$$U_{\partial} = 20 + \frac{K\sqrt[3]{\Omega^2}\sqrt[3]{\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)^4}\left(\sqrt{j}\right)^{\frac{1}{2}}}{1000\sqrt{1{,}13}} \pm 1. \qquad (2.19)$$

При початкових умовах Θ = 20 В, K = 50 В мм/А, Ω = 70-80-90 с$^{-1}$, c = 1,5 мм, c_1 = 1,5 мм, e_1 = 4 мм, B = 1 мм, j = 60 А/мм^2 згідно з формулою (2.19) побудовано тривимірну графічну залежність зміни напруги дуги зварювання U_{∂} залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $U_{\partial} = f(S, e)$.

Графічну залежність зміни напруги дуги зварювання U_{∂} залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $U_{\partial} = f(S, e)$ наведено на рис. 2.4а, а залежність $U_{\partial} = f(S)$ – на рис. 2.4б.

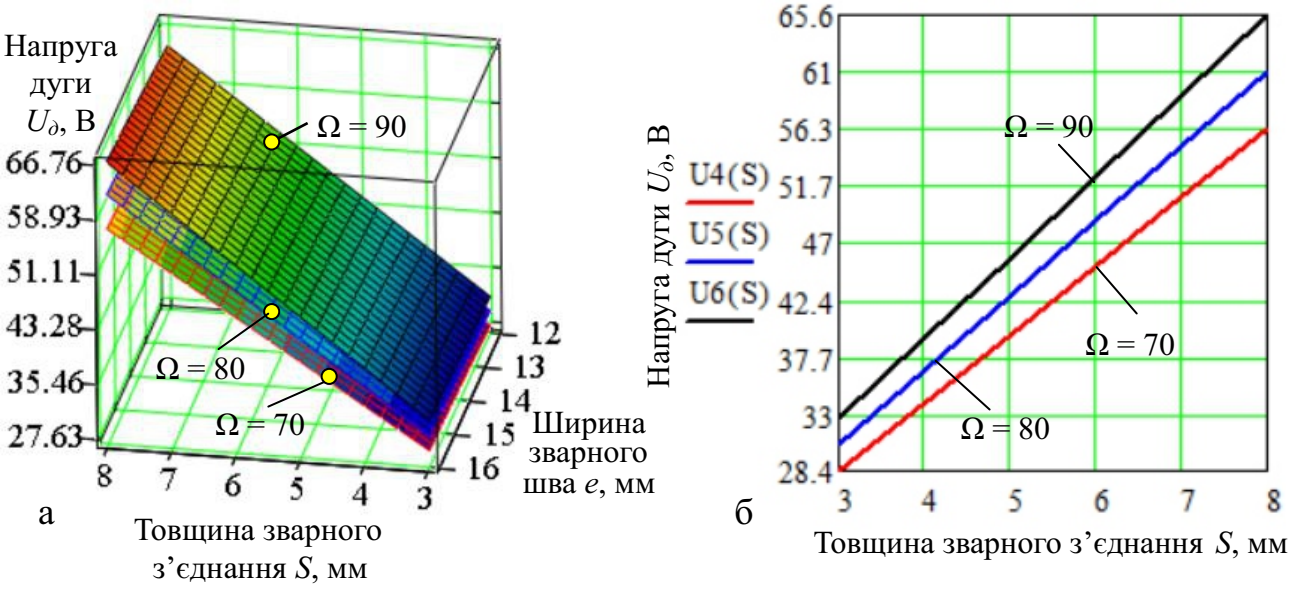


Рисунок 2.4 – Залежність зміни напруги дуги зварювання U_{∂} як функція: а – $U_{\partial} = f(S, e)$; б – $U_{\partial} = f(S)$

Аналіз наведених залежностей (рис. 2.4) показує, що напруга дуги зварювання $U_д$ автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом змінюється в межах від 28,4 до 65,6 В залежно від конструктивно-геометричних розмірів зварного шва (ширини e та товщини S зварного шва), а також від конструктивного коефіцієнта Ω.

При цьому зміна $I_{зв}$ має прямопропорційний характер – зі збільшенням e та S напруга дуги зварювання $U_д$ також збільшується, причому домінуючий вплив, який призводить до значного збільшення $U_д$ має товщина зварного шва S. При збільшенні товщини зварного шва S в межах від 3 до 8 мм напруга дуги зварювання $U_д$ збільшується приблизно в межах 28…32 В, або приблизно в 2 рази.

На рис. 2.5 наведено номограму для визначення напруги дуги зварювання $U_д$, яку побудовано згідно з залежністю (2.19) як функція $U_д = f(S, e)$.

Користуються номограмою наступним чином.

Вибирають геометричні розміри шва, наприклад, товщина зварного шва S = 5 мм (рис. 2.5), а ширина e = 14 мм.

Тоді на пересічені двох прямих ліній кривої залежності (точка А) встановлюють напруги дуги зварювання $U_д$, при цьому:

- за Ω = 70 с$^{-1}$ напруга дуги зварювання $U_д$ = 36 В (червона крива);

- за Ω = 80 с$^{-1}$ сила струму дорівнює $I_{зв}$ = 42 В (синя крива);

- за Ω = 90 с$^{-1}$ сила струму дорівнює $I_{зв}$ = 47 В (чорна крива).

Обгрунтування швидкості $\vartheta_{зв}$ (м/с) автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом проведемо наступним чином.

Швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання визначаємо з виразу за відомою формулою

$$\vartheta_{зв} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{3600 F_н \rho}, \qquad (2.20)$$

де ρ – щільність наплавленого металу зварного шва, г/см^3;

$\alpha_н$ – коефіцієнт наплавлення електродного дроту, г/А год.

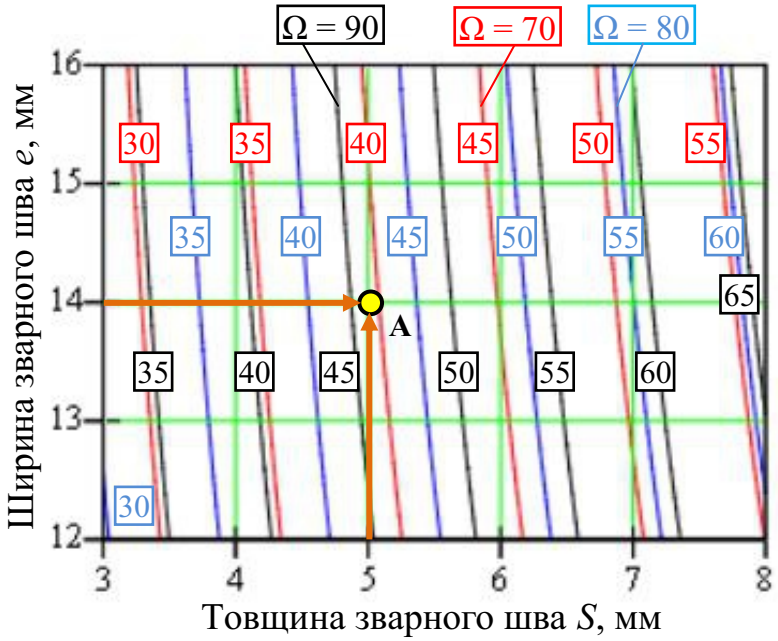


Рисунок 2.5 – Номограма для визначення напруги дуги зварювання $U_д$ автоматизованого електродугового зварювання

Підставивши значення площі наплавлення $F_н$з (2.8) та сили зварювального струму з (2.12) у формулу (2.20) будемо мати

$$\vartheta_{зв} = \frac{\alpha_н \Omega \left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0,73e} \right)}{3600 \left(0,73 \left(ec + e_1 c_1 \right) + BS \right) \rho}. \qquad (2.21)$$

Коефіцієнт наплавлення електродного дроту визначаємо за формулою

$$\alpha_н = \alpha_р \left(1 - \frac{\kappa}{100} \right), \qquad (2.22)$$

де $\alpha_р$ – коефіцієнт розплавлення електродного дроту, г/А год;

$\ldots . \kappa$ – коефіцієнт втрат на угар і розбризкування під час автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Таким чином остаточна формула, яка характеризує функціональну залежність зміни швидкості $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання

від геометричних параметрів зварювального шва під час автоматичного зварювання постійним зварювальним струмом з зворотною полярністю під шаром флюсу обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням і застосуванням мідної підкладки та з урахуванням формул (2.21) і (2.22) буде мати вигляд

$$\vartheta_{зв} = \frac{\alpha_p \Omega \left(1 - \frac{\kappa}{100}\right)\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}{3600\left(0{,}73\left(ec + e_1 c_1\right) + BS\right)\rho}. \qquad (2.23)$$

При початкових умовах α_p = 16 г/А год, Ω = 80 с$^{-1}$, $\kappa = 5$, c = 1,5 мм, c_1 = 1,5 мм, e_1 = 4 мм, B = 1 мм, $\rho = 7{,}85$ г/см^3 згідно з формулою (2.23) побудовано тривимірну графічну залежність зміни швидкості $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $\vartheta_{зв} = f\left(S, e\right)$.

Графічну залежність зміни швидкості $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання залежно від товщини зварювального з'єднання S та ширини зварювального шва e як функція $\vartheta_{зв} = f\left(S, e\right)$ наведено на рис. 2.6а, а залежність $\vartheta_{зв} = f\left(S\right)$ – на рис. 2.6б.

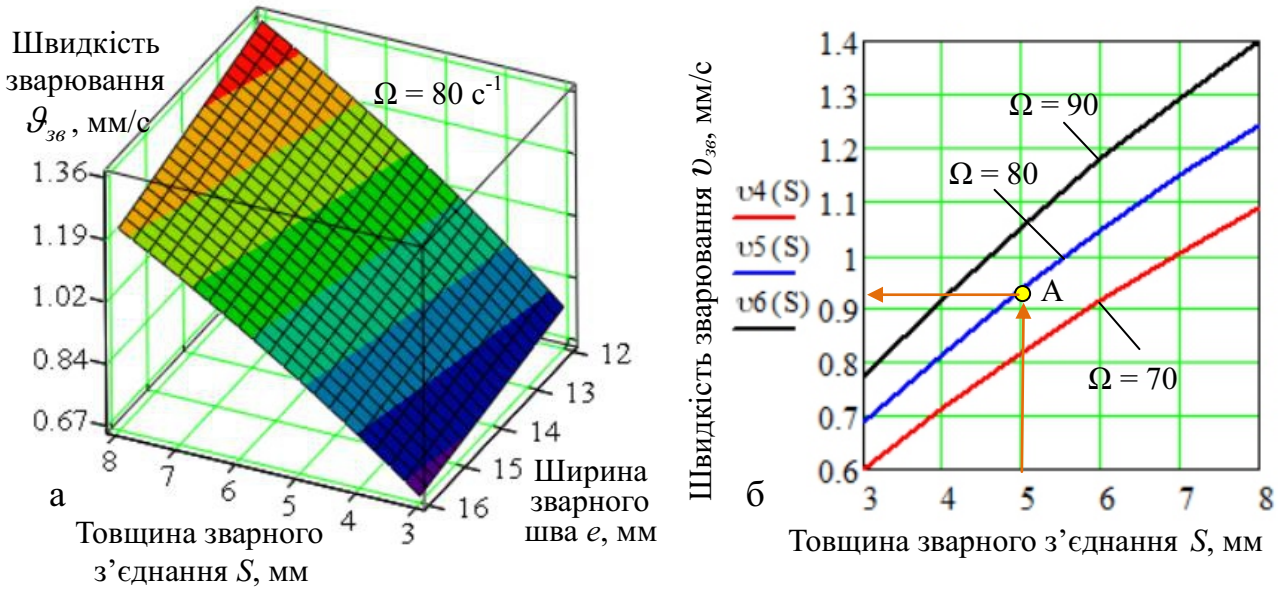


Рисунок 2.6 – Залежність зміни швидкості $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання як функція: а – $\vartheta_{зв} = f\left(S, e\right)$; б – $\vartheta_{зв} = f\left(S\right)$

Аналіз наведених залежностей (рис. 2.6) показує, що швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом змінюється в межах від 0,4 до 1,4 м/с залежно від конструктивно-геометричних розмірів зварного шва (ширини e та товщини S зварного шва), а також від конструктивного коефіцієнта Ω.

При цьому зміна $\vartheta_{зв}$ має прямопропорційний характер – зі збільшенням e та S швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання також збільшується, причому домінуючий вплив, який призводить до значного збільшення $U_д$ має товщина зварного шва S.

При збільшенні товщини зварного шва S в межах від 3 до 8 мм швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання збільшується приблизно в межах 0,5…0,6 м/с, або приблизно в 1,8 рази.

Для визначення швидкості $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання застосовують рис. 2.6б.

Вибирають геометричні розміри шва, наприклад, товщина зварного шва S = 5 мм (рис. 2.6б) та коефіцієнта Ω.

Тоді на пересічені прямої лінії та кривої залежності за Ω = 80 $с^{-1}$. (точка А) встановлюють швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання.

При цьому швидкість $\vartheta_{зв}$ автоматизованого електродугового зварювання дорівнює $\vartheta_{зв}$ = 0,93 м/с.

Обгрунтування швидкості подачі електродного дроту $\vartheta_{п.д}$ (м/с) при автоматизованому електродуговому зварюванні проведемо наступним чином.

Швидкість подачі електродного дроту $\vartheta_{п.д}$ при автоматизованому електродуговому зварюванні визначимо з відомої залежності

$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{3600 F_e \rho}, \qquad (2.24)$$

де F_e – площа поперечного перерізу електродного дроту, $см^2$.

При цьому площа поперечного перерізу електродного дроту F_e визначається за формулою

$$F_e = 0{,}25\pi d_e^2 . \tag{2.25}$$

Підставивши значення площі поперечного перерізу електродного дроту F_e з (2.25) у формулу (2.24) будемо мати залежність для визначення швидкості подачі електродного дроту $\vartheta_{п.д}$ при автоматизованому електродуговому зварюванні

$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{900\pi d_e^2 \rho} . \tag{2.26}$$

Підставивши значення діаметра d_e електродного дроту з формули (2.15) у залежність 2.26 маємо

$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{900\pi \left(1{,}13\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}\right)^2 \rho} . \tag{2.27}$$

Таким чином остаточна формула, яка характеризує функціональну залежність зміни швидкості подачі електродного дроту $\vartheta_{зв}$ при автоматизованому електродуговому зварюванні від параметрів зварювального шва під час автоматичного зварювання постійним зварювальним струмом з зворотною полярністю під шаром флюсу обичайки кільцевим і поздовжнім швом без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням і застосуванням мідної підкладки та з урахуванням формул (2.12), (2.22) і (2.27) буде мати вигляд

$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_p \Omega \left(1 - \frac{\kappa}{100}\right)\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}{900\pi 1{,}13^2 \frac{\Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}{j}\rho} , \tag{2.28}$$

або після спрощення та перетворення

$$\vartheta_{n.\partial} = \frac{\alpha_p j\left(1-\frac{\kappa}{100}\right)}{1{,}13^2\,\pi 900\rho}. \qquad (2.29)$$

При початкових умовах $\kappa = 5$, $\rho = 7{,}85$ г/см^3 згідно з формулою (2.29) побудовано тривимірну графічну залежність зміни швидкості $\vartheta_{n.\partial}$ подачі дроту автоматизованого електродугового зварювання залежно від коефіцієнта розплавлення електродного дроту α_p та допустима щільність струму j на вильоті електроду як функція $\vartheta_{n.\partial} = f\left(\alpha_p, j\right)$.

Графічну залежність зміни швидкості $\vartheta_{n.\partial}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання залежно від коефіцієнта розплавлення електродного дроту α_p та допустимої щільності струму j на вильоті електроду як функція $\vartheta_{n.\partial} = f\left(\alpha_p, j\right)$ наведено на рис. 2.7а, а залежність $\vartheta_{n.\partial} = f\left(\alpha_p\right)$ – на рис. 2.7б.

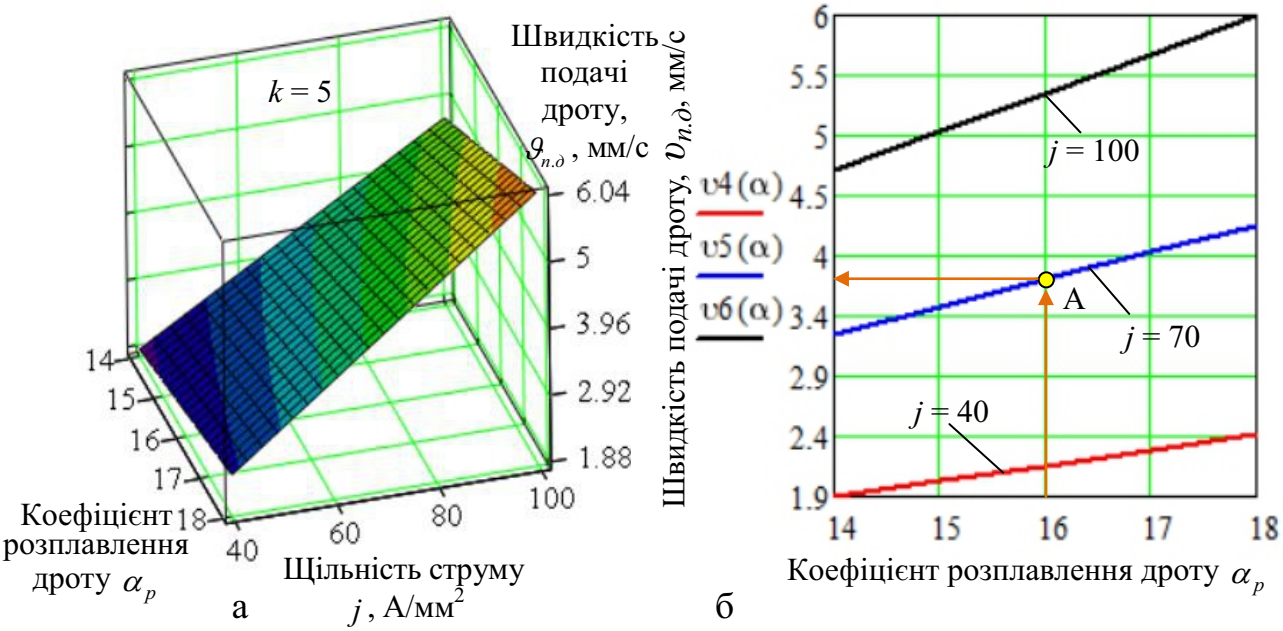


Рисунок 2.7 – Залежність зміни швидкості $\vartheta_{n.\partial}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання як функція: а – $\vartheta_{n.\partial} = f\left(\alpha_p, j\right)$; б – $\vartheta_{n.\partial} = f\left(\alpha_p\right)$

Аналіз наведених залежностей (рис. 2.7) показує, що швидкість $\vartheta_{n.\partial}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання під

шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом змінюється в межах від 1,9 до 6,0 м/с залежно від коефіцієнта розплавлення електродного дроту α_p та допустимої щільності струму j на вильоті електроду, а також від конструктивного коефіцієнта k.

При цьому зміна $\vartheta_{п.д}$ має прямопропорційний характер – зі збільшенням α_p та j швидкість $\vartheta_{п.д}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання також збільшується, причому домінуючий вплив, який призводить до значного збільшення $\vartheta_{п.д}$ має щільність струму j на вильоті електроду.

При збільшенні щільності струму j на вильоті електроду в межах від 40 до 100 А/мм^2 швидкість $\vartheta_{п.д}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання збільшується приблизно в межах 0,5…1,3 м/с, або приблизно в 1,4 рази.

Для визначення швидкості $\vartheta_{п.д}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання застосовують рис. 2.7б. Вибирають геометричні розміри шва, наприклад, коефіцієнт розплавлення електродного дроту α_p = 16 (рис. 2.7б) щільності струму j на вильоті електроду. Тоді на пересічені прямої лінії та кривої залежності за j = 70 А/мм^2 (точка А) встановлюють швидкість $\vartheta_{п.д}$ подачі електродного дроту. При цьому швидкість $\vartheta_{п.д}$ подачі електродного дроту автоматизованого електродугового зварювання дорівнює $\vartheta_{п.д}$ = 3,7 м/с.

2.3 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

За результатами досліджень і на основі їх аналізу можна зробити наступні висновки процесу автоматизованого електродугового зварювання під шаром флюсу обичайки корпусу контейнера кільцевим і поздовжнім швом:

1. Сила струму $I_{зв}$ змінюється в межах від 264,5 до 746 А, а напруга дуги зварювання – від 28,4 до 65,6 В залежно від конструктивно-геометричних розмірів зварного шва (ширини *e* та товщини *S* зварного шва), а також від конструктивного коефіцієнта Ω.

2. Швидкість зварювання $\vartheta_{зв}$ змінюється в межах від 0,4 до 1,4 м/с, а швидкість подачі електродного дроту – від 1,9 до 6,0 м/с залежно від конструктивно-геометричних розмірів зварного шва (ширини *e* та товщини *S* зварного шва), а також від конструктивного коефіцієнта Ω.

Отримані результати аналітичних розрахунків можуть бути застосовані для розрахунку параметрів зварювання, а запропоноване обладнання – для виготовлення корпусу контейнера.

ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Базовий варіант технологічного процесу

В даний час виготовлення контейнера на складально-зварювальній ділянці є наступні технологічні операції:

- складання шпангоутів з обичайкою;
- зварювання шпангоутів з обичайкою;
- зварювання поздовжнього стику обичайки;
- складання днища та обичайки;
- зварювання днища та обичайки;
- складання горловини та обичайки;
- зварювання горловини та обичайки;
- термообробка після зварювання;
- контроль якості;
- остаточна термообробка.

Усі зварні шви контейнера виконуються ручним дуговим зварюванням за ГОСТ 5264-80.

Для зварювання вибирають електрод типу Е100 за ГОСТ 9467-75 марки ВИ10-6.

Зварювальні роботи проводяться з використанням зварювальним інвертором FoxWeld Varteg 180 DC.

Технічні характеристики технічних засобів зварювання корпусу контейнера наведені в таблицях:

- у табл. 3.1. наведено технічні параметри зварювального інвертора FoxWeld Varteg 180 DC;
- у табл. 3.2 наведено режими зварювання виробу, тобто корпусу контейнера;
- у табл. 3.3 наведено хімічний склад електрода типу Е100 за ГОСТ 9467-75 марки ВИ10-6.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри зварювального інвертора

Діапазон зміни струму зварювання, А	Напруга живлення, В	ККД (%) / коефіцієнт потужності	Вид струму
160-180	220	85 / 0,7	Постійний

Таблиця 3.2 – Режими зварювання корпусу контейнера

Товщина металу, мм	Діаметр електрода, мм	Марка електрода	Напруга на дузі, В	Сила струму, А	Вид струму
3	2,5	ВИ10-6	20	80	Постійний

Таблиця 3.3 – Хімічний склад електрода ВИ10-6 у %

C	Mo	Mn	Si	S	P
0.09	0.4	0,9	0.6	0,015	0,020

Місця зварювання, які належать до групи особливо відповідальних точок зварювання піддаються радіографічному контролю за ГОСТ 7512-82 перед проведенням остаточної термообробки корпусу контейнера.

Після термообробки проводиться візуально-вимірювальний контроль зварного з'єднання, корпусу контейнера на ко роблення.

Для зварювання поздовжнього стику обичайки використовується клавішний стенд (рис. 3.1), який складається з станини 1, консолі 2, бічних балок 3 і 4, перехідника 5, штурвала 6, підкладки 7, поворотного колеса 8 та колеса 9.

Штурвал 6 відводиться в крайнє верхнє положення і проводиться установка обичайки на консоль 2. Після повернення штурвала у вихідне положення в пневмосистему стенда подається повітря. Рукави при проходженні стисненого повітря, прагнучі прийняти правильну форму, чинять тиск на клавіші стенду, які притискають кромки, що зварюються, до мідної підкладки, встановленої на консолі.

Мідна підкладка служить формування зворотного валика шва. Після виконання зварного шва відключається подача стисненого повітря в пневмосистему стенду, штурвал 6 відводиться в крайнє верхнє положення і обичайка знімається з консолі 2.

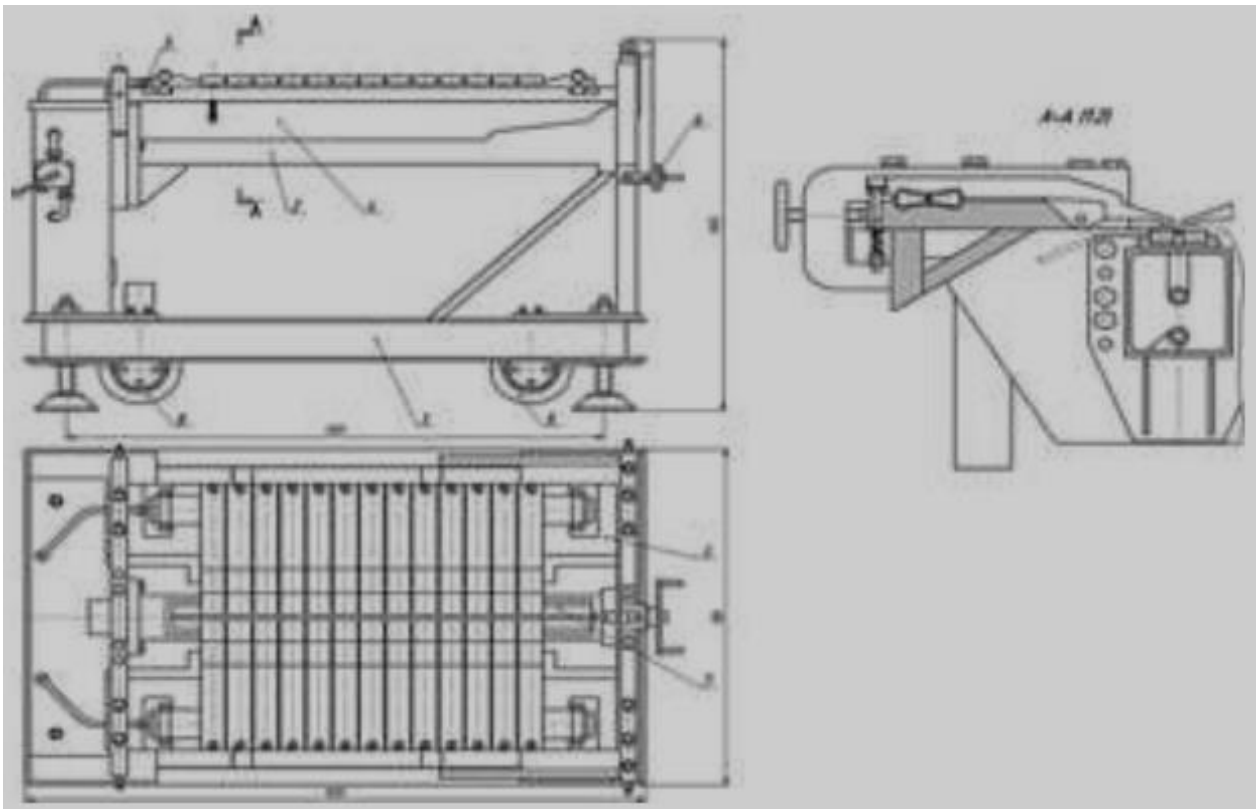


Рисунок 3.1 – Клавішний стенд для зварювання виробу: 1 – станина; 2 – консоль; 3, 4 – бічна балка; 5 – перехідник; 6 – штурвал; 7 – підкладка; 8 – поворотне колесо; 9 – колесо

Для зварювання днища та горловини з обичайкою застосовується зварювальний обертач (рис. 3.2). Обертач призначений для обертання виробу, що зварюється з зварювальною чи маршової швидкістю.

Обертач складається з корпусу 1, планшайби 2, рухомих кулачків 3, приводу обертання 4 і приводу нахилу 5.

Для центрування кулачки попередньо встановлюють шаблоном. Потім повзун одного з кулачків відводять, зібраний виріб встановлюють і притискають відведеним кулачком до двох інших. Після виконання зварного шва повзун одного з кулачків відводять та знімають виріб.

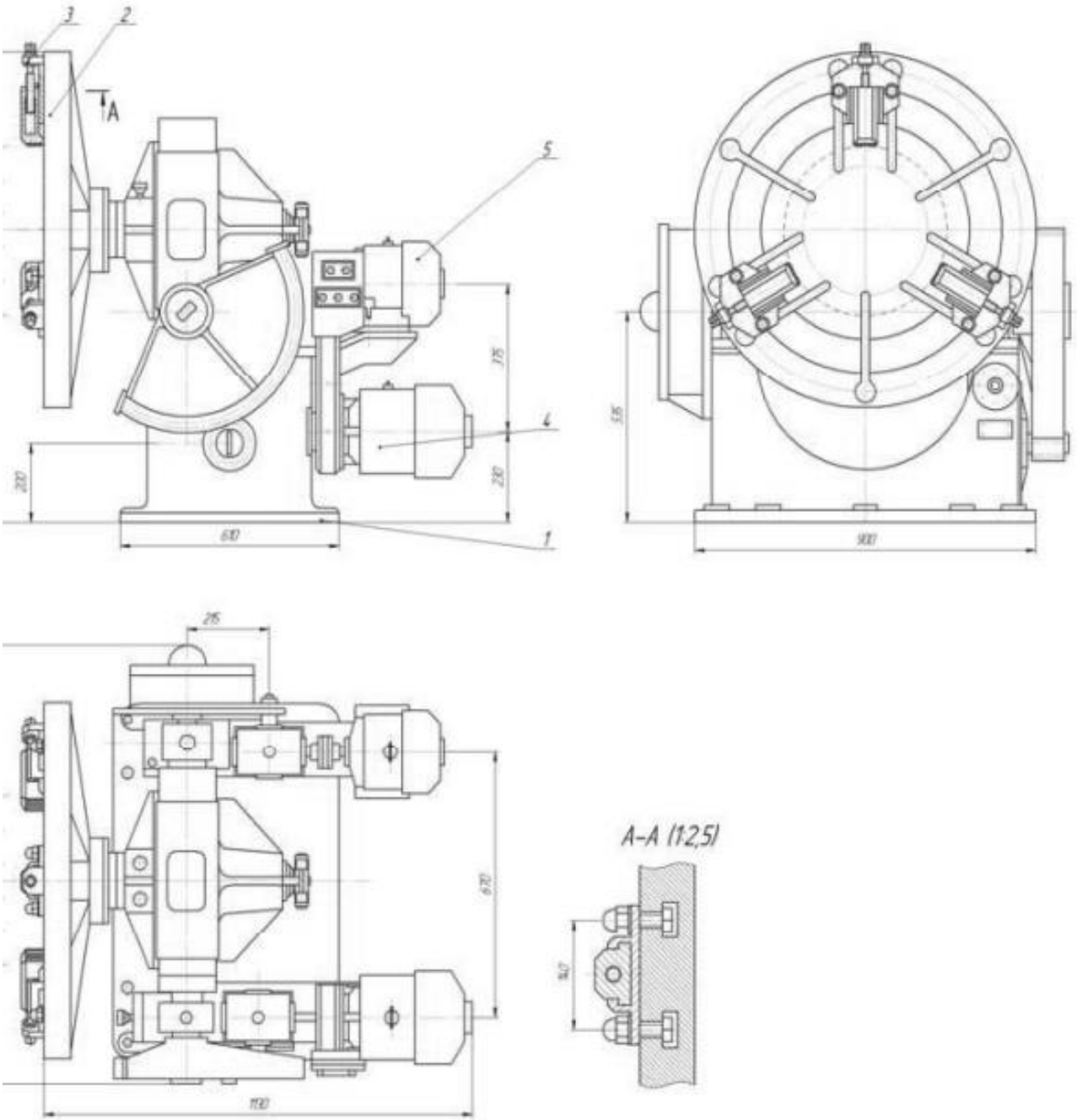


Рисунок 3.2 – Обертач зварювальний: 1 – корпус; 2 – планшайба; 3 – рухомий кулачок; 4 – привод обертання; 5 – привод нахилу

3.2 Проектований варіант технологічного процесу

Для зниження трудомісткості виготовлення конструкції, а також підвищення якості зварних швів нами було запропоновано застосувати автоматичне зварювання у середовищі захисного газу для протяжних (понад 400 мм) прямолінійних та кільцевих швів.

Для зварювання шпангоутів з обичайкою, а також виконання прихваток і приварювання технологічних планок при виготовлені контейнера пропонується застосовувати технологію зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів.

Обичайка поставляється компанією постачальником.

Пропонована технологія складання та зварювання корпусу контейнера виглядає наступним чином:

1) складання обичайки та приварювання технологічних планок;

2) попередній підігрів виробу;

3) складання обичайки зі шпангоутами, прихватка шпангоутів механізованим зварюванням у середовищі захисних газів;

4) зварювання поздовжнього стику обичайки автоматичним зварюванням під шаром флюсу;

5) термообробка виробу після зварювання;

6) відрізка технологічних планок;

7) складання обичайки з днищем та їх прихватка;

8) зварювання обичайки з днищем автоматичним зварюванням під шаром флюсу;

9) складання обичайки з горловиною та їх прихватка;

10) зварювання обичайки з горловиною автоматичним зварюванням під шаром флюсу;

11) контроль якості зварених швів;

12) термообробка виробу після зварювання;

13) контроль якості зварених швів.

3.3 Вибір способу зварювання

Для автоматизації виробництва та зменшення впливу людського фактору на кількість і якість виробів необхідно вибрати спосіб, який відповідатиме таким вимогам:

- якість зварного з'єднання;

- продуктивність;

- гнучкість виробничої лінії

Розглянемо такі варіанти зварювання деталей корпусу контейнера, або зварного виробу:

- автоматичне зварювання під шаром флюсу;

- автоматичне зварювання в середовищі захисного газу.

Вивчивши існуючі аналоги виробництва контейнерів, дійшли висновку про переваги та недоліки представлених методів.

Переваги автоматичного зварювання під шаром флюсу є:

- підвищена продуктивність;

- можливість різкого збільшення сили зварювального струму (найкраще використання струму помітно заощаджує витрати електроенергії);

- укладання дуги в газовий міхур зі стінками з рідкого флюсу практично зводить до нуля втрати металу на чад і розбризкування, сумарна величина яких не перевищує 2% ваги розплавленого електродного металу, а відсутність втрат на окалину і розбризкування та зменшення частки електродного металу в утворенні шва дозволяють вельми значно зменшити витрату електродного дроту для зварювання;

- максимально надійний захист зони зварювання;

- мінімальна чутливість до утворення оксидів;

- дрібнолуската поверхня металу шва у зв'язку з високою стабільністю процесу горіння дуги;

- не потрібно захисних пристроїв від світлового випромінювання, оскільки дуга горить під шаром флюсу;

- низька швидкість охолодження металу забезпечує високі показники механічних властивостей металу шва;

- малі витрати на підготовку кадрів;

- зварні шви у процесі зварювання деталей корпусу контейнера виходять рівномірної та дуже високої якості;

Недоліки зварювання під шаром флюсу:

- трудовитрати з виробництвом, зберіганням та підготовкою зварювальних флюсів;

- витрата флюсу за вагою в середньому дорівнює вазі витраченого дроту, і вартість його істотно впливає на загальну вартість зварювання;

- невидимість місця зварювання, закритого товстим шаром флюсу.

Невидимість місця зварювання підвищує вимоги до точності підготовки та збирання виробу під зварювання, ускладнює зварювання швів складної конфігурації.

Автоматичне зварювання в середовищі захисного газу.

Переваги автоматичного зварювання в середовищі захисного газу:

- висока якість зварних з'єднань на різноманітних металах та їх сплавах різної товщини, особливо при зварюванні в інертних газах через малий чад легуючих елементів;

- можливість зварювання в різних просторових положеннях;

- відсутність операцій із засипання та прибирання флюсу та видалення шлаку;

- можливість спостереження за утворенням шва, що особливо важливо при механізованому зварюванні;

- висока продуктивність та легкість механізації та автоматизації процесу;

- низька вартість при використанні активних захисних газів.

Недоліки методу автоматичного зварювання в середовищі захисного газу:

- необхідність застосування захисних заходів проти світлової та теплової радіації дуги;

- можливість порушення газового захисту при здуванні струменя газу рухом повітря або при забризкуванні сопла;

- втрати металу на розбризкування, при якому бризки міцно з'єднуються з поверхнями шва та виробу;

- наявність газової апаратури і в деяких випадках необхідність водяного охолодження пальників.

Проаналізувавши обидва методи (їх переваги та недоліки), вибір зроблено в користь автоматичного зварювання під шаром флюсу . Це пояснюється тим, що матеріал виробу, або сталь 30ХГСА, має схильність до утворення гарячих та холодних тріщин.

При цьому для зменшення ймовірності їх появи необхідно зменшити високу швидкість охолодження, яка знаходиться поза рекомендованим діапазоном для даної сталі 30ХГСА при автоматичному зварюванні в середовищі захисного газу.

У свою чергу швидкості охолодження при автоматичному зварюванні під шаром флюсу відповідають рекомендаціям для зварювання сталі 30ХГСА.

Це додатково дозволяє не вдаватися до спеціальних заходів для термообробки та підвищення якості зварного з'єднання під час зварювання корпусу контейнера.

Вибравши відповідний метод зварювання, виберемо зварювальні матеріали.

Для зварювання кільцевого та поздовжнього шва необхідно вибрати марку зварювального дроту та флюсу.

Спочатку зробимо вибір зварювального дроту [3].

Розглянемо два варіанти дроту за ГОСТ -2246-70:

- СВ-12Х2НМА (ТУ-14-1-2680-78);

- Св-18ХМА.

Порівняємо хімічний склад дроту Св-12Х2НМА (табл. 3.4) та дроту Св-18ХМА та їх механічні властивості.

Відповідні показники, або хімічний склад дроту Св-12Х2НМА та дроту Св-18ХМА, а також їх механічні характеристики наведені, відповідно, в табл. 3.4, табл. 3.5 та табл. 3.6.

Таблиця 3.4 – Хімічний склад дроту Св-12Х2НМА в %

C	S	P	Mn	Cr	Si	Ni	Mo	Ce
0.09 0.16	0.015	0.015	0.3-0.7	1.9-2.4	0.4-0.8	0.8-1.2	0.35-0.6	0.04

Таблиця 3.5 – Хімічний склад дроту Св-18ХМА в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	N
0.5-0.22	0.12-0.35	0.4-0.7	До 0.3	До 0,025	До 0.025	0.8-1.1	0.15-0.3	До 0.012

Таблиця 3.6 – Основні показники механічних характеристик дроту Св-18ХМА [3]

Показник	Розрахункова формула	Св-12Х2НМА	Св-18ХМА
Чутливість до гарячих тріщин	$HSC = \frac{C \cdot (S + P + 0{,}04 \cdot Si + 0{,}01 \cdot Ni) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \le 4$	4,2	2,35
Чутливість до холодних тріщин	$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Ni}{10} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \le 0{,}4$	0,68	0,70
Межа міцності металу шва після зварювання, МПа	$\delta_в = 15.4(16 + 12.5C + 15(Mn + Cr) + 12Mo + 8Ni)$	1178	1629

Виходячи з даних табл. 3.6, можна дійти до невтішного висновку про те, що знижені властивості дроту Св-12Х2НМА чинити опір холодним тріщинам компенсується значним опором гарячим тріщинам і підвищеною міцністю металу шва після зварювання.

Показники міцності дроту 12Х2НМА в порівнянні з дротом 18ХНМА, вище на 20-40 % залежно від температури відпуску металу шва.

При зварюванні сталі дротом 12Х2НМА структура складається з мартенситу та голчастого троститу.

Таким чином, застосувавши дріт Св-12Х2НМА, замість дроту Св 18ХМА, забезпечується:

- підвищення міцності приблизно на 30%;

- збереження пластичних та в'язких характеристик.

Потім робимо вибір зварювального флюсу.

Враховуючи рекомендації виробника зварювального дроту, розглянемо зварювальний флюс марганцево-силікатного типу.

Поширеним представником зварювального флюсу марганцево-силікатного типу є флюс АН-348А по ГОСТ 9087-81 [12].

У якості аналога вибираємо закордонний флюс марганцево-силікатного типу марки HJ-431 [12].

Розглянемо хімічний склад флюсу закордонного аналога HJ-431 та вибраного нами флюсу АН-348А.

Хімічний склад флюсу закордонного аналога HJ-431 та вибраного нами флюсу АН-348А наведено, відповідно в табл. 3.7 та табл. 3.8 [12].

Таблиця 3.7 – Хімічний склад флюсу HJ-431 в %

CaF+CaO	Al_2O_3+MgO	SiO_2+ MnO	CaF_2	S	P
10-14	9-12	74-82	17.6-19.1	0-0.06	0-0.08

Таблиця 3.8 – Хімічний склад флюсу АН-348А в %

CaO+ MgO	Al_2O_3+ MnO	SiO_2+MnO	CaF_2	S	P
19	47,5	76	4.5	0-0,11	0-0,12

Хімічні властивості розглянутих флюсів, незважаючи на різницю в вмісті елементів, відрізняються незначно.

Головною особливістю даних флюсів є те, що кремнієві та марганцеві відновлювальні процеси протікають порівняно повільно.

В результаті наплавлений метал у значній мірі збагачений дрібнодисперсними оксидними включеннями. Зміст кисню в металі шва становить 0,05%.

Вибір марганцево-силікатного флюсу зробимо на користь вітчизняного флюсу марки АН-348А.

При цьому вартість флюсу марки АН-348А нижче на 20%.

3.4 Розрахунок параметрів зварювання корпусу контейнера

3.4.1 Розрахунок параметрів зварювання для поздовжнього стику та кільцевих швів обичайки

Зварювання обичайки кільцевого та поздовжнього стику шва, у вигляді з'єднання С4 виробляємо автоматичним зварюванням під шаром флюсу за ГОСТ 8713-79 на постійному струмі зворотної полярності зварювальним дротом Св-12Х2НМА, під флюсом АН 348А без оброблення кромок одностороннім швом з повним проплавленням з застосуванням мідної підкладки.

Зварне з'єднання представлене на рис. 3.3.

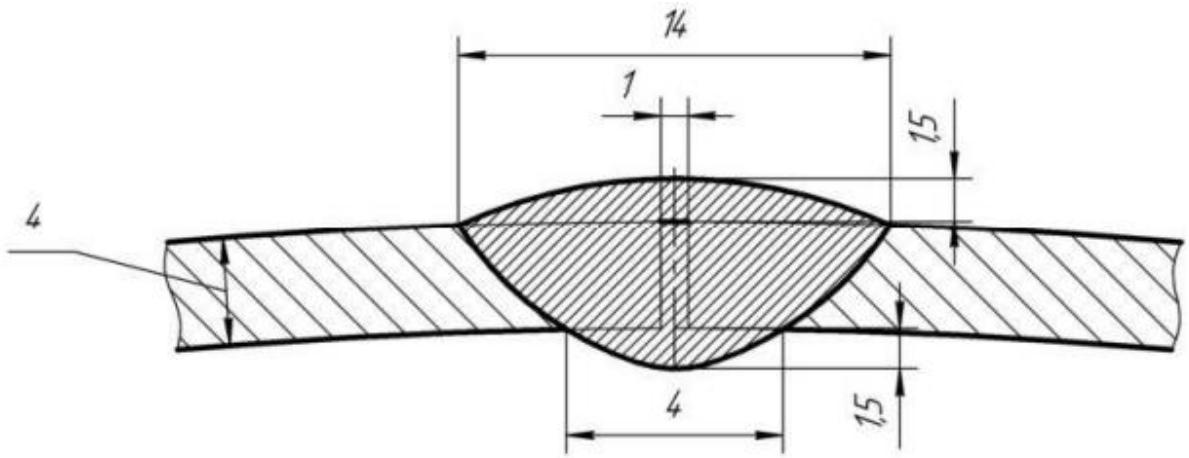


Рисунок 3.3 – Схема зварного шва для автоматичного зварювання під шаром флюсу

Визначаємо величину зварювального струму за аналітичною формулою

$$I_{зв} = 80h_p\,. \tag{3.6}$$

де h_p – розрахункова глибина проплавлення, мм.

При цьому

$$h_p = H - \frac{F_н}{0{,}73ec}, \tag{3.7}$$

де H – висота шва, мм;

$F_н$ – площа наплавленого металу, мм^2;

e = 14 мм – попередньо прийнята ширина шва з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79;

с = 1,5 мм – попередньо прийнята висота підсилення шва з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79.

При цьому

$$F_н = F_в + F_з + F_{зв}, \tag{3.8}$$

де $F_в$ – площа наплавленого валика, мм^2;

$F_з$ – площа наплавленого металу в зазор, мм^2;

$F_{зв}$ – площа наплавленого зворотного валика, мм^2.

При цьому:

$$F_в = 0{,}73ec; \tag{3.9}$$

$$F_з = BS, \tag{3.10}$$

де B – зазор між зварювальними кромками за ГОСТ 8713-79, B = 1 мм;

S – товщина зварного з'єднання, S = 4 мм;

$$F_{зв} = 0{,}73e_1c_1; \tag{3.11}$$

e_1 = 4 мм – попередньо прийнята ширина підсилення шва з зворотної сторони з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79;

c_1 = 1,5 мм – попередньо прийнята висота підсилення шва з зворотної сторони з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79.

Тоді

$$F_н = 0{,}73 \cdot 14 \cdot 1{,}5 + 1 \cdot 4 + 0{,}73 \cdot 4 \cdot 1{,}5 = 23{,}7 \text{ мм}^2;$$

$$I_{зв} = 80 \cdot \left(7 - \frac{23{,}7}{0{,}73 \cdot 1{,}5 \cdot 14}\right) = 375 \text{ А}.$$

Визначимо діаметр електродного дроту з виразу

$$d_e = 1{,}13\sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}\,, \tag{3.12}$$

де $j = 45\ldots90$ А/мм^2 – допустима щільність струму на вильоті електроду [3].

Приймаємо, що $j = 45$ А/мм^2.

Тоді діаметр електродного дроту буде дорівнювати

$$d_e = 1{,}13\sqrt{\frac{375}{45}} = 3{,}3 \text{ мм}.$$

Отримане значення $d_e = 3{,}3$ мм округлюємо до цілого числа $d_e = 3{,}0$ мм.

З врахуванням цього визначаємо щільність струму за формулою

$$j = 1{,}277\,\frac{I_{зв}}{d_e^2}. \tag{3.13}$$

Тоді маємо

$$j = 1{,}277\,\frac{375}{3^2} = 53{,}2 \text{ А/мм}^2.$$

Виліт електроду визначаємо за формулою

$$l_e = 10 d_e\,. \tag{3.14}$$

При цьому будемо мати

$$l_e = 10 \cdot 3 = 30 \text{ мм}.$$

Для подальших розрахунків приймаємо значення $l_e \le 30$ мм з необхідності виконання умови згідно з положеннями або рекомендаціями за ГОСТ 8713-79.

Визначаємо напругу на дузі зварювання за формулою

$$U_д = 20 + \frac{50 I_{зв}}{1000\sqrt{d_e}} \pm 1. \tag{3.15}$$

При цьому маємо

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 375}{1000\sqrt{3}} \pm 1 = 30{,}8 \pm 1 \text{ В}.$$

Коефіцієнт наплавлення електродного дроту визначаємо за формулою

$$\alpha_н = \alpha_р \left(1 - \frac{к}{100}\right), \tag{3.16}$$

де $\alpha_р = 16$ г/А год – коефіцієнт розплавлення електродного дроту [3];

$\ldots . к = 5$ – коефіцієнт втрат на угар і розбризкування під час автоматичного зварювання під шаром флюсу.

Тоді маємо

$$\alpha_н = 16\left(1 - \frac{5}{100}\right) = 15{,}2 \text{ г/А год}.$$

Швидкість зварювання визначаємо з виразу за формулою

$$\vartheta_{зв} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{3600 F_н \rho}, \tag{3.17}$$

де ρ – щільність наплавленого металу зварного шва, $\rho = 7{,}85$ г/см^3 [3].

Тоді швидкість зварювання деталей корпусу контейнера буде дорівнювати

$$\vartheta_{зв} = \frac{15{,}2 \cdot 375}{3600 \cdot 23{,}7 \cdot 10^{-2} \cdot 7{,}85} = 0{,}86 \text{ см/с}.$$

Швидкість подачі електродного дроту визначимо з залежності

$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_н I_{зв}}{3600 F_е \rho}, \tag{3.18}$$

при цьому

$$F_е = 0{,}25\pi d_е^2 = 0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot 3^2 = 7{,}1 \ 10^{-2} \text{ см}^2.$$

Тоді швидкість подачі електродного дроту буде дорівнювати

$$\vartheta_{п.д} = \frac{16 \cdot 375}{3600 \cdot 7{,}85 \cdot 7{,}1 \cdot 10^{-2}} = 3{,}02 \text{ см/с}.$$

Визначаємо погонну енергію зварювання за формулою

$$q_{пог} = \frac{U_д I_{зв} \eta}{\vartheta_{зв}}, \tag{3.19}$$

де $\eta = 0{,}85$ – ефективний ККД дуги [3].

$$q_{пог} = \frac{30{,}8 \cdot 375 \cdot 0{,}85}{0{,}86} = 11415{,}7 \text{ Дж/см.}$$

За розрахованими параметрами та режимами зварювання деталей корпусу контейнера визначаємо реальне значення коефіцієнта форми провару за формулою

$$\psi_{пр} = \kappa(19 - 0{,}01 I_{зв}) \frac{d_e U_д}{I_{зв}}, \tag{3.20}$$

де $\kappa = 0{,}367 \cdot j^{0.1925}$ – коефіцієнт, який залежить від виду струму, полярності та щільності струму.

$$\psi_{пр} = 0{,}367(19 - 0{,}01 \cdot 375)\frac{3 \cdot 30{,}8}{375} = 2{,}96.$$

Визначимо фактичну глибину проплавлення металу за формулою

$$h = 0{,}076\sqrt{\frac{q_{пог}}{\psi_{пр}}}, \tag{3.21}$$

при цьому

$$h = 0{,}076\sqrt{\frac{11415{,}7}{2{,}96}} = 0{,}473 \text{ см, або } h = 4{,}7 \text{ мм.}$$

Визначимо фактичну ширину шва проплавлення металу за формулою

$$e = h\psi_{пр}, \tag{3.22}$$

або

$$e = 4{,}7 \cdot 2{,}96 = 14 \text{ мм.}$$

Висоту підсилення шва визначаємо за формулою

$$c = \frac{F_н}{0{,}73h\psi_{пр}} = \frac{0{,}73ec}{0{,}73h\psi_{пр}}, \tag{3.23}$$

при цьому

$$c = \frac{0{,}73 \cdot 14 \cdot 1{,}5}{0{,}73 \cdot 4{,}7 \cdot 2{,}96} = 1{,}5 \text{ мм}.$$

Визначаємо коефіцієнт форми валка за формулою

$$\psi_в = \frac{e}{c}, \tag{3.24}$$

або

$$\psi_в = \frac{14}{1{,}5} = 9{,}34.$$

Глибина проплавлення, висота підсилення и ширина шва порівняно з раніше прийнятими значеннями (рис. 3.3) мають деяку розбіжність, але яка не перевищує норму 5…7 % згідно з [3].

Швидкість охолодження шва визначимо з виразу

$$\omega = \frac{2\pi\lambda c_\gamma S^2 (T_a - T_0)}{q_{пог}^2}, \tag{3.25}$$

де $\lambda = 0{,}38$ Вт/см ^{0}С – коефіцієнт теплопровідності;

$T_a = 550$ ^{0}С – температура найменшої стійкості аустеніту;

$c_\gamma = 3{,}89$ Дж/см^3 ^{0}С – об’ємна теплоємність;

$T_0 = 200$ ^{0}С – початкова температура охолодження металу.

Тоді

$$\omega = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}38 \cdot 3{,}89 \cdot 0{,}4^2 \cdot (550 - 200)}{11415{,}7} 1{,}7 \text{ } ^0\text{С/с}.$$

Визначена швидкість охолодження металу шва $\omega = 1{,}7$ ^{0}С/с під час зварювання деталей корпусу контейнера задовольняє встановлений діапазон допустимих швидкостей охолодження металу шва згідно з допустимим значеннями $\omega_{доп} = 1{,}0...6{,}0$ ^{0}С/с [3].

Розраховані параметри та режими зварювання деталей корпусу контейнера способом автоматизованого зварювання під шаром флюсу занесено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Параметри та режими автоматичного зварювання деталей корпусу контейнера під шаром флюсу

Найменування	Позначення	Значення
Зварювальний струм, А	$I_{зв}$	365-375
Діаметр електродного дроту, мм	d_e	3
Виліт електроду, мм	l_e	30
Напруга на дузі, В	$U_д$	30-32
Швидкість зварювання, см/с	$\vartheta_{зв}$	0,85
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	$\vartheta_{п.д}$	3
Погонна енергія зварювання, Дж/см	$q_{пог}$	11415
Глибина проплавлення основного металу, мм	h	4,7
Ширина шва, мм	b	14
Висота підсилення шва, мм	c	1,4
Коефіцієнт форми провару	$\psi_{пр}$	2,96
Коефіцієнт форми валика	$\psi_в$	9,34
Швидкість охолодження шва, ^{0}С/с	ω	1,7

При виконанні кільцевих швів під час зварювання деталей корпусу контейнера електрод зміщуємо з зеніту в сторону обертання на відстань 20 мм [7].

Оцінка схильності металу до утворення холодних тріщин не проводиться тому, що швидкість охолодження металу шва (див. табл. 3.9) входить в допустимий інтервал швидкостей охолодження для сталі 30ХГСА.

3.4.2 Розрахунок параметрів механізованого зварювання в суміші захисних газів плавким електродом

Зварювання шпангоутів з обичайкою виконуємо механізованим зварюванням постійним струмом зворотної полярності дротом Св-12Х2НМА за ГОСТ 2246-70 в суміші захисних газів $CO_2 + Ar$ (75% CO_2 та 25% Ar).

Схему зварного з’єднання наведено на рис. 3.4.

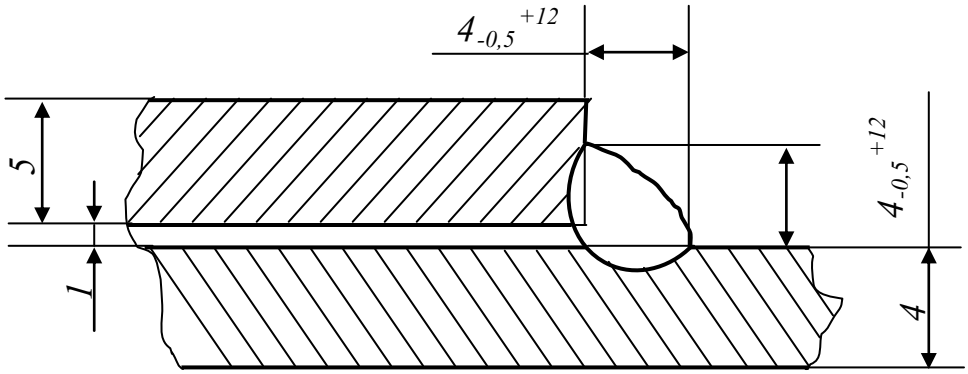


Рисунок 3.4 – Схема зварного з'єднання механізованого зварювання в суміші захисних газів плавким електродом

Визначаємо величину зварювального струму за аналітичною формулою (3.6), при цьому у формулі (3.6) замість коефіцієнта 80 записуємо коефіцієнт 100, а розрахункова глибина проплавлення h_p (мм) визначається за формулою (3.7),

де H – висота шва, мм (рис. 3.4);

e = 10 мм – попередньо прийнята ширина шва з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79;

c = 0,3 мм – попередньо прийнята висота підсилення шва з врахуванням рекомендацій за ГОСТ 8713-79;

B – зазор між зварювальними кромками за ГОСТ 8713-79, B = 1 мм;

S – товщина зварного з'єднання, S = 4 мм;

$F_{розд} = e_1 c_1$ – площа наплавленого металу шва в розділення, мм^2;

$e_1 = S - g = 3$ мм – висота розділення, мм;

c_1 = 1,73 мм – ширина розділення, мм.

Площу наплавленого металу шва визначаємо за формулою (3.8), при цьому

$$F_н = 0{,}73 \cdot 10 \cdot 0{,}3 + 1 \cdot 4 + 1{,}73 \cdot 3 = 11{,}4 \text{ мм}^2.$$

Тоді сила зварювального струму буде

$$I_{зв} = 100\left(5 - \frac{11{,}38}{0{,}73 \cdot 10}\right) = 285 \text{ А}.$$

Визначаємо діаметр електродного дроту за формулою (3.12), де j = 80…200 А/мм^2 – допустима щільність струму на вильоті електроду [3].

Приймаємо, що $j = 140$ А/мм^2.

Тоді діаметр електродного дроту буде дорівнювати

$$d_e = 1{,}13\sqrt{\frac{285}{140}} = 1{,}61 \text{ мм}.$$

Отримане значення $d_e = 1{,}61$ мм округлюємо до цілого числа $d_e = 1{,}6$ мм.

З врахуванням цього визначаємо щільність струму за формулою

$$j = 1{,}277\frac{I_{зв}}{d_e^2}. \qquad (3.26)$$

Тоді маємо

$$j = 1{,}277\frac{285}{1{,}6^2} = 142{,}2 \text{ А/мм}^2.$$

Виліт електроду визначаємо за формулою (3.14).

При цьому будемо мати

$$l_e = 10 \cdot 1{,}6 = 16 \text{ мм}.$$

Для подальших розрахунків приймаємо значення $l_e \le 30$ мм з необхідності виконання умови згідно з положеннями або рекомендаціями за ГОСТ 8713-79.

Визначаємо напругу на дузі зварювання за формулою (3.15)

При цьому маємо

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 285}{1000\sqrt{1{,}6}} \pm 1 = 31{,}3 \pm 1 \text{ В}.$$

Коефіцієнт втрат на угар і розбризкування під час механізованого зварювання під шаром флюсу визначаємо за формулою

$$к = Bj \cdot 10^{-2} - 4{,}48 \cdot 10^{-4} j^2 - 4{,}72, \qquad (3.27)$$

де B – коефіцієнт, який залежить від виду захисного газу.

Для суміші захисного газу $CO_2 + Ar$ значення коефіцієнта рівне $B = 17{,}3$.

Тоді коефіцієнт *к* буде дорівнювати

$$к = 17{,}3 \cdot 142{,}2 \cdot 10^{-2} - 4{,}48 \cdot 10^{-4} \cdot 142{,}2^2 - 11{,}5\,\%.$$

Підставляючи знайдене значення *к* в формулу (3.16) визначимо коефіцієнт наплавлення електродного дроту, тобто

$$\alpha_н = 16\left(1 - \frac{11,5}{100}\right) = 13,2 \text{ г/А год.}$$

Швидкість зварювання визначаємо за формулою (3.17), при цьому

$$\vartheta_{зв} = \frac{13,2 \cdot 285}{3600 \cdot 11,4 \cdot 10^{-2} \cdot 7,85} = 1,16 \text{ см/с.}$$

Швидкість подачі електродного дроту визначимо з залежності (3.18), при цьому

$$F_e = 0,25\pi d_e^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,6^2 = 2,0 \ 10^{-2} \text{ см}^2.$$

Тоді швидкість подачі електродного дроту буде дорівнювати

$$\vartheta_{п.д} = \frac{13,2 \cdot 285}{3600 \cdot 7,85 \cdot 2,0 \cdot 10^{-2}} = 7,52 \text{ см/с.}$$

Визначаємо погонну енергію зварювання за формулою (3.19), при цьому

$$q_{пог} = \frac{31,3 \cdot 285 \cdot 0,8}{1,16} = 6152,1 \text{ Дж/см.}$$

За розрахованими параметрами та режимами зварювання деталей корпусу контейнера визначаємо реальне значення коефіцієнта форми провару за формулою (3.20), тобто

$$\psi_{пр} = 0,92(19 - 0,01 \cdot 285)\frac{1,63 \cdot 31,3}{285} = 2,6.$$

Визначимо фактичну глибину проплавлення металу за формулою (3.21) при цьому

$$h = 0,0081\sqrt{\frac{6152,1}{2,6}} = 0,38 \text{ см, або } h = 3,8 \text{ мм.}$$

Визначимо фактичну ширину шва проплавлення металу за формулою (3.22), або

$$e = 3,8 \cdot 2,6 = 9,88 \text{ мм.}$$

Висоту підсилення шва визначаємо за формулою (3.23), при цьому

$$c = \frac{0{,}73 \cdot 10 \cdot 0{,}3}{0{,}73 \cdot 3{,}8 \cdot 2{,}6} = 0{,}303 \text{ мм.}$$

Визначаємо коефіцієнт форми валка за формулою (3.24), або

$$\psi_в = \frac{9{,}88}{0{,}303} = 32{,}6.$$

Глибина проплавлення, висота підсилення и ширина шва порівняно з раніше прийнятими значеннями (рис. 3.3) мають деяку розбіжність, але яка не перевищує норму 5…7 % згідно з [3].

Швидкість охолодження шва визначимо з виразу (3.25), тобто

$$\omega = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}38 \cdot 3{,}89 \cdot 0{,}4^2 \cdot (550 - 200)}{6152{,}1} 5{,}84 \ {}^0\text{C/c.}$$

Визначена швидкість охолодження металу шва $\omega = 5{,}84$ ^{0}C/c під час зварювання деталей корпусу контейнера задовольняє встановлений діапазон допустимих швидкостей охолодження металу шва $\omega_{доп} = 1{,}0...6{,}0$ ^{0}C/c [3].

Основні розраховані параметри та режими зварювання деталей корпусу контейнера способом механізованого зварювання під шаром флюсу занесено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Параметри та режими механізованого зварювання деталей корпусу контейнера під шаром флюсу

Найменування	Позначення	Значення
Зварювальний струм, А	$I_{зв}$	280-290
Діаметр електродного дроту, мм	$d_е$	1,6
Виліт електроду, мм	$l_е$	16
Напруга на дузі, В	$U_д$	30-32
Швидкість зварювання, см/с	$\vartheta_{зв}$	1,1
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	$\vartheta_{п.д}$	7
Погонна енергія зварювання, Дж/см	$q_{пог}$	6152
Глибина проплавлення основного металу, мм	h	3,8
Ширина шва, мм	b	9,8
Висота підсилення шва, мм	c	0,3
Коефіцієнт форми провару	$\psi_{пр}$	2,6
Коефіцієнт форми валика	$\psi_в$	32,6
Швидкість охолодження шва, ^{0}C/c	ω	5,8

Прихватки та приварки технологічних планок відбувається за допомогою механізованого зварювання в суміші захисних газів CO_2 + Ar (75% CO_2 та 25% Ar) дротом Св-12Х2НМА діаметром 1,6 мм за ГОСТ 2246-70.

Прийняті параметри зварювання приведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Параметри та режими прихваток і приварок технологічних планок механізованим зварюванням в середовищі захисних газів

Найменування	Позначення	Значення
Зварювальний струм, А	$I_{зв}$	175-185
Діаметр електродного дроту, мм	d_e	1,6
Виліт електроду, мм	l_e	16
Напруга на дузі, В	$U_д$	25-27
Швидкість зварювання, см/с	$\vartheta_{зв}$	1,0
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	$\vartheta_{п.д}$	3,8
Погонна енергія зварювання, Дж/см	$q_{пог}$	3900
Глибина проплавлення основного металу, мм	h	2,5
Ширина шва, мм	b	8,0
Висота підсилення шва, мм	c	0,68
Площа наплавлення, мм^2	$F_н$	7,9

4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

4.1 Вибір зварювального та збирального обладнання

На ділянці зварювання, для виконання зварювальних робіт, необхідно розміщення наступного обладнання:

- для виконання попереднього підігріву зони зварювання до температури 200 °С застосуємо пропано-кисневий пальник ГЗУ-3-23 і безконтактний термометр Ecotherm ST330.

- для автоматичного зварювання поздовжніх швів використовуватиметься зварювальна колона на яку, як джерело живлення, встановлено випрямляч ВДУ-506С.

Загальний вигляд пропано-кисневого пальника ГЗУ-3-23 наведено на рис. 4.1а.

Загальний вигляд безконтактний термометр Ecotherm ST330 наведено на рис. 4.1б.

Технічна характеристика випрямляча напруги марки ВДУ 506С наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика випрямляча ВДУ 506С

Найменування параметрів	Значення
Номінальний струм зварювання при ПВ-60%, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	60-500
Напруга живлення, В	3 х 380
Частота струму в лінії, Гц	50
Габаритні розміри Д х Ш х В, мм	850х505х795
Маса зварювального апарату, кг	230

При автоматизованому зварюванні під шаром флюсу на колону встановлюють зварювальний автомат марки А-1406а, рис. 4.2.

Технічна характеристика зварювального автомата марки А-1406а наведена в табл. 4.2.



а б

Рисунок 4.1 – Загальний вигляд: а – пропано-кисневого пальника ГЗУ-3-23; б – безконтактний термометр Ecotherm ST330

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика зварювального автомата марки А-1406а

Найменування параметрів	Значення
Номінальний струм зварювання при ПВ-60%, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	60-500
Напруга живлення, В	380
Частота струму в лінії, Гц	50
Кількість електродів, шт.	1
Діаметр електродного дроту, мм	2-5
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	17-553
Поперечне переміщення зварювальної головки, мм	±70
Габаритні розміри Д х Ш х В, мм	1010х890х1725



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд зварювального автомату А-1406а

Для механізованого зварювання серед захисного газу, використовуючи параметри режимів зварювання, вибираємо зварювальний напівавтомат для імпульсного зварювання Mig/Mag з плавним регулюванням Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5 фірми TESLA.

Загальний вигляд напівавтомата Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5 та імпульсного зварювання Mig/Mag наведено, відповідно, на рис. 4.3, рис. 4.4.

Технічна характеристика зварювального напівавтомата зварювального напівавтомата Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5 приведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика зварювального напівавтомата Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5

Найменування параметрів	Значення
Номінальний струм зварювання при ПВ-60%, А	350
Номінальний струм зварювання при ПВ-100%, А	300
Межі регулювання зварювального струму, А	60-500
Напруга живлення, В	3 х 400 (± 20%)
Частота струму в лінії, Гц	50/60
Кількість електродів, шт.	1
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/хв.	0,5-24
Габаритні розміри Д х Ш х В, мм	1110х455х950
Габарити пристрою подачі дроту Д х Ш х В, мм	690х300х410
Маса зварювального апарату, кг	108



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд зварювального напівавтомату А-1406а

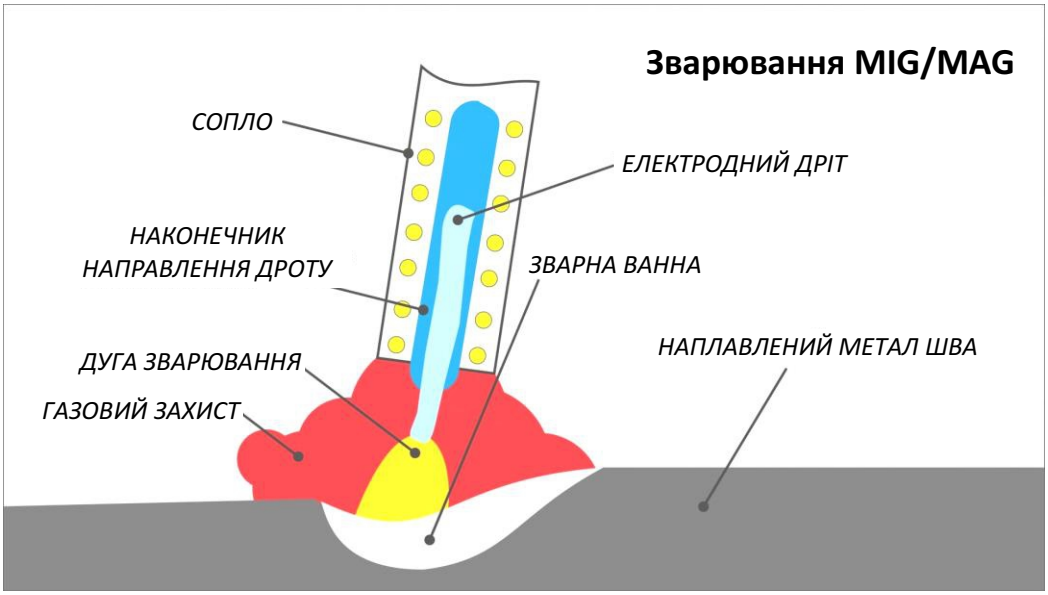


Рисунок 4.4 – Загальний вигляд імпульсного зварювання Mig/Mag

Для приварювання технологічних планок використовуємо напівавтомат зварювальний з ступінчастим регулюванням MIRA 221MV KGE німецької фірми EWM.

Загальний вигляд зварювального автомату MIRA 221MV KGE наведена на рис. 4.5.

Технічна характеристика зварювального напівавтомата MIRA 221 MV KGE приведена в таблиці 4.4.

Для складання обичайки перед приварюванням технологічних планок застосовуються струбцини (рис. 4.6), а для зварювання обичайки – роликовий стенд, рис. 4.7.

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика зварювального напівавтомата MIRA 221 KGE

Найменування параметрів	Значення
Межі регулювання зварювального струму, А	30-220
Напруга живлення, В	230 (± 15%)
Частота струму в лінії, Гц	50/60
Число ступенів перемикання	6
Протяжність вмикання при зварювальному струмі 220 А, с	3
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/хв.	1,5-20
Габаритні розміри Д х Ш х В, мм	870х390х610
Маса зварювального апарату, кг	56



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд зварювального напівавтомату MIRA 221 KGE

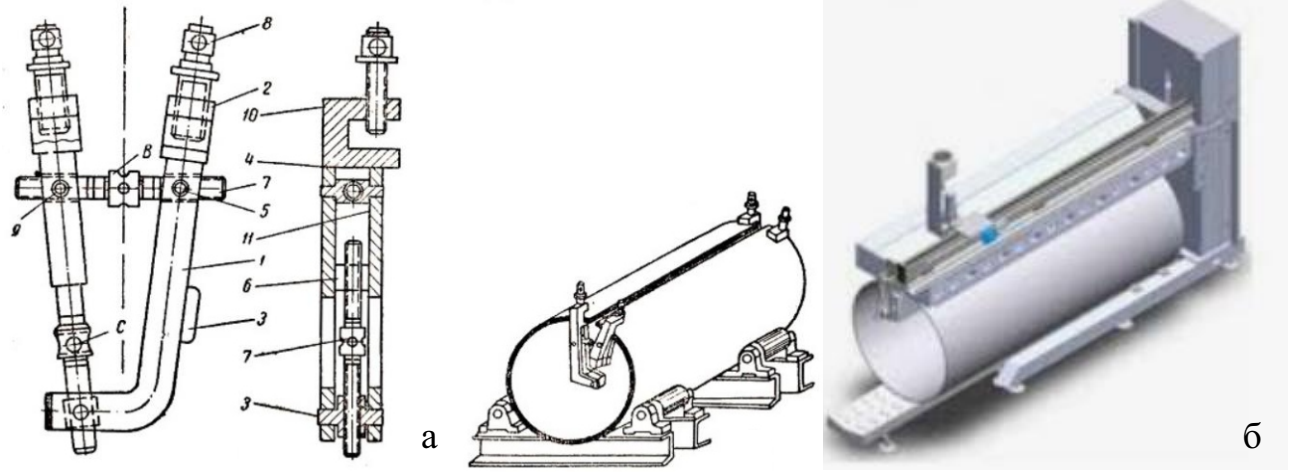


Рисунок 4.6 – Струбцина для збирання обичайки: а – схема складання обичайки: 1 – колінчаста планка; 2 – скоба; 3 – накладка; 4 – планка; 5 – шарнірна гайка; 7 – стяжний гвинт; 8 – натискний гвинт; 9 – шарнірна гайка; 10 – скоба; 11 – планка; б – загальний вигляд струбцини

За допомогою струбцини можна отримати необхідну густину прилягання кромок при зварюванні. Струбцинка дає можливість з'єднання кромок при збиранні обичайки діаметром 1000 мм при товщині стінок 20 мм.

Для виконання кільцевих швів з'єднання днища та горловини з обичайкою застосовують центратор.

Конструктивна схема центратора наведена на рис. 4.7.

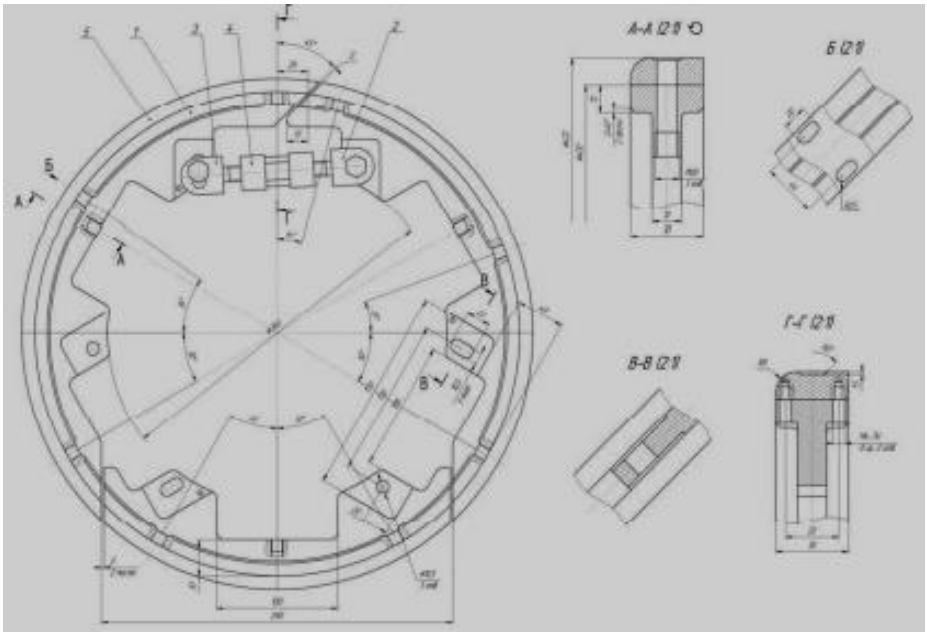


Рисунок 4.7 – Схема центратора для збирання днища та горловини

Центратор складається з:

- корпусу 1;
- фіксуючих скоб 2 і 3;
- ручок 4;
- підкладки 5.

Установка центратора проводиться поелементно.

Після установки всіх трьох частин обертанням ручки 4 проводиться притискання підкладки 5 до стику. Підкладка 5 виконується з міді та основою її метою є запобігання пропалів.

Після зварювання та обертання ручки 4, діаметр центратора зменшується, при цьому він витягується з обичайки.

Для виконання автоматичного зварювання корпусу конте йнера застосуємо установку ПКТБА-УСФ-1500-2000-35000 КПНВ.

Схема установки для збирання днища та горловини корпусу контейнера наведена не рис. 4.8.

Дана установка дозволяє виконувати зварювання поздовжнього стику, для зварювання обичайки, і кільцевих швів, для зварювання горловини і днища з обичайкою.

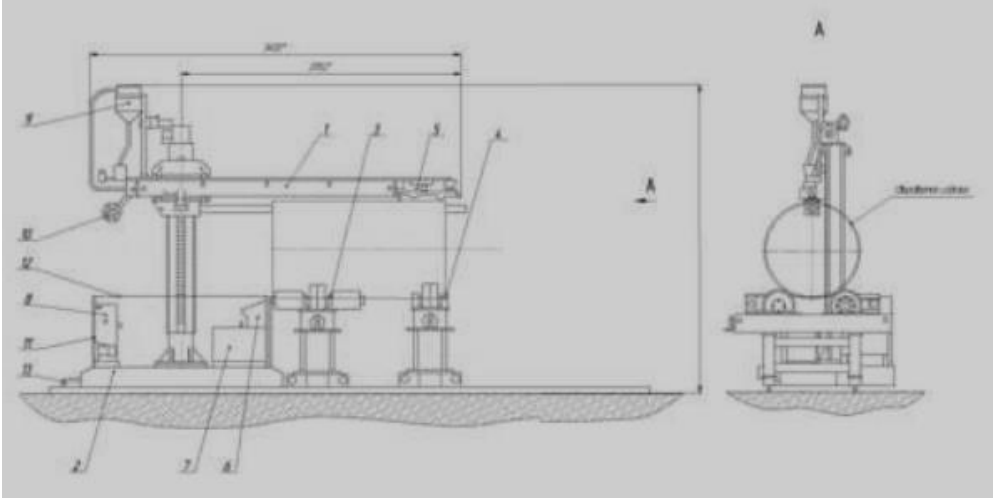


Рисунок 4.8 – Схема установки для зварювання корпусу контейнера

Зварювання поздовжнього шва відбувається при нерухомих обертачах 4, 3 за рахунок горизонтального переміщення консолі 1.

Зварювання кільцевих швів виконується за допомогою двох роликових обертачів, один з яких виконаний з електродвигуном, другий здійснює холостий рух, при цьому консоль переміщається лише до місця зварювання, у процесі зварювання вузлів виробу консоль нерухома.

Доставка флюсу, виконана за допомогою всмоктувальної системи, і працює за рахунок розрядження повітря в трубі та бункері.

4.2 Планування обладнання та робочих місць ділянки

Даний розділ присвячений опису організаційно-технічних заходів та засобів, застосованих на спроектованій ділянці. Розрахунки режимів зварювання, вибору оснастки та обладнання виявили необхідність використання та розміщення на ділянці зварювання зварювального напівавтомату MIRA 221MV, зварювального колони та напівавтомата EWM Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5.

У дипломному проекті було розроблено планування дільниці складання та зварювання резервуарів з внутрішніми шпангоутами. Вжиті заходи спрямовані на запобігання та зниження небезпечних виробничих факторів,

пов'язаних з освітленістю, мікрокліматом, шумом, шкідливими речовинами, ультрафіолетовим випромінюванням, пожежною та електробезпекою, а також безпекою технологічних процесів.

Планування дільниці наведено на рис. 4.9. На плануванні ділянки показані основні розміри цеху в масштабі 1:100, висота, довжина, ширина цеху, відстань між опорними колонами цеху. Вказана висота, на якій розташована кран балка. Вказано пожежний проїзд у відповідність до норм пожежної безпеки. Також на ділянці показано розташування засобів пожежогасіння (ЩПП – щит протипожежний, ЗП – засоби пожежогасіння).

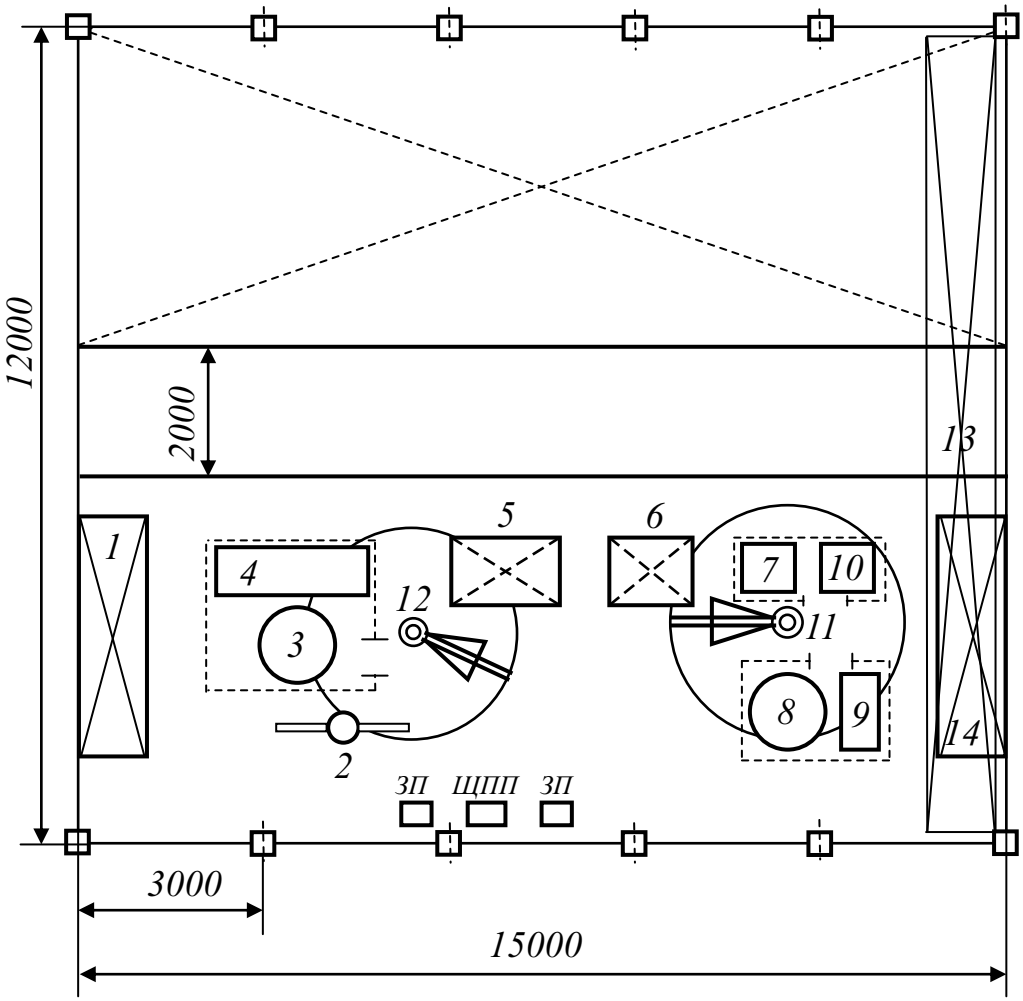


Рисунок 4.9 – Планування дільниці виробництва контейнера: 1 – склад металу; 2 – місце зварювання виробу; 3, 8 – печі термообробки; 4, 9 – місця відпочинку; 5, 6 – проміжний склад; 7 – стіл зварника; 10 – місце ремонту; 11, 12 – переміщення консольного крану; 13 – консольний кран; 14 – склад готової продукції

Робочі місця, де проводиться зварювання обгороджені спеціальною ширмою, для запобігання ураження зварювальним випромінюванням незахищених працівників цеху.

Крім цього на плануванні вказано робоче місце 2 зварювальника. Печі в яких проводиться термообробка виробу вказані під цифрами 3 і 9, консольний кран, що здійснює переміщення виробу по робочих місцях, вказаний під цифрами 11 і 12.

Крани розташовані так, щоб виріб переміщався від проміжного складу до печі, місця ремонту 10 і зварювання 2.

Переміщення виробу по всій території цеху проводиться за допомогою мостового крана 13 вантажопідйомність якого становить 3 тони.

Склад готової продукції відзначений цифрою 14, на даному складі зберігаються вироби, що пройшли всі перевірки виробничого контролю і відповідають відповідним вимогам.

4.3 Контроль якості зварних з’єднань

До виробу висуваються високі вимоги щодо якості зварних швів. Всі дефекти зварних з'єднань поділяються на внутрішні та зовнішні. Зовнішні дефекти виникають при формуванні зварного шва.

До них відносяться порушення форми зварного шва, підрізи, тріщини гарячі та холодні. До внутрішніх дефектів відносять тріщини, пористість, несплавлення і непровари. Якість складання надає істотну роль на якість з'єднання.

У процесі збирання контейнера здійснюємо контроль розташування деталей один щодо одного, розташування та розміри прихваток, відсутність тріщин, пропалив тощо.

Допускається всі зовнішні дефекти усувати механічним шляхом, при цьому розміри шва і товщина основного металу не повинна виходити за нижні граничні відхилення.

При виявленні дефектної ділянки визначають його межі. Виправляють дефекти засверлівкою, фрезеруванням, вирубкою з наступним підварюванням. Підварювання дефектних ділянок виконують до проведення остаточної термообробки.

Для виявлення дефектів під час збирання використовується візуально-вимірювальний контроль (ВВК). За допомогою ВВК виявляють, пропалювання, грубу лускатість, напливи металу, підрізи, непровари, тріщини, пори, раковин, відступи від проектних розмірів зварного шва.

Для проведення ВВК застосовуються: зварювальні шаблони для перевірки правильності геометрії шва, збільшувальні лупи, косинці, лінійки, рулетки, штангенциркуль по ГОСТ 23479-79.

Для виявлення внутрішніх дефектів зварних швів використовуємо ультразвуковий контроль за ГОСТ 55724-2013. Згідно з конструкторською документацією ультразвуковому контролю піддаються зварні шви I-ої групи, до яких належать шви № 1, 2, 3 (див. рис. 1.1) Норми на кількість і розміри дефектів для зварних швів I групи, допущених у швах без виправлення та допущених до виправлення, наведені в табл. 4.5.

Ультразвуковий контроль проводиться для виявлення внутрішніх тріщин, пір, різноманітних включення. Для проведення ультразвукового контролю застосуємо ультразвуковий дефектоскоп А1550 IntroVisor (рис. 4.10) [13].



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд ультразвукового дефектоскопа А1550 IntroVisor

Таблиця 4.5 – Норми на кількість та розміри дефектів для зварних швів I групи

Найменування дефекту	Група шва	
	I	
	Допустима норма дефекту	
	Без виправлення	До виправлення
Поздовжні тріщини, не більше % від довжини шва	Не допускається	10
Поперечні тріщини на довжині шва рівні 20 товщинам, але не менше 100 мм, не більше, шт.	Не допускається	2
Непровари в корені основного шва глибиною більше 10% від товщини, але не більше % від довжини шва	Не допускається	15
Напливи протяжністю в % до довжини шва, не більше	Не допускається	10
Пропали на ділянці шва довжиною 100 мм, не більше, шт.	Не допускається	1 довжиною до 10 мм
Пори на довжині шва рівній 100 мм, не більше, шт.	Не допускається	5

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці складання та зварювання виробу

На здоров'я та працездатність людини під час виконання складальних і зварювальних робіт впливає значна сукупність факторів виробництва та трудового процесу.

Шкідливий виробничий фактор – фактор середовища та трудового процесу, який викликає професійну патологію, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищує частоту соматичних та інфекційних захворювань.

Небезпечний виробничий фактор – фактор середовища та трудового процесу, який є причиною гострого захворювання або раптового погіршення здоров'я, смерті.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів на дільниці складання та зварювання корпусу контейнера належать:

- рухомі частини обладнання, механізми, машини;
- підвищена або знижена температура повітря поверхні обладнання;
- підвищена запиленість та загазованість повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- електромагнітні випромінювання;
- підвищений рівень шуму, вібрації, ультразвуку та інфразвуку;
- відсутність або нестача природного та штучного освітлення;
- гострі кромки, задирки та шорсткості на поверхнях заготовок інструментів та обладнання.

5.2 Техніка безпеки під час зварювальних робіт

Зварювальні роботи належать до виду робіт з підвищеним показником небезпеки. Серед небезпечних виробничих факторів виділяються:

1) високий рівень напруги електромережі;

2) світлове та ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги;

3) ймовірність появи іскри та бризок;

4) висока температура зварювальної дуги та матеріалів;

5) тиск газів, що у балонах.

Виходячи з цього, техніка безпеки при виконанні зварювальних робіт є дуже актуальною темою. Адже її порушення тягне за собою найсерйозніші наслідки.

Серед найчастіших травм, що фігурують у статистиці, переважають ураження електричним струмом, опіки очей та незахищених ділянок шкіри та травми механічної властивості.

Для забезпечення електробезпеки на складально-зварювальній ділянці відповідно до вимог ПОТ Р М-020-2001 вжито наступних заходів:

- проводи та кабелі для живлення електрообладнання машин та установок мають надійну ізоляцію та захист від механічних пошкоджень;

- електрообладнання машин термічного різання повинно мати заземлення;

- заземленню підлягають у стаціонарних машин станина або рейковий шлях, у переносних машин - корпус машини;

- заземлені всі цехові газопроводи;

- електричний опір між заземлюючим пристроєм та будь-якою точкою газопроводу не перевищує 100 Ом;

- забороняється проводити ремонт машин термічного різання під напругою;

- переносні машини термічного різання під час їх пересування необхідно відключати від електричної мережі;

- застосовувані обладнання та пристрої задовольняють вимогам чинних стандартів і нормалей на відповідне зварювальне обладнання;

- напруга холостого ходу джерел зварювального струму не перевищує максимальних значень, зазначених у стандартах на відповідне обладнання;

- з'єднання зварювальних кабелів проводять опресовуванням, зварюванням або паянням з наступною ізоляцією місць з'єднання;

- в електрозварювальних апаратах та джерелах їх живлення елементи, що знаходяться під напругою повинні бути закриті захисними огороджувальними пристроями;

- електрозварювальні установки приєднуються до джерела живлення через рубильник і запобіжник або автоматичний вимикач.

Основні заходи безпеки технологічних процесів вжиті на збирально-зварювальній ділянці відповідно до вимог ПОТ Р М-020-2001:

- стаціонарне робоче місце має пристрої для відсмоктування шкідливих речовин;

- для захисту від іскор і бризок розплавленого металу зварювальник користується захисними окулярами або захисним щитком, спецодягом та рукавичками;

- при перервах у роботі (обідня перерва та ін.) вимкнути рубильник електричної станції, закрити вентилі води, що охолоджує системи повітря;

- у зимовий час необхідно зберігати циркуляцію води;

- при припиненні подачі електроенергії вимкнути рубильник зварювальної машини;

- зварювальне обладнання, призначене для зварювання під флюсом на стаціонарних постах має, пристосування для механізованого засипання флюсу у зварювальну ванну та флюсовідсмоктування з бункером і фільтром;

- порожні балони зберігаються окремо від балонів, наповнених газом;

- газові балони захищені від ударів та дії прямих сонячних променів;

- від опалювальних приладів балони встановлюються на відстані щонайменше 1 м;

- по закінченні роботи балони з газом розміщуються у спеціально відведеному для зберігання балонів на місці, що виключає доступ сторонніх осіб;

- на робочому місці під ногами робітників розташований гумовий килим діелектричний.

5.3 Пожежна безпека

Проектована ділянка за класифікацією виробництв з пожежної безпеки відноситься до категорії Г – пожежонебезпечне виробництво, що використовує горючі і важко горючі рідини, тверді горючі і важко горючі матеріали та речовини, процес обробки яких супроводжується виділенням іскор, полум'я.

Джерелами пожежі в цеху можуть служити джерела живлення зварювальної дуги, газові балони, технічні олії та рідини обробних верстатів, пошкоджені електропроводи обладнання.

Передбачено, що місця, відведені для проведення зварювальних робіт та установки зварювального обладнання, повинні бути очищені від легкозаймистих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

При проведенні зварювальних робіт забороняється користуватися одягом і рукавицями зі слідами олій і жирів, бензину, гасу та інших горючих рідин.

Перед початком роботи зварювальник перевіряє справність зварювальної апаратури, підготовленість робочого місця у протипожежному відношенні, або наявність засобів пожежогасіння, внутрішніх пожежних кранів, піску, вогнегасників. Якщо робоче місце не підготовлено, до робіт приступати не можна. Під час роботи не допускається попадання іскор розплавленого металу та розкидання електродних недогарків на горючі конструкції та матеріали, а після роботи робоче місце ретельно оглядається.

Забороняється захаращувати та закривати проходи до пожежного інвентарю. Курити необхідно у спеціально відведених місцях, обладнаних засобами пожежогасіння.

У разі виникнення пожежі або загоряння необхідно негайно відключити зварювальну установку. Подати сигнал пожежної тривоги та повідомити про пожежу майстра, керівника, зателефонувати до пожежної охорони. До прибуття пожежної охорони необхідно розпочати ліквідацію пожежі найбільш доцільними для цієї ситуації методами.

Відповідно до обраної категорії приміщення з пожежної небезпеки на ділянці передбачені такі засоби пожежогасіння:

а) два порошкові вогнегасники масою 4 кг кожен;

б) два ящики з піском;

в) щит пожежний ЩПП обладнаний брухтом, багром, двома відрами, совковою та штиковою лопатою, візком для перевезення обладнання, азбестовим полотном, ємністю для зберігання води об'ємом 0,2 $м^3$.

5.4 Безпека під час роботи з підйомними пристроями

Підйомні пристрої на виробництві є джерелом підвищеної небезпеки.

У роботі з підйомними пристроями є спеціальні вимоги, невиконання яких тягне за собою тяжкі наслідки різного роду.

При цьому вимоги є наступними:

- до роботи із застосуванням підйомника допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, інструктаж, навчання та стажування на робочому місці, перевірку знань охорони праці;

- мають групу з електробезпеки не нижче II групи.

Вимоги безпеки перед початком робіт:

- перевірити та надіти спеціальний одяг, засоби індивідуального захисту;

- дивитись і підготувати своє робоче місце;

- підготувати необхідний для даної роботи інструмент,перевірити їх зовнішнім оглядом та переконатися в їх справності;

- перевірити стан ізоляційних проводів, при пошкодженні ізоляції експлуатувати підйомник забороняється;

- перевірити обладнання підйомника, а перед початком робіт необхідно подати попереджувальний сигнал

Вимоги безпеки під час роботи:

- при нормальній роботі витягу не повинен спостерігатися підвищений шум механізму витягу, підвищений нагрівання гвинтової пари;

- забороняється проводити будь-які роботи з підйомником та його пультом керування при піднятому вантажі;

- перед підйомом вантажу переконатися у правильному положенні зачіпних пристроїв;

- під час роботи на підйомнику необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, спецодяг повинен бути застебнутий.

Вимоги безпеки в аварійній ситуації:

- негайно припинити роботи та сповістити керівника робіт;

- під керівництвом керівника робіт оперативно вжити заходів щодо усунення причин аварій чи ситуацій, які можуть призвести до аварій чи нещасних випадках.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши існуючу технологію виробництва контейнера з внутрішніми шпангоутами із сталі 30ХГСА, були розроблені пропозиції щодо її вдосконаленню: заміна ручного дугового зварювання поздовжнього та кільцевих швів великої довжини на автоматичне зварювання під шаром флюсу, а зварювання шпангоутів і технологічних планок – на механізоване зварювання в середовищі захисних газів.

В результаті запропонованих покращень базового технологічного процесу підвищується якість зварних з'єднань, помітно знижується трудомісткість виготовлення виробу. Також при заміні ручного дугового зварювання на автоматичне зварювання під шаром флюсу збільшилася економія зварювальних матеріалів.

Враховуючи, що контейнер виготовляється із сталі 30ХГСА, підібрано зварювальні матеріали: флюс АН-648А за ГОСТ 9087-81, зварювальний дріт Св12Х2НМА за ГОСТ 2246-70, захисна газова суміш $CO_2 + Ar$.

Пораховано режими автоматичного зварювання під шаром флюсу та механізованого зварювання в середовищі захисних газів. Для всіх способів зварювання підібрано відповідне зварювальне обладнання, описано методи контролю якості зварного з'єднання.

Також було спроектовано оснащення для виконання складально-зварювальних робіт.

Здійснено планування ділянки збирання та зварювання резервуара.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пасічник А.С. Дослідження параметрів процесу електродугового зварювання корпусу контейнера : тези доп. XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2022 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. С. 45 – 46.

2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.

3. Сорокин, В.Г. Стали и сплавы. Марочник: справочное издание. М.: «Интермет Инжиниринг», 2001. 608 с.

4. Шахматов М.В., Ерофеев В.В., Коваленко В.В. Технология изготовления и расчет сварных оболочек: учебник. Уфа: Уфимский полиграф.комбинат, 1999. 272 с.

5. Лазько В.Е. Свойства сварных соединений выполненных сварочными проволоками Св-18ХМС и Св-12Х2НМА / В.Е. Лазько, Э.Л. Макаров, В.П. Никулин, А.А. Ковалев. М.: ФГУП «ВИАМ»ГНЦ, 1985. 13 с.

6. Сварка в машиностроении: справочник / под. ред. А.И. Акулова. М.: Машиностроение, 1972 – 462 с.

7. Сварка в машиностроении: справочник: в 4 т. / под. ред. В.А. Винокурова. М.: Машиностроение, 1979. Т.3. 468 с.

8. Сварка и свариваемые материалы: справочник: в 3 т. / под. ред. В.Н. Волченко. М.: Изд-во МГТУ, 1998. Т.2. 574 с.

9. Теория сварочных процессов : под ред. В.М. Неровного. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 752 с.

10. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавленим : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.

11. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.

12. Думов С.И. Технологияэлектрической сварки плавлением: учеб. Л.: Машиностроения, 1987. 640 с.

13. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.

14. ГОСТ 8713-79 Зварювання під флюсом. З`єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.

15. ГОСТ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З`єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.

16. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.

17. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.

18. Орлова Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки : учебник. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

19. Гитлевич А.Д., Этингоф Л.А. Механизация и автоматизация сварочного производства : учебник. М.: Машистроение, 1979. 280 с.

20. Красовский А.И. Основы проектирования сварочных цехов : учебник. М.: Машиностроение, 1980. 387 с.

21. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

22. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

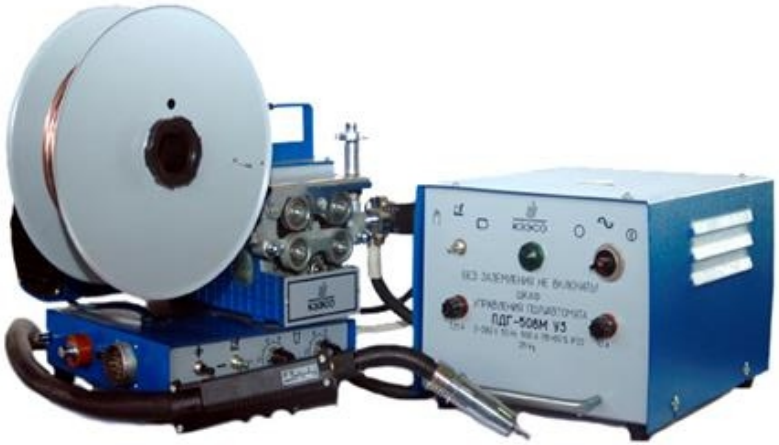
23. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ КОРПУСУ КОНТЕЙНЕРА

(Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня магістр)



Студент: Пасічник А.С. гр. МПм-61
Спеціальність: 131 Прикладна механіка.
Керівник:
д.т.н., професор Барановський В.М.

Тернопіль – 2022

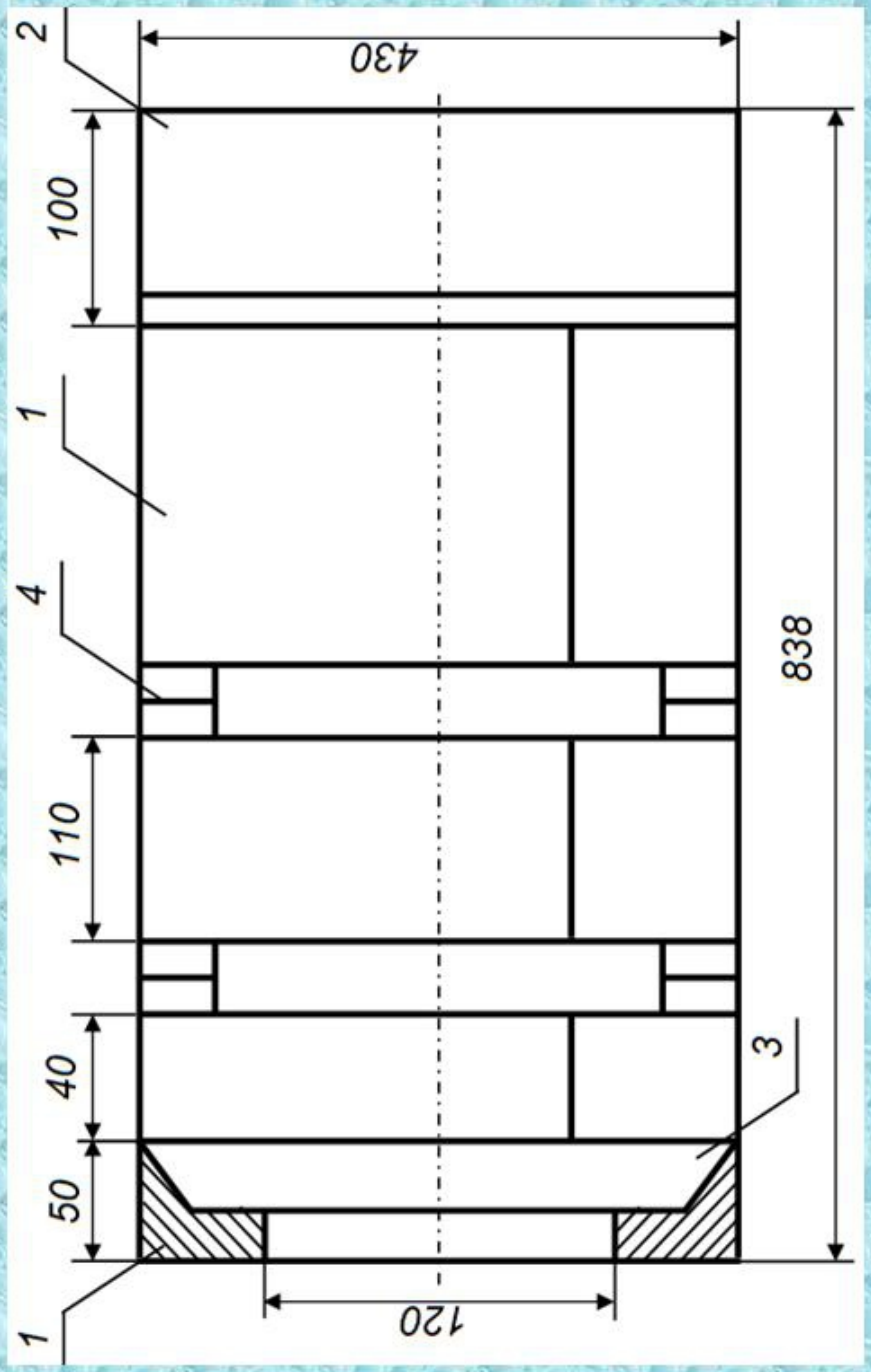
1

Мета роботи:
підвищення якості зварних з'єднань шляхом обгрунтування параметрів автоматизованого електродугового зварювання поздовжніх і кільцевих швів корпусу контейнера.

В кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- *- на основі аналізу існуючих технологій розробити удосконалену технологію збирання та зварювання корпусу контейнера;*
- *- дослідити параметри електродугового зварювання корпусу контейнера;*
- *- розрахувати параметри та режими автоматизованого електродугового зварювання деталей контейнера під шаром флюсу та в захисному газі;*
- *- вибрати зварювальне обладнання та супутні матеріали.*
- *- розглянути питання безпеки життєдіяльності та охорони праці.*

2 ЕСКІЗНИЙ ПРОЕКТ КОНТЕЙНЕРА



1 – обичайка; 2 – днище; 3 – горловина; 4 – шпангоут

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПІД ШАРОМ ФЛЮСУ

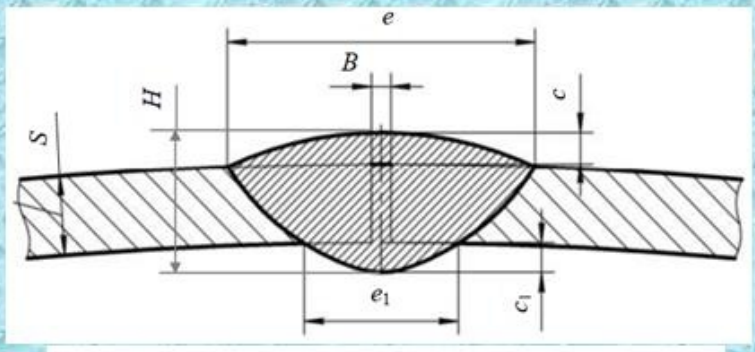


Схема до розрахунку параметрів автоматизованого зварювання під шаром флюсу

Сила зварювального струму Ізв, А

$$I_{зв} = \Omega\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right) \quad (1)$$

Напруга дуги зварювання, Uд, В

$$U_д = 20 + \frac{K\sqrt[3]{\Omega^2}\sqrt[3]{\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)^4}\left(\sqrt{j}\right)^{\frac{1}{2}}}{1000\sqrt{1{,}13}} \pm 1 \quad (2)$$

Швидкість подачі електродного дротуUп.д, мм/с

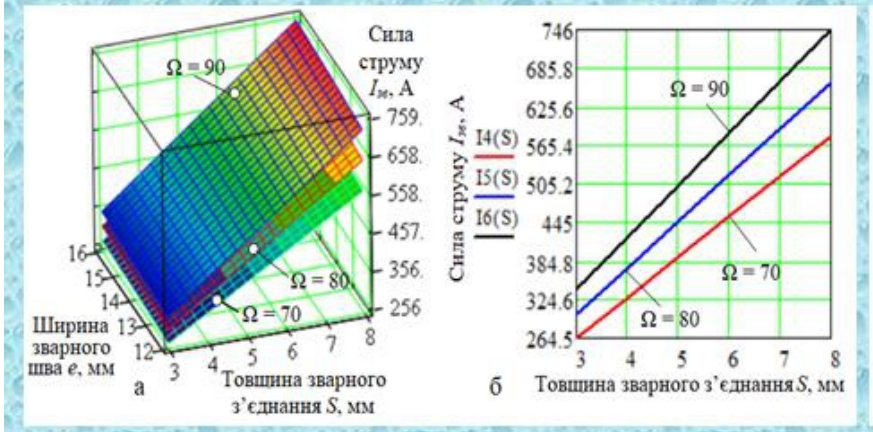
$$\vartheta_{п.д} = \frac{\alpha_p j\left(1 - \frac{\kappa}{100}\right)}{1{,}13^2 \pi 900 \rho} \quad (3)$$

Швидкість зварювання Uзв, мм/с

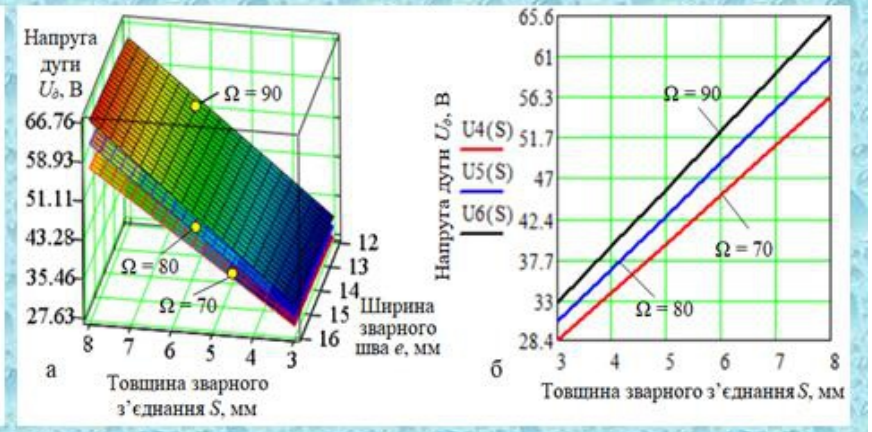
$$\vartheta_{зв} = \frac{\alpha_p \Omega\left(1 - \frac{\kappa}{100}\right)\left(S + c_1 - \frac{e_1 c_1}{e} - \frac{BS}{0{,}73e}\right)}{3600\left(0{,}73\left(ec + e_1 c_1\right) + BS\right)\rho} \quad (4)$$

де Ω – коефіцієнт, який залежить від вибраної технології електродугового зварювання; B – зазор між зварювальними кромками, мм; S – товщина зварного з'єднання, мм; c – висота підсилення зварювального шва, мм; e_1 – ширина підсилення шва з зворотної сторони, мм; c_1 – висота підсилення шва з зворотної сторони, мм; j – допустима щільність струму на вильоті електроду, А/мм²; ρ – щільність наплавленого металу зварного шва, г/см³

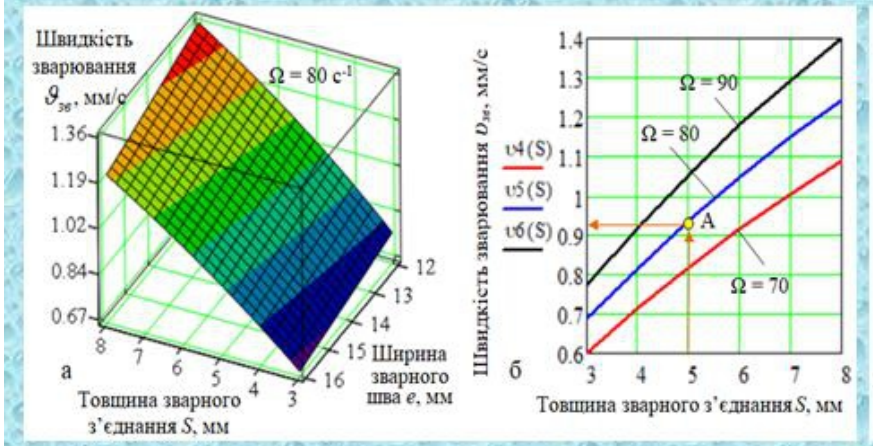
4 ГРАФІЧНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЗВАРЮВАННЯ



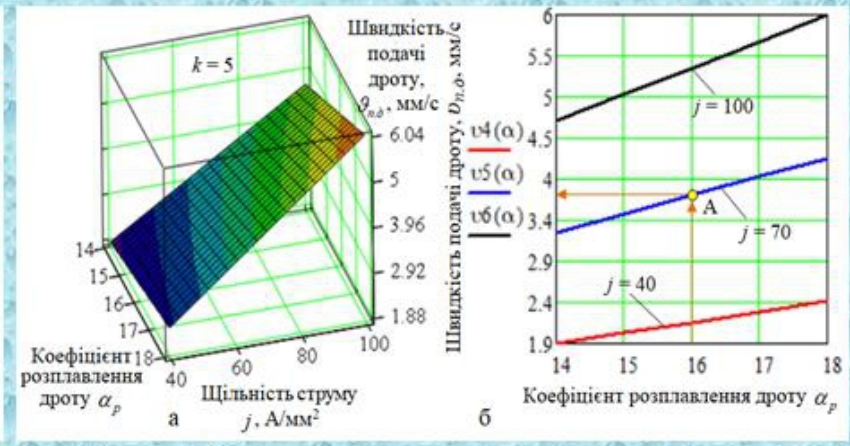
Залежність зміни зварювального струму як функція: а – $Iзв = f(S, e)$; б – $Iзв = f(S)$



Залежність зміни напруги дуги як функція: а – $Uд = f(S, e)$; б – $Uд = f(S)$



Залежність зміни швидкості зварювання як функція: а – $\upsilon_{зв} = f(S, e)$; б – $\upsilon_{зв} = f(S)$



Залежність зміни швидкості подачі дроту як функція: а – $\upsilon_{п.д} = f(\alpha_p, j)$; б – $\upsilon_{п.д} = f(\alpha_p)$

5 ПАРАМЕТРИ ТА РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ

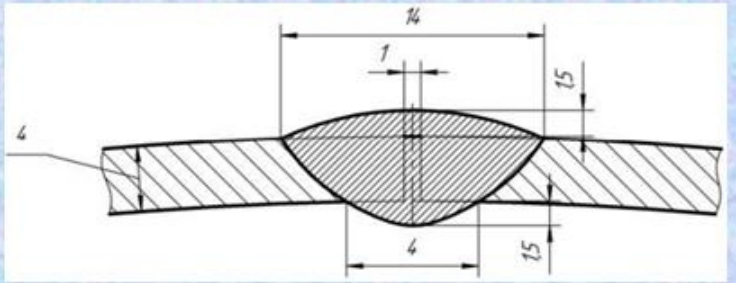


Схема зварного шва

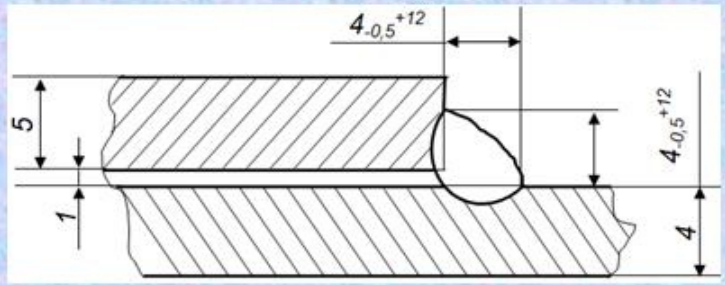


Схема зварного з'єднання

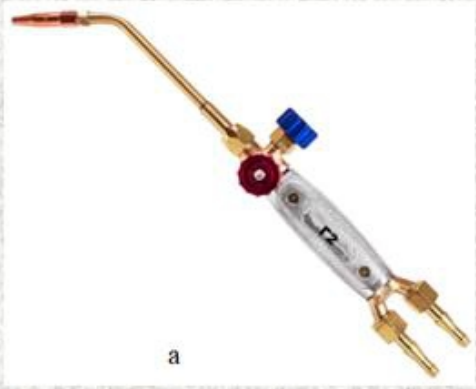
Параметри та режими зварювання деталей під шаром флюсу

Найменування	Значення
Зварювальний струм, А	365-375
Діаметр електродного дроту, мм	3
Виліт електроду, мм	30
Напруга на дузі, В	30-32
Швидкість зварювання, см/с	0,85
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	3
Погонна енергія зварювання, Дж/см	11415
Глибина проплавлення основного металу, мм	4,7
Ширина шва, мм	14
Висота підсилення шва, мм	1,4
Коефіцієнт форми провару	2,96
Коефіцієнт форми валика	9,34
Швидкість охолодження шва, ^{0}С/с	1,7

Параметри та режими зварювання деталей в середовищі захисних газів

Найменування	Значення
Зварювальний струм, А	175-185
Діаметр електродного дроту, мм	1,6
Виліт електроду, мм	16
Напруга на дузі, В	25-27
Швидкість зварювання, см/с	1,0
Швидкість подачі електродного дроту, см/с	3,8
Погонна енергія зварювання, Дж/см	3900
Глибина проплавлення основного металу, мм	2,5
Ширина шва, мм	8,0
Висота підсилення шва, мм	0,68
Площа наплавлення, мм^2	7,9

6 ЗВАРЮВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ



Загальний вигляд пропано-кисневого пальника ГЗУ-3-23



Загальний вигляд зварювального автомату А-1406а



Загальний вигляд зварювального напівавтомата Tesla Weld MIG/MAG/MMA 350-5



Схема імпульсного зварювання Mig/Mag

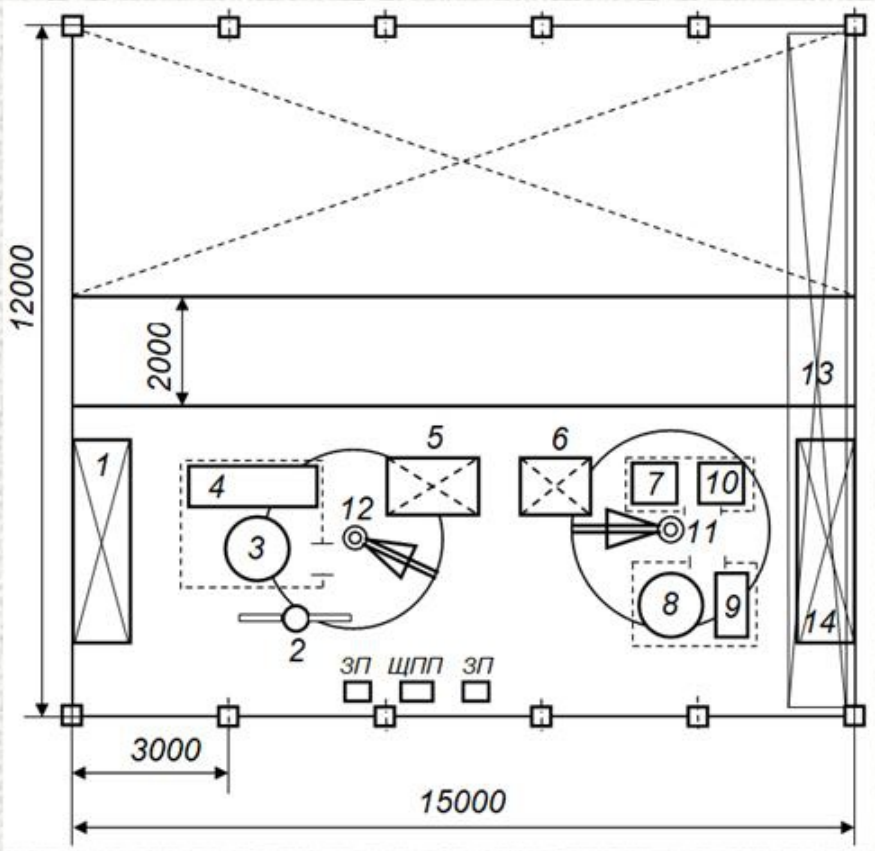


Загальний вигляд зварювального напівавтомату MIRA 221 KGE



Загальний вигляд струбцини

7 СХЕМА ДІЛЬНИЦІ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРА



1 – склад металу; 2 – місце зварювання виробу; 3, 8 – печі термообробки; 4, 9 – місця відпочинку; 5, 6 – проміжний склад; 7 – стіл зварника; 10 – місце ремонту; 11, 12 – переміщення консольного крану; 13 – консольний кран; 14 – склад готової продукції