

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
Кораблебудівний навчально науковий інститут**

**Кафедра Зварювального виробництва**

«Допущений до  
захисту»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ С.В. Драган  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

***КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА***  
**на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

**на тему: Розробка технології складання і зварювання днищової секції із  
сталі категорії А32 газозову типу "ріка-море"**

Виконав: студент групи 3127 зст  
\_\_\_\_\_ Рибаків М.О.  
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи:  
В.о. зав кафедри,  
канд. техн. наук, професор НУК  
(посада, науковий ступень, вчене звання)  
\_\_\_\_\_ Драган С.В.  
(підпис) ..... (ПІБ)

Миколаїв, 2024 р.

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_ О.М. Костін

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

Студенту Рибакову Максиму Олеговичу  
(Прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Розробка технології складання і зварювання днищової секції зі сталі категорії А32 газозовозу типу "ріка-море"

Керівник роботи Драган С.В.

Затверджені наказом ректора № \_\_\_\_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**2. Термін подання роботи:** 10.01. 2024 р.

**3. Вихідні дані по роботі:** 1. Робочі креслення днищової секції 2. Матеріал секції – сталь А32.

**3. Річна програма випуску секцій** 70 шт.

**4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів.** 1. Аналіз конструкції та технології складання і зварювання днищової секції танкера-газовоза типу «ріка-море». 2. Розрахунок технології зварювання секції. 3. Розробка зварювального устаткування та технологічної оснастки. 4. Розробка технології складання та зварювання днищової секції. 5. Охорона праці та техніка безпеки виробничого процесу. 6. Розрахунок технологічної собівартості складання та зварювання днищової секції.

**5. Перелік презентаційних матеріалів:** 1. Тема, мета та завдання проекту.

2. Конструкція днищової секції. 3. Характеристика сталі А32 (09Г2). 4. Базовий технологічний процес складання і зварювання секції. 5. Розрахунок режимів зварювання. 6. Розрахунок термоциклів та оцінка твердості металу ЗТВ. 7. Розрахунок загальних зварювальних деформацій секції.

8. Технологічний процес складання і зварювання секції. 9. Розрахунок технологічної собівартості складання та зварювання секції. 10. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 6	Драган С.В., в.о. зав. кафедри		

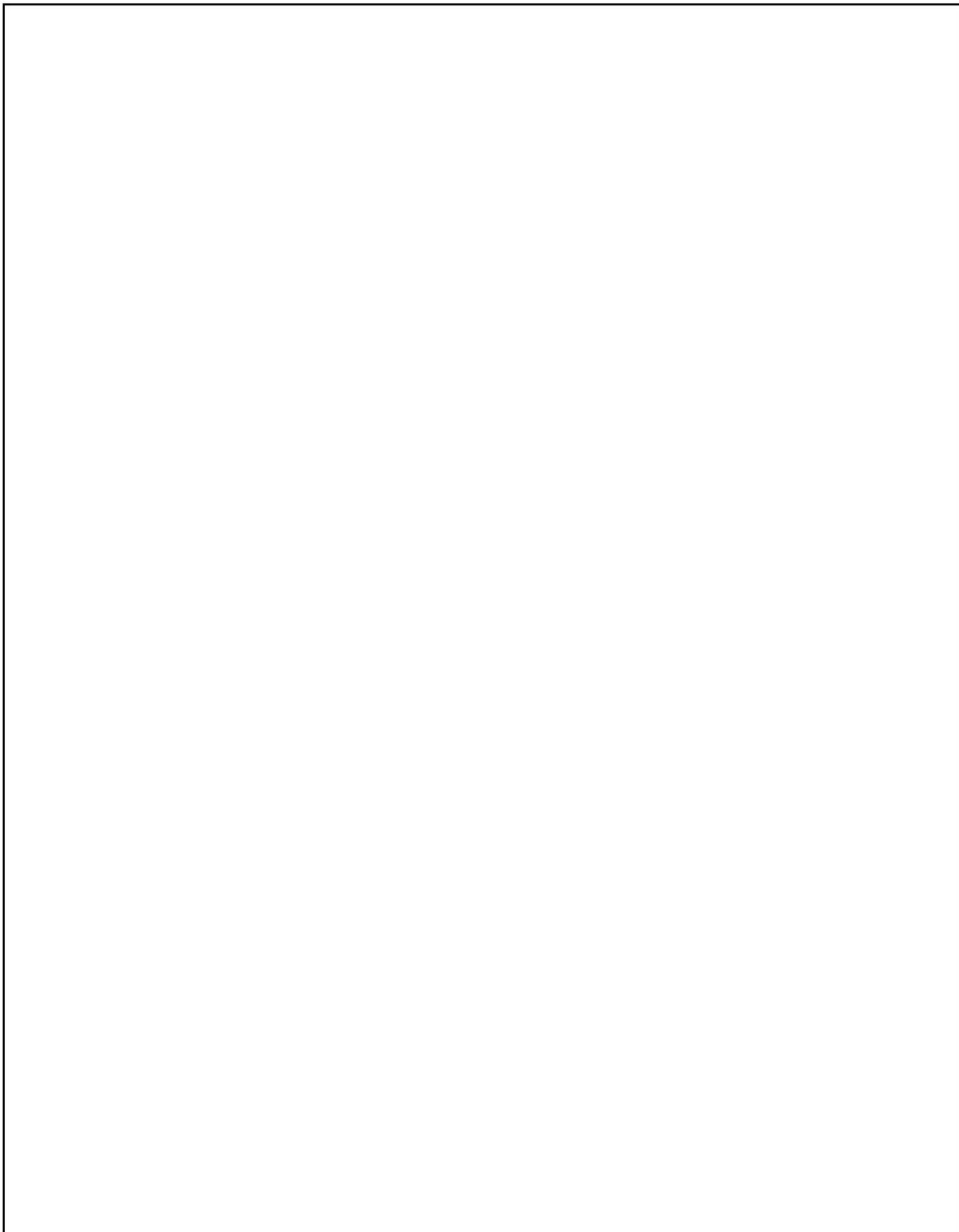
7. Дата видачі завдання 01.10.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд та аналіз літератури за темою проекту	15.10. 2023	
2.	Розрахунок технології зварювання: режимів, термоциклів, зварювальних деформацій	10.11. 2023	
3.	Розробка зварювального устаткування та технологічної оснастки	25.11.2023	
4.	Розробка технології складання та зварювання секції	04.12. 2023	
5.	Розробка питань охорони праці та техніки безпеки	15.12. 2023	
6.	Розрахунок технологічної собівартості складання та зварювання секції	30.12. 2023	
7.	Підготовка презентації та доповіді	10.01 2024	

Студент \_\_\_\_\_ Рибаков М.О.  
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Драган С.В.  
(підпис) (ПІБ)



					<i>ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата				
Студент	Рибоков М.О.				ВСТУП	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник	Драган С.В.							
Зав. Каф.	Драган С.В.							
						НУК ім. адм. Макарова		

## Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1. Аналіз конструкції та технології складання і зварювання днищової секції танкера-газовоза типу «ріка-море».....	5
1.1. Загальна характеристика конструкції днищової секції середньої частини корпусу газовоза.....	5
1.2. Характеристика властивостей та зварюваності сталі А32.....	9
1.3. Типові технології складання та зварювання напівоб'ємних корпусних секцій	
1.4. Висновки, мета та завдання дипломного проекту.....	18
Розділ 2. Розрахунок технології зварювання секції.....	19
2.1. Обґрунтування вибору способів зварювання та призначення конструкції зварних з'єднань.....	19
2.2. Розрахунки режимів зварювання.....	37
2.3. Розрахунки термічних циклів зварювання та оцінка очікуваної твердості металу ЗТВ.....	45
2.4. Розрахунок загальних зварювальних деформацій секції.....	52
2.5. Висновки по розділу.....	54
Розділ 3. Розробка зварювального устаткування та технологічної оснастки....	55
3.1. Вибір зварювального устаткування.....	55
3.2. Опис конструкції універсальної складальної постелі.....	
3.3. Розрахунок пристосувань для транспортування секції.....	
3.4. Розрахунок міцності зварного з'єднання підйомного обуху з секцією.....	
3.5. Висновки по розділу.....	
Розділ 4. Розробка технології складання та зварювання днищової секції.....	
4.1. Технологічний процес складання та зварювання секції.....	
4.2. Контроль якості зварювання та виправлення дефектів.....	
4.3. Нормування операцій та визначення тривалості технологічного процесу ..	
4.5. Висновки по розділу.....	
Розділ 5. Охорона праці.....	69

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів праці при дуговому зварюванні сталі А32.....	69
5.2. Розрахунок захисного заземлення.....	70
5.3. Основні заходи безпеки при дугових способах зварювання.....	75
5.5. Висновки.....	77
Розділ 6. Розрахунок технологічної собівартості складання та зварювання днищової секції.....	80
Загальні висновки.....	91
Список використаних джерел інформації.....	93

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



# Розділ 1. Аналіз конструкції та технології складання і зварювання днищової секції танкера-газовоза типу «ріка-море»

## 1.1. Загальна характеристика конструкції днищової секції середньої частини корпусу газовоза

Танкери-газовози здійснюють перевезення різних газів (пропан, метан, аміак), у зрідженому стані. Судна-газовози мають вкладні цистерни циліндричної, прямокутної та сферичної форми [28]. Наприклад, газовози для доставки метану, який перевозиться при температурі до  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мають цистерни прямокутної форми. Судна-газовози обладнані насосами, системою трубопроводів, компресорами для виконання розвантажувальних операцій [38].

Судно типу «ріка-море» проєкту 001RSG01 з кормовим розташуванням надбудови належить до газовозів типу LPG (Liquid Petroleum Gas) призначене для перевезення пропан-бутану в охолодженому стані під тиском в ізольованих танках загальною місткістю 2138 куб. м (рис.1.1).

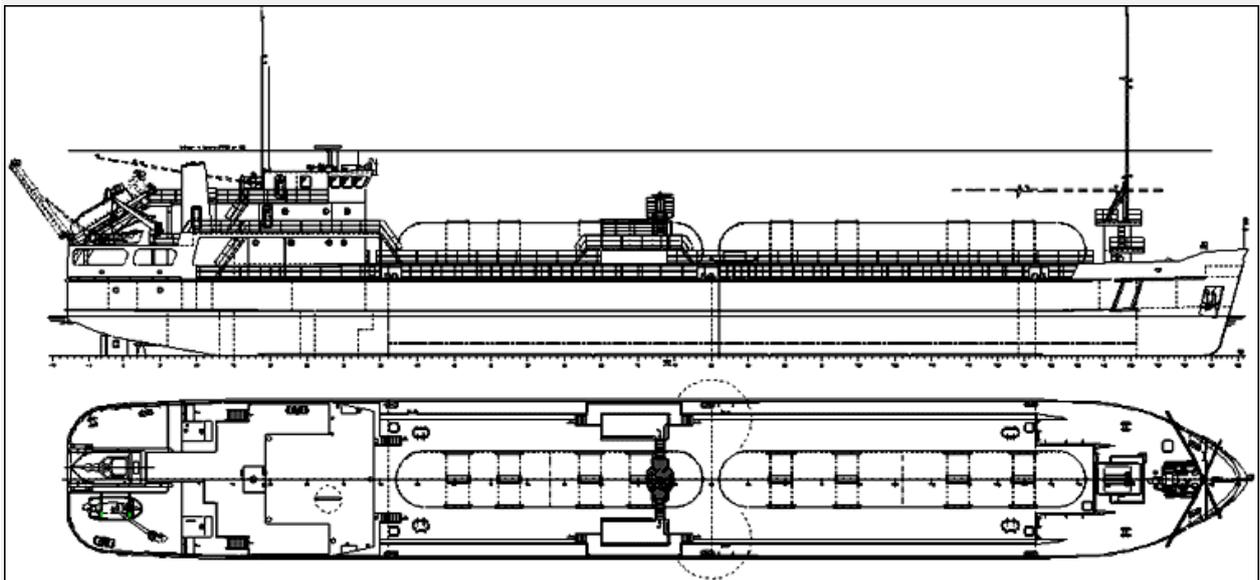


Рис. 1.1. Газовоз типу LPG для перевезення скраплених газів

Головні характеристики судна наведені в табл. 1.1 [32].

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1. Основні розмірення та параметри газовозу пр. 001RSG01

Головні розмірення	
Довжина максимальна, м	88,12
Ширина, м	12,0
Ширина габаритна, м	12,30
Висота борта, м	5,8
Осадка, м	3,02
Параметри	
Дедвейт, т	1256
Автономність, доби	15
Дальність плавання, миль	1600
Вантажопідйомність, т	1100
Кількість вантажних ємностей, шт..	6
Об'єм вантажних ємностей, м <sup>3</sup>	2138
Осадка в баласті (у морі / в річці), м	2,45 / 2,28
Потужність ГД, кВт	2 x 460
Екіпаж, чол.	14
Швидкість, вузли	10 ± 0,3

Днищова секція, що розглядається у даному дипломному проекті, являє собою напівоб'ємну відкриту секцію середньої частини корпусу газовоза. Секція розташована в районі 43-59 шп., має габаритні розміри  $L \times B \times H = 11400 \times 7900 \times 700$  мм. Маса секції 9294 кг. Секція набрана за змішаною системою, у якій набір складається з неперервних та розрізних балок поздовжньої та поперечної систем з деяким переважанням поперечних балок.

Секція обмежена криволінійною поверхнею зовнішньої обшивки, виготовленої з листів товщиною 10 мм. Сітка набору складається з повздовжнього та поперечного високого набору з листового прокату товщиною 9 мм (рис. 1.2). Крок встановлення поперечного набору 670 мм, відстань між балками поздовжнього набору 1300 мм. Частково обшивка секції підкріплена ребрами жорсткості із профільного прокату – штабобульба несиметричного № 146 (ГОСТ 21937-76). Секція виготовляється зі сталі підвищеної міцності марки А32 (09Г2).

Як відомо [4], днищові секції є складовою частиною корпусу судна і служать опорою для бортових перекриттів, які передають їм поперечні навантаження.

Загальні вимоги до днищових секцій можна сформулювати наступним чином:

1) листи днищової обшивки між сусідніми балками набору повинні

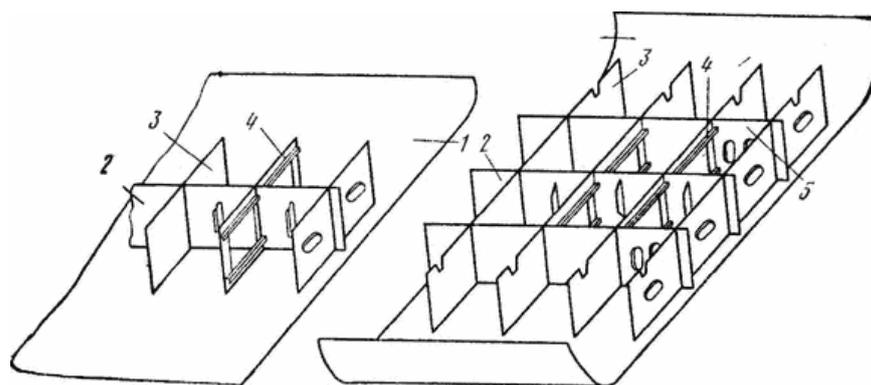
					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

забезпечувати водонепроникність і мати достатню міцність для передачі зовнішніх зусиль на балки набору й достатню міцність у випадку дії в їхній площині стискальних зусиль, переданих на днище бортами й перегородками;

2) балки набору днища разом з усіма перекриттями повинні мати достатню стійкість при стиску, а при вигині поперечними навантаженнями зберігати свою форму.

3) у цілому конструкція днищової секції разом з балками набору повинна мати достатню міцність і жорсткість для безпечного сприйняття діючих навантажень.

Враховуючи складні умови роботи днищових секцій і їх високу відповідальність, вони проєктуються і виготовляються у відповідальності з вимогами правил класифікаційних товариств (Правил Регістру судноплавства, Лойда, Верітас та ін.) щодо основного і зварювальних матеріалів, технології зварювання, кваліфікації зварювальників і процесу контролю якості.



*a*



*б*

Рис.1.2. Схема (а) та фрагмент загального вигляду (б) днищової секції: 1 – плоска частина обшивки; 2 - вертикальний кіль; 3 – бракета; 4 – ребро жорсткості; 5 – стрингер; 6 – криволінійна (скулова) частина обшивки

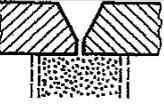
7

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Аналіз конструкції даної секції показав, що вона відповідає вказаним вимогам і є технологічною.

Зварні з'єднання секції обмежені двома типами: стикові, які за базовою технологією виконуються автоматичним способом під флюсом (С18 АФф за ГОСТ 8713-79 - плоска частина обшивки) та механізованим зварюванням порошковим дротом Megafil-713R у газовій суміші 82%Ar+18%CO<sub>2</sub> (С21 ИП за ГОСТ 14771-76 – скулова частина) і таврові, які виконуються також механізованим способом (Т8 ИП за ГОСТ 14771-76 – з'єднання набору з обшивкою та Т3 ИП за ГОСТ 14771-76 – зварювання місць перетинання набору з використанням порошкового дроту Megafil-713R і захисного середовища 82%Ar+18%CO<sub>2</sub>. Підготовка кромки та вид зварених швів наведені в табл. 1.2, табл. 1.3 і табл. 1.4 відповідно.

Таблиця 1.2. Зварні з'єднання плоскої частини обшивки

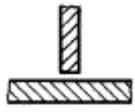
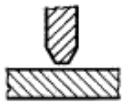
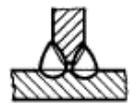
Тип з'єднання	Форма підготовлених кромки	Характер зварного шва	Форма поперечного сечення		Спосіб зварки	Товщина зварюваних деталей, мм	Умовне позначення зварного з'єднання
			Підготовлених кромки	зварного шва			
Стикове	Со скосом кромки	Односторонний			АФф	8,0 – 24,0	С18

Таблиця 1.3. Зварні з'єднання скулової частини обшивки

Тип з'єднання	Форма підготовлених кромки	Характер зварного шва	Форма поперечного сечення		Товщина зварюваних деталей, мм, для способів зварки		Умовне позначення зварного з'єднання
			Підготовлених кромки	зварного шва	ИП	УП	
Стикове	Со скосом двух кромки	Односторонний на съёмной подкладке				3 - 60	С18
		Двусторонний			3 - 10		С21

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4. Зварні з'єднання набору між собою (ТЗ) та з обшивкою (Т8)

Тип з'єднання	Форма підготовлених кромок	Характер зварного шва	Форма поперечного сечення		Товщина зварюваних деталей, мм, для способів зварки		Умовне позначення зварного з'єднання
			Підготовлених кромок	зварного шва	ІП	УП	
Таврове	Без скося кромок	Двусторонній			0,8 - 40	0,8 - 40	ТЗ
		Двусторонній			6 - 80	6 - 80	Т8

Аналіз конструкції зварних з'єднань показав, що з метою зниження трудомісткості технологічного процесу виготовлення секції є можливість заміни типу деяких з'єднань. Так, заміна стикових з'єднань С18 АФф на С4 АФф виключає операцію розробки крайок, а заміна з'єднань С21 ІП на С18 УП виключає операцію кантування секції для підварювання швів.

### 1.2. Характеристика властивостей та зварюваності сталі А32

При виготовленні суднокорпусних конструкцій найбільше поширення отримала сталь підвищеної міцності марки А32. Це зв'язано з невисокою вартістю її виготовлення через відсутність дорогих легуючих елементів. Також широко використовуються сталі марок А36, D32, D36, D40, які мають схожі показники якості.

До сталі А32 належать такі марки: 09Г2, 10Г2, 14ХГС, 15ХСНД. Аналогами сталі 09Г2 у міжнародній практиці є: Німеччина - 7Mn, G8Mn7; КНР 09Mn2 Польща 09G2 [37].

Сталь 09Г2 належить до класу низьковуглецевих низьколегованих сталей. Вона містить у своєму складі такі легуючі елементи як кремній і марганець, вміст яких перевищує допуски, відведені для вуглецевих сталей. За рахунок легування сталь здобуває високі механічні властивості, зростає її стійкість до крихкого руйнування та підвищується корозійна стійкість [17]. За вмістом

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

шкідливих домішок (фосфор і сірка) А32 належить до якісних сталей. Структура сталі А32 у вихідному стані ферито-перлітна. Хімічний склад сталі наведений в табл. 1.5, основні механічні властивості – в табл. 1.6.

Таблиця 1.5. Хімічний склад сталі 09Г2, % (ДСТУ 8541:2015)

C	Mn	Si	Ni	S	P	Cr	V	N	Al	Cu	As
до 0,12	1,4 – 1,8	0,17 – 0,37	до 0,3	до 0,035	до 0,03	до 0,3	до 0,12	до 0,008	до 0,06	до 0,3	до 0,08

Таблиця 1.6. Механічні властивості сталі 09Г2 за ДСТУ 8541:2015

Марка сталі, сортамент	Тимчасовий опір $\sigma_B$ , МПа	Границя плинності $\sigma_T$ , МПа	Відносне подовження, $\delta_5$ , %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/м <sup>2</sup>
09Г2, листи	430 - 490	265 - 345	21	590 - 640

Сталь, яка розглядається у проєкті, належить до групи добре зварюваних сталей, тобто її зварювання може проводитися різними способами, у будь-якому положенні, і може бути виконане за звичайною технологією. Сталі А32 мають дуже високу критичну швидкість охолодження, (більше 100°С/с), тому при зварюванні не викликає утворення у металі шва і зоні термічного впливу (ЗТВ) мартенситної структури. Структура різних ділянок ЗТВ змінюється від крупнозернистої ферито-перлітної, чисто відманштетового типу у навколошовній зоні, до дрібнозернистої ферито-перлітної у зоні неповної перекристалізації. Для отримання такої структури загальноприйнята технологія зварювання заснована на застосуванні обмеженої погонної енергії [1].

Приблизно оцінити зварюваність сталі 09Г2 можна за хімічним складом. При цьому узагальнений вплив останнього на схильність до утворення холодних тріщин встановлюється за допомогою еквівалентного вмісту вуглецю -  $C_{екв}$ , числове значення якого визначається за різними емпіричними формулами [30]. Найбільш поширеною розрахунковою формулою є формула, яка рекомендована Міжнародним інститутом зварювання (МІЗ) [8]:

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

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

де цифри вказують вміст в сталі в масових частках відсотка відповідних елементів.

Якщо  $C_{\text{екв}} \geq 0,45$ , то вважається, що сталь володіє доброю прогартовуваністю і тому схильна до утворення холодних тріщин. При зварюванні такої сталі слід застосовувати попередній підігрів.

Розрахуємо значення  $C_{\text{екв}}$  для сталі 09Г2

$$C_{\text{екв}} = 0,12 + \frac{1,6}{6} + \frac{0,3 + 0,12}{5} + \frac{0,3 + 0,3}{15} = 0,44\%$$

Оскільки  $C_{\text{екв}} < 0,45$  %, то сталь такого хімічного складу не схильна до утворення холодних тріщин при зварюванні і може зварюватися дуговими способами без попереднього підігріву при призначенні оптимальних параметрів режиму.

Здатність сталі до утворення гарячих кристалізаційних тріщин можна оцінити за значенням показника *HCS* (high temperature cracking sensitivity). Якщо  $HCS > 4\%$ , то зварні шви потенційно схильні до гарячих тріщин. Це означає, що в умовах високого темпу зварювальної деформації в ТІК, який залежить від типу і жорсткості зварного з'єднання, способу і режиму зварювання, можливе утворення гарячих тріщин.

Оцінимо розрахунком стійкість зварних швів проти утворення гарячих тріщин при зварюванні сталі 09Г2 за формулою

$$HCS = \frac{C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100}) \cdot 1000}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (1.2)$$

де C, Si та ін. - хімічні елементи, %.

$$HCS = \frac{0,12(0,035 + 0,03 + \frac{0,28}{25} + \frac{0,3}{100}) \cdot 1000}{3 \cdot 1,6 + 0,3 + 0,12} = 1,82\%.$$

Оскільки  $HCS < 4\%$ , то шви на сталі 09Г2 не схильні до утворення гарячих тріщин при зварюванні.

При розробці технології виготовлення днищової секції слід призначити

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		





- розмітка обшивки;
- встановлення та приварювання всіх балок набору;
- встановлення та приварювання насичення;
- встановлення та закріплення накриваючого настилу (якщо настил є);
- зняття секції з постелі та її кантування;
- підварювання швів по зовнішній обшивці, приварювання накривного полотнища до набору;
- повернення секції у вихідне положення, перевірка її форми та розмірів.

Складальні постелі найбільш застосовна група оснастки. Всі постелі утворюють робочі лекальні поверхні, що визначають форму і розміри секцій, що виготовляються на них.

За конструкцією та способом утворення лекальної робочої поверхні постелі діляться на стоякові та лекальні, а за призначенням - на спеціалізовані (для виготовлення секцій тільки одного виду) та універсальні [6].

При переході від будівництва суден одного проєкту до іншого значні витрати пов'язані з проєктуванням та виготовленням нових постелей. Трудомісткість виготовлення та встановлення спеціалізованих постелей може досягати 18-20% трудомісткості складання та зварювання секції. Це змушує відмовлятися від спеціалізованих постелей та переходити до застосування універсальних постелей [6].

Універсальна постіль для виготовлення днищових секцій (рис. 1.3) складається з балок 3 з висувними стійками 2 для створення робочої поверхні, що відповідає обводам секції, що виготовляється.

Скулова частина днищової секції має різні кривизну і висоту від основної площини судна. Для отримання необхідних обводів скулової частини секції на балках встановлені на роликах два рухомих подлекальника 1, які також забезпечені висувними стояками 2.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		







зварювальними матеріалами: порошковий дріт Megafil-713R + газова суміш 82% Ar+18% CO<sub>2</sub>.

Недоліком такої технології є її висока вартість, зв'язана з використанням імпортного зварювального порошкового дроту в комбінації з захисною газовою сумішшю і застосування спеціалізованої складальної оснастки.

#### 1.4. Висновки, мета та завдання дипломного проекту

Аналіз конструкції напівоб'ємної днищової секції танкера-газовоза типу «ріка-море» пр. 001RSG01, властивостей сталі марки А32 та технології зварювання подібних днищових секцій дозволяє зробити наступні висновки:

1) 1. Днищова секція танкера-газовоза є технологічною конструкцією, яка дозволяє застосувати автоматичні та механізовані способи зварювання та універсальну складально-зварювальну оснастку.

2. Застосування спеціалізованих стоякових постілей у базовій технології вимагає коригування висоти стояків після виготовлення попередньої секції для забезпечення потрібної форми поверхні обшивки.

3. Виконання стикових з'єднань автоматами під флюсом (тип з'єднання С18) вимагає розробки кромки, що підвищує трудомісткість і вартість однієї технологічної операції.

4. Використання для механізованого зварювання порошкового дроту Megafil-713R (виробник Німеччина) у комбінації з газовою сумішшю 82% Ar+18% CO<sub>2</sub> суттєво удорожчує технологічну собівартість виготовлення днищових секцій.

5. Застосовані на суднобудівних заводах варіанти складання та зварювання подібних напівоб'ємних днищових секцій можуть бути реалізовані у даному проєкті з використанням більш дешевих зварювальних матеріалів вітчизняного виробництва і засобів малої механізації.

Метою дипломного проекту є розробка удосконаленої технології складання і зварювання напівоб'ємних днищових секцій газозавоза типу «ріка-море», яка забезпечить зниження трудомісткості операцій та технологічної собівартості виготовлення.

Для досягнення поставленої мети дипломного проекту необхідно вирішити

									Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ				

наступні завдання:

1. Вибрати раціональну конструкцію зварних з'єднань обшивки секції.
2. Вибрати способи зварювання всіх зварних з'єднань і відповідні зварювальні матеріали.
3. Розрахувати режими зварювання та визначити твердість металу ЗТВ.
4. Розрахувати очікувані зварювальні деформації секції.
5. Вибрати зварювальне устаткування і розробити технологічну оснастку.
6. Призначити послідовність зварювання секції та методи контролю якості зварювання.
7. Розробити питання техніки безпеки та охорони праці.
8. Розрахувати технологічну собівартість складання і зварювання секції за удосконаленою технологією.

						Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	

## Розділ 2 Розрахунок технології зварювання секції

### 2.1 Обґрунтування вибору способів зварювання та призначення конструкції зварних з'єднань

З метою розробки удосконаленої технології виготовлення днищової секції танкера-газовоза розглянемо деякі з найбільш вживаних у суднобудуванні способів дугового зварювання і проаналізуємо переваги та недоліки кожного з них за деякими показниками, насамперед за показниками технологічності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. - Технологічність різних способів зварювання [18]

Показники технологічності	Способи зварювання, їх особливості		
	зварювання під флюсом	зварювання в захисному газі дротом суцільного перерізу	зварювання порошковим дротом
Можливість легування металу шва	через флюс і дріт	тільки через дріт	тільки через дріт
Вигорання легуючих елементів	мінімальне	підвищене	
Втрати електродного металу	відсутні	підвищені	мінімальні
Зовнішній вигляд шва	гладка поверхня	горбиста поверхня	гладка поверхня
просторове положення	тільки нижнє	будь-яке	будь-яке
Зачистка при багатошаровому зварюванні	необхідна	не потребується	не потребується
Зачищення від бризок після зварювання	не потребується	необхідне	часто не потребується
Спостереження за зварювальною ванною	утруднене	можливе	можливе
Протяжність шва	бажано велика	будь-яка	будь-яка
Основні шкідливості і небезпечності	токсичні речовини	світлове випромінювання	світлове випромінювання, токсичні речовини

Для отримання при дуговому зварюванні з'єднань з високими механічними властивостями, наявність яких вимагають класифікаційні товариства, необхідний надійний захист зони горіння дуги та зварювальної ванни від шкідливого впливу повітря. Також при виконанні зварювальних робіт та виборі способів зварювання важливим чинником є продуктивність яку забезпечує вибраний спосіб

									Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата					

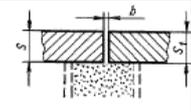
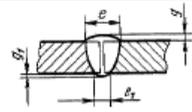


незначна ймовірність утворення дефектів.

У суднобудуванні за допомогою автоматичного зварювання під флюсом виготовляють пласкі полотна за різними варіантами технології (див. табл. 1.7), у тому числі з використанням формування швів на флюсовій подушці або на знімних підкладках.

Враховуючи викладені вище обставини автоматичне зварювання під флюсом на флюсовій подушці є доцільним при виготовленні пласкої частини обшивки днищової секції, що і використовується у базовій технології. Але при цьому для зниження трудомісткості підготовки з'єднань під зварювання пропонується замінити тип з'єднання з С 18 АФф на С4 АФф (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Конструктивні елементи підготовки кромки та розміри шва типу С4 (ГОСТ8713-79)

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s =$	$b$		$e$ , не более	$g$		$g_1$	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения		$s_1$	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
С4			АФф	Св.7 до 10	2,0	±1,5	26	2,0	+1,0 -1,5	2,0	+1,0 -2,0

Поряд з автоматичним зварюванням під флюсом у суднобудуванні широко використовується механізоване зварювання у атмосфері захисних газів. При цьому способі зварювання у зону дуги подається захисний газ, або суміш захисних газів, який обтікає електричну дугу та зварювальну ванну чим захищає розплавлений метал від атмосферного повітря. Основною перевагою механізованого зварювання в захисних газах порівняно з іншими способами зварювання є можливість виконання швів у різних просторових положеннях, тому більшість з'єднань корпусних конструкцій виготовляють саме цим способом [26].

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Використання захисних газів дозволяє досягти надійного захисту розплавленого металу від взаємодії з повітрям. Також механізоване зварювання в середовищі захисних газів забезпечує добрі механічні властивості зварних з'єднань. Прозорість захисних газів створює сприятливі умови для візуального спостереження за процесом. При механізованому зварюванні в середовищі захисних газів, через невеликі діаметри зварювальних дротів, забезпечується невелика зона термічного впливу у порівнянні з автоматичним зварюванням під флюсом. У ролі захисних газів можливо використовувати активні та інертні гази та їх суміші, електродні дроти суцільного перерізу та порошкові дроти, що дозволяє варіювати вартістю затрат на виготовлення конструкції [8].

Основними компонентами захисного середовища є вуглекислий газ. Оскільки вуглекислий газ важче повітря, то він сприяє отриманню надійного захисту зварювальної ванни. Тому при зварюванні дротом діаметром 1,2 мм в вуглекислому газі практично повністю виключається потрапляння в метал шва азоту та водню. Метал шва відрізняється низьким вмістом газів та неметалевих включень, а також має більш високу стійкість проти утворення кристалізаційних тріщин. При використанні цього способу зварювання забезпечуються необхідні механічні властивості зварних з'єднань.

Поряд з перевагами, механізоване зварювання в захисних газах має недоліки, до яких можна віднести участь людини для виконання процесу зварювання, відносно низьку, у порівнянні з автоматичним зварюванням, продуктивність процесу та необхідність застосування додаткових запобіжних заходів з охорони праці при виконанні робіт у замкнутих об'ємах [24].

Розглянутий спосіб зварювання пропонується використовувати при виготовленні скулової частини обшивки, при приварюванні набору до обшивки та для зварювання місць перетинання набору. Оскільки вказані роботи виконуватиметься у відкритій секції, у додаткових заходах з охорони праці потреби немає.

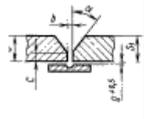
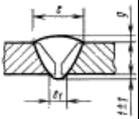
При цьому зварювання криволінійної акулової частини секції пропонується замінити двобічний шов типу С 21 за ГОСТ 14771-76 на одnobічний типу С 18 з

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

використанням знімної керамічної підкладки для формування кореня шва.

Керамічні підкладки застосовуються для зварювання з'єднань зі зворотнім формуванням кореня шва або у разі відсутності вільного доступу для підварювання кореня шва. Використання керамічних підкладок повністю виключає операцію розчищення кореня шва та підварювання його з іншої сторони. Зварні з'єднання повинні бути або прямолінійними або з прогином радіусом не менше 600 мм. Конструкція скулової частини днищової секції в районі 43-59 шп. відповідає вказаній вимозі, тому є можливість зварювання з'єднання С18УП за ГОСТ 14771-76. Разом з тим у новій технології пропонується заміна зварювальних матеріалів. Комбінація: дріт Megafil-713R + газова суміш (82% Ar+18% CO<sub>2</sub>) замінюється на комбінацію: дріт ППС-ТМВ7 + захисний газ CO<sub>2</sub> (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Конструктивні елементи підготовки кромок та розміри шва типу С18УП за ГОСТ 14771-76

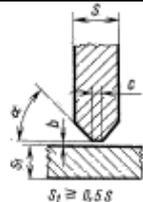
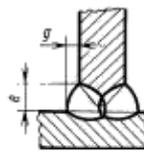
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s = s_1$	$b$		$c$		$e$		$e_1$ (пред. откл. ±2)	$g$ (пред. откл. ±2)		$\alpha^\circ$ (пред. откл. ±2°)
	подготов. кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.	
С18			УП	8,0 – 11,0	1,0	±1	1,0	±1	12	±2	4,0	1,0	±1	30

Примітка.  $g_1 = 2,0$  мм.

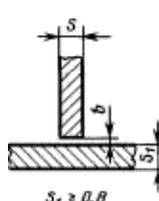
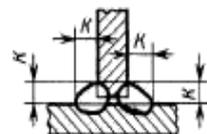
Конструкція зварних з'єднань, що використовуються у базовій технології для приварювання балок набору до обшивки та у місцях перетинання набору в даному проекті залишається незмінною (табл. 2.3), передбачається така сама як і попередньому випадку заміна зварювальних матеріалів (табл. 2.4 і табл. 2.5).

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4. Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри шва типу Т3 за ГОСТ14771-76 (розміри в мм)

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b		c		l		g (пред. откл. ±2)	α° (пред. откл. ±2°)
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.		
Т8			УП	6 - 9	1	±1	1	±1	8	±2	0,08 s - 0,25 s	45

Таблиця 2.5. Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри шва типу Т3 за ГОСТ14771-76 (розміри в мм)

(Условное обозначение сварного соединения)	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	шва сварного соединения			Номин.	Пред. откл.
Т3			УП	6,0 - 20,0	0	+1,5

Як було зазначено вище, у даному проекті пропонується виконувати зварювання з'єднань типу С 18, Т3 та Т8 за ГОСТ 14771-76 порошковим дротом ППс-ТМВ7 діаметром 1,2 мм у захисному газі CO<sub>2</sub>.

Порошковий дріт для дугового зварювання є тим матеріалом, який дозволяє застосовувати струм дуже великої щільності (близько 200 А/мм<sup>2</sup> що забезпечує при силі струму 400-500 А продуктивності наплавного процесу до 10 - 11 кг/год.

Перевагами застосування порошкового дроту є висока продуктивність робіт, товарний зовнішній вигляд шва та високі зварювально-технологічні характеристики; спрощення техніки зварювання у різних просторових

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ		Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата			



Таким чином, заміна у проекті зварювальних матеріалів при механізованому зварюванні днищової секції є можливою та обґрунтованою.

Для встановлення прихоплень та тимчасового закріплення деталей конструкції перед зварюванням пропонується використовувати ручне дугове зварювання покритими електродами.

## 2.2. Розрахунки режимів зварювання

Режими зварювання впливають на форму і склад металу шва, властивості ЗТВ, тому шляхом регулювання значень їх параметрів можна досягти найкращого результату. Основне завдання, що постає при виборі режиму зварювання, зводиться до визначення оптимальних параметрів режиму зварювання, при якому забезпечується необхідна якість зварювального з'єднання при максимальній продуктивності і мінімальній вартості процесу.

Для розробки технології зварювання днищової секції виконаємо розрахунки параметрів режиму автоматичного зварювання під флюсом на флюсовій подушці (тип з'єднання С4-АФф), та механізованого зварювання в  $CO_2$  (типи з'єднань С 18 УП, Т8 УП та Т3 УП).

### 2.2.1. Розрахунок стикового з'єднання С4 за ГОСТ 8713-79 (табл. 2.2)

Зварювання під флюсом маєбути виконане за умови забезпечення повного проплавлення зовнішньої обшивки секції по товщині за один прохід.

Основні параметри, що підлягають розрахунку:

діаметр електродного дроту  $d_e$ , мм;

сила зварювального струму  $I_{зв}$ , А

напруга на дузі  $U_d$ , В;

швидкість зварювання  $V_{зв}$ , м/год;

швидкість подачі електродного дроту  $V_{др}$ , м/год;

погонна енергія  $q_p$ , Дж/см;

геометричні параметри шва:

площа наплавленого металу  $F_n$ , мм<sup>2</sup>;

продуктивність наплавлення  $G_n$ , кг/год.

Розрахунки виконаємо за наступною рекомендованою схемою [18]

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$d_e \rightarrow h_{\text{пр}} \rightarrow I_{\text{зв}} \rightarrow U_{\text{д}} \rightarrow F_{\text{н}} \rightarrow V_{\text{зв}} \rightarrow V_{\text{др.}}$$

Вихідною інформацією для вибору діаметра електродного дроту  $d_e$  слугує густина струму  $j$ . Приймаємо  $j = 50 \text{ А/мм}^2$ . Діаметр електродного дроту  $d_e = 5 \text{ мм}$ .

Виходячи з умови повного проплавлення з'єднання по товщині за один прохід розрахуємо глибину проплавлення за формулою

$$h_{\text{пр}} = s + (1 \dots 3), \text{ мм} \quad (2.1)$$

Приймаємо  $h_{\text{пр}} = 10 + 2 = 12 \text{ мм}$ .

Зварювальний струм

$$I_{\text{зв}} = (80 \dots 100) h_{\text{пр}}, \text{ А} \quad (2.2)$$

$I_{\text{зв}} = (80 \dots 100) 12 = 720 \dots 1200 \text{ А}$ .

Приймаємо  $I_{\text{зв}} = 900 \text{ А}$ . Густина струму при цьому дорівнює  $j = 45,86 \text{ А/мм}^2$ , яка знаходиться в межах допустимої  $[j] = 40 - 50 \text{ А/мм}^2$  [18].

Напругу на дузі для автоматичного зварювання під флюсом розрахуємо за формулою

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0,5}} I_{\text{зв}} \pm 1, \text{ В} \quad (2.3)$$

де  $d_e$  підставляємо в мм.

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{5^{0,5}} 900 \pm 1 = 40,2 \pm 1.$$

Приймаємо  $U_{\text{д}} = 40 \text{ В}$ .

Швидкість зварювання обчислюємо у залежності від сили струму

$$v_{\text{зв}} = \frac{(20 \dots 30)}{I_{\text{зв}}} \cdot 10^3, \text{ м/год.} \quad (2.4)$$

$$v_{\text{зв}} = \frac{(20 \dots 30)}{900} \cdot 10^3 = 22,2 \dots 33,3 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $v_{\text{зв}} = 25 \text{ м/год} = 0,69 \text{ см/с}$ .

Швидкість подачі електродного дроту розрахуємо за формулою

$$V_{\text{п.др.}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{р}} \cdot I_{\text{зв}}}{\pi d_e^2 \cdot \gamma}. \quad (2.5)$$

де  $\gamma$  – щільність металу електродного дроту,  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ ;  $\alpha_{\text{р}}$  – коефіцієнт розплавлення електрода; при зварюванні під флюсом приймаємо  $\alpha_{\text{р}} = 16 \text{ г/А} \cdot \text{год}$ .

$$V_{\text{п.др.}} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 900}{3,14 \cdot 5^2 \cdot 7,8} = 94,1 \text{ м/год.}$$

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Приймаємо  $V_{п.др.} = 94$  м/год.

Погонна енергія зварювання

$$q_{п} = \frac{I_{зв} \cdot U_{д} \cdot \eta}{V_{зв}} \quad (2.6)$$

$$q_{п} = \frac{900 \cdot 40 \cdot 0,85}{0,69} = 44348 \text{ Дж/см.}$$

Продуктивність наплавлення

$$G_{н} = \alpha_{н} \cdot I_{зв} \cdot 10^{-3}, \text{ кг/год.} \quad (2.7)$$

$$G_{н} = 15 \cdot 900 \cdot 10^{-3} = 13,5 \text{ кг/год.}$$

Перевіримо розраховані параметри режиму на відповідність забезпечення розмірів шва згідно з вимогами ГОСТ 8713-79.

Глибина провару розраховується за формулою

$$h_{пр} = 0,0156 \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot q_{п}}{\psi_{пр}}}, \quad (2.8)$$

де  $\psi_{пр}$  – коефіцієнт форми провару [1]

$$\psi_{пр} = k' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_e \cdot U_{д}}{I_{зв}} \quad (2.9)$$

Величина коефіцієнта  $k'$  при густині струму  $j < 120$  А/мм<sup>2</sup> при зварюванні постійним струмом зворотної полярності

$$k' = 0,367 \cdot j^{0,1925} \quad (2.10)$$

$$k' = 0,367 \cdot 50^{0,1925} = 0,78.$$

$$\psi_{пр} = 0,78 \cdot (19 - 0,01 \cdot 900) \cdot \frac{5 \cdot 40}{900} = 1,73.$$

$$h_{пр} = 0,0156 \cdot \sqrt{\frac{0,24 \cdot 44348}{1,73}} = 1,22 \text{ см.}$$

Ширину шва розраховуємо за формулою

$$e = \psi_{пр} \cdot h_{пр} \quad (2.11)$$

$$e = 1,73 \cdot 1,22 = 2,11 \text{ см} = 21,1 \text{ мм.}$$

Результати розрахунків показують, що визначені параметри режиму зварювання забезпечують повне проплавлення стикових з'єднань обшивки секції, ширина шва відповідає вимогам ГОСТ 8713-79.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

### 2.2.2. Розрахунок стикового з'єднання С18 за ГОСТ 14771-76 (табл. 2.3)

Розрахунок виконаємо за площею наплавленого металу відповідно до схеми:

$$s \rightarrow d_e \rightarrow I_{зв} \rightarrow U_d \rightarrow F_H \rightarrow V_{зв} \rightarrow V_{др}.$$

Вихідними даними є товщина зварюваного металу і форма скосу крайок для стикового з'єднання.

Вибираємо діаметр електродного порошкового дроту в залежності від товщини обшивки. Для товщини  $s = 10$  мм рекомендується дріт діаметром

$$d_e = 1,2 \text{ мм. При цьому допустима густина струму } [j] = 200 \text{ А/мм}^2 [18].$$

Силу зварювального струму розрахуємо за формулою

$$I_{зв} = \frac{\pi d_e^2}{4} j \quad (2.12)$$

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} 200 = 226,1 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I_{зв} = 226 \text{ А}$ .

Напругу на дузі для зварювання у вуглекислому газі розраховуємо за формулою (2.3)

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} 226 \pm 1 = 30,3 \pm 1, \text{ В.}$$

Приймаємо  $U_d = 30 \text{ В}$ . Для розрахунку наступних параметрів режиму визначимо величину коефіцієнтів розплавлення та наплавлення

Коефіцієнт розплавлення

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \frac{I_{зв}}{d_e} \quad (2.13)$$

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \frac{226}{1,2} = 18,1 \text{ гА/год.}$$

Коефіцієнт наплавлення

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi), \quad (2.14)$$

де  $\psi$  - коефіцієнт втрат електродного металу. При зварюванні порошковим дротом приймаємо  $\psi = 0,03$ .

$$\alpha_n = 18,1(1 - 0,03) = 17,6 \text{ гА/год.}$$

Швидкість зварювання  $v_{зв}$  залежить від площі наплавленого шару  $F_i$

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

(мм<sup>2</sup>) і коефіцієнта наплавлення  $\alpha_n$  та розраховується як

$$v_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_i} \text{ см/с}, \quad (2.15)$$

де  $F_i$  - площа шару наплавленого металу. Для механізованого зварювання  $F_i = 30 \dots 70 \text{ мм}^2$ . Приймаємо  $F_i = 50 \text{ мм}^2$ ;  $\gamma$  – густина металу електродного дроту, для сталі  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

$$v_{зв} = \frac{17,6 \cdot 226}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,5} = 0,28 \text{ см/с} = 10,2 \text{ м/год.}$$

Швидкість подачі електродного дроту розраховуємо за формулою (2.5).

$$v_{п.др.} = \frac{4 \cdot 18,1 \cdot 226}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 463,9 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $v_{п.др.} = 464 \text{ м/год.}$

Кількість проходів  $n$  залежить від площі наплавленого металу всього з'єднання  $F_n$  і площі одного проходу ( $F_i, F_1$ ), тобто:

$$n = \frac{F_n - F_1}{F_i} + 1. \quad (2.16)$$

Розрахуємо повну площу наплавленого металу  $F_n$ , виходячи з геометричних розмірів зварного з'єднання, і прийmemo площу першого проходу  $F_1 = 30 \text{ мм}^2$ , а наступних проходів  $F_i = 50 \text{ мм}^2$ .

Для з'єднання С18 площа  $F_n$

$$F_n = s \cdot b + 0,5 \cdot (s - 1,5)^2 \cdot \text{tg}30^\circ + 0,75 \cdot e \cdot g \quad (2.17)$$

$$F_n = 10 \cdot 2 + 0,5 \cdot (10 - 1,5)^2 \cdot 0,87 + 0,75 \cdot 14 \cdot 2 = 72,43 \text{ мм}^2.$$

Тоді число проходів

$$n = \frac{72,43 - 30}{50} + 1 = 1,85.$$

Приймаємо 2 проходи.

Погонну енергію зварювання розрахуємо за формулою (2.6)

$$q_n = \frac{226 \cdot 30 \cdot 0,75}{0,28} = 18161 \text{ Дж/см.}$$

Продуктивність наплавлення за формулою (2.7)

$$G_n = 17,6 \cdot 226 \cdot 10^{-3} = 3,98 \text{ кг/год.}$$

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Виліт електродного дроту встановлюємо 10...15 мм, витрати газу CO<sub>2</sub> - 14...16 л/хв.

За викладеною вище методикою розрахуємо параметри режимів зварювання для з'єднань ТЗ УП та Т8 УП з урахуванням визначення площ наплавленого металу швів.

### 2.3.3. Розрахунок таврового з'єднання ТЗ за ГОСТ 14771-76 (табл. 2.5)

Зварювання виконуватиметься електродним дротом діаметром  $d_e = 1,2$  мм, катет шва  $k = 5$  мм, густина струму  $j = 180$  А/мм<sup>2</sup> у вертикальному положенні.

Силу струму розраховуємо за формулою (2.12) з коефіцієнтом 0,85

$$I_{зв} = 0,85 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 180 = 172,95 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I_{зв} = 173$  А.

Напругу на дузі для розрахуємо за формулою (2.3)

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} 173 \pm 1 = 27,9 \pm 1 \text{ В.}$$

Приймаємо  $U_d = 28$  В.

Розраховуємо швидкість зварювання за формулою (2.15), попередньо розрахувавши площу наплавленого металу у залежності від катета шва

$$F_n = 1,2 \frac{k^2}{2} \quad (2.18)$$

де  $k$  – катет шва; 1,2 – коефіцієнт збільшення, яким враховується опуклість шва

$$F_n = 1,2 \frac{5^2}{2} = 15 \text{ мм}^2.$$

При механізованому зварюванні в захисному газі за один прохід можна наплавити метал площею 30...70 мм<sup>2</sup> [18]. Тому зварювання всіх з'єднань типу ТЗ виконуємо за один прохід.

Швидкість зварювання

$$v_{зв} = \frac{17,6 \cdot 173}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,15} = 0,72 \text{ см/с} = 25,9 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $v_{зв} = 26$  м/год.

Швидкість подачі електродного дроту розрахуємо за формулою (2.5)

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$v_{\text{п.др.}} = \frac{4 \cdot 18,1 \cdot 173}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 355,1 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $V_{\text{п.др.}} = 355 \text{ м/год.}$

Погонну енергію зварювання розрахуємо за формулою (2.6)

$$q_{\text{п}} = \frac{173 \cdot 28 \cdot 0,75}{0,72} = 5046 \text{ Дж/см.}$$

Продуктивність наплавлення за формулою (2.7)

$$G_{\text{н}} = 17,6 \cdot 173 \cdot 10^{-3} = 3,04 \text{ кг/год.}$$

Виліт електродного дроту встановлюємо 10...15 мм, витрати газу  $\text{CO}_2$  - 14...16 л/хв.

2.3.4. Розрахунок таврового з'єднання Т8 за ГОСТ 14771-76 (табл. 2.4)

Зварювання виконуватиметься також електродним дротом діаметром  $d_e = 1,2$  мм, густина струму  $j = 200 \text{ А/мм}^2$ .

Силу струму розраховуємо за формулою (2.11)

$$I_{\text{зв}} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 180 = 226,1 \text{ А.}$$

Приймаємо  $I_{\text{зв}} = 226 \text{ А.}$

Коефіцієнт розплавлення за формулою (2.12)

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \frac{204}{1,2} = 18,1 \text{ гА/год. :}$$

Коефіцієнт наплавлення за формулою (2.13)

$$\alpha_n = 18,1(1 - 0,03) = 17,6 \text{ гА/год.}$$

Напругу на дузі для розрахуємо за формулою (2.3)

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,2^{0,5}} 226 \pm 1 = 30,3 \pm 1 \text{ В.}$$

Приймаємо  $U_{\text{д}} = 30 \text{ В.}$

Знаходимо швидкість зварювання (формула 2.14), розрахувавши спочатку повну площу  $F_{\text{н}}$  наплавленого металу і потрібне число проходів шва. Для з'єднання Т8

$$F = \frac{s \cdot b}{2} + \frac{(s - c)^2}{2} \text{tg} \alpha + 0,75l \cdot g \quad (2.19)$$

$$F = \frac{9 \cdot 1}{2} + \frac{(9 - 1)^2}{2} 1 + 0,75 \cdot 8 \cdot 0,08 \cdot 9 = 37,1 \text{ мм}^2.$$

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Зварювання здійснюється за один прохід з кожної сторони шва. Площа кожного проходу  $F_i = 18,6 \text{ мм}^2$ .

$$v_{зв} = \frac{17,6 \cdot 226}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,186} = 0,76 \text{ см/с} = 27,4 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $v_{зв} = 28 \text{ м/год.}$

Швидкість подачі електродного дроту розраховуємо за формулою (2.5)

$$v_{п.др.} = \frac{4 \cdot 18,1 \cdot 226}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,8} = 463,9 \text{ м/год.}$$

Приймаємо  $V_{п.др.} = 464 \text{ м/год.}$

Продуктивність наплавлення за формулою (2.7)

$$G_n = 17,6 \cdot 226 \cdot 10^{-3} = 3,98 \text{ кг/год.}$$

Погонну енергію зварювання розраховуємо за формулою (2.6)

$$q_n = \frac{226 \cdot 30 \cdot 0,75}{0,76} = 6691 \text{ Дж/см.}$$

Виліт електродного дроту встановлюємо 10...15 мм, витрати газу  $\text{CO}_2$  - 14...16 л/хв.

Знайдені параметри режимів зварювання порошковим дротом ППС-ТМВ7 добре узгоджуються з визначеними раніше експериментальними [22]

Розраховані параметри режимів зварювання зведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Розрахункові режими зварювання секції

Тип з'єднання за ГОСТ	Товщина листа $s$ або катет шва $k$ , мм	Діаметр електродного дроту $d_e$ , мм	Параметри режиму					
			Сила струму $I_{зв.}$ , А	Напруга на дузі $U_d$ , В	Швидкість зварювання $v_{зв.}$ , м/год	Швидкість подачі дроту $v_{п.др.}$ , м/год	Погонна енергія $q_n$ , Дж/см	Витрата газу, л/хв.
ГОСТ 8713-79 С4-АФф	$s = 10$	5	900	40	25	94	44348	-
ГОСТ 14771-76 С18 УП	$s = 10$	1,2	226 (2проходи)	30	10,2	464	18161	14...16
ГОСТ 14771-76 Т8 УП	$s = 9$	1,2	226	30	28	464	6691	14...16

					Аркуш	
ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ						
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

ГОСТ 14771-76 ТЗ УП	$k = 5$	1,2	173	28	26	355	5046	14...16
---------------------------	---------	-----	-----	----	----	-----	------	---------

### 2.3. Розрахунки термічних циклів зварювання та оцінка очікуваної твердості металу ЗТВ

Для перевірки розрахованих режимів зварювання та оцінки очікуваної твердості металу в ЗТВ виконаємо розрахунок термічних циклів та кривих швидкості охолодження металу для стикового С4 АФ<sub>ф</sub> та таврового Т8 УП з'єднань.

В розрахунках будемо враховувати, що джерело тепла може бути прийняте лінійним, або точковим; а тіло, що нагрівається, розглядатися як нескінченна пластина або масивний виріб.

Якщо проплавлення металу здійснюється на всю товщину (стикове з'єднання), то тіло розглядається як пластина. При виконанні кутових швів як розрахункова схема тіла вибирається масивний виріб [14].

Для стикового з'єднання розрахунок виконаємо за наступною формулою

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot s \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (2.20)$$

де  $s$  – товщина зварюваних листів, см;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·К;  $c\gamma$  – об'ємна теплоємність, Дж/см<sup>3</sup>·К;  $y_0$  – координата точки пластини, в якій розраховується температура, см;  $b$  – коефіцієнт температуровіддачі,  $b = \frac{2 \cdot \alpha}{c\gamma \cdot s}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні пластини;  $T_0$  – початкова температура виробу;  $t$  – поточний час, с.

температура виробу;  $t$  - поточний час, с.

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 Вихідні дані для розрахунку

Найменування величини	Значення
Товщина зварюваних листів $s$ , см	1,0
Зварювальний струм $I_{зв}$ , А	900
Напруга дуги $U_0$ , В	40
швидкість зварювання $V_{зв}$ , см/с	0,69
Ефективний коефіцієнт нагрівання $\eta$	0,85

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Таблиця 2.9. Вихідні дані для розрахунку

Найменування величини	Значення
Зварювальний струм $I_{зв}$ , А	226
Напруга дуги $U_д$ , В	30
швидкість зварювання $V_{зв}$ , см/с	0,64
Ефективний коефіцієнт нагрівання $\eta$	0,78
Температура нагрівання $T_m$ , °С	1350
Початкова температура виробу $T_0$ , °С	20
Коефіцієнт температуропровідності $\alpha$ , см <sup>2</sup> /с	0,08
Коефіцієнт теплопровідності $\lambda$ , Вт/см К	0,4

Знаходимо ефективну теплову потужність з урахуванням відводу 1/3 частини тепла у вертикальний лист набору:

$$q = \frac{2}{3} \cdot I_{зв} \cdot U_д \cdot \eta, \text{ Вт.} \quad (2.24)$$

$$q = \frac{2}{3} \cdot 226 \cdot 30 \cdot 0,75 = 3390 \text{ Вт} = 3,39 \text{ кВт.}$$

При цьому відстань  $r_0$  за умови, що  $T_m = 1350^\circ\text{C}$  визначаємо як

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368q}{\lambda \frac{\pi}{2} a T_m}} \quad (2.25)$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368 \cdot 3390}{0,4 \cdot \frac{3,14}{2} \cdot 5 \cdot 1350}} = 0,54 \text{ см.}$$

Результати розрахунків наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 Розрахунок термічного циклу для таврового з'єднання

$t$ , с	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$T(t)$ , °С	1208,58	984,35	816,01	693,23	601,30	530,35	474,12	428,53

$t$ , с	5	6	7	8	9	10	15	20
$T(t)$ , °С	390,86	332,31	288,94	255,55	229,06	207,53	141,15	106,93

$t$ , с	25	30
$T(t)$ , °С	86,06	72,00

За результатами розрахунків будуємо графіки термічних циклів зварювання (рис. 2.1).

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Для того, щоб мати можливість проаналізувати структурні перетворення, які проходять в зоні термічного впливу при зварюванні, необхідно мати дані щодо кінетичного перетворення аустеніту. Такі дані можна отримати за допомогою діаграм термокінетичного перетворення, побудованих для даних умов зварювання. Відлік часу при охолодженні аустеніту починається з моменту, коли температура досягає критичної точки  $A_{c3}$ . Вище цієї температури аустеніт знаходиться в термодинамічно стійкому стані, нижче в нестійкому і в залежності від температурно-часових умов може проходити перлітне, бейнітне або мартенситне перетворення.

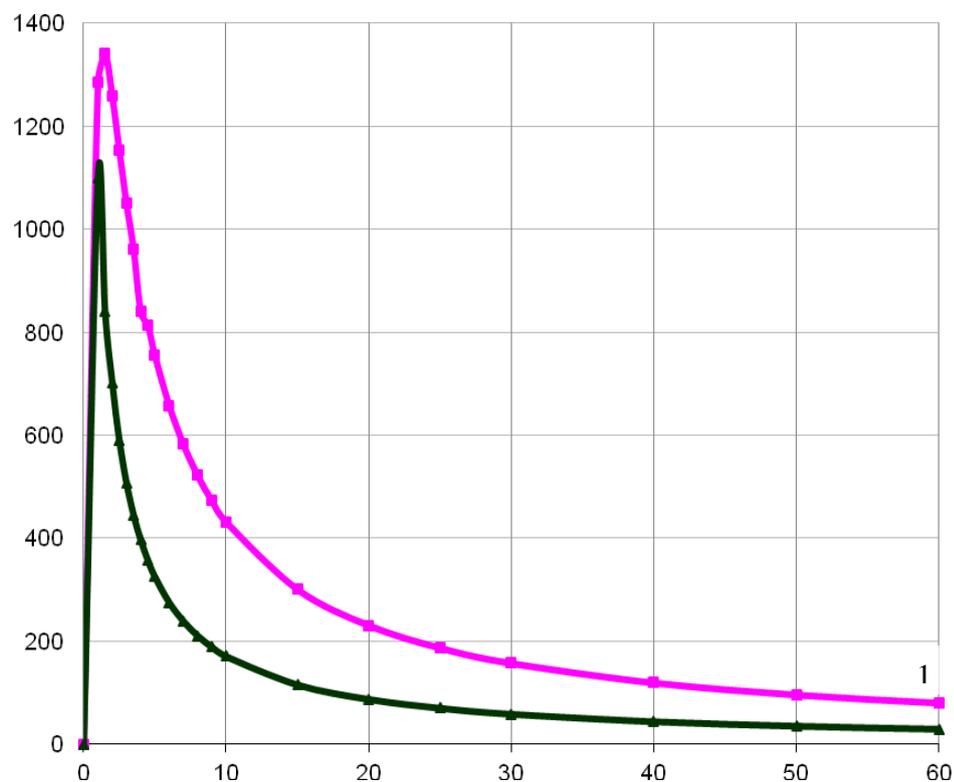


Рисунок 2.1. Розрахункові термічні цикли автоматичного 1 та механізованого 2 зварювання

Критична температура  $A_{c3}$  для сталі 09Г2 розраховується за хімічним складом за формулою:

$$A_{c_3} = 910 - 230C - 25Mn + 32Si - 8Cr - 18Ni + 2Mo + 117V + 7W - 120B - 24Cu \quad (2.26)$$

$$A_{c_3} = 910 - 230 \cdot 0,12 - 25 \cdot 1,8 + 32 \cdot 0,37 - 8 \cdot 0,3 - 18 \cdot 0,3 + 117 \cdot 0,12 - 24 \cdot 0,3 = 847,7^\circ \text{C}.$$

Для побудови кривих охолодження перерахуємо температури термічних

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Аналіз кривих охолодження показує, що швидкість охолодження таврового з'єднання вища за швидкість охолодження стикового з'єднання, тому твердість металу ЗТВ також підвищена. Але в обох випадках вона не перевищує допустиму за Правилами Регістру судноплавства (350HV) і тому небезпека утворення холодних тріщин при зварюванні відсутня.

#### **2.4. Розрахунок загальних зварювальних деформацій секції**

Розрахунки зварювальних деформацій зварних конструкцій виконують при розробці технологічного процесу з метою вибору найбільш раціонального варіанту, який забезпечує можливість виготовлення конструкції з заданими припусками. Основні параметри, які визначають загальні зварювальні деформації - об'єми поздовжнього та поперечного вкорочень у результаті усадки наплавленого металу.

Зварювальні деформації суднокорпусних секцій розраховуються з врахуванням технологічної послідовності складання та зварювання секції. При цьому весь технологічний процес поділяється на окремі етапи, в кожен включаються лише ті з'єднання, які зварюються при незмінних формі та розмірах перерізу конструкції [21].

З метою оцінки точності виготовлення днищової секції виконаємо розрахунок деформацій, викликаних приварюванням підкріплюючого набору до обшивки та зварювання місць перетинання набору.

Згідно прийнятої методики розрахунок загальних зварювальних деформацій суднової секції з набором двох напрямків (рис. 2.3) проводиться для умовних балок, виділених у поздовжньому та поперечному напрямках, і виконується у наступній послідовності.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



$$q_{пз} = 5046 \text{ Дж/см.}$$

## 2. Розрахунок геометричних характеристик умовної балки

Розрахунок виконаємо у табличній формі (табл. 2.12)

Таблиця 2.12. Геометричні характеристики поперечного перерізу таврової балки

Елемент балки	Розміри, м	Площа $F$ , м <sup>2</sup>	Координати центру ваги $z$ , м	Статичний момент площі $Fz$ , м <sup>3</sup>	Момент інерції, м <sup>4</sup>	
					переносний $Fz^2$	власний
стінка	$0,009 \times 0,69$	$6,21 \cdot 10^{-3}$	0,35	$2,17 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
полка	$0,01 \times 0,5$	$5 \cdot 10^{-3}$	0	0	0	$\approx 0$
Сума	-	$11,21 \cdot 10^{-3}$	-	$2,17 \cdot 10^{-3}$	$10,1 \cdot 10^{-4}$	

Координата центру ваги перерізу балки

$$z_0 = \frac{2,17 \cdot 10^{-3}}{11,21 \cdot 10^{-3}} = 0,19 \text{ м. ;}$$

момент інерції

$$I_x = 10,1 \cdot 10^{-4} - 0,19^2 \cdot 11,2 \cdot 10^{-3} = 6,06 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

3. Розрахунок об'ємів поздовжнього  $V_i$  (шов № 1) і поперечного  $W_j$  (шви № 2 та № 3) укорочення.

Погонний об'єм пластичних деформацій поздовжнього укорочення

$$v = -0,335 \frac{\alpha}{c\rho} q_{пз}, \quad (2.27)$$

Для сталі 09Г2:  $\alpha = 13,25 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / град.}$ ,  $c\rho = 4,1 \text{ Дж / (см}^3 \cdot \text{град.)}$ .

Тоді

$$v = -1,08 \cdot 10^{-6} q_{пз}, [\text{см}^2]. \quad (2.28)$$

Враховуючи двобічний характер шва № 1, розрахунок виконуємо за формулою

$$v_1 = -1,15 \cdot 1,08 \cdot 10^{-6} q_{пз} = 1,24 \cdot 10^{-6} q_{пз} [\text{см}^2].$$

Повний об'єм поздовжніх деформацій шва № 1

$$V_1 = v_1 \cdot L = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot q_{пз} \cdot L [\text{см}^3], \quad (2.29)$$

де  $L$  - довжина шва, см.

$$V_1 = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot 6691 \cdot 1140 = 10,29 [\text{см}^3]$$

Погонний об'єм пластичних деформацій поперечного укорочення розраховуємо за формулою

									Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ				





характеристики: площа координата центру ваги перерізу балки  $z_0 = 0,19$  м;  
момент інерції  $I_x = 6,06 \cdot 10^{-4}$  м<sup>4</sup>.

3. Розрахунок об'ємів поздовжнього  $V_i$  (шов №2) і поперечного  $W_j$  (шви № 1 та № 3) укорочення.

Погонний об'єм поздовжніх пластичних деформацій розраховується як  $v_2 = -1,24 \cdot 10^{-6} q_{\text{п}}$  [см<sup>2</sup>], повний об'єм – за формулою (2.29), тобто

$$V_2 = v_2 \cdot B = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot q_{\text{п}} \cdot B.$$

$$V_2 = -v_2 \cdot B = 1,24 \cdot 10^{-6} \cdot 6691 \cdot 650 = -5,87 \text{ [см}^3\text{]}.$$

Погонні об'єми пластичних деформацій поперечного укорочення розраховуємо аналогічно попереднім розрахункам для поздовжньої умовної балки.

Шов № 1.

$\kappa_{\text{п1}} = 0,82 - 0,29/10 = 0,64$ ;  $\kappa_{\text{р}} = 0,18 + 0,29/10 = 0,36$ ;  $q_{\text{п1}} = 0,64 \cdot 6691 = 4282$  Дж/см;  $k_s = 0,25$ ;  $k_{\text{жс}} = 1,0$ .

$$\xi = -3,23 \cdot 10^{-6} [0,25 + 0,75 \cdot 0,25(0,1 + 0,9 \cdot 1)] = 1,41 \cdot 10^{-6}.$$

$$W_1 = -1,41 \cdot 10^{-6} \cdot 4282 \cdot 50 \cdot 10 = -3,29 \text{ см}^3.$$

Шов № 3.

$\kappa_{\text{р3}} = 0,18 + 0,29/10 = 0,36$ ;  $q_{\text{р3}} = 0,36 \cdot 5046 = 1816,6$  Дж/см;  $k_s = 0,25$ ;  $k_{\text{жс}} = 1,0$ .

$$\xi = -3,23 \cdot 10^{-6} [0,25 + 0,75 \cdot 0,25(0,1 + 0,9 \cdot 1)] = 1,41 \cdot 10^{-6}.$$

$$W_3 = -1,41 \cdot 10^{-6} \cdot 2409 \cdot 69 \cdot 20 = -4,69 \text{ см}^3.$$

4. Розрахунок укорочення балки.

Укорочення секції у поперечному напрямку

$$\Delta B = -\frac{5,87 + 3,29 + 4,69}{112,1} = -0,12 \text{ см} = -1,2 \text{ мм}.$$

4. Розрахунок куту повороту кінцевих перерізів балки

Кут повороту при  $z_1 = -18,5$  см;  $z_2 = -18,5$  см;  $z_3 = 16$  см

$$\varphi_B = \frac{-3,29 \cdot (-18,5) - 5,87 \cdot (-18,5) - 4,69 \cdot 16}{6,06 \cdot 10^4} = -0,004.$$

5. Стрілка прогину умовної балки

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



допустимої за Правилами Регістру судноплавства.

4. Розрахунками загальних зварювальних деформацій доведено, що стрілки прогину секції не перевищують допустимих і необхідності у розробці додаткових заходів боротьби з деформаціями немає.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## Розділ 3. Розробка зварювального устаткування та технологічної оснастки

### 3.1. Вибір зварювального устаткування

Для виготовлення суднових корпусних секцій застосовуються різноманітні види дугового зварювання з відповідним технологічним устаткуванням. Правильний вибір зварювального устаткування забезпечує якість виконання зварювання та найбільш ефективно використання технічних можливостей обладнання. Джерела живлення зварювальної дуги часто постачають у комплекті зі зварювальними автоматами та апаратами для механізованого зварювання. Така комплектація не завжди задовольняє потреби конкретного технологічного процесу, тому при проектуванні технології виникає необхідність створювати технологічні комплекси шляхом підбору зварювального устаткування на підставі визначених режимів зварювання.

- У даному проєкті вибрато джерело живлення та зварювальний автомат для зварювання під флюсом та джерело живлення і апарат для механізованого зварювання порошковим дротом в середовищі вуглекислого газу. Підставами для вибору устаткування слугують розрахункові режими зварювання, наведені в табл. 2.6.

1. Для автоматичного зварювання під флюсом пропонується застосувати високопродуктивне зварювальне устаткування нового покоління виробництва концерну ESAB: зварювальний трактор А6 Mastertrac SAW PEK в комплекті з джерелом живлення LAF 1251.

Зварювальний трактор А6 Mastertrac (рис. 3.1) - має чотири приводних колеса. Сучасна електронна система керування з цифровим дисплеєм дозволяє точно вводити параметри і коригувати їх під час процесу зварювання. Механізм подачі забезпечує стабільну і рівномірну подачу дроту, зменшує знос контактних частин і підвищує стабільність зварювальних процесів.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Рис. 3.1. Зварювальний трактор А6 Mastertrac

Ручні механічні слайдери переміщення зварювальної головки у вертикальному і горизонтальному положенні і можливість повороту основної стійки дають можливість простого і швидкого позиціонування зварювальної головки відносно стику. Точне переміщення трактора забезпечується повним приводом. Трактор має міцну, добре збалансовану конструкцію. Компоненти трактора виконані з якісних матеріалів з високою точністю, що дозволяє експлуатувати його в важких умовах. Трактор оснащений сучасним цифровим блоком управління РЕК, що забезпечує високу і стабільну якість зварювання.

Трактор поставляється для зварювання під флюсом у трьох варіантах: зварювання одинарної дротом, розщепленою дугою і тандемом. Може поставлятися і для зварювання MIG/MAG. Технічні характеристики автомата А6 Mastertrack наведені в табл. 3.1[33].

Таблиця 3.1. Технічні характеристики автомата А6 Mastertrack з головкою А6ТФЕ1 (зварювання під флюсом одним дротом):

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	42
Швидкість подачі зварювального дроту,	0,1 – 2,0
Зварювальний струм, $A_{max}$	1500
Діаметр зварювального дроту, мм	3,0-6,0
Маса дроту в касеті, кг	30
Об'єм бункера під флюс, $дм^3$	10
Кут нахилу електроду, град.	25
Маса агрегату з урахуванням маси дроту і	110
Габаритні розміри, мм	1410x750

Джерело LAF -1251 (рис. 3.2) - трифазний тиристорний випрямляч з

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		





- захищені кабельні роз'єми та з'єднувальний кабель.

Короткі технічні характеристики механізму подачі Robust Feed PRO Water наведені в табл. 3.3

Таблиця 3.3. Технічні характеристики механізму подачі Robust Feed PRO Water

Параметр	Значення
Кількість подавальних роликів	4
Швидкість подачі дроту, м/хв.	0,8-25 м/хв.
Макс. діаметр котушки/ маса, мм/кг	200/5
Напруга живлення змінного струму,	42/50
Діаметр електродного дроту, мм:	
вуглецева сталь	0,6 – 2,0
нержавіюча сталь	0,6 – 1,6
алюміній	0,9 – 1,6
Допустиме навантаження при ПВ, А:	
50%	550
60%	500
Розміри, мм	595 x 250 x
Маса, кг	12,5

Потужне інверторне джерело живлення Warrior™ 500i CC/CV призначене для роботи у найрізноманітніших галузях: у суднобудуванні, виробництві та технічному обслуговуванні залізничних вагонів, в енергетиці, під час будівельних робіт, під час прокладання трубопроводів, а також при виконанні стандартних робіт у сфері зварювального виробництва.

Економічне джерело Warrior™ 500i CC/CV - це апарат, що працює на основі інверторної технології, що одночасно забезпечує економію енергії та відмінні функціональні характеристики, стабільну та надійну роботу, завдяки чому час простою при роботі з ним зводиться до мінімуму, а продуктивність досягає максимальних показників. Джерело забезпечує можливість зварювання способами MMA і TIG, а також передбачено використання для електродугового стругання. Технічні характеристики зварювального джерела Warrior™ 500i CC/CV наведені в табл. 3.4 [35].

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4. Технічні характеристики  
джерела живлення Warrior™ 500i CC/CV

Параметри	Значення
Напруга живлення мережі, В	380/50Гц,
Діапазон регулювання зварювального струму, А	
MIG-MAG; MMA	16-500
TIG	4-500
Номінальний зварювальний струм при ПВ, А ПВ 100% ПВ 60%	400 при U = 36 В 500 А при U = 40В
Напруга холостого ходу, В	54
ККД при максимальному струмі, %	88
Коефіцієнт потужності при максимальному струмі	0,92
Клас захисту корпусу	IP23
Габарити ,мм	712x325x470
Маса, кг	52

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

### 3.2. Опис конструкції універсальної складальної постелі

Для складання секцій крупних та середніх суден з різними габаритами та обводами, а також з різними розмірами шпацій застосовують універсальні постелі з передвижними лекалами та висувними гвинтовими стояками.

У даному дипломному проєкті пропонується застосувати складальну універсальну стоякову постіль, яка містить нерухомі та рухомі балки та підлекальники. Схема балок постелі приведена на рис. 3.4, схема підлекальника – на рис. 3.5, а їх головні характеристики – в табл. 3.5 [8].

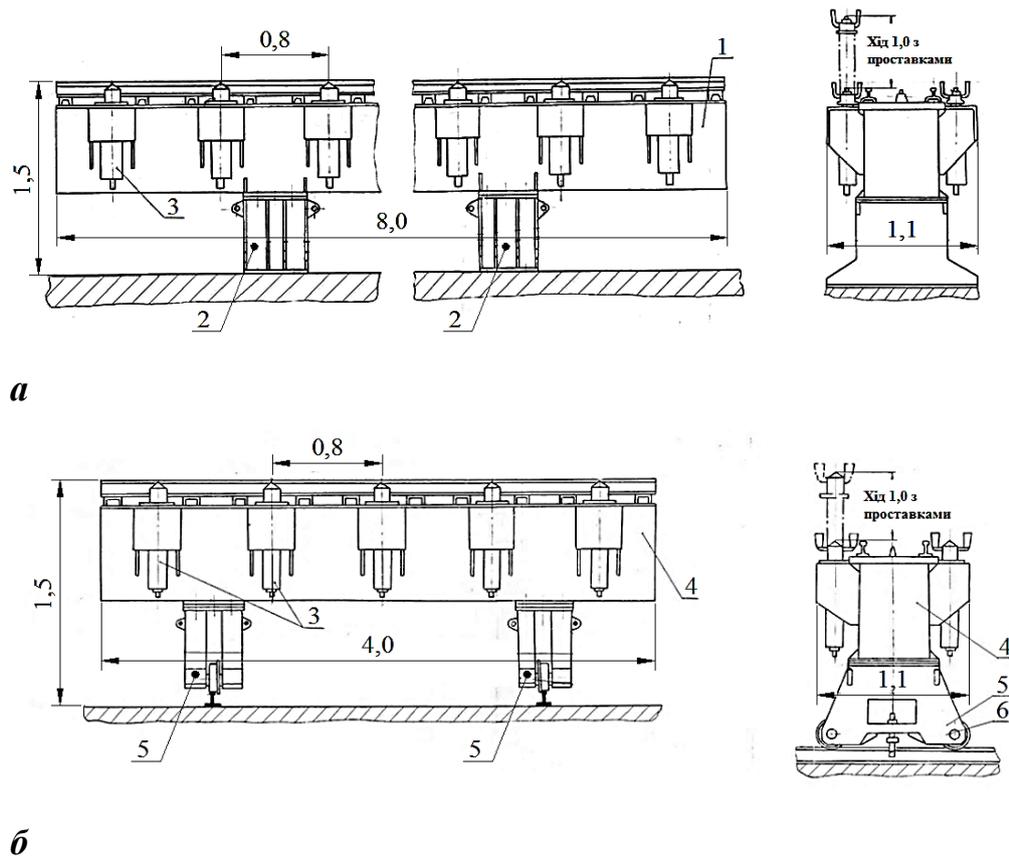


Рис. 3.4. Схема балок універсальної складальної стоякової постелі: **а** – нерухома балка; **б** – рухома балка; 1, 4 – станина; 2 – тумба; 3 – пристрій для настроювання постелі; 5 – візок; 6 – фіксатор (розміри вказані в метрах)

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

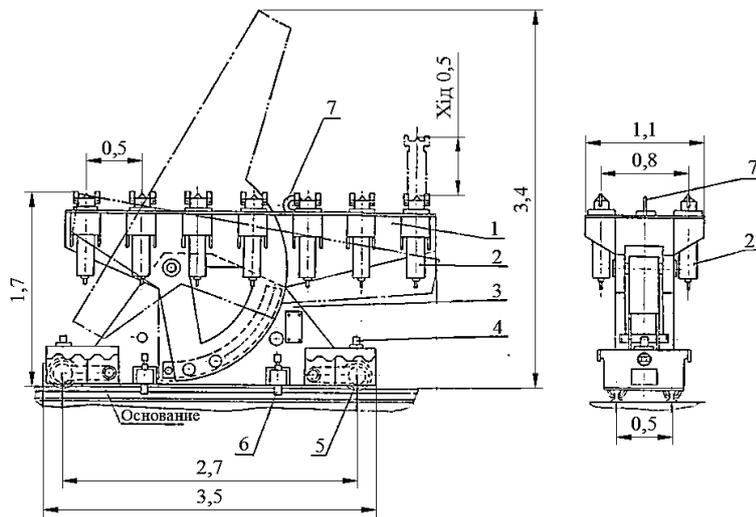


Рис. 3.5. Схема під лекальника універсальної складальної стоякової постелі: 1 – лекало; 2 – пристрій для настроювання постелі; 3 – каретка; 4 – відтискний гвинт; 5 – каток; 6 - захоплювач; 7 – рим-болт (розміри вказані в метрах)

Таблиця 3.5. Технічні характеристики універсальної складальної стоякової постелі

Найменування показника	Значення показника		
	Нерухом а балка	Рухом а балка	Підлекальник
Число стояків	20	10	14
Швидкість висування стояків, м/хв.:	2,8		
маршева	0,7		
установочна			
Привід висування стояків	Пневматичний		
Робочий тиск у пневмосистемі, МПа	0,3 ... 0,4		
Кут повороту лекала, град.	-	-	-10 ... +60 (через кожні 5°)

Маса оснастки, т	4,6	2,7	3,2
------------------	-----	-----	-----

При налагодженні постелі висоти та відстань між рухомими та нерухомими стояками вибирається по таблицях, або розраховується за допомогою комп'ютерних програм. Стояки виставляються на задані висоти по лінійці. При необхідності підтягуються листи зовнішньої обшивки секції до стояку, прихоплюються до знімних планок, розташованих на стояку, до листа та важелем лист підтягується до базової поверхні оголовку стояка. Для збільшення висоти висунання стояків на їх верхній торець замість оголовку закріплюється проставка довжиною 0,5 м, а оголовок разом з підпружиненими опорами та підтягуючими планками закріплюється на верхньому торці проставки.

Після встановлення рухомої балки у заданому положенні вона фіксується у цьому положенні захоплювачами.

Підлекальник встановлюється на балку постелі у відповідності з розрахованими заздалегідь даними, його положення фіксується захоплювачами та талрепами.

### 3.3. Розрахунок пристосувань для транспортування секції

Для виконання транспортувальних операцій та кантування днищової секції в проєкті пропонується використати спеціальну траверсу, що підвішується на стропях (з ланцюгів або сталевих канатів) до гаку цехового мостового крану. Вантажотransпортні траверси забезпечують полегшення й прискорення вантажно-розвантажувальних, кантовальних і складально-монтажних операцій. Траверси у складально-зварювальних цехах суднобудівних підприємств використовують для транспортування деталей і вузлів великої довжини, а також важких великогабаритних секцій.

Траверси є нестандартною оснасткою, тому їх конструюють на підставі розрахунків на міцність при спільній дії вигину й стиску (рис. 3.6).

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



$$I_x = 2 \frac{20 \cdot 1^3}{12} + \frac{0,7 \cdot 50^3}{12} + 2 \cdot 20 \cdot 25^2 = 32295 \text{ см}^4 = 0,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4.$$

3) Осьовий момент опору

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} \quad (3.3)$$

$$W_x = \frac{32295}{25,5} = 1266 \text{ см}^3 = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Вага траверси

$$G_0 = F \cdot l \cdot \gamma \quad (3.4)$$

$$G_0 = 75 \cdot 780 \cdot 7,8 \cdot 10^{-2} = 4563 \text{ Н.}$$

Умову міцності траверси при одночасній дії вигину та стискання для перерізу, де закріплений строп (перерізи А і Б), запишемо у вигляді:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{F} \leq [\sigma]_p, \quad (3.5)$$

де  $M$   $N$ - згинальний момент та зусилля, що стискає траверсу, відповідно;  $[\sigma]_p$  допустимі напруження для матеріалу траверси.

Вибираємо як матеріал траверси сталь Ст.3сп,  $\sigma_T = 240$  МПа. Тоді

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо сили, що діють на переріз траверси:

1). Зусилля, що стискає траверсу

$$N = \frac{Q + G_0}{2 \operatorname{tg} \beta} \quad (3.6)$$

$$N = \frac{46470 + 4563}{2 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = 25516,5 \text{ Н.}$$

2) Згинальний момент

$$M = \left[ Q + \frac{G_0}{2} \left( 1 - \frac{a}{l} \right) \right] \frac{l-a}{4} \quad (3.7)$$

$$M = \left[ 46470 + \frac{4563}{2} \left( 1 - \frac{3,9}{7,8} \right) \right] \frac{7,8 - 3,9}{4} = 46420,5 \text{ Нм.}$$

Підставимо розраховані значення у рівняння (3.5)

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		





3. Для транспортування деталей, вузлів великої довжини, а також днищової секцій сконструйована траверса габаритами  $L \times B \times H = 7800 \times 200 \times 520$  мм та вантажопідйомністю 10,5т. Поперечний переріз траверси задовольняє умові міцності.

4. Розрахунком на міцність зварного з'єднання визначено товщину сталених обухів для кантування та транспортування секцій. При кількості обухів 4 шт. товщина обухів дорівнює 7,0 мм.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## Розділ 4. Розробка технології складання та зварювання днищевої секції

### 4.1. Технологічний процес складання та зварювання секції

Для даної конструкції використовуємо два способи зварювання: автоматичне під флюсом і механізоване порошковим дротом в середовищі CO<sub>2</sub>.

Виготовлення днищевої секції здійснюється з попередньо зварених вузлів і деталей: 1) плоскої частини обшивки, 2) вузлів скулової частини, 3) поздовжнього та поперечного набору з підкріплюючими ребрами жорсткості.

#### Виготовлення вузлів.

Плоска частина обшивки виготовляється на складально-зварювальному стенді, оснащеному флюсовою подушкою. Зварювання виконується автоматичним способом на режимі, наведеному в табл. 2.6. Як зварювальні матеріали використовуються дріт марки Св-08А (табл. 4.1) діаметром 5 мм та флюс марки АН-348А (табл. 4.2).

Таблиця 4.1. Хімічний склад (%) дроту Св-08А (ГОСТ 2246-70)

С, не більше	Si, не більше	Mn	Cr, не більше	Ni, не більше	S, не більше	P, не більше	Al, не більше
0,10	0,03	0,35 – 0,60	0,12	0,25	0,03 0	0,03 0	0,01 0

Таблиця 4.2. Хімічний склад, (%) флюсу АН-348А (ГОСТ 9087-81)

SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	F	S	HF	C
40,0 -44,0	31,0 -38,0	< 12,0	< 7,0	< 13,0	0, 5-2,2	< 0,11	< 0,12	3, 0-6,0

Вузли набору та скулової частини складаються за допомогою

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



– зняття секції з постелі та перевірка її форми та розмірів, здавання секції ВТК.

Детально роботи виконуються за наступними операціями:

- 1) Розмічування секції. На плоскій частині обшивки розмічують місця встановлення набору; наносять базові лінії - ДП, середнього шпангоута, місця встановлення балок набору, деталей насичення.
- 2) Встановлення набору. Мостовим краном послідовно подають вузли набору, починаючи з ДП та середнього шпангоута. Перевіряють положення набору та послідовно підтягують балки набору до полотна і закріплюють на прихватках.
- 3) Зварювання набору послідовно-чарунковим способом. Зварювання балок набору між собою та приварювання поперечного набору до полотна виконується механізовано, парною кількістю зварників від ДП до країв секції згідно зі схемою (рис. 4.1). Зварювання виконується на режимах, приведених в табл. 2.6.

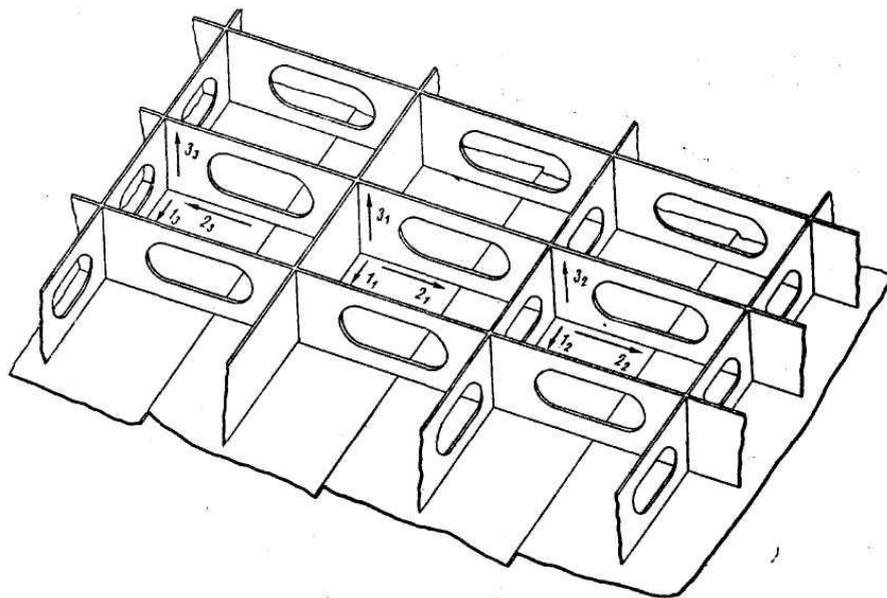


Рис. 4.1. Схема послідовно-чарункового способу зварювання набору секції

- 4) Встановлення та приварювання вузлів скулової частини. Мостовим краном подають зварені частини секції до складальної постелі, встановлюють, перевіряють положення та закріплюють на електроприхватках. Виконують зварювання обшивки, потім набору. Загальний напрямок робіт – від середнього

									Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ				

шпангоута до країв секції.

5) Встановлення та приварювання деталей насичення. Деталі встановлюють по розмітці, обтискають до обшивки, закріплюють на прихватках. Виконують зварювання механізованим способом.

6) Контроль якості секції. Відділ технічного контролю повинен вести облік якості зварних швів, встановлювати причини, які викликають утворення дефектів в швах і розробляти заходи що до усунення цих дефектів.

Контроль якості зварних швів даної секції виконується зовнішнім оглядом всіх швів та ультразвуковим методом.

#### **4.2. Контроль якості зварювання та виправлення дефектів**

Відділ технічного контролю повинен вести облік якості зварних швів, встановлювати причини, які викликають утворення дефектів в швах і розробляти заходи що до усунення цих дефектів.

Контроль якості зварних з'єднань здійснюється відповідно до технічних умов на виріб та вимог нормативних документів - державних та галузевих стандартів.

Контроль якості здійснюється на всіх етапах виготовлення зварного виробу і розділяється на вхідний, поопераційний та заключний [5].

Вхідний контроль включає:

- контроль якості основного металу, відповідність його властивостей даними сертифікатів і вимогам стандартів або технічних умов;
- контроль якості зварювальних матеріалів і правильності їх зберігання;
- перевірку кваліфікації зварників і фахівців зварювального виробництва.

Поопераційний контроль передбачає:

- якість виготовлення деталей, що подаються на місце складання зварного виробу;
- правильність складання і якості підготовки кромки;
- контроль технологічних режимів і послідовність накладення швів.

Метою заключного контролю є перевірка якості зварних з'єднань.

Під час контролю якості підготовки та складання деталей для зварювання

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

перевіряються:

- правильність підготовки і чистота поверхні крайок, що зварюються;
- відсутність на них дефектів;
- чистота поверхні крайок, що зварюються, і прилеглих до них ділянок основного металу;
- зазори в з'єднаннях відповідно до вимог стандарту;
- зміщення кромки відповідно до вимог ГОСТ;
- правильність складання деталей, якість і розташування прихваток.

У процесі зварювання контролюються:

- режими зварювання;
- черговість накладення швів;
- температура підігріву деталей, які підлягають зварюванню з підігрівом;
- правильність таврування виконаних швів.

Керуючись вимогами галузевого стандарту для контролю зварних з'єднань секції вибираємо візуальний і вимірювальний контроль (ВВК) та ультразвуковий контроль (УЗК).

Візуальний і вимірювальний контроль здійснюється після кожної зварювальної операції. Контроль і вимірювання зварних швів необхідно проводити після очищення швів і прилеглих до них поверхонь основного металу від шлаку, бризок і інших забруднень.

Обов'язковому ВВК підлягають всі зварні шви відповідно до ГОСТ 3242 для виявлення зовнішніх дефектів, що не допустимі відповідно до вимог даного стандарту: пропалини, подрізи, непровари, а також геометричні відхилення - перпендикулярність, співвісність, паралельність і т. д.

Однак, найнебезпечнішими дефектами є внутрішні. Для їх контролю застосовують УЗК і радіографію [5].

Ультразвуковий контроль виявляє найбільш небезпечні дефекти типу тріщин. Методи ультразвукового контролю засновані на дослідженні процесу поширення пружних коливань з частотою 0,5-25 МГц в контрольованих виробках. При наявності дефекту акустичне поле змінює свою структуру. За дефектом є «Тінь» і

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Виправлення дефектних ділянок шва повинно проводитися за розробленим технологічним процесом з використанням рекомендованих зварювальних матеріалів і способів зварювання.

Незаплавлені кратери зварних швів мають бути виправлені заварюванням по попередньо зачищеному металу. Зварювання необхідно проводити покритим електродом.

Виправлення зварних швів з непроварами, пропалинами, з газовими порами, шлаковими включеннями і тріщинами слід проводити шляхом видалення дефектної ділянки до здорового металу з подальшим заварюванням.

У разі, якщо дефекти поширюються на весь переріз шва, дефектну ділянку слід видалити повністю з утворенням кута розкриття  $(60 \pm 5)^\circ$  під заварювання.

Виправлення занижених розмірів зварних швів слід проводити шляхом додаткового наплавлення валиків на попередньо зачищену поверхню раніше виконаного шва.

Виправлення завищених розмірів зварних швів проводиться шляхом місцевого подшліфування або місцевого підрубання пневматичним зубилом з подальшою зачисткою наждаковим каменем для забезпечення плавних переходів швів до основного металу.

Виправлення швів з підрізами слід проводити шляхом наплавлення валика в поглиблення. Перед заварюванням ділянок швів з підрізами проводиться зачистка металу шва і основного металу, прилеглого до нього. Виправлення одної і тої ж дефектної ділянки зварного з'єднання допускається не більше трьох разів. При виявленні дефектів у шві після повторного виправлення питання про можливість і способи виправлення зварного шва вирішується зварювальними службами спільно з ВТК заводу.

### **4.3. Нормування операцій та визначення тривалості технологічного процесу**

Відповідно до розробленого технологічного процесу визначимо трудомісткість основних робіт, користуючись відомою розрахунковою методикою [8]. При виконанні розрахунків враховували особливості виконання

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



секції з плоскою		склад)
Сума		40,1 9
Зварювальні роботи		
7. Зварювання плоскої частини обшивки	$T_o = 1,25 \frac{m}{v_{зв}}$	0,57
8. Зварювання скулової обшивки	$T_o = 1,15 \frac{m}{v_{зв}}$	0,23
9. Приварювання скулової частини обшивки до плоскої	$T_o = 1,25 \frac{m}{v_{зв}}$	2,72 (2 зварюв.)
10. Приварювання набору до плоскої обшивки	$T_o = 1,35 \frac{m}{v_{зв}}$	2,44 (4 зварюв.)
11.Зварювання набору між собою	$T_o = 1,35 \frac{m}{v_{зв}}$	7,16 (4 зварюв.)
Сума		13,1 2
Інші види робіт		
12. Розмічування місць встановлення набору	0,06L	3,66 (2 розм)
13.Зачищення кромки під зварювання	$T = 0,00058s + 0,00591$	1,46

70

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

14. Контроль якості зварювання, здавання секції ВТК	-	5,37
Сума		10,4
		9
Разом		63,8
		0

Аналіз отриманих даних показав, що розрахункова трудомісткість складальних робіт становить 63 % від загальної трудомісткості формування днищової секції. На зварювальні роботи приходиться близько 20,6 %, що свідчить про достатній рівень механізації технологічного процесу.

Загальна тривалість технологічного процесу становить

$$\sum_{i=1}^3 T_i \cdot a_i = (T_{\text{ск}} \cdot a_{\text{ск}} + T_{\text{зв}} \cdot a_{\text{зв}} + T_{\text{ін}} \cdot a_{\text{ін}})$$

де  $T_i$  – трудомісткість  $i$ -го виду робіт;  $a_i$  – число робітників, одночасно працюючих на даній операції.

$$\sum_{i=1}^3 T_i \cdot a_i = (40,19 \cdot 2 + 13,12 \cdot 4 + 10,49 \cdot 1) = 143,35 \text{ н - год.}$$

### Висновки

1. Розроблено принциповий технологічний процес складання та зварювання днищової напівоб'ємної секції з використанням високопродуктивного технологічного устаткування, оснастки та сучасних зварювальних матеріалів вітчизняного виробництва.

2. Як зварювальні матеріали вибрані: для автоматичного зварювання під флюсом – дріт марки Св-08А та флюс марки АН-348А; для механізованого зварювання - всепозиційний порошковий дріт рутилового типу ППС-ТМВ7. Вказані матеріали забезпечують високу якість зварювання та сприяють зниженню технологічної собівартості виготовлення секцій.

3. Відповідно до розробленого технологічного процесу визначена трудомісткість основних робіт, яка становить: складання – 40,19 чол.-год.;

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

зварювання – 13,12 чол.-год.; інші види робіт – 10,49 чол.-год. Загальна трудомісткість технологічного процесу складає 143,35 н-год.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## Розділ 5. Охорона праці

### Вступ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, соціально-гігієнічних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини.

Задача охорони праці - звести до мінімальної ймовірності ураження або хвороби працюючих з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній виробничій праці.

Основним законодавчим актом по охороні праці є Закон України „ Про охорону праці" прийнятий Верховною Радою від 17.01.2001 року.

Охорона здоров'я працюючих, забезпечення безпеки умов праці, лікування професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну із головних турбот держави.

За кожною людиною закріплено право на охорону здоров'я. Це право забезпечувати розвитком техніки безпеки і виробничою санітарією, безкоштовною медичною допомогою, заходами по оздоровленню, попередження і зниження професійних захворювань.

В наш час впроваджується багато нових складальних пристроїв і механізмів. У зв'язку з цим зростає роль охорони праці, яка повинна не тільки забезпечувати безпеку праці людини, але й покращувати її умови [9, 10].

### **5.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів праці при дуговому зварюванні сталі А32**

Сучасне суднобудування - це багатостороння галузь промисловості, яка включає суднове корпусобудування, машинобудування, а також ряд суміжних видів промисловості. Суднобудування характеризується складними умовами праці, присутністю небезпечних і шкідливих факторів, які призводять до виробничих травм, загальним і професійним захворюванням.

У зв'язку з цим в суднобудуванні велика увага приділяється питанням охорони праці і навколишнього середовища [15].

Однією з умов здорової, високопродуктивної праці є забезпечення чистоти

									Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата					

повітря і нормальних метеорологічних умов в робочій зоні. До числа основних фізичних небезпечних факторів відносять:

- рухаючі машини і механізми, пересувні вироби і заготовки;
- підвищена або понижена температура повітря робочої зони;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- підвищений рівень шуму і вібрацій на робочому місці;
- підвищена або понижена вологість повітря;
- підвищений рівень іонізуючих випромінювань;
- висока напруга в електричних каналах, замикання яких може пройти через тіло робітника;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- гострі крайки, задирки і шорсткість поверхонь деталей і виробів.

Норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в табл. 5.1 [16].

Однією з найнебезпечніших технологічних операцій у промислових підприємствах є дугове зварювання металоконструкцій.

На суднобудівних заводах при виготовленні корпусних конструкцій серед дугових способів найчастіше використовують автоматичне зварювання під флюсом та механізоване зварювання в захисних газах та газових сумішах.

При автоматичному зварюванні під флюсом робочий знаходиться у більш сприятливих умовах праці у порівнянні з механізованим зварюванням в захисних газах; головною небезпекою є можливість ураження струмом.

При зварюванні в захисних газах існує можливість небезпечного впливу на зварювальника у зв'язку з наступними чинниками:

- ураження електричним струмом при доторканні людини до струмопровідних частин електричного кола;
- ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри;
- опіки розплавленим металом-бризками;
- отруєння токсичними газами і пилом, які виділяються при зварюванні і при забрудненні приміщень пилом і випаровуванням шкідливих речовин;

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- ураженні від вибуху через неправильне користування балонами стиснутого газу або при виконанні зварювання поблизу вибухонебезпечних речовин;
- отруєння захисними газами;
- опіки і роздратування від загорання розчинників, фарбників і т. ін.
- ураження тепловим випромінюванням дуги;
- ураження очей при виконанні швів;
- травми різного роду механічного характеру при підготовці важких виробів до зварювання.

Таблиця 5.1. Витяг із санітарних норм СН 245-84 значень температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Характеристика виробничих приміщень	Категорія праці	Оптимальні			Допустимі			Допустима температура повітря поза постійних робочих місць, °С
		Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Холодний період року (температура зовнішнього повітря нижче +10°С)								
Приміщення характеризуються незначними надлишками тепла (20ккал/м <sup>3</sup> )	середньої складності	17 - 19	60 - 30	не більше 0,3	15 -20	75	0,5	13 - 20
Теплий період року (температура зовнішнього повітря +10°С і вище )								
Приміщення характеризуються незначними надлишками тепла (20ккал/м <sup>3</sup> і менше)	середньої складності	20 - 23	60 - 30	0,2 - 0,3	Не більше 3°С вище температур зовнішнього повітря найжарчого місяця	Не більше 3°С вище температур зовнішнього повітря найжарчого місяця	0,3 - 0,7	Не більше чим на 3°С вище температури зовнішнього повітря найжарчого місяця

Інтенсивність виробничого шуму в суднобудуванні у складально-

Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш

зварювальному цеху – наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Інтенсивність виробничого шуму в суднобудуванні у складально-зварювальному цеху.

Санітарні норми проектування промислових підприємств, дБ	Обробка плоских секцій, дБ	Обробка напівоб'ємних секцій, дБ	Кернення деталей, дБ	Удари кувалдою, дБ
85	100 - 115	118 - 125	100	90 - 110

Зварювання в середовищі захисних газів супроводжується виділенням пилу і газів. Зварювальний пил або аерозоль являє собою суміш найдрібніших частинок оксидів і мінералів. Крім аерозолі, повітря при зварюванні в робочих приміщеннях забруднюється різноманітними газами шкідливими для здоров'я людини. На робочому місці допускається такі граничні концентрації шкідливих речовин в повітрі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Найменування	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид заліза з сумішшю оксиду марганцю	6,0
Оксид марганцю	0,3
Нікель та його оксиди	0,5
Оксид вуглецю	2,0
Озон	0,1
Алюміній і його оксиди	2,0
Берилій та його з'єднання	0,001
Свинець та його з'єднання	0,01
Озон	0,1
Оксиди азоту	5,0
Мідь	0,5
Оксиди міді	0,1

При несправності зварювального обладнання або мережі заземлення, несправності проводки і неправильне ведення робіт по зварюванню можливе ураження струмом. Ураження електричним струмом відбувається при торканні

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

струмопровідних частин проводки і зварювальної апаратури. Напруга холостого ходу джерел живлення досягає 80 В. Опір людського тіла може змінюватись від 1000 до 20000 Ом, то вказана напруга є небезпечною для життя. Ураження струмом вище 0,05 А може викликати важкі наслідки і навіть смерть (табл. 5.4).

Таблиця 5.4. Найбільша допустима напруга дотику  $U_{пр}$  та струми  $I_h$ , що проходять через людину, при нормальному (не аварійному) режимі роботи електроустановки

Рід та частота струму	Найбільші допустимі значення	
	$U_{пр}$ , В	$I_h$ , А
Змінний, 50 Гц	238	0,3 - 0,4
Постійний		1,0

Небезпека ураження зварника особливо велика під час роботи всередині ємності, лежачі на металічних частинах зварного виробу або при виконанні зварювання в сиру погоду, в вологих приміщеннях.

В процесі зварювання краплі розплавленого металу можуть потрапити в складки одягу, кишені, взуття, пропалити одяг і спричинити опіки, тому що бризки розплавленого металу при зварюванні мають температуру до 1800°C.

Біологічна дія ультрафіолетових променів: викликають опіки шкіри робочого, уражають очі, пропалюють тканину. Ультрафіолетові промені добре поглинаються повітрям, викликаючи фотохімічний ефект з виникненням озону. Озон викликає: отік легень, порушення частоти пульсу, зміну складу крові.

Крім ультрафіолетових променів, горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням видимих, дуже яскравих світлових променів і інфрачервоних променів.

Інфрачервоні промені володіють в основному тепловою дією. Якість видимих променів значно перевищує норму, допустиму для людського ока, і якщо

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

дивитися на дугу не захищеним оком, вона має осліплюючу дію. Ультрафіолетові промені навіть при короткочасній дії (декілька секунд) викликають захворювання очей (опік роговиці ока - електрофтальмія). Вона супроводжується різким болем, різцю в очах, сльозоточивістю, спазмами повік.

Через 2-3 дні захворювання проходить. Часте повторення електрофтальмії може привести до хронічного кон'юнктивіту. Інфрачервоні промені при довгому впливі викликають помутніння кристалів ока (катаракту), що призводить до тимчасової або повної втрати зору. Теплова дія інфрачервоних променів викликає опіки шкіри.

Перевірка концентрації пилу і газів (при зварюванні в середовищі захисних газів) показує, що щиток і маска навіть при зварюванні в нижньому положенні дозволяє знищувати вміст пилу і газу в зоні дихання зварника в декілька разів.

Захисний газ, щільність якого більша щільності повітря, може накопичуватись в нижніх частинках приміщень. При збільшенні концентрації газу, у повітрі зменшується кількість кисню. Що може призвести до кисневого голоду людей, працюючих у приміщенні.

Під час зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів перед маскою знайдено  $90-111 \text{ мг/см}^3$  пилу, а під маскою  $12 \div 28 \text{ мг/см}^3$ .

## 5.2. Розрахунок захисного заземлення

Метою розрахунку є визначення параметрів пристрою заземлення при умові, щоб його опір розсіювання був менший або рівний допустимому значенню [32].

Заземлюючий пристрій - це сукупність заземлювача і заземлюючих провідників, які з'єднують заземлюючі частини електроустановки із заземлювачем (рис. 5.1).

Вихідні дані:

- питомий електричний опір ґрунту (глина)  $\rho = 60 \text{ Ом}$ ;
- найбільш допустимий опір пристрою заземлення для електроустановки з напругою до 1000 В становить  $R = 4 \text{ Ом}$ ;
- заземлювач має трубчасту форму (рис. 5.1);
- довжина труби  $l = 2 \text{ м}$ ;
- глибина занурення труби від поверхні землі  $t_0 = 0,9 \text{ м}$ ;

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Електроди заземлені по контуру. Відстань між ними  $l = 2l$ . Коефіцієнт використання заземлювачів  $\eta_{\Phi} = (0,67 \dots 0,72)$ . Приймаємо  $\eta_{\Phi} = 0,72$ .

#### 4. Розрахунок фактичного опору заземлювачів

$$R_{\text{вф}} = \frac{R_1}{\eta_{\text{в}} \cdot n'} \quad (5.4)$$

$$R_{\text{вф}} = \frac{20,4}{0,72 \cdot 5} = 5,67 \text{ Ом.}$$

#### 5. Визначення опору розтікання з'єднувальної полоси $R_{1\text{в}}$

Для зв'язування вертикальних заземлювачів використовуємо з'єднувальну смугу (рис. 5.2).

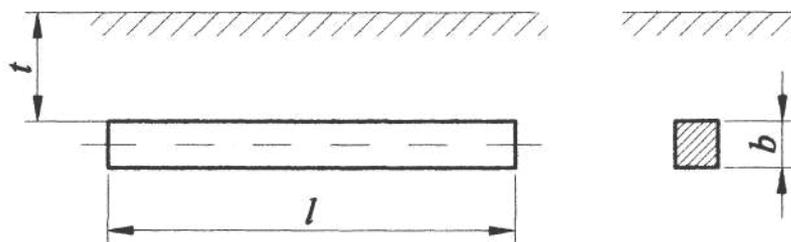


Рис. 5.2. Конструктивні розміри з'єднувальної смуги

Вибираємо тип та схему розміщення з'єднувальної смуги. Опір розтікання з'єднувальної штаби визначатимемо для протяжної пластини штабового прямокутного перерізу зі стороною  $b = 45$  мм за формулою

$$R_{1n} = \frac{\rho}{2\pi l} \frac{2l^2}{bt}, \quad (5.5)$$

де  $t = 0,9$  м - глибина закладення з'єднувальної смуги;  $l$  - довжина з'єднувальної смуги;  $b$  - ширина з'єднувальної смуги  $b = 0,08$  м.

Довжину  $l$  розраховуємо за формулою

$$l = 1,05an, \quad (5.6)$$

де  $a = 1 \dots 3$  м - відстань між електродами; приймаємо  $a = 2$  м.

$$l = 1,05 \cdot 2 \cdot 5 = 10,5 \text{ м.}$$

$$R_{1n} = \frac{60}{2 \cdot 3,14 \cdot 10,5} \cdot \frac{2 \cdot 10,5^2}{0,08 \cdot 0,9} = 7,2 \text{ Ом.}$$

З врахуванням коефіцієнту використання з'єднувальної смуги  $\eta_{\Gamma} = 0,77$  [16],

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

знаходимо опір з'єднувальної смуги  $R_{\phi}$

$$R_{\phi} = \frac{R_{1n}}{\eta_r} \quad (5.7)$$

$$R_{\phi} = \frac{7,2}{0,77} = 9,3 \text{ Ом.}$$

#### 6. Визначення фактичного опору захисного заземлення $R_e$

Визначення фактичного опору захисного заземлення  $R_e$  з вертикальних заземлювачів та горизонтальної з'єднувальної смуги ведемо як еквівалентний опір при паралельному з'єднанні провідників:

$$R_e = \frac{R_{1n} R_{\phi}}{R_{\phi} + R_{1n}} \quad (5.8)$$

$$R_e = \frac{7,2 \cdot 9,3}{7,2 + 9,3} = 3,7 \text{ Ом.}$$

Отриманий опір необхідно порівняти з допустимим опором заземлюючого пристрою  $R_d$ .

$$3,7 < [4,0] \text{ Ом - вимога виконується.}$$

### 5.3. Основні заходи безпеки при дугових способах зварювання

До виконання зварювальних робіт допускаються лише такі робочі, які здали технімум по правилах техніки безпеки.

Забороняється проводити зварювальні роботи в безпосередній близькості від вогнебезпечних і легко займистих матеріалів (бензину, гасу, клочки, стружки та ін.).

Зварювання всередині резервуарів, котлів і в тісних закритих просторах повинне вестися з систематичними перервами і виходом робочих на свіже повітря. Зовні резервуару повинна невідступно знаходитися друга людина — спостерігач. Для штучного освітлення застосовують лампи на 12 В.

Роботи, що систематично виконуються за допомогою зварювання і не носять тимчасового характеру монтажних робіт, повинні проводитися в окремих приміщеннях, що належним чином вентилуються. Площа приміщення повинна вибиратися з розрахунку не менше 4 м<sup>2</sup> на зварювальний пост, повинні бути забезпечені вільні проходи між зварювальними постами не менше 0,8 м. Площа

									Аркуш	
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ					



при їх вантаженні і розвантаженні, слід приймати всі запобіжні засоби проти падіння і ударів балонів один об одного.

Наповнені балони повинні зберігатися у вертикальному положенні закріпленими або в спеціальних стійках, що знімають можливість їх падіння. Порожні балони можна складати в штабелі заввишки не більше чотирьох рядів.

Забороняється встановлювати або укладати балони біля печей, опалювальних приладів і інших джерел тепла.

При зварюванні можна застосовувати тільки редуктори із справними манометрами.

### **Висновки**

1. Проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів на робочому місці при складанні та зварюванні днищової секції і викладенні основні заходи безпеки при виконанні зварювальних робіт.
2. Проведений розрахунок захисного заземлення, з результатів якого отримана величина опору заземлюючих стержнів та смуг. Доведено, що заземлення відповідає всім вимогам і забезпечує безпеку робітників на виробництві.

						Аркуш
					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



Трудомісткість складальних робіт	40,19·2 = 80,24 год.
Трудомісткість зварювальних робіт	13,12·4 = 52,48 год.
Трудомісткість інших робіт	10,49 год.
Годинна тарифна ставка складальника	106 грн/год.
Годинна тарифна ставка зварювальника	95 грн/год.
Годинна тарифна ставка розмічувальника	100 грн/год.

Розрахунки витрат будемо виконувати на 1 пог. м шва.

Затрати на зварювальні матеріали розраховуємо за формулою

$$C_m = \sum_i H_i \cdot Ц_i, \quad (6.2)$$

де  $H_i$  – норма витрат  $i$ -го матеріалу, кг/м;  $Ц_i$  – вартість одиниці  $i$ -го матеріалу з урахуванням транспортно-заготівельних затрат, грн./кг.

Норма витрат на один метр шва:

$$H_i = G \cdot K, \quad (6.3)$$

де  $G$  - маса металу, наплавленого на 1 метр зварного шва;  $K$  - коефіцієнт переходу від маси наплавленого металу до витрати матеріалів зварювальних матеріалів (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Значення коефіцієнту переходу від маси наплавленого металу до витрати матеріалів для зварювання

Спосіб зварювання	Зварювальний матеріал	
	Дріт	Флюс
Автоматичне під флюсом	1,02	1,1...1,8
Механізоване порошковим дротом у CO <sub>2</sub>	1,02	

Маса наплавленого металу на 1 метр зварного шва, виконуваного у нижньому положенні, розраховується як

$$G = 100F \cdot \gamma, \quad (6.4)$$

де  $F$  - площа поперечного перерізу шва, см<sup>2</sup>;  $\gamma$  - щільність металу, г/см<sup>3</sup>.

Витрату захисної газової суміші приймаємо відповідно до розрахованого режиму зварювання (див. табл. 2.6).

Затрати на заробітну платню розраховуємо як суму повних затрат на

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



де  $C_{ai}$  та  $C_{pi}$  - амортизаційні відрахування та затрати на поточний ремонт  $i$ -го виду обладнання відповідно.

$$C_{ai} = \frac{\sum_i C_i \cdot H_{ai}}{100}, \quad (6.10)$$

$$C_{pi} = \frac{\sum_i C_i \cdot H_{pi}}{100}, \quad (6.11)$$

де  $C_i$ ,  $H_{ai}$ ,  $H_{pi}$  – вартість, норма амортизаційних відрахувань та норма витрат на поточний ремонт  $i$ -го виду обладнання відповідно (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Норми амортизаційних відрахувань та затрат на поточний ремонт обладнання

Група обладнання	Норма відрахувань у % до балансової вартості	
	амортизаційних $H_a$	на поточний ремонт $H_p$
Джерела живлення для дугового та електрошлакового зварювання	12,5...16,7	10...20
Автомати і апарати для механізованого зварювання, установки для дугового зварювання, наплавлення	11,0...16,7	

### Розрахунок затрат на зварювальні матеріали

Зварювальний дріт Св-08А:

витрати на один метр шва

$$H_{св-08А} = 100 \cdot 0,8 \cdot 7,8 \cdot 1,02 = 630 \text{ г} = 0,63 \text{ кг.}$$

Затрати на 1 секцію

$$C_{св-08А} = 0,63 \cdot 34,2 \cdot 58 = 1249,7 \text{ грн..}$$

Зварювальний порошковий дріт ППс-ТМВ7:

при зварюванні швів С18 на 1 м шва

$$H_{ППс} = 100 \cdot 0,93 \cdot 7,8 \cdot 1,02 = 739 \text{ г} = 0,74 \text{ кг.}$$

Затрати на 1 секцію

$$C_{ППс} = 0,74 \cdot 45,6 \cdot 130 = 4386,7 \text{ грн.}$$

При зварюванні швів Т8 на 1 м шва

$$H_{ППс} = 100 \cdot 0,18 \cdot 7,8 \cdot 1,02 = 143 \text{ г} = 0,14 \text{ кг.}$$

Затрати на 1 секцію

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

$$C_{\text{ППс}} = 0,14 \cdot 281,6 \cdot 130 = 5125,1 \text{ грн.}$$

При зварюванні швів ТЗ на 1 м шва

$$H_{\text{ППс}} = 100 \cdot 0,15 \cdot 7,8 \cdot 1,02 = 119 \text{ г} = 0,12 \text{ кг.}$$

Затрати на 1 секцію

$$C_{\text{ППс}} = 0,12 \cdot 47,6 \cdot 130 = 742,6 \text{ грн.}$$

Затрати на зварювальний дріт ППс-ТМВ7 на 1 секцію

$$C_{\text{ППс}} = 4386,7 + 5125,1 + 742,6 = 10254,4 \text{ грн.}$$

Витрати флюсу АН-348А на 1 м шва

$$H_{\text{АН-348А}} = 1,5 \cdot 0,63 = 0,95 \text{ кг.}$$

Затрати на флюс на 1 секцію

$$C_{\text{АН-348А}} = 0,59 \cdot 34,2 \cdot 36 = 726,4 \text{ грн.}$$

Витрати CO<sub>2</sub> на 1 м шва

$$H_{\text{CO}_2} = 55,2 \text{ л} = 0,11 \text{ кг.}$$

Затрати на CO<sub>2</sub> на 1 виріб

$$C_{\text{газ}} = 0,11 \cdot 374,8 \cdot 20 = 1199,4 \text{ грн.}$$

В цілому, затрати на зварювальні матеріали

$$C_{\text{м}} = 1249,7 + 10254,4 + 726,4 + 1199,4 = 13429,9 \text{ грн.}$$

Розрахунок затрат на заробітну плату на 1 виріб

Повні затрати робочих основних професій:

складальники

$$C_{\text{з.п.ск}} = 1,15 \cdot 80,24 \cdot 106 \cdot 1,22 = 11933,13 \text{ грн.}$$

зварювальники

$$C_{\text{з.п.зв}} = 1,15 \cdot 52,48 \cdot 95 \cdot 1,22 = 6994,80 \text{ грн.}$$

Робітники інших професій (у середньому)

$$C_{\text{з.ін}} = 1,15 \cdot 10,49 \cdot 100 \cdot 1,22 = 1471,47 \text{ грн.}$$

В цілому затрати на заробітну платню

$$C_{\text{зп}} = 11933,13 + 6994,80 + 1471,47 = 20399 \text{ грн.}$$

Затрати на технологічну електроенергію розраховуємо як суму затрат на

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



$$C_{\text{дж}} = \frac{453475 \cdot 15}{100 \cdot 70} = 971,73 \text{ грн};$$

апарат для механізованого зварювання Robust Feed PRO Water з джерелом живлення Warrior™ 500i CC/CV

$$C_{\text{мех}} = \frac{188740 \cdot 14}{100 \cdot 70} = 377,48 \text{ грн};$$

Загальні затрати на ремонт устаткування

$$C_p = 638,30 + 971,73 + 377,48 = 1987,51 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків статей затрат та технологічної собівартості виготовлення однієї днищової секції та річної програми випуску секцій зведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Зведені затрати на технологічну собівартість продукції

Найменування статей затрат	Значення показника, грн.
Річна програма випуску виробів	70
Зварювальні матеріали	13429,9
Заробітна плата	20399,0
Електроенергія	848,3
Амортизаційні відрахування по устаткуванню	1960,5
Затрати на поточний ремонт устаткування	1987,5
Технологічна собівартість виготовлення 1 секції	38625,2
Технологічна собівартість річного випуску секцій	2.703.764

### Висновок

Економічні розрахунки показали що технологічна собівартість виготовлення однієї днищової секції за розробленою технологією зварювання складає 38625,2 грн., річної програми – 2.703.764 грн.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## Загальні висновки

1. Розроблено принциповий технологічний процес складання та зварювання днищової напівоб'ємної секції танкера-газовоза типу «ріка-море» з використанням високопродуктивного технологічного устаткування, оснастки та сучасних зварювальних матеріалів вітчизняного виробництва.

2. Для розробки удосконаленої технології виготовлення днищових секцій замінене двостороннє зварювання обшивки на одностороннє з формуванням зворотної сторони на флюсовій подушці (плоска частина секції) та знімних керамічних підкладках (скулова частина). Як зварювальні матеріали вибрані: для автоматичного зварювання під флюсом – дріт марки Св-08А та флюс марки АН-348А; для механізованого зварювання - всепозиційний порошковий дріт рутилового типу ППС-ТМВ7.

3. Розраховані режими зварювання та термічні цикли і встановлено, що вони забезпечують розміри зварних швів згідно зі стандартами та твердість металу ЗТВ: при автоматичному зварюванні під флюсом 210 HV, при механізованому зварюванні з найбільшою погонною енергією 270 HV. Отримана твердість не перевищує допустимої за Правилами Регістру для зварювання суднобудівних сталей. Розрахунками загальних зварювальних деформацій доведено, що стрілки прогину секції не перевищують допустимих і необхідності у розробці додаткових заходів боротьби з деформаціями немає.

4. Зварювання днищової секції пропонується виконувати з застосуванням зварювального устаткування нового покоління виробництва концерну ESAB: автоматичне зварювання під флюсом - трактором А6 Mastertrac SAW PEK в комплекті з джерелом живлення LAF 1251; механізоване зварювання - апаратом, що складається з механізму подачі Robust Feed PRO Water та джерела живлення Warrior 500i CC/CV.

5. Для складання секції вибрана універсальна стоякова постіль з можливістю налагодження у відповідності з розрахованими заздалегідь даними. Для транспортування деталей, вузлів великої довжини, а також днищової секції сконструйована траверса габаритами  $L \times B \times H = 7800 \times 300 \times 640$  мм та

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

вантажопідйомністю 10,5т. Розрахунком на міцність зварного з'єднання визначено товщину та кількість сталених обухів для кантування та транспортування секцій.

6. Відповідно до розробленого технологічного процесу визначена трудомісткість основних робіт, яка становить: складання – 40,19 чол.-год.; зварювання – 13,12 чол.-год.; інші види робіт – 10,49 чол.-год. Загальна трудомісткість технологічного процесу складає 143,35 н-год.

7. Розроблені питання охорони праці та техніки безпеки при складанні та зварюванні днищової секції. Проведений розрахунок захисного заземлення показав, що воно відповідає всім вимогам і забезпечує безпеку робітників на виробництві.

8. Економічні розрахунки показали що технологічна собівартість виготовлення однієї днищової секції за розробленою технологією зварювання складає 38625,2 грн., річної програми – 2.703.764 грн.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



12. Куркин, С. А. Сварные конструкции. [Текст] / С. А. Куркин, Г. А. Николаев. - М.: Высшая школа 1991.- 398 с.
13. Куркин, С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас. [Текст] / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук. – М.: Машиностроение, 1989. – 327 с.
14. Лебедев, Ю.М. Расчеты тепловых процессов при сварке: Методические указания к выполнению курсовой работы. [Текст] / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.М. Самохин. - Николаев: НКИ, 1991.- 47 с.
15. Левченко О.Г. Технологические способы минимизации вредных выделений при сварке [Текст] / О.Г. Левченко // Сварщик - 2007 - № 1 - С. 36-37.
16. Левченко, О.Г., Охорона праці у зварювальному виробництві: навч. посібник [Текст] / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров. – К.: Основа, 2014. – 352 с.
17. Марочник сталей и сплавов. [Текст] / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; под общей ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
18. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра [Текст] / С.В. Драган, Г.В. Єрмолаєв, Ж.Г. Голобородько та ін. // – Миколаїв: НУК, 2014. - 62 с.
19. Механизация и автоматизация судостроительного производства. Справочник. [Текст] / Под ред. А. А. Нахамкина– Л.: Судостроение, 1988. – 352 с.
20. Міцність зварних та спаяних з'єднань: підручник [Текст] / В.В. Квасницький; Г.В. Єгоров; Г.В. Єрмолаєв; М.В. Матвієнко; за заг. ред. Л.М. Лобанова. – Миколаїв: НУК, 2019. – 294 с.
21. Напруження та деформації при зварюванні і паянні: підручник [Текст] / Л.М Лобанов, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький та ін.; за заг. ред. Л.М. Лобанова. – Миколаїв: НУК, 2016. -248 с.
22. Орлов, Л.Н. Порошковая проволока для сварки в судостроении [Текст] / Л.Н. Орлов, А.А. Голякевич, В.Н. Упырь и др. // Автоматическая сварка. 2005, № 6. – С. 52 – 53.
23. Орлов, Л.Н. Механизированная сварка порошковой проволокой ППС-

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		



37. <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-09g2>

38. <https://global.kawasaki.com>.

					ДП.131.3121зст.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		