

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 к.т.н., проф. НУК Г.В. Єрмолаєв

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Удосконалення технології виготовлення суднової переборки

Виконав: студент II курсу, групи 2121ст
спеціальності 131 Прикладна механіка за
освітньо-професійною програмою Інжині-
ринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Синицький Дмитро Андрійович

(прізвище та ініціали)

 Керівник Єрмолаєв Геннадій Володимирович

(прізвище та ініціали)

 Рецензент Лой Сергій Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Миколаїв - 2024 р.

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



доц. В.В. Співтаренко

“ ” 2024 року

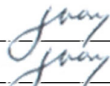
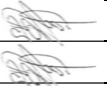
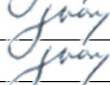
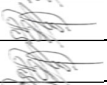
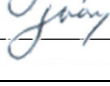
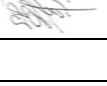
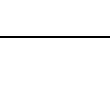
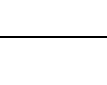
ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

студенту Синицькому Дмитру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виготовлення суднової переборки
керівник проекту Єрмолаєв Геннадій Володимирович, к.т.н., професор НУК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені розпорядженням ХФ НУК від “04” 03 2024 року № 01
2. Строк подання студентом проекту 14 червня 2024р.
3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, матеріал сталь 09Г2.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструкції, матеріалу і технологічних процесів виготовлення переборок. 2. Розрахунки технології зварювання. 3. Розробка технологічного процесу. 4. Охорона праці. 5. Розрахунок собівартості зварювання.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Тема роботи. 2. Мета роботи, завдання. 3. Розташування поздовжніх і поперечних переборок. 4. Креслення виробу. 5. Режим зварювання. 6. Діаграма термодинамічного розпаду аустеніту сталі 09Г2. 7. Послідовність складання та зварювання переборки. 8. Висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Єрмолаєв Г.В., професор НУК		
2	Єрмолаєв Г.В., професор НУК		
3	Єрмолаєв Г.В., професор НУК		
4	Єрмолаєв Г.В., професор НУК		
5	Єрмолаєв Г.В., професор НУК		

7. Дата видачі завдання 11.03.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

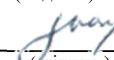
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз конструкції, матеріалу і технологічних процесів виготовлення переборок	22.03.24р.	
2.	Розрахунки технології зварювання	12.04.24р.	
3.	Розробка технологічного процесу виготовлення переборки	10.05.24р.	
4.	Охорона праці	24.05.24р.	
5.	Розрахунок собівартості зварювання	10.06.24р.	

Студент


(підпис)

Синицький Д.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Єрмолаєв Г.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

стор.

Вступ.....	6
1. Аналіз конструкції, матеріалу і технологічних процесів виготовлення переборки.....	10
1.1 Загальна характеристика конструкції переборки.....	11
1.2 Характеристика матеріалу переборки.....	13
1.3 Недоліки типового технологічного процесу та можливості одностороннього зварювання.....	15
1.4 Висновки. Мета та завдання дипломного проекту.....	20
2. Розрахунки технології зварювання.....	22
2.1. Зварювання пазу переборки.....	23
2.2 Зварювання стиків переборки.....	24
2.3 Зварювання вузлів підкріплення другого дна.....	26
2.4 Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом та механізованого в суміші (Ar + CO ₂).....	27
2.5 Розрахунок термічного циклу зварювання та аналіз очікуваної структури металу зони термічного впливу.....	40
3. Розробка технологічного процесу виготовлення переборки.....	45
3.1 Технологічна послідовність виготовлення переборки.....	46
3.2 Вибір зварювальних матеріалів	50
3.3 Вибір зварювального обладнання.....	52
3.4 Контроль якості.....	54
4. Охорона праці.....	56
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при виготовленні переборки.....	57
4.2 Розрахунок заземлення.....	61
5 Розрахунок собівартості зварювання.....	66
5.1 Розрахунок собівартості зварювання за базовим варіантом.....	67
5.2 Розрахунок собівартості зварювання за проектованим варіантом.....	71
Загальні висновки.....	75

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Список джерел інформації.....77

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку суднобудівної галузі України в умовах економічних і воєнних викликів. Проаналізовано основні проблеми функціонування галузі, зокрема недостатнє завантаження виробничих потужностей, високу капіталомісткість виробництва та залежність від імпортованих комплектуючих.

Основну увагу приділено удосконаленню технологічного процесу виготовлення поперечної гофрованої переборки танкера. Виконано аналіз існуючої технології складання та зварювання, виявлено її недоліки та обґрунтовано необхідність її вдосконалення.

У роботі обрано раціональні способи зварювання: механізоване зварювання в захисних газах із зворотним формуванням шва на гнучких підкладках для пазів переборки та автоматичне зварювання під флюсом для стиків. Проведено розрахунок параметрів режимів зварювання та досліджено термічні цикли. Встановлено, що твердість металу в зоні термічного впливу не перевищує допустимих значень, що виключає утворення холодних тріщин.

Розроблено технологічний процес виготовлення переборок із вибором необхідного зварювального обладнання, матеріалів і методів контролю якості. У розділі охорони праці визначено небезпечні та шкідливі фактори й запропоновано заходи щодо їх мінімізації. Проведено розрахунок захисного заземлення, який підтвердив відповідність нормативним вимогам.

Економічна оцінка показала зниження технологічної собівартості зварювання одного метра стикового з'єднання на 32,7 %, що свідчить про ефективність запропонованих рішень.

Ключові слова: суднобудування, зварювання, гофрована переборка, танкер, технологічний процес, автоматичне зварювання під флюсом, механізоване зварювання, зона термічного впливу, твердість, охорона праці, економічна ефективність

ABSTRACT

The bachelor's thesis examines the current state and development prospects of the shipbuilding industry in Ukraine under economic and wartime challenges. The main issues of the industry are analyzed, including underutilization of production capacities, high capital intensity, and dependence on imported components.

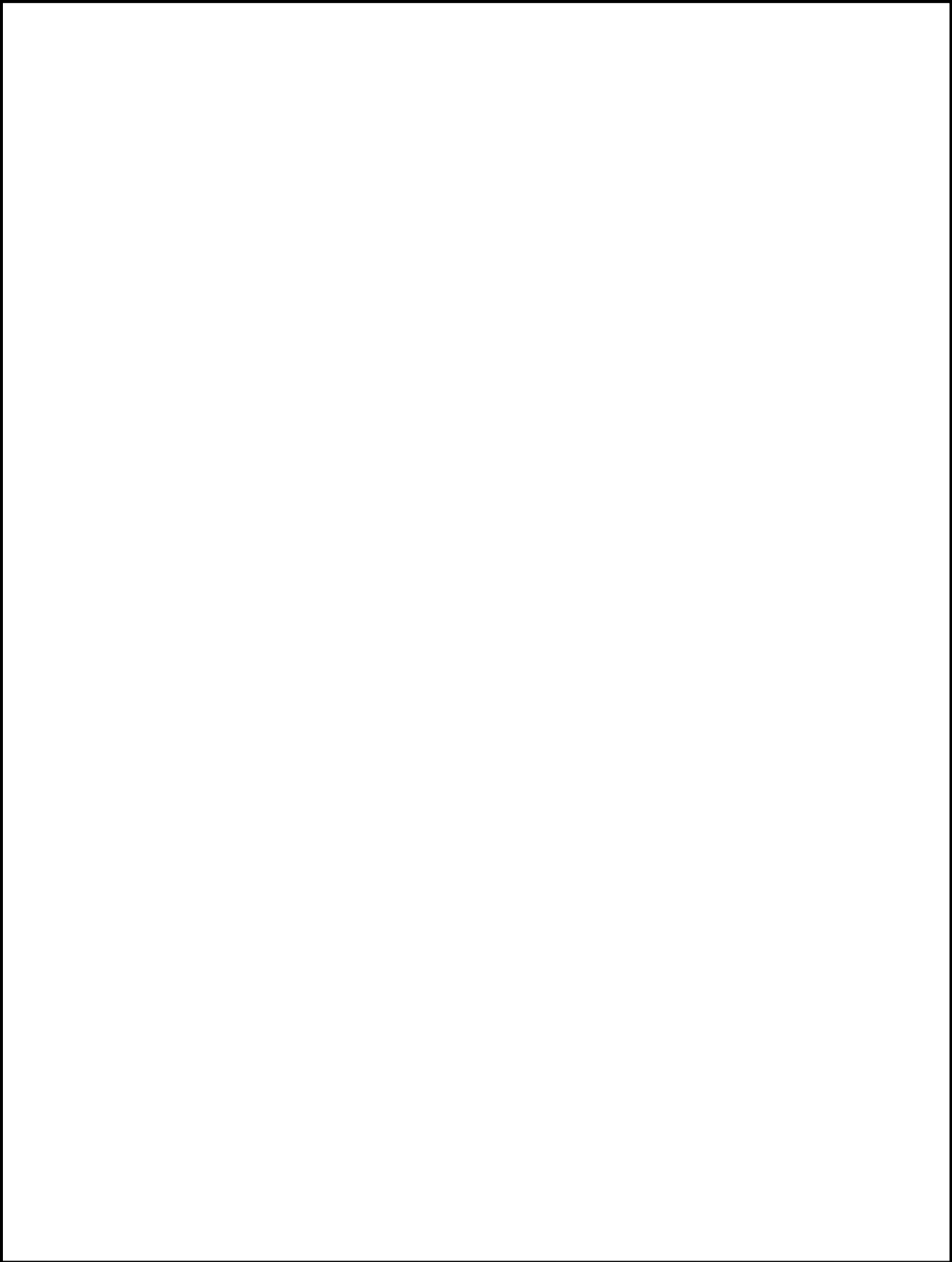
The main focus is on improving the manufacturing technology of a transverse corrugated bulkhead of a tanker. The existing assembly and welding technology is analyzed, its key drawbacks are identified, and the need for improvement is substantiated.

Rational welding methods are selected: mechanized gas-shielded welding with back-side weld formation using flexible backing for grooves, and automatic submerged arc welding for joints. Welding parameters are calculated and thermal cycles are analyzed. It is established that the hardness in the heat-affected zone remains within acceptable limits, preventing cold cracking.

A technological process for bulkhead manufacturing is developed, including the selection of welding equipment, materials, and quality control methods. Occupational safety aspects are considered, hazardous factors are identified, and mitigation measures are proposed. The protective grounding system is calculated and confirmed to meet regulatory requirements.

The economic analysis shows a reduction in the technological cost of welding per meter of joint by 32.7%, confirming the efficiency of the proposed solutions.

Keywords: shipbuilding, welding, corrugated bulkhead, tanker, technological process, submerged arc welding, mechanized welding, heat-affected zone, hardness, occupational safety, economic efficiency



					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 00. ПЗ.								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ				Літ.	Арк.	Акрушіє		
Студент	Синицький Д.А.											6	4
Керівник	Єрмолаєв Г.В.												
Конс.	Єрмолаєв Г.В.								ХННІ НУК				
Н. Контр.													
Зав. каф.	Єрмолаєв Г.В.												

ВСТУП

Суднобудівна галузь України складна і багатогранна, переплетена з низкою інших секторів, надзвичайно капіталомістка. Ще до війни через багаторічний спад її показники не вселяли оптимізму, а після 24 лютого 2022-го індустрія стикнулася з новими проблемами. Та навіть зараз, попри часткову недоступність вод Херсона й Миколаєва, галузь має перспективи розвитку. Експерти й гравці ринку кажуть: щоб досягти довоєнного рівня виробництва й конкурувати з європейськими суднобудівними компаніями, українській індустрії потрібні реформи й підтримка держави.

У 2000-му зі створенням вільної економічної зони «Миколаїв» українські верфі почали отримувати замовлення, зросла інвестиційна привабливість і конкурентоздатність суднобудівних підприємств. Зокрема, саме тоді в Україну зайшов нідерландський суднобудівний концерн Damen Shipyards Group, взявши в управління вітчизняний завод «Океан». Обсяги виробництва галузі зросли у 2,5 рази. Та у 2007-му держава прибрала пільги, робочих місць поменшало, а нідерландці покинули Україну, продавши частку в «Океані» норвезькій групі Aker Yards ASA [1].

В Україні почалася стагнація. До 2009-го надія на відновлення галузі була, але після 2014-го спад посилювався. У 2019–2020 роках українська індустрія побачила паростки відродження, змігши за п'ять років трохи оговтатися після російського вторгнення до Криму та на Донбас.

За даними консалтингової компанії Roland Berger, до війни третину всіх суден, які випускала Україна, будували на Миколаївській і Херсонській верфях – потужностях суднобудівного об'єднання Smart Maritime Group (будує середні й великотоннажні судна і виконує судноремонтні роботи). Їх завантаження до війни не перевищувало 25% – мало, враховуючи потребу України у військових і цивільних судах. При цьому у Європі верфі виконують високотехнологічні роботи, а переважна більшість українських верфей здебільшого здійснюють простий судноремонт, кажуть у Smart Maritime

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Group. Але потужності компанії давали можливість будувати повнокомплектні судна для зовнішнього ринку.

Більшу частину суднобудівної інфраструктури України збережено попри обстріли. При належному попиті галузь може не лише відновитися, а й удесятеро перевищити довоєнний рівень.

Слід зазначити, що суднобудуванню, як невід’ємній частині оборонно-промислового комплексу будь-якої країни, притаманні такі відмітні риси, як висока наукоємність кораблів і суден, тривалий цикл розробки, будівництва та висока капіталомісткість суден, що, в разі коливання вартості національної грошової одиниці, зумовлює високі ризики для підприємства-виробника. При цьому, в разі відсутності на підприємстві чи всередині країни власних виробництв, виникає необхідність закупівлі значної частини комплектуючих і устаткування за кордоном. Звідси і уявлення про сучасні судна як про складний технічний об’єкт з високим ступенем застосування сучасного обладнання. Також необхідно сказати, що стимули для інноваційного розвитку галузі, підвищення професіоналізму співробітників зумовлюють високий рівень конкуренції на ринках суднобудування. Таким чином, світові ринки суднобудування на сьогодні є стратегічно перспективними для цивільного суднобудування і особливо для продукції оборонно-промислового комплексу, що пояснює високі вимоги до використовуваних у будівництві суден технологій і прискорений розвиток суднобудівної галузі.

Для досягнення зазначених вище цілей фундаментом завжди була держава. Саме вона надає головну підтримку суднобудуванню в розвинених країнах, виступаючи гарантом галузі, що дозволяє розширювати суднобудівну інфраструктуру. У результаті стабільної підтримки суднобудівної галузі буде бурхливий розвиток оборонно-промислового комплексу [2] .

Танкери є важливою частиною суднобудування, особливо сьогодні, коли значна частина нафти та її продуктів транспортується водним шляхом.

У дипломному проекті розглянуті питання удосконалення технології зварювання поперечної суднової переборки.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз конструкції, матеріалу і технологічних процесів виготовлення переборок	Літ.	Арк.	Акрушів
Студент		Синицький Д.А.					12	12
Керівник		Єрмолаєв Г.В.						
Конс.		Єрмолаєв Г.В.						
Н. Контр.								
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.				ХННІ НУК		

1.1 Загальна характеристика конструкції переборки

Внутрішні перекриття у судні, що розділяють простір вантажних приміщень називають переборками. Переборки в залежності від конфігурації можуть бути плоскими, гофрованими, ламаними та комбінованими.

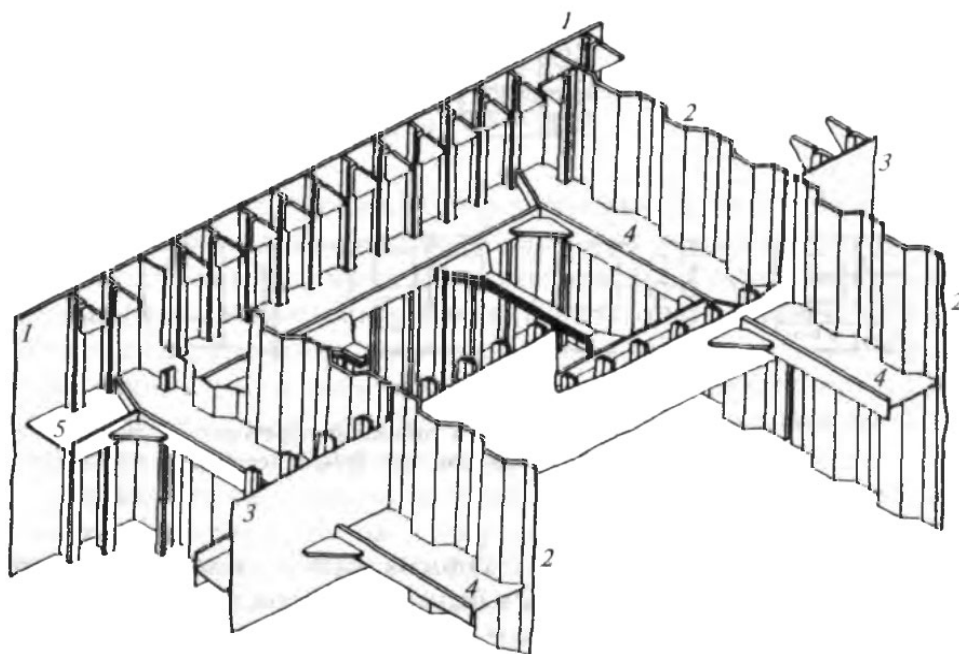
По орієнтації у просторі судна розрізняють переборки прокольні, поперечні, похилі, діагональні та комбіновані.

Перебирання основного корпусу та надбудов судна утворюють межі окремих приміщень, які насамперед призначаються для розміщення в них та перевезення різних вантажів. Рід вантажу, що перевозиться, надає вирішальний вплив на розміщення і конструкцію цих перебірок, які є головними перебираннями судна.

Перебирання на додаток до балок набору корпусу забезпечують поперечну та поздовжню міцність, а також живучість судна при надзвичайних аварійних ситуаціях [3]. Особливу роль поздовжні перебірки грають на танкерах, забезпечуючи разом із бортами поздовжню міцність корпусу, як у спокійній воді, і на хвилюванні. Ці перебірки, як і борти, привертають до свого вигину верхні пояси еквівалентного бруса - палубу і днище. Верхні пояси цих перебірок при згинанні корпусу піддаються дії великих зусиль, що розтягують і стискають.

Гофровані перебирання (рис. 1.1) дозволяють зменшити масу в порівнянні з масою плоских перебірок, і тому вони набули широкого поширення в суднобудуванні і особливо при будівництві танкерів і танкерів-рудовозів. Виготовлення гофрованих перебірок потребує витрат на 10...15 % менше, ніж плоских. На виготовлення гофрованих конструкцій потрібно менше зварювання, і вона меншою мірою викликає залишкові деформації і внутрішні напруги. Остання обставина дає можливість отримати надійніші конструкції при дії динамічних навантажень. У деяких випадках навіть танкери, що переломилися, зберігали міцність перебірок в умовах впливу прямих ударів хвиль під час ураганів.

					ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



1 - борт; 2 - поперечна гофрована перебірка; 3 - поздовжня плоска перебірка; 4 - шельф; 5 - бортовий стрингер

Рисунок. 1.1 Поздовжні і поперечні переборки

Ескіз секції гофрованої переборки представлений на рисунку 1.2. В залежності від форми гофри, призначення переборки, відстані між центрами гофри за правилами Регістра судноплавства України визначають товщину листів гофрованої переборки.

Гофровані переборки мають ряд конструктивних та експлуатаційних переваг:

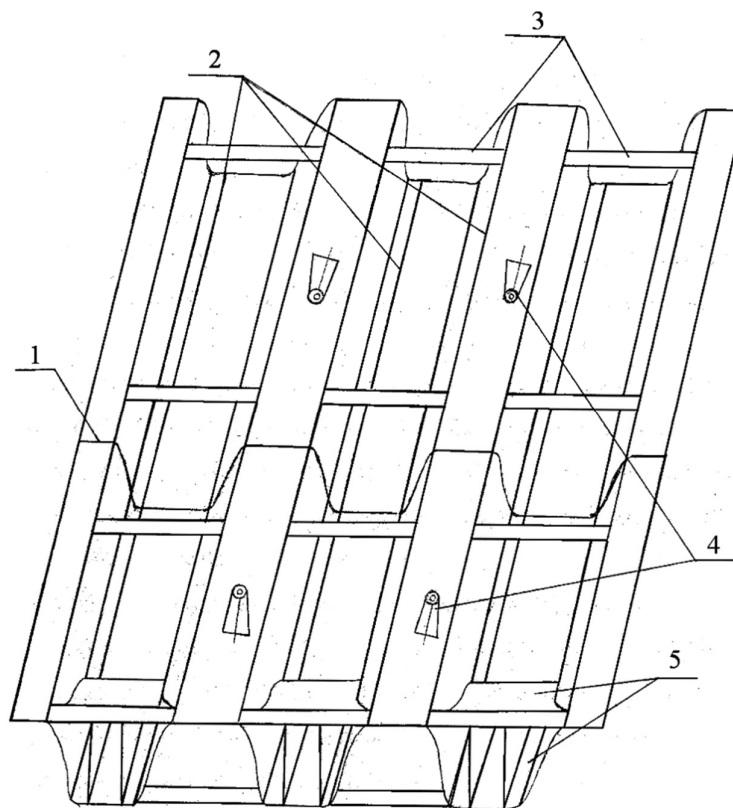
- при рівній міцності вони легше плоских за рахунок ліквідації набору та зменшення товщини листів;
- зменшується кількість типорозмірів та деталей, а також знижується трудомісткість обробки, складання та зварювання переборок;
- спрощується та значно прискорюється очистка танків, особливо перед прийомом іншого виду рідкого вантажу, так як у танках немає виступаючих частин: книць та ребер жорсткості.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.

Арк.

14



1 – паз секції, 2 – стики секції, 3 – деталі тимчасових розкріплень, 4 – транспортувальні обухи, 5 – деталі підкріплення другого дна.

Рисунок 1.2 Ескіз гофрованої переборки

У дипломній роботі поперечна переборка складається та зварюється з дванадцяти гнутих листів, деталей вузлів підкріплення другого дна, тимчасових жорстких розкріплень, деталей насичення та транспортуючих обухів. Більшу частину трудомісткості займає складання та зварювання полотна. При виготовленні переборки виконується зварювання одного пазу та шести стиків.

1.2 Характеристика матеріалу переборки

Перебірка виконана із низьколегованої сталі 09Г2, яка має добру зварюваність розповсюдженими способами зварювання.

Хімічний склад та механічні властивості сталі 09Г2 приведені у таблицях 1.1 та 1.2 [4].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.

Арк.

15

Сталь 09Г2 легована Mn, Si, Cr для підвищення міцності, має високу стійкість проти переходу до крихкого стану, має низьку вартість.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 09Г2, % (ДСТУ 8541:2015)

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	N	S
до 0,12	0,17–0,37	1,4–1,8	0,30	0,30	0,30	0,008	0,040

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі 09Г2 (ДСТУ 8541:2015)

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %
≤ 310	≤ 440	21

Оцінку зварюваності сталі 09Г2 можна визначити по вмісту хімічних елементів через розрахунок еквіваленту вуглецю за формулою [5, 6] :

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{14} + \frac{Si}{24} + \frac{Cu}{13}, \quad (1.1)$$

де, C, Mn, Si, Mo, V, Cu – вміст елементів у сталі, %

$$C_{\text{екв}} = 0,12 + \frac{1,8}{6} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,3}{13} = 0,53$$

Низьколеговані сталі у яких еквівалент вуглецю складає 0,4...0,6% добре зварюються без підігріву і наступної термічної обробки. Згідно розрахунку сталь 09Г2 має гарну технологічну зварюваність.

Крім того сталь 09Г2 має високу ступінь розкислення. Практично метал зварних швів володіє однаковими механічними властивостями з основним металом, що підтверджує її гарну експлуатаційну зварюваність.

Таким чином, при зварюванні сталі 09Г2 не потрібно виконувати термічну обробку зварних з'єднань або попередній підігрів.

1.3 Недоліки типового технологічного процесу та можливості одностороннього зварювання

Існуючий технологічний процес виготовлення переборки має ряд недоліків:

- значний об'єм ручного зварювання переборки;
- двостороннє зварювання зі струганням кореню шву;
- приварювання кантувальних обухів та підкріплень, які потім необхідно зрізати та зачищати місця встановлення та підкріплення.

Це збільшує трудомісткість виготовлення переборки, тривалість виробничого циклу та витрати основних та зварювальних матеріалів.

Широке розповсюдження для одностороннього зварювання знайшли спеціальні підкладки.

Керамічні односторонні підкладки KERALINE TF2 (9 мм, 600 мм) можна використовувати в різних зварювальних процесах дугового зварювання: SMAW, GMAW (Твердий дріт і дріт із флюсовою серцевиною). Технологія використання керамічних підкладок проста для навчання, і навіть зварник, що не має великого досвіду в заварці кореня шва, зможе виконувати точні проходи під час заварювання кореня шва. Забезпечує чудову якість зварювання із застосуванням засобів автоматизації (зварювання тракторами та ін.) [7].

Керамічні підкладки - ESAB OK Backing Concave 13, з увігнутою канавкою, призначені для стикових з'єднань єднань, з товщиною стінки від 5 мм. Самоклеїтка алюмінієва фольга надійно закріплює керамічні підкладки на стіки. Застосовуються при зварюванні вуглецевих, низьколегованих, нержавіючий сталей, кольорових сплавів. Застосовуються для якісного зварювання кореня шва в середовищі захисних газів, порошковими дротами, дротами суцільного перетину або штучними електродами у всіх просторових положеннях [8].

Для ручного дугового зварювання використовують керамічні підкладки

					ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

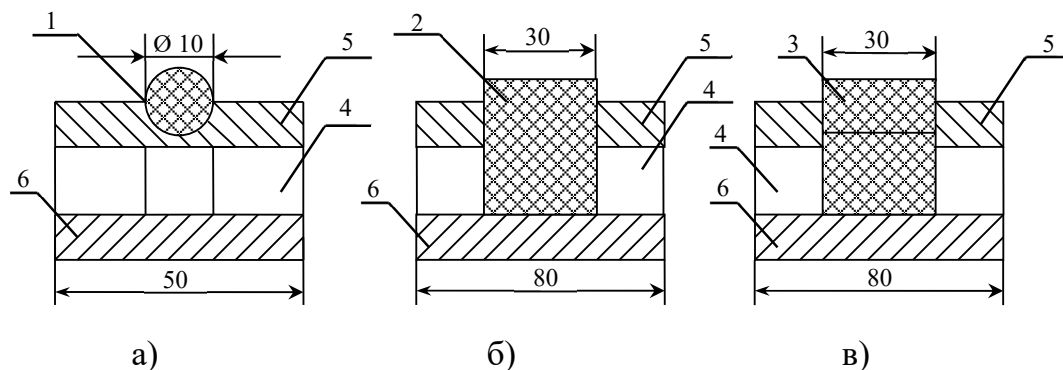
марок КП–АН–061, КП–АН–06. Для механізованого зварювання в середовищі захисних газів підкладки виготовляють з вогнетривкої кераміки. Для їх кріплення зі зворотної сторони стику використовують металічні касети, та магнітні притискачі, дротяні скоби.

Для зварювання швів зі зворотнім формуванням криволінійних конструкцій, знаходять вживання гнучкі підкладки, що приклеюються, які виконані з пластичної вогнетривкої маси–флюсів.

Істотною перевагою гнучких підкладок є: мала вага, простота конструкції та монтажу під стик, низька вартість, щільне приклеювання до стику по довжині.

Гнучкі підкладки виготовляються на основі скловолокна, яке володіє рідким поєднанням різнобічних властивостей: високою міцністю при згинанні, розтягу та стискуванні, не горить, погано нагрівається [9,10].

Гнучкі підкладки з скловолокон приведені на рисунку 1.3.



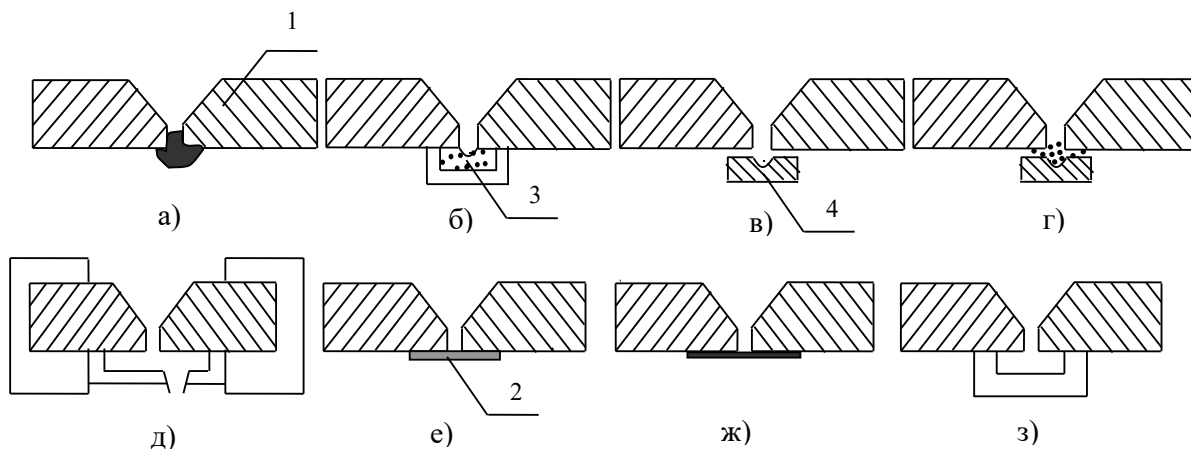
а) гнучкий підкладочний стрижень марки ГПС–1, б) гнучка підкладочна стрічка марки ГПЛ–1С, в) гнучка підкладочна стрічка марки ГПЛ–2.

1 – гнучкий стрижень з п'яти порожнистих скло шнурів; 2 – склострічка алюмоборсилікатного складу; 3 – двоскладна стрічка; 4 – полоса антиадгезійного паперу; 5 – клей постійної липкості; 6 – алюмінієва фольга.

Рисунок 1.3 Підкладки на основі скловолокна

Для формування зворотної сторони шву при односторонньому зварюванні також використовуються наступні пристосування: мідні підкладки, флюсова подушка, флюсо–мідна підкладка [11-13].

Формування зворотної стороннього шву при односторонньому способі зварювання представлені на рисунку 1.4



а) фігурні вставки б) зварювання з інертним газом в) керамічна підкладка г) підкладка, що залишається д) зварювання на флюсо-мідній підкладці е) підкладочна стрічка ж) зварювання на мідній підкладці з) зварювання на флюсовій подушці. 1 – виріб; 2 – мідна підкладка; 3 – флюс; 4 – сталевий жолоб

Рисунок 1.4 Пристрої для формування зворотної сторони шву при односторонньому зварюванні

Фігурні вставки виготовляються з різноманітних матеріалів, які сумісні з металами, котрі зварюють. Під час накладення валика кореневого шву, вставки розплавляються у зварювальній ванні. Таке рішення сприяє утворенню стабільного профілю шву, але цей метод дорогий і його можна використовувати тільки з деякими матеріалами.

Спершу інертний газ призначався для використання при TIG зварюванні кільцевих швів труб. Проте, інертний газ почали застосовувати при зварюванні плоских листів. За допомогою газонепроникного ущільнювача на кінцях стику шва створюється надлишковий тиск газу під валиком, що забезпечує захист від забруднення та створює опору для розплавленого

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.

Арк.

19

метала. Підкладка з інертного газу є дорогим, але дуже зручним у застосуванні та дозволяє отримати гарний профіль кореня шва.

Стрічка, що сама клеїться, тривка до високих температур та цю стрічку достатньо легко прикріпити до зворотної сторони шву. Стрічка забезпечує гарну механічну опору для зварювання та запобігає забрудненню. Вона проста в використанні та не потребує якихось спеціальних навичок.

Стрічка – підкладочна підходить для звичайних матеріалів, таких як вуглецева, легована та нержавіюча сталь, чавун, мідні, нікелеві та титанові сплави, також можуть бути використані при MMA, TIG та MIG зварюванні. Стандартна стрічка–основа може застосовуватись на струмі до 75 А, більш важкі стрічки можуть застосовуватись там, де струм досягає 160А та вище. Стрічка представляє собою полосу з алюмінієвої фольги, переважно шириною 75 мм, зі зворотної сторони якої по центру прикріплена полоса з скловолокна непереривного плетіння шириною 25 мм. Довжина стрічки досягає 12,5 м. Стрічка легко ріжеться та легко кріпиться до зворотної сторони шву, котрий збираються зварювати. Плетене термостійке скловолокно запобігає надмірному провару у зоні проплавлення та формує зону під валиком, котра дозволяє отримати постійне та рівномірне посилення шву з плавним переходом до основного металу з обох сторін. Стрічку можна відклеїти та прибрати з зони зварювання.

Зварювання з керамічною підкладкою було розроблене для того, щоб відповідати процесам шлакового захисту зварювальної ванни, таких як автоматичне зварювання під шаром флюсу SAW, напівавтоматичне зварювання в захисних газах MIG та ручне дугове зварювання покритими електродами MMA. Шлак знаходиться в поглибленні керамічної підкладки, нижче місця проведення зварювання, захищає та формує зовнішній валик. Метод з керамічною підкладкою достатньо дорогий та не застосовується широко.

При застосуванні підкладки, що залишається для захисту та формування наплавленого валику використовується постійна підкладка, виконана з такого

					ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

ж матеріалу, що й матеріал зварюваного виробу. Цей метод дуже популярний. Метод дешевий, його легко застосовувати та не потребує спеціальних навиків. Однак, дана підкладка стає частиною шву та, з естетичної сторони, виглядає як непотрібна деталь кореню шву, а також може призводити до дефекту— «стягування зварного з'єднання».

Мідні переносні формуючі підкладки використовуються для одностороннього зварювання стикових з'єднань під шаром флюсу або захисних газах. Формування обох сторін шву задовільне. Основними не достатками є:

- нестабільне формування лицьової та зворотної сторін шва;
- складність поєднання стику з віссю канавки на підкладках;
- нерівномірність прилягання підкладки до кромки, що зварюється, по всій довжині шву;
- швидке зношення підкладки;
- можливість приварки листів по підкладці;
- жорсткі вимоги до точності складання.

Застосування у якості формуючого пристрою флюсової подушки, підвищує чутливість формування шву до коливань режиму зварювання, а також до величини та постійності зазору між кромками. У зрівнянні зі зварюванням на мідній підкладці, процес зварювання на флюсовій подушці допускає менш точне складання стикових з'єднань. Якість формування шву також краще, так як розплавлений метал має двосторонній флюсовий захист [11-14].

Одностороннє зварювання на флюсо—мідній підкладці полягає в тому, щоб навмисно створити між мідною підкладкою та нижньою стороною зварюваних листів тонкий флюсовий прошарок. Шар флюсу на мідній підкладці грає роль тонкого флюсового прошарку – подушки, який формує підсилення зворотної сторони шву та захищає мідну підкладку від прямої дії зварювальної дуги.

Тонка флюсова подушка, крім цього, запобігає протікання рідкого металу зварювальної ванни в зазор між підкладкою та нижньою поверхнею зварюваних листів. Наявність мідної підкладки під флюсом запобігає просоченню металу та підсиленню зворотної сторони шву, характерної для одностороннього зварювання на звичайній флюсовій подушці у разі нерівномірного підтискання флюсу [11].

Особливості одностороннього зварювання на флюсо–мідній підкладці:

- флюсо–мідна підкладка менш чутлива до зазору в стиках зварюваних листів, ніж флюсова подушка ті мідна підкладка;
- флюсо–мідна підкладка дозволяє легше забезпечувати задану величину зворотного валика у зрівнянні зі зварюванням на флюсовій подушці;
- мідь флюсо–мідної підкладки у зрівнянні з флюсовою подушкою, дещо збільшує тепловідвід від зони зварювання та тим самим знижує теплові деформації.

Виходячи з вище переліченого можна зробити наступні висновки:

- зварюванні пазу переборки необхідно виконувати одностороннім зварюванням на гнучких підкладках;
- зварювання стиків переборки доцільно виконувати одностороннім зварюванням під флюсом на флюсо–мідних балках.

1.4 Висновки. Мета та завдання дипломного проекту

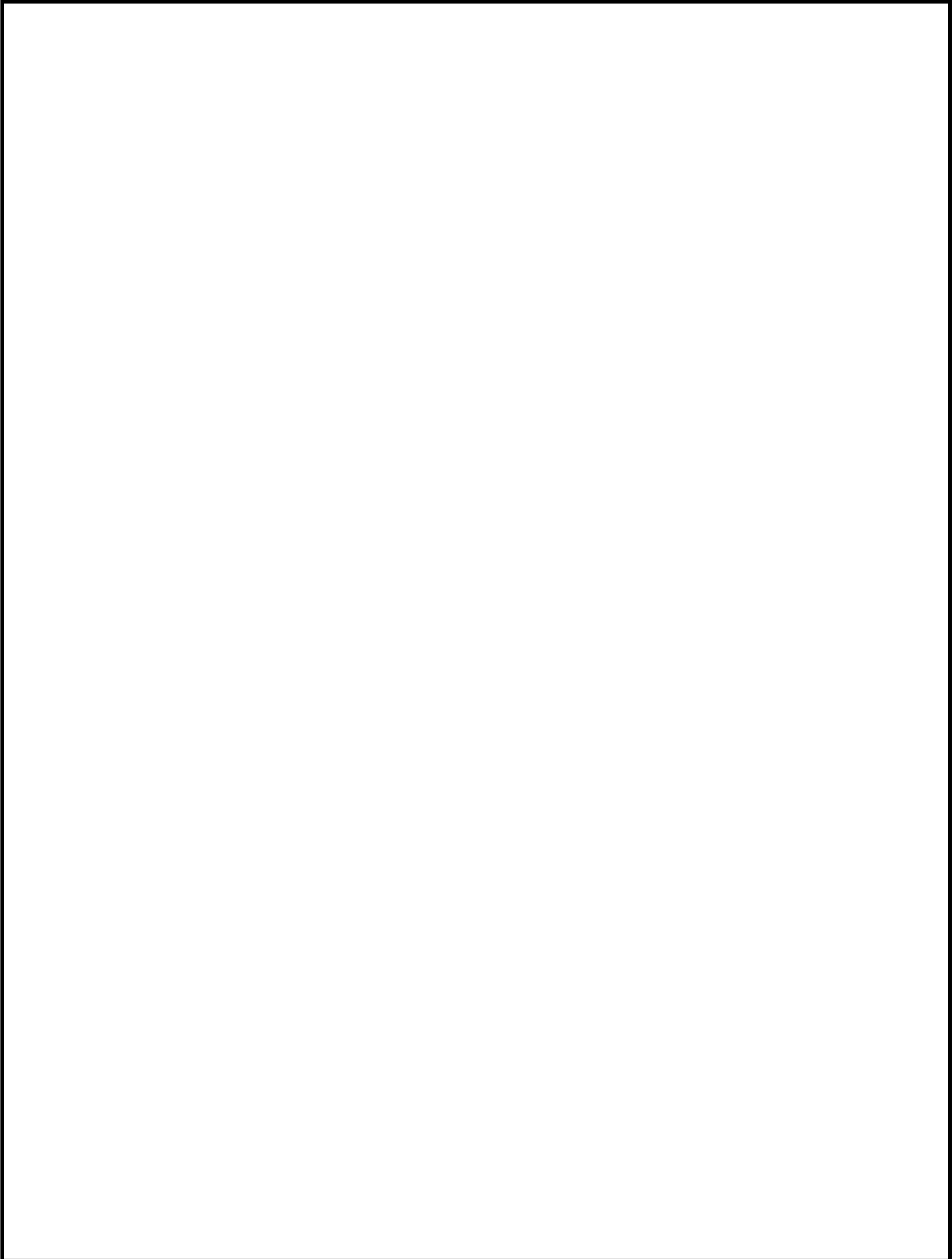
Існуючий технологічний процес виготовлення переборки має ряд суттєвих недоліків. Тому метою дипломного проекту є удосконалення технологічного процесу складання та зварювання, яке дозволить підвищити продуктивність, знизити собівартість та трудомісткість виготовлення переборок. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити слідуючи завдання:

- удосконалити технологію виготовлення секцій поперечних суднових переборок;
- обрати зварювальні матеріали та обладнання, розрахувати режими зварювання;

					ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- обрати способи та засоби контролю якості зварних з'єднань;
- проаналізувати шкідливі фактори на небезпеки при зварюванні переборки;
- виконати розрахунок захисного заземлення;
- розрахувати собівартість виконання стикових швів переборки по базовому та проектуваному варіанту.

					ДП. 131.2121ст. 05. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунки технології зварювання	Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент	Синицький Д.А.								
Керівник	Єрмолаєв Г.В.						24	23	
Конс.	Єрмолаєв Г.В.					ХННІ НУК			
Н. Контр.									
Зав. каф.	Єрмолаєв Г.В.								

2.1 Зварювання пазу переборки

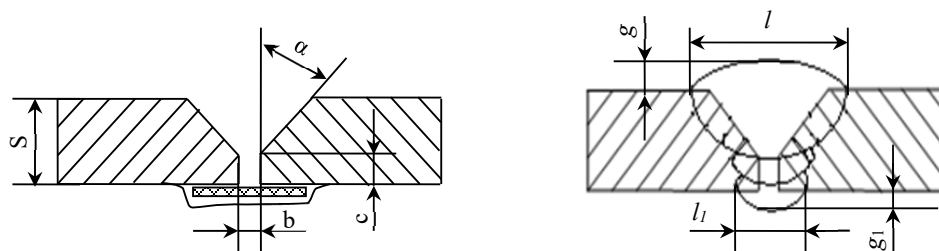
Одностороннє зварювання пазу секції з метою укрупнення листів виконуємо на гнучких підкладках тому що він має перемінну поперечну будову та складну форму.

Гнуті листи, які утворюють паз секції збираємо в вузол на спеціалізованих лекальних постелях. Спеціалізована лекальна постіль має робочу поверхню, ідентичну до поверхні гофри секції та складається з наступних елементів: шести лекал, які виставлені в одній площині та жорстких розкріплень.

По краям гнутих листів в районі пазу встановлюються вивідні планки для початку та закінчення на них процесу одностороннього зварювання на гнучких підкладках. Після зварювання пазу секції їх видаляють та місця встановлення зачищають від ґрату.

2.1.1 Конструктивні елементи підготовки крайок для одностороннього механізованого зварювання в суміші ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) на гнучких підкладках

Конструктивні елементи підготовки крайок наведені на рисунку 2.1. [15].



$S = 22 \text{ мм}; l = 21 \pm 3 \text{ мм}; l_1 = 8 \pm 1,5 \text{ мм}; b = 2 \pm 1,5 \text{ мм}; g = 2 \pm 1 \text{ мм}; g_1 = 1 \pm 1 \text{ мм};$
 $\alpha = 20 \pm 2^\circ; c = 2 \pm \frac{1}{2} \text{ мм}$ (ГОСТ 14771-76-C18)

Рисунок 2.1 Конструктивні елементи підготовки крайок

Зварювання виконується в три проходи:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ

Арк.

25

- перший прохід – для формування зворотної сторони шву. Процес зварювання повинен бути неперервним, для запобігання утворення дефектів формування зворотної сторони шву в місцях переривання зварювальної дуги. Процес зварювання починають та закінчують на вивідних планках;

- другий та третій проходи – для заповнення фаски та формування лицьової сторони шву.

2.2 Зварювання стиків переборки

Для зварювання стиків секції з укрупнених листів використовуємо одностороннє автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідних балках, що дозволить підвищити продуктивність та зменшити трудомісткість робіт.

Після зварювання пази секції укрупнені листи поступають на наступну позицію механізованої ділянки. На ній відбувається складання та зварювання полотнища секції. Стики секцій поперечних гофрованих переборок мають однакові координати по відношенню до ДП, які в базовому варіанті технологічного процесу розмічаються та закріплюються на лекалах. В технологічному процесі, що проектується, по координатах стиків виконуються вирізи в лекалах та встановлюються підйомно–опускні флюсомідні балки.

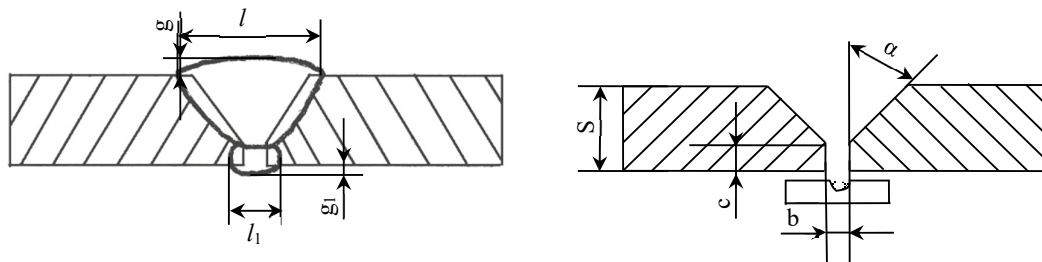
Початок та кінець процесу одностороннього автоматичного зварювання проводять на вивідних планках.

Перед початком процесу зварювання флюсомідні балки притискаються з допомогою мембранних пневмоциліндрів.

2.2.1 Конструктивні елементи підготовки крайок для одностороннього автоматичного зварювання під флюсом на флюсомідній балці

Конструктивні елементи підготовки кромки стиків переборки наведені на рисунку 2.2 [16].

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



$c = 4 \pm 1 \text{ мм}; l = 26 \pm 4 \text{ мм}; l_1 = 14 \pm 2 \text{ мм}; \delta = 22 \text{ мм}; g = 2 \pm 1 \text{ мм};$

$g_1 = 1 \pm 1 \text{ мм}; b = 4 \pm 1 \text{ мм}; \alpha = 25 \pm 3^\circ$ (ГОСТ 8713–79–С17)

Рисунок 2.2 Конструктивні елементи підготовки крайок під зварювання

Зварювання стиків секції виконують у два проходи: перший – на понижених режимах для зворотного формування шву, другий прохід – на оптимальних режимах для заповнення фаски та формування лицьової сторони шву.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ

Арк.

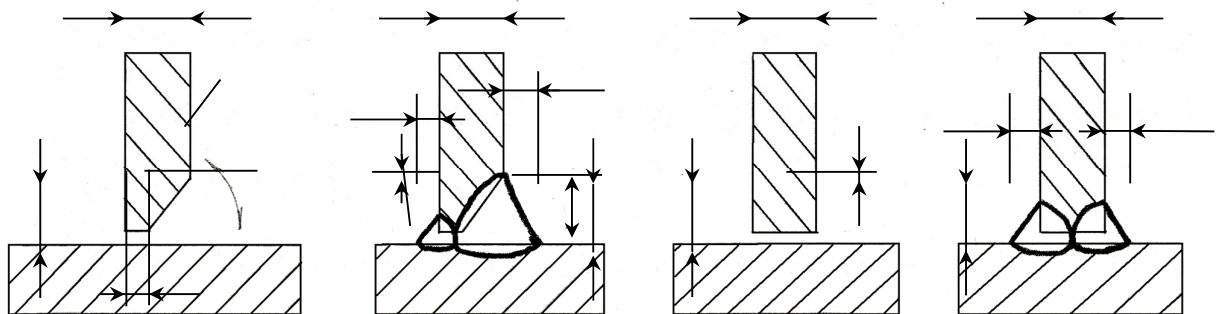
27

2.3 Зварювання вузлів підкріплення другого дна

Всі операції по складанню та зварюванню вузлів підкріплення другого дна виконуються по верхній поверхні полотнища секції та не потребують кантування.

Деталі підкріплення другого дна та тимчасових жорстких розкріплень закріплюємо за допомогою ручного дугового зварювання [17]. Зварювання деталей виконуємо напівавтоматом в суміші ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) у різних, обумовлених формою конструкції положеннях. Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри зварювальних швів представлені на рисунку 2.3

$S = 14 \text{ мм}; S_1 = 22 \text{ мм}; a = 2 \pm 1 \text{ мм}; b = 0 \pm 3 \text{ мм}; k_1 = k_2 = 4 \text{ мм}; l = 16 \text{ мм};$



$k_3 = k_4 = 8 \text{ мм}; \alpha = 45^\circ$

Рисунок 2.3 Конструктивні елементи підготовки кромки та розміри зварних швів в суміші ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) (ГОСТ 14771–76–ИП)

Таким чином, виходячи з вищерозглянутого обираємо наступні способи зварювання:

- механізоване зварювання в середовищі ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) для зварювання пазу секції та деталей підкріплення другого дна;
- автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідних балках для зварювання стиків секції;
- ручне дугове зварювання для закріплення деталей підкріплення другого дна.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ

Арк.

28

2.4 Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом та механізованого в суміші (Ar + CO₂)

До основних параметрів режимів зварювання відносяться: сила зварювального струму, напруження на дузі, діаметр електроду, швидкість зварювання. Для розрахунку режимів ручного, автоматичного та механізованого зварювання стикових та таврових з'єднань використовувати формули, які наведені у [6, 18, 19].

2.4.1 Розрахунок режимів автоматичного зварювання під флюсом стикового з'єднання

Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри зварювальних швів наведені у розділі 2.2.1 (рисунок 2.2).

Для автоматичного зварювання під флюсом обираємо діаметр електродного дроту 5 мм.

За формулою (2.1) визначаємо зварювальний ток для першого та другого проходу.

$$I_{зв} = \pi j \cdot \frac{d_e^2}{4}; A \quad (2.1)$$

де: j – щільність струму, для $d_e = 5$ мм $j = 30\text{--}50$ А/мм²

d_e – діаметр електродного дроту, мм.

$$I_{зв1} = 3,14 \cdot 36 \cdot \frac{5^2}{4} = 706,5 A$$

$$I_{зв2} = 3,14 \cdot 44 \cdot \frac{5^2}{4} = 863,5 A$$

Напруга на дузі визначається за формулою (2.2):

$$U_d = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв} \pm 1 B; B \quad (2.2)$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$U_{\partial_1} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{5}} \cdot 706,5 = 35,8B$$

$$U_{\partial_2} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{5}} \cdot 863,5 = 39,3B$$

Коефіцієнт форми провару визначається за формулою (2.3). Значення ψ для швів, виконаних за допомогою автоматичного зварювання можуть бути в межах 0,5...5. Коефіцієнт $\psi < 1$, характеризує шов як вузький з несприятливою схемою кристалізації. Оптимальна величина ψ для зварювання низько вуглецевих сталей знаходиться в межах 1,5...4.

$$\psi = \frac{l}{H_{np}} \quad (2.3)$$

де: g – підсилення шву, мм.

$$\psi_{y_1} = \frac{14}{10} = 1,4$$

$$\psi_{y_2} = \frac{26}{12} = 2,17$$

Коефіцієнт форми підсилення знаходимо за формулою (2.4):

$$\psi = \frac{l}{g} \quad (2.4)$$

де: g – підсилення шву, мм

$$\psi_{y_1} = \frac{14}{2} = 7$$

$$\psi_{y_2} = \frac{26}{2,5} = 10,5$$

Величина ψ_y для гарно сформованих швів може дорівнювати 7...11 мм [19].

Визначення швидкості зварювання виконуємо за формулою (2.5).

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{36} = \frac{(20 \div 30) \cdot 10^3}{I_{36}}; \frac{\text{М}}{\text{сод}} \quad (2.5)$$

$$V_{36_1} = \frac{25 \cdot 10^3}{706,5} = 35,36 \frac{\text{М}}{\text{сод}} \approx 1 \frac{\text{сМ}}{\text{с}}$$

$$V_{36_2} = \frac{25 \cdot 10^3}{863,5} = 28,95 \frac{\text{М}}{\text{сод}} \approx 0,8 \frac{\text{сМ}}{\text{с}}$$

Погонна енергія $q_{\text{п}}$ за умови забезпечення повного провару визначається за формулою(2.6)

$$q_{\text{п}} = (190 \div 200) F_{\text{пр}}; \frac{\text{Дж}}{\text{сМ}} \quad (2.6)$$

де: $F_{\text{пр}}$ – площа проплавлення, яка приймається рівній площі трапеції з основами l та l' ,

$$F_{\text{пр}} = 0,5S(l+l'); \text{мм}^2 \quad (2.7)$$

де: S – товщина сталі, мм.

$$F_{\text{пр}} = 0,5 \cdot 22(26+14) = 440 \text{мм}^2$$

$$q_{\text{ппр}} = 200 \cdot 440 = 88 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{сМ}}$$

Для кожного проходу $q_{\text{п}}$ можна визначити за формулою (2.8)

$$q_{\text{п}} = \frac{I_{36} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{п}}}{V_{36}}; \frac{\text{Дж}}{\text{сМ}} \quad (2.8)$$

де: $\eta_{\text{п}}$ – ефективний ККД нагріву виробу дугою, $\eta_{\text{п}}=0,85$.

При розрахунку повинна дотримуватись умова (2.9) :

$$q_{\text{ппр}} = q_{n_1} + q_{n_2}; \frac{\text{Дж}}{\text{сМ}} \quad (2.9)$$

$$q_{n_1} = \frac{706,5 \cdot 35,8 \cdot 0,85}{1} = 21,4 \frac{\text{кДж}}{\text{сМ}}$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$q_{n_2} = \frac{863,5 \cdot 39,3 \cdot 0,85}{0,8} = 36,1 \frac{\kappa Дж}{см}$$

Умова $q_{n_{np}} = q_{n_1} + q_{n_2}$ не виконується. Отже, необхідно зменшити швидкість проходів. Зменшую швидкість першого проходу до $V_1 = 19 \frac{м}{год} = 0,53 \frac{см}{с}$, а швидкість другого проходу $V_2 = 22 \frac{м}{год} = 0,61 \frac{см}{с}$

$$q_{n_1} = \frac{706,5 \cdot 35,8 \cdot 0,85}{0,53} = 40,5 \frac{\kappa Дж}{см}$$

$$q_{n_2} = \frac{863,5 \cdot 39,3 \cdot 0,85}{0,61} = 47,3 \frac{\kappa Дж}{см}$$

Умова $q_{n_{np}} = q_{n_1} + q_{n_2}$ виконується.

Перевірку обраного режиму зварювання на відповідність умов повного проплавлення можна виконати за формулою (2.10), розрахувавши площу проплавлення для кожного проходу

$$F_{np} = S \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^3 \cdot I_{зв} + 0,33 U_d - 7,9 V_{зв}); мм^2 \quad (2.10)$$

$$F_{np1} = 10 \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^3 \cdot 7055 + 0,33 \cdot 35,8 - 7,9 \cdot 0,53) = 1843 мм^2$$

$$F_{np2} = 12 \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^3 \cdot 8635 + 0,33 \cdot 39,3 - 7,9 \cdot 0,61) = 25212 мм^2$$

Умова (2) виконується. Отже, режими розраховані правильно.

Швидкість переміщення дуги визначається за формулою (2.11)

$$V_{n.d.} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 F_n \cdot \gamma}; \frac{м}{год} \quad (2.11)$$

де: α_i – коефіцієнт наплавлення, при зварюванні постійним струмом зворотної полярності, $\alpha_i = 12 \frac{с}{А \cdot год}$;

F_n – площа наплавлення, $см^3$;

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

γ – питома вага наплавленого металу, $\gamma = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

$$F_n = \frac{\alpha_p \cdot I_{зв}}{3600 \gamma \cdot V_{зв}}; \text{см}^2 \quad (2.12)$$

де: α_p – коефіцієнт розплавлення, $\alpha_p = 12 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$

$$F_{n_1} = \frac{12 \cdot 706,5}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,53} = 0,57 \text{см}^2 = 57 \text{мм}^2$$

$$F_{n_2} = \frac{12 \cdot 863,5}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,61} = 0,61 \text{см}^2 = 61 \text{мм}^2$$

$$V_{n.d.1} = \frac{12 \cdot 706,5}{100 \cdot 0,57 \cdot 7,8} = 19 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

$$V_{n.d.2} = \frac{12 \cdot 863,5}{100 \cdot 0,61 \cdot 7,8} = 22 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Швидкість подачі проволоки знаходимо за формулою (2.13)

$$V_{n.np.} = \frac{4 \alpha_n \cdot I_{зв}}{\pi d_e^2 \cdot \gamma}; \frac{\text{м}}{\text{год}} \quad (2.13)$$

$$V_{n.np.1} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 706,5}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 7,8} = 5541,2 \frac{\text{см}}{\text{год}} = 55,41 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

$$V_{n.np.1} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 863,5}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 7,8} = 6772,6 \frac{\text{см}}{\text{год}} = 67,72 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Основні розрахунки режимів автоматичного зварювання під флюсом стикового з'єднання С17 наведені в таблиці 2.1.

2.4.2 Розрахунок режимів механізованого зварювання в суміші (Ar + CO₂) стикового з'єднання

Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри зварювальних швів наведені у розділі 2.1.4 (рис. 2.3).

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Розрахунок параметрів режимів механізованого зварювання в суміші (Ar + CO₂) аналогічні розрахунку, представленому в розділі 2.2.1 та розраховується в основному за тими ж формулами.

Задаємося діаметром електродного дроту 1,6 мм та за формулою 2.1 (розд. 2.2.1) визначаємо зварювальні токи відповідних проходів. Зварювання пазу виконується у три проходи(розд. 2.1.2).

$$I_{зв_1} = 3,14 \cdot 95 \cdot \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 = 190,9 \text{ A}$$

$$I_{зв_2} = 3,14 \cdot 115 \cdot \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 = 231,1 \text{ A}$$

$$I_{зв_3} = 3,14 \cdot 120 \cdot \left(\frac{1,6}{2}\right)^2 = 241,15 \text{ A}$$

Щільності обираються у відповідності з межами допустимої щільності струму в електроді d_e = 1,6 мм.

Напруга на дузі визначається за формулою(2.2) (розд. 2.2.1):

$$U_{\partial_1} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,6}} \cdot 190,9 = 27,6 \text{ B}$$

$$U_{\partial_2} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,6}} \cdot 231,1 = 29,24 \text{ B}$$

$$U_{\partial_3} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,6}} \cdot 241,15 = 29,65 \text{ B}$$

За формулами (2.3) та (2.4) визначаємо коефіцієнти форми провару та підсилення. Глибина провару: Н_{пр1} = 6мм; Н_{пр2} = 7мм; Н_{пр3} = 9мм. Ширина шву: l₁ = 8мм; l₂ = 13мм; l₃ = 21мм. Посилення шву: g₁ = 13мм; g = 2мм (розд. 2.1.2) (рис. 2.2).

$$\psi_1 = \frac{8}{6} = 1,34 ;$$

$$\psi_2 = \frac{13}{7} = 1,86 ;$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\psi_3 = \frac{21}{9} = 2,34$$

Коефіцієнт посилення можна розрахувати тільки для першого та третього проходів:

$$\psi_{y_1} = \frac{8}{1} = 8$$

$$\psi_{y_3} = \frac{21}{2} = 10,5$$

Швидкість зварювання визначається за формулою (2.14) якщо діаметр проволоки 1,6мм.

$$V_{36} = \frac{6 \cdot 10^3}{I_{36}}; \frac{см}{с} \quad (2.14)$$

$$V_{36_1} = \frac{6000}{190,9} = 31,43 \frac{м}{год} = 0,87 \frac{см}{с}$$

$$V_{36_2} = \frac{6000}{231,1} = 25,96 \frac{м}{год} = 0,72 \frac{см}{с}$$

$$V_{36_2} = \frac{6000}{241,15} = 24,88 \frac{м}{год} = 0,69 \frac{см}{с}$$

Погонна енергія q_p за умови забезпечення повного провару визначається за формулою (2.6) (розд. 2.2.1).

$$F_{np} = 0,5 \cdot 22(21+8) = 319 м^2$$

$$q_{nnp} = 190319 = 608 \frac{кДж}{см}$$

Визначаємо погонну енергію для кожного проходу за формулою (2.7) (розд. 2.2.1):

$$q_{n_1} = \frac{190,9 \cdot 27,6 \cdot 0,85}{0,87} = 5,14 \frac{кДж}{см}$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$q_{n_2} = \frac{2311 \cdot 29,24 \cdot 0,85}{0,72} = 7,97 \frac{\kappa ДЖ}{см}$$

$$q_{n_3} = \frac{24115 \cdot 29,65 \cdot 0,85}{0,69} = 8,8 \frac{\kappa ДЖ}{см}$$

Умова $q_{n_{np}} = q_{n_1} + q_{n_2} + q_{n_3}$ не виконується. Отже, необхідно зменшити швидкість проходів. Зменшую швидкість першого проходу до

$$V_1 = 11 \frac{м}{год} = 0,30 \frac{см}{с}$$

$$q_{n_1} = \frac{1909 \cdot 27,6 \cdot 0,85}{0,30} = 16,5 \frac{\kappa ДЖ}{см}$$

$$q_{n_2} = \frac{2311 \cdot 29,24 \cdot 0,85}{0,30} = 21,2 \frac{\kappa ДЖ}{см}$$

$$q_{n_3} = \frac{24115 \cdot 29,65 \cdot 0,85}{0,30} = 22,5 \frac{\kappa ДЖ}{см}$$

Умова $q_{n_{np}} = q_{n_1} + q_{n_2} + q_{n_3}$ виконується.

Виконуємо перевірку обраного режиму зварювання на відповідність умові повного проплавлення за формулою (2.8) (розд. 2.2.1):

$$F_{np1} = 6 \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1909 + 0,30 \cdot 27,6) = 83,7 мм^2$$

$$F_{np2} = 7 \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2311 + 0,30 \cdot 29,84) = 103,32 мм^2$$

$$F_{np3} = 9 \cdot (6,22 + 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 24115 + 0,30 \cdot 29,65) = 134,64 мм^2$$

Умова $F_{np} = F_{np1} + F_{np2} + F_{np3}$ виконується. Отже, режими розраховані правильно.

Площа наплавки розраховується за формулою (2.9) (розд. 2.2.1).

$$F_{n_1} = \frac{12 \cdot 1909}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,30} = 0,27 см^2 = 27 мм^2$$

$$F_{n_2} = \frac{12 \cdot 2311}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,30} = 0,32 см^2 = 32 мм^2$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$F_{нз} = \frac{12 \cdot 241,15}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,30} = 0,34 \text{ см}^2 = 34 \text{ мм}^2$$

Швидкість переміщення дуги визначається за формулою (2.10) (розд. 2.2.1):

$$V_{н.д.1} = \frac{12 \cdot 190,9}{100 \cdot 0,27 \cdot 7,8} = 10,88 \frac{\text{м}}{\text{сод}}$$

$$V_{н.д.1} = \frac{12 \cdot 231,1}{100 \cdot 0,32 \cdot 7,8} = 11,11 \frac{\text{м}}{\text{сод}}$$

$$V_{н.д.1} = \frac{12 \cdot 241,15}{100 \cdot 0,34 \cdot 7,8} = 10,91 \frac{\text{м}}{\text{сод}}$$

Швидкість подачі проволоки можна розрахувати за формулою (2.15)

$$F_{н} = \frac{V_{н.нр.}}{V_{зв}}; \frac{\text{м}}{\text{сод}} \quad (2.15)$$

$$\text{Звідси, } V_{н.нр.} = \frac{F_{н} \cdot V_{зв}}{F_e}$$

де: F_e – площа поперечного перерізу проволоки, см^2

$$F_e = \frac{\pi d^2}{4}; \text{см}^2 \quad (2.16)$$

$$F_e = \frac{3,14 \cdot (0,16)^2}{4} = 0,02 \text{ см}^2$$

$$V_{н.нр.1} = \frac{0,30 \cdot 0,27}{0,02} = 4,05 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$V_{н.нр.2} = \frac{0,30 \cdot 0,32}{0,02} = 4,8 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$V_{н.нр.3} = \frac{0,30 \cdot 0,34}{0,02} = 5,1 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Результати розрахунків режимів автоматичного та механізованого зварювання стикових з'єднань наведені в таблиці 2.1.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.3 Розрахунок режимів механізованого зварювання в суміші (Ar + CO₂) таврових з'єднань

Конструктивні елементи підготовки кромки під зварювання та розміри зварювальних швів, виконаних механізованим зварюванням в суміші (Ar + CO₂) наведені в розділі 2.3 (рис. 2.3).

Зварювання таврового з'єднання ведеться у трьох положеннях: нижньому, вертикальному та стельовому. Діаметр електродної проволоки обираємо 1,2 мм.

Величину зварювального струму для таврового з'єднання визначаємо за формулою (2.1)

$$I_{зв} = \frac{\pi d_e^2}{4} j; A$$

$$I_{ниж.} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 150 = 170 A$$

$$I_{верт.} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 85 = 96 A$$

$$I_{стел.} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 75 = 85 A$$

Напруга на дузі визначається за формулою (2.2)

$$U_{д.ниж.} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,2}} \cdot 170 = 28 B$$

$$U_{д.верт.} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,2}} \cdot 96 = 24 B$$

$$U_{д.стел.} = 20 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1,2}} \cdot 85 = 23 B$$

Площа поперечного перерізу кутового шву, яку необхідно знати при визначенні кількості проходів, визначаємо за формулою (2.17)

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$F_n = k_y \frac{k^2}{2}; \text{мм}^2 \quad (2.17)$$

де: k – катет шву, $k = 8$ мм; k_y – коефіцієнт збільшення, яким враховують опуклість шву та зазори. Для $k = 8$ мм, $k_y = 1,25$.

$$F_n = 1,25 \frac{8^2}{2} = 40 \text{мм}^2 = 0,4 \text{см}^2$$

Максимальний переріз металу шву за один прохід не повинен перевищувати 40 мм^2 . Отже, зварювання таврового з'єднання в даному випадку здійснюється за один прохід.

Швидкість зварювання знаходимо з умови забезпечення при даному струмі потрібної площі наплавленого металу за формулою (2.18)

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{3600 j \cdot F_n}; \frac{\text{м}}{\text{год}} \quad (2.18)$$

$$V_{зв.ниж} = \frac{12 \cdot 170}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 0,18 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 6,5 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

$$V_{зв.верт} = \frac{12 \cdot 96}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 0,10 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 3,6 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

$$V_{зв.стел} = \frac{12 \cdot 85}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 0,09 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 3,3 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Визначаємо погонну енергію для кожного проходу за формулою (2.7) (розд. 2.2.1):

$$q_{п.ниж} = \frac{170 \cdot 28 \cdot 0,85}{0,18} = 22,5 \frac{\text{кДж}}{\text{см}}$$

$$q_{п.верт} = \frac{96 \cdot 24 \cdot 0,85}{0,10} = 19,6 \frac{\text{кДж}}{\text{см}}$$

$$q_{п.стел} = \frac{85 \cdot 23 \cdot 0,85}{0,09} = 18,5 \frac{\text{кДж}}{\text{см}}$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Результати розрахунку режимів механізованого зварювання в суміші (Ar + CO₂) таврових з'єднань наведені в таблиці 2.1.

Режими зварювання з'єднань переборки, які не розраховувались а також режими ручного дугового зварювання, які підібрані з довідкової літератури [10-14] наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Параметри режимів зварювання

Спосіб зварювання	Тип зварного з'єднання	Товщини, мм	Діаметр електрода, мм	Положення шву в просторі	I _{зв} , А	U _д , В	V _{зав} , м/год
АФм одностороннє на флюсо-мідних балках	С17	22	5	Нижнє	Перший прохід		
					680–720	34–36	18–19
					Другий прохід		
					850–900	38–40	21–22
ИП одностороннє на гнучких підкладках	С18	22	1,6	Нижнє та вертикальне	Перший прохід		
					180–200	27–29	11
					Другий прохід		
					220–240	29–30	11
ИП	Т3	2	1,2	Нижнє	Третій прохід		
					230–250	29–31	11
					290–310	31–32	12–13
					160–180	27–28	7–8
ИП	Т3	2	1,2	Вертикальне	140–160	26–27	6
					230–250	28–29	11
					160–180	27–28	6–7
					280–300	29–30	12
ИП	Т3	2	1,2	Вертикальне	160–180	27–28	7
					90–110	–	–
					130–140	–	–
					–	–	–

Таким чином у таблиці 2.1 показані режими зварювання всіх зварних з'єднань при виготовленні поперечної переборки.

2.5 Розрахунок термічного циклу зварювання та аналіз очікуваної структури металу зони термічного впливу

При зварюванні зміни структури та властивостей спостерігаються на ділянках зони термічного впливу (ЗТВ), які прилягають до границі сплавлення. Саме на цій ділянці потрібно очікувати виникнення холодних тріщин. Структуру та твердість металу високотемпературної ділянки ЗТВ сталі 09Г2 визначаємо накладенням кривих охолодження на діаграму термодинамічного розпаду аустеніту (рис.2.5).

Для розрахунку термічного циклу використовуємо формули для потужного джерела тепла, що швидко рухається [6, 18, 20]. При великих швидкостях зварювання можна нехтувати розповсюдженням теплоти упродовж прямого руху джерела, розрахункові формули зміни температури в точках тепла при цьому значно спрощуються.

Для напівнескінченного тіла, зміни температури в точках можна розрахувати за формулою (2.19):

$$T_{r,t} = \frac{q}{2\pi\lambda \cdot V_{зв} \cdot t} \cdot e^{\left(\frac{-r_0^2}{4at}\right)} \quad (2.19)$$

де: q – ефективна теплова потужність дуги, $\frac{Дж}{с}$;

λ – коефіцієнт теплопровідності, $\lambda = 0,4 \frac{Дж}{(см \cdot с \cdot K)}$;

t – час з моменту як джерело пересікає площину даної точки, с;

r_0 – відстань до точки, см; a – коефіцієнт температуропровідності, $\frac{см^2}{с}$;

$V_{зв}$ – швидкість переміщення джерела, $V_{зв.н.} = 0,34 \frac{см}{с}$, $V_{зв.с.} = 0,6 \frac{см}{с}$ (таблиця 2.1).

$$q = \eta \cdot U_d \cdot I_{зв}; \frac{Дж}{см} \quad (2.20)$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

де: η – ефективний ККД нагріву виробу дугою, $\eta=0,8$ при зварювання паза в суміші ($\text{Ar} + \text{CO}_2$), $\eta=0,85$ при зварюванні стиків під флюсом;

$U_{\text{д.п.}} = 29\text{В}$ та $I_{\text{зв.п.}} = 220\text{А}$, $U_{\text{д.с.}} = 38\text{В}$ та $I_{\text{зв.с.}} = 850\text{А}$ (таблиця 2.1).

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368 q}{\frac{\pi}{2} c \gamma \cdot V_{\text{зв}} \cdot T_{\text{max}}}}; \text{см} \quad (2.21)$$

де: $c\gamma$ – об'ємна теплоємність. Для сталі 09Г2 $c\gamma = 4,77 \frac{\text{Дж}}{\text{см}^3}$;

T_{max} – максимальна температура нагріву точок, $T_{\text{max}}=1350^\circ\text{C}$.

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} = \frac{0,4}{4,77} = 0,08 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} \quad (2.22)$$

$$q_{\text{паз.}} = 0,8 \cdot 29 \cdot 220 = 5,1 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

$$q_{\text{стик.}} = 0,85 \cdot 38 \cdot 850 = 27,4 \frac{\text{кДж}}{\text{с}}$$

$$r_{\text{паз.}} = \sqrt{\frac{0,368 \cdot 5104}{\frac{3,14}{2} \cdot 4,77 \cdot 0,34 \cdot 1350}} = 0,74 \text{см}$$

$$r_{\text{стик..}} = \sqrt{\frac{0,368 \cdot 27455}{\frac{3,14}{2} \cdot 4,77 \cdot 0,6 \cdot 1350}} = 1,29 \text{см}$$

Проміжок часу за який дані точки нагріваються до $T_{\text{max}}=1350^\circ\text{C}$, знаходяться за формулою(2.23)

$$t_{\text{max}} = \frac{r^2}{4a}; \text{с} \quad (2.23)$$

$$t_{\text{max.л.}} = \frac{0,76^2}{4 \cdot 0,08} = 1,8 \text{с}$$

$$t_{\text{max.с.}} = \frac{1,29^2}{4 \cdot 0,08} = 5,2 \text{с}$$

За формулою (2.18) розраховуємо термічний цикл для сталі 09Г2

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$T_{(r_0,t)_{паз}} = \frac{5104}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,34 \cdot t} \cdot e^{-\frac{0,74^2}{4 \cdot at}}$$

$$T_{(r_0,t)_{паз}} = \frac{5976}{t} \cdot e^{-\frac{1,7}{t}}$$

$$T_{(r_0,t)_{стик}} = \frac{27455}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \cdot t} \cdot e^{-\frac{1,29^2}{4 \cdot 0,08t}}$$

$$T_{(r_0,t)_{стик}} = \frac{18216}{t} \cdot e^{-\frac{5,2}{t}}$$

Результати розрахунків термічного циклу для стику та пазу секції представлені в таблиці 2.2.

За результатами розрахунку будується графік термічного циклу точок та пазу секції. Графіки представлені на рисунку 2.4.

Таблиця 2.2 Результати розрахунку термічного циклу для стику та пазу

Паз												
t,с	0,3	0,5	1	2	3	5	8	10	20	30	50	100
T,°C	70	400	1098	1280	1135	854	602	503	274	185	110	54
Стик												
t,с	1	2	3	4	5	7	9	10	15	30	50	100
T,°C	98	674	1070	1240	1285	1240	1130	1080	856	512	330	175

Криві охолодження стику та пазу секції переносимо на діаграму термодинамічного перетворення аустеніту сталі 09Г2 (рис. 2.5).

Проаналізувавши криві охолодження, можна припустити, що структура в досліджуваній зоні буде представляти ферито–перлітну суміш з приблизною твердістю 250 HV для стику та 290 HV для пазу секції. Оскільки ці твердості нижчі значення 350HV, то можна сказати, що дільниці ЗТВ, що досліджуються, володіють достатньою стійкістю проти утворення холодних тріщин.

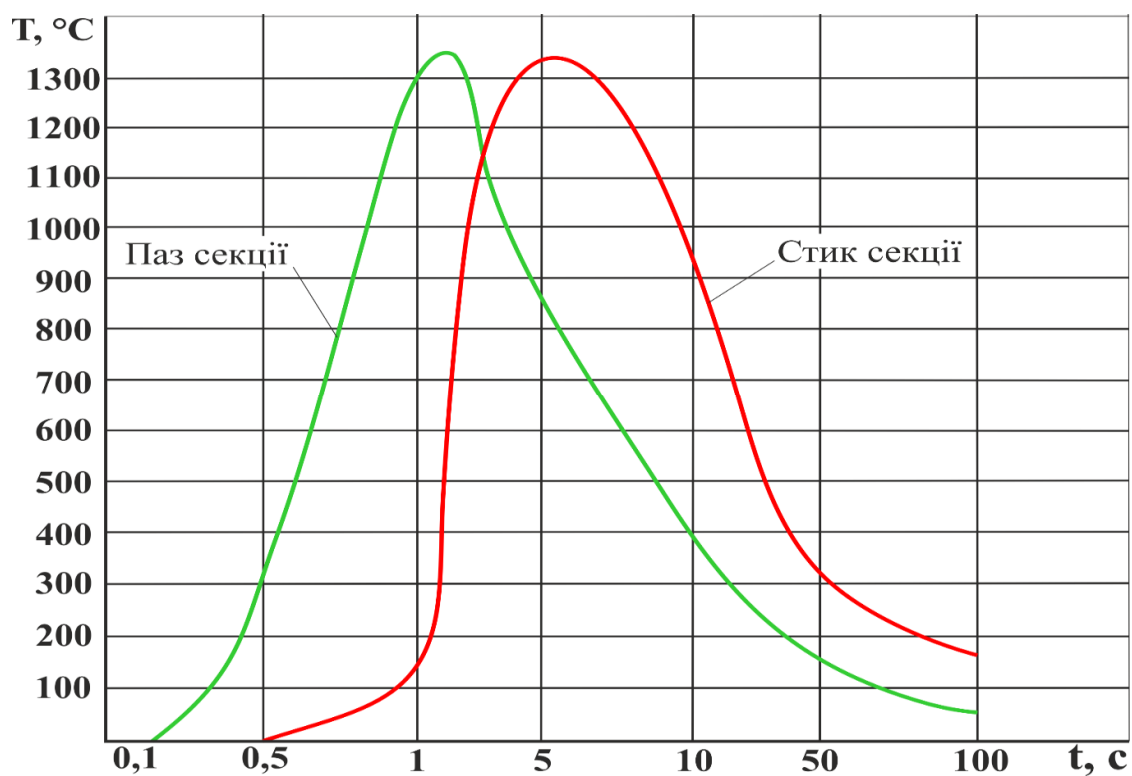


Рисунок 2.4 Термічний цикл зварювання стику та пазу секції

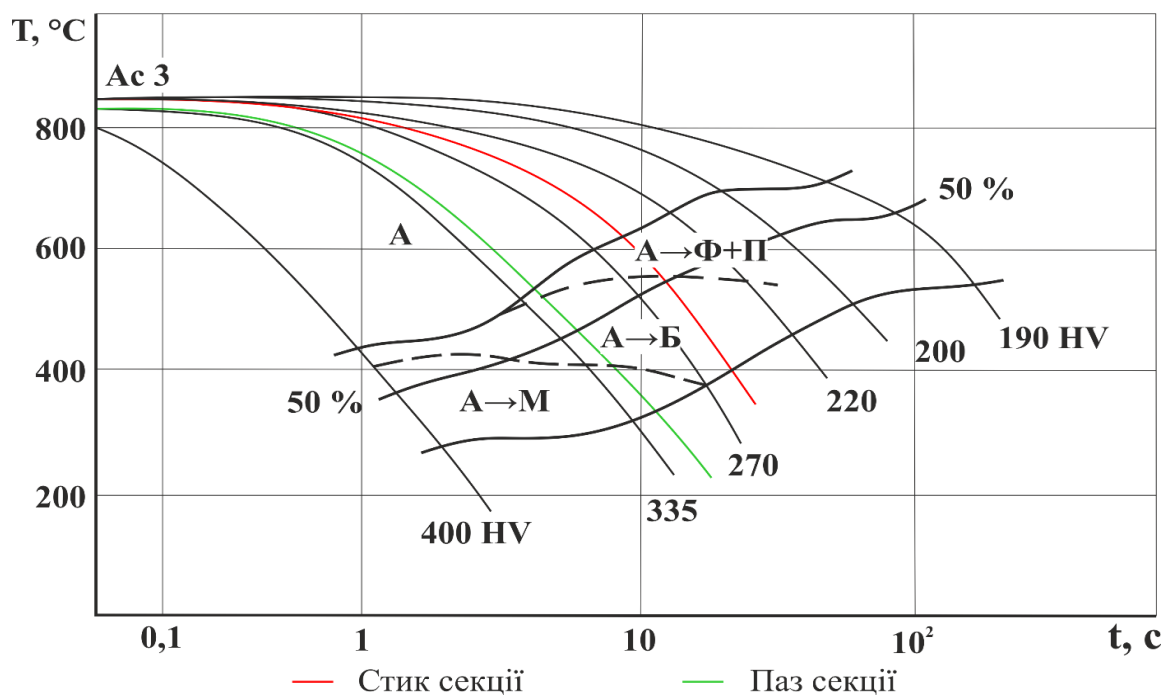


Рисунок 2.5 Діаграма термокінетичного перетворення аустеніту сталі 09Г2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ

Арк.

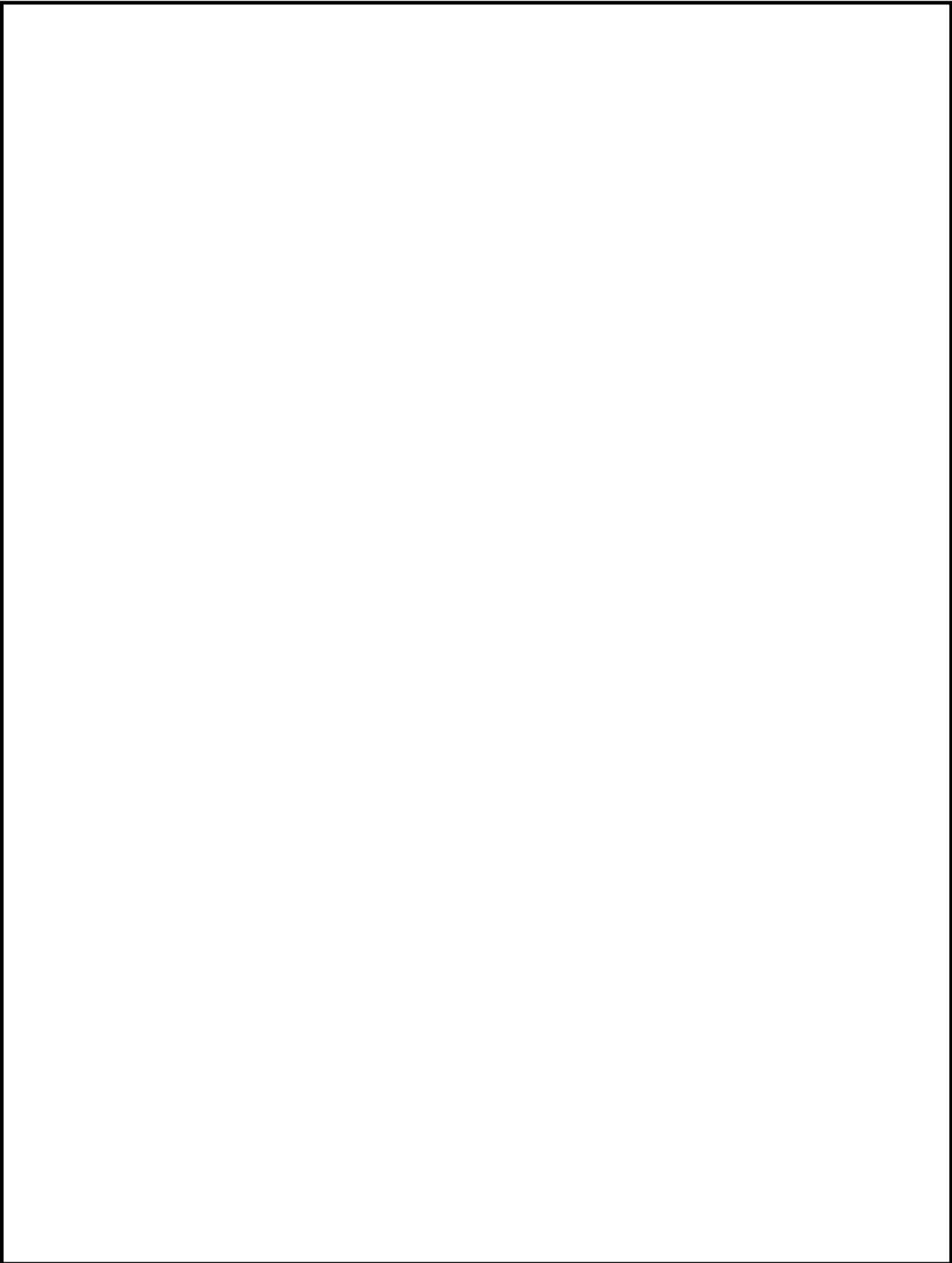
45

Висновки:

- для зварювання пазу переборки використовуємо одностороннє механізоване зварювання зі зворотнім формуванням шву на гнучких підкладках;
- для зварювання стику переборки використовуємо одностороннє автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідних балках.

Розрахунок режимів зварювання дозволив обрати параметри режиму автоматичного зварювання під флюсом стикових з'єднань та механізованого зварювання в захисних газах пазу та таврових з'єднань переборки. Розрахунок термічного циклу показав що твердість металу стику після зварювання складає 256 HV, пазу – 291 HV. Зварні з'єднання володіють достатньою стійкістю проти утворення холодних тріщин.

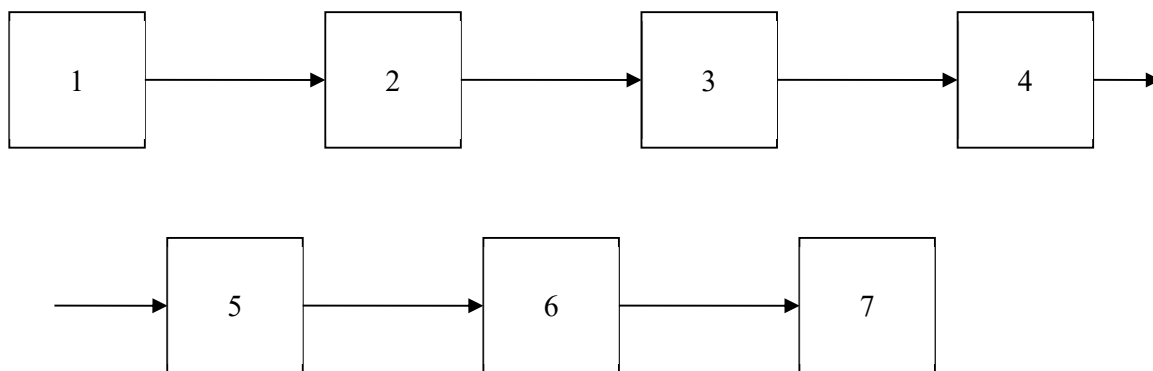
					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 02. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка технологічного процесу виготовлення переборки	Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент		Синицький Д.А.							
Керівник		Єрмолаєв Г.В.					47	16	
Конс.		Єрмолаєв Г.В.				ХННІ НУК			
Н. Контр.									
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.							

3.1 Технологічна послідовність виготовлення переборки

Виробничий процес виготовлення переборки представимо у вигляді схеми (рис 3.1).



1 – заготівельна операція; 2 – складання пазів полотнища; 3 – одностороннє механізоване зварювання пази секції; 4 – складання стиків; 5 – одностороннє автоматичне зварювання під флюсом стиків секції; 6 – приварювання деталей вузлів підкріплення другого дна та тимчасових жорстких розкріплень; 7 – здача секції ВТК.

Рисунок 3.1 Схема технологічної послідовності виготовлення переборок

Послідовність технологічного процесу виготовлення поперечної гофрованої переборки з переліком обладнання та нормами часу представлено у таблиці 3.1.

Розрахункова річна програма випуску переборок складає сімдесят штук. Розглянуті окремо операції по складанню та зварюванню поперечної переборки.

Загальна трудомісткість складальних операцій на одну переборку – 153 н-год., зварювальних – 242 н-год.

Таблиця 3.1 Технологічний процес

Вид операцій	Перелік операцій	Обладнання	Норма часу, н–год.
складальна	Видалити на вигнутих листах згинальні «сухарі». Нарізати фаску по верхньому пазу, зачистити лист різку від ґрату. $n_{\text{лист}} = 12$ шт, $l_{\text{фас}} = 12 \times 0,4 \text{ м} = 4,8 \text{ м}$	Газополуменевий різак, пневмо–турбина	1,5
складальна	Зачистити кромки вигнутих листів та деталей підкріплення другого дна від окалини та іржі до металічного блиску під зварювання, $l = 230 \text{ см.}$	Пневмотурбіна	8,0
складальна	Закласти вигнуті листи в постіль для складання пазу секції, $n_{\text{лист}} = 12$ шт	Кран КМ–500г	2,2
складальна	Зістикувати паз секції, $l_{\text{пазу}} = 14 \text{ м}$	Кран КМ–500г	38,3
складальна	Встановити зі зворотної сторони паза підкладки ГПЛ–1с для зворотного формування шву, $l = 14 \text{ м}$	Резиновий шланг стислого повітря	3,0
зварювальна	Провести одно–стороннє зварювання паза секції на гнучких підкладках ГПЛ–1с зі зворотнім формуванням шву у три проходи ГОСТ 14771–76, $l = 14 \text{ м}$	Напівавтомат КП 007	24,5
складальна	Перекантувати укріплені листи	Кран КМ–500г	4,0
складальна	Заложити укрупнені листи у стаціонарну універсальну постіль для складання стиків, $n_{\text{лист}} = 6$ шт	Кран КМ–500г	1,5
складальна	Скласти стики секції, $l_{\text{ст}} = 5 \times 17 = 85 \text{ м}$	Пневмоциліндр, талреп	32,0
складальна	Стиснути полотно секції по лекалам постілі	Електромагніт	8,0

Продовження таблиці 3.1

Вид операцій	Перелік операцій	Обладнання	Норма часу, н-год
складальна	Встановити на секцію деталі тимчасових жорстких розкріплень, закріпити на електроприхватках, $l_{розкр} = 44,8м$, $n_{розкр} = 20$ шт, $n_{пр} = 160-170$ шт	Зварювальний кабель РБ-301	32,5
складальна	Здати полотню під зварювання секції ВТК	—	—
складальна	Стиснути флюсо-мідні балки до стиків секції, $n_{бал} = 5$ шт	Мембранний пневмоциліндр	1,5
зварювальна	Виконати зварювання стиків секції зі зворотнім формуванням шву на флюсомідних балках у два проходи ГОСТ 8713-79, $l=85м$	Зварювальна установка ГДФ-1001УЗ	18,0
зварювальна	Приварити до секції деталі тимчасових жорстких розкріплень, ГОСТ 14771-76, $l = 44,8м$	Напівавтомат КП 007	18,1
складальна	Встановити на секцію деталі вузлів підкріплення другого дна, закріпити на електроприхватках, $n_{дет} = 9$ шт, $n_{пр} = 32-40$	Кран КМ-500г, газополуменовий різак, зварювальний кабель РБ-301	18,0
складальна	Встановити на секцію транспортувальні обухи, закріпити на електроприхватах, $n = 4$ шт, $n_{пр} = 8-10$	Зварювальний кабель РБ-301	0,5
зварювальна	Приварити к полотну секції деталі вузлів підкріплення другого дна, ГОСТ 14771-76, $l = 36м$	Напівавтомат КП 007	43,5
зварювальна	Приварити до полотна секції обухи, ГОСТ 5264-80, $n = 4$ шт, $l = 4,2м$	Зварювальний кабель РБ-301	16,0
зварювальна	Опустити на лекала флюсомідні балки	Мембранний пневмоциліндр	0,5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.

Арк.

50

Продовження таблиці 3.1

Вид операцій	Перелік операцій	Обладнання	Норма часу, н–год
складальна	Віддати секцію від лекал, зняти з постілі, перевезти на позицію складання, зварювання	Кран КМ–500г, газополуменевий різак	1,5
складальна	Встановити на секцію деталі насичення, закріпити на електроприхватах , $n_d = 4$ шт, $n_{пр} = 8-10$ шт	Зварювальний кабель РБ–301	1,0
зварювальна	Приварити до секції деталі насичення, ГОСТ 14771–76, $l = 4,5$ м	Напівавтомат КП 007	0,9
складальна	Встановити на секцію стапельні обухи, закріпити на електроприхватах, $n = 2$ шт, $n_{пр} = 6-8$ шт.	Кран КМ–500г, кабель РБ–301	1,0
зварювальна	Приварити до секції стапельні обухи, ГОСТ 5264–80, $n = 2$ шт, $l = 2, l$ п.м.	Зварювальний кабель РБ–301	3,1
складальна	Зачистити на секції місця електроприхваток та подряпин до металічного блиску	Пневмотурбіна	5,0
зварювальна	Виправити дефекти зварних швів, зачистити від бризк	Зварювальний кабель РБ–301, пневмотурбіна	7,0
	Здати секцію на конструктивність ВТК	–	–
Разом: Складальних Зварювальних			153,0 242,0

В таблиці 3.2 наведено трудомісткість складально-зварювальних операцій на одну переборку та річну програму виготовлення секцій для базового варіанту технології та запропонованому технологічному процесу.

Таблиця 3.2 Довідкова таблиця трудомісткості

Перелік операцій	Норма часу на одну секцію, н–год.		Норма часу на річну програму	
	Базовий варіант	Варіант, що проєктується	Базовий варіант	Варіант, що проєктується
Складальні	260,0	153,0	18200	10710
Зварювальні	242,0	125,0	16940	8750
В тому числі:	34	18,0	2380	1260
АФ	68,0	87,0	4340	6090
ІІІ				
Ручне дугове зварювання	146,0	14,0	10280	980
Разом	502,0	278,0	35140	19460

3.2 Вибір зварювальних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів залежить від марки основного металу виробу. Для зварювання маловуглецевої низьколегованої сталі 09Г2 можуть бути використані достатньо широкий спектр дротів хімічний склад яких приведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Марки та хімічний склад дротів для зварювання сталі 09Г2 [13]

Марка дроту	Спосіб зварювання	Вміст елементів, %						
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Не більше	
							P	S
Св – 08А	АФм	≤ 0,10	0,35–0,6	≤ 0,03	≤ 0,12	≤ 0,25	0,03	0,025
Св – 10ГН		≤ 0,20	0,9–1,2	0,15–0,35	≤ 0,20	0,9–1,2	0,03	0,025
Св – 08Г2С	ИНп	0,05–0,11	1,8–2,1	0,7–0,95	≤ 0,20	≤ 0,25	0,03	0,025
Св – 08ГСНТ	ИНп	0,05–0,11	1–1,3	0,4–0,9	≤ 0,30	0,9–1,2	0,03	0,025

Для зварювання стикових та таврових з'єднань гофрованої переборки обираємо слідуючи зварювальні дроти суцільного перерізу:

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

- для автоматичного зварювання під флюсом на флюсомідній балці - дріт Св- 08А, діаметром 5 мм;

- для механізованого зварювання в суміші (Ar + CO₂) на гнучких підкладках - дріт Св-08Г2С діаметром 1,6 мм;

- для зварювання таврових з'єднань в суміші (Ar + CO₂) - дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм.

Згідно таблиці 3.4 [13] обираємо флюс ОСЦ-45М, який відрізняється підвищеним вмістом плавикувального шпату, що підвищує стійкість металу проти утворення пір.

Таблиця 3.4 Хімічний склад флюсів [13]

Марка флюсу	Вміст елементів, %						
	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Не більше
							S P
АН- 348А	41-44	34-38	≤ 6,5	5,0-5,7	≤ 4,5	4,0-5,5	0,15 0,12
ОСЦ- 45М	38-44	38-44	≤ 6,5	≤ 2,5	≤ 5,0	6,0-9,0	0,15 0,10
АН- 60	42-46	36-41	3-11	0,5-3,0	≤ 5,0	5,0-8,0	0,15 0,15

При механізованому зварюванні у захисних газах в проектованому технологічному процесі обираємо газову суміш Ar + CO₂. Вміст аргону складає 80...83%, що призводить до стабільного горіння дуги, дрібнокапельного переносу електродного металу, зниженню кількості виділення токсичних речовин, низькому вмісту газів та неметалічних включень в металі шва, стійкості проти утворення тріщин в зрівнянні зі зварюванням у CO₂ [13].

Зменшується розбризкування металу дроту та відповідно знижуються його витрати. Зменшуються витрати на зварювальний дріт та трудомісткість видалення бризок після зварювання, що компенсує збільшення вартості газової суміші (Ar + CO₂) порівняно з вуглекислим газом CO₂.

Для складальних робіт використовуємо електроди для ручного дугового зварювання УОНИ 13/45 діаметром 4 мм.

Для забезпечення зворотного формування шву при зварюванні пазу

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

гофрованої переборки використовуємо гнучкі підкладки ГПЛ-1С або ПСК-1, які не створюють впливу на мікроструктуру та хімічний склад металу шва та ЗТВ.

3.3 Вибір зварювального обладнання

Вибір обладнання для зварювання проводиться у відповідності з прийнятими способами зварювання секції, з врахуванням складності конструкції та необхідності забезпечення високої продуктивності та якості зварювальних робіт.

3.3.1 Вибір обладнання для механізованого зварювання

Для механізованого зварювання в проектованому технологічному процесі на основі аналізу обладнання, що використовується [20] (таблиця 3.5), обираємо напівавтомат КП 007, який знайшов широке застосування в суднобудуванні при виготовленні корпусних конструкцій.

Таблиця 3.5 Технічні характеристики зварювальних напівавтоматів [21]

Зварювальний напівавтомат	Зварювальний струм, А		Електродний дріт		Маса, кг
	Номінальний	Межа регулювання	Діаметр, мм	Швидкість подачі, м/год	
КП 015	315	50-315	0,8–1,4	100–1000	9,5
КП 007	315-600	50-630	0,8–2,0	120–1200	12,2
ПДГ508М	500	60-500	1,2–2,0	120–1200	24,0

Цей напівавтомат забезпечує високу стійкість дугового процесу, стабільність режиму зварювання та незначне розбризкування електродного металу, добре формування шву, стійке збудження дуги. У якості джерела живлення використовуємо зварювальний випрямляч КИУ–301, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.6 [21]. Цей випрямляч забезпечує широкий діапазон по зварювальному струму.

Таблиця 3.6 Технічні характеристики випрямляча КИУ–501 [21]

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Зварювальний струм, А		Тривалість роботи, %	Напруга, В		ККД, %	Маса, кг
Номинальний	Межа регулювання		Холостого ходу, не більше	Межі регулювання		
500	50–500	60	85	18–50	0,75	230

3.3.2 Вибір обладнання для автоматичного зварювання під флюсом

Автоматичне зварювання під шаром флюсу використовуємо для зварювання стиків секції із застосуванням зварювальної установки портального типу, яка має притискну балку та підвісні зварювальні голівки.

Для виконання автоматичного зварювання під флюсом промисловістю випускається ряд підвісних зварювальних голівок, технічні характеристики яких представлені в таблиці 3.7 [21, 22].

Таблиця 3.7 Технічні характеристики підвісних зварювальних голівок

Тип	Номинальний зварювальний струм, А	Електродний дріт		Габаритні розміри апарата, мм	Маса, кг
		Діаметр, мм	Швидкість подачі		
ГДФ–1001У3	1250	3–5	55–558	1845×1050×1680	298
A1569	400	2–3	50–350	1120×850×1990	260
A–1423У4	300	1,6–3	45–450	760×840×1670	210

Обираємо зварювальну головку ГДФ–1001У3, у якості джерела живлення передбачений зварювальний випрямляч ВДУ–1201К, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.8 [21].

Таблиця 3.8 Технічні характеристики випрямляча ВДУ–1201К [21]

Зварювальний струм, А		Діаметр дроту, мм	Напруга, В	Габаритні розміри, мм	Маса, кг
Номинальний	Межі регулювання				
1250	250–1250	4-10	24-56	960×680×890	550

3.3.3 Вибір обладнання для ручного дугового зварювання

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Ручне дугове зварювання використовуємо для складання вузлів переборки. Використовуємо зварювальний випрямляч КИУ-501.

3.4 Контроль якості

При виготовленні секції поперечних гофрованих переборок виконується попередній контроль та контроль якості швів.

Попередній контроль включає атестацію зварювальників, перевірку зварювальних матеріалів на відповідність сертифікатам після транспортування та зберігання, перевірку стану зварювального обладнання його комплектність, наявність справності вимірювальних пристроїв або інших показчиків режиму зварювання.

Якість складання під зварювання контролюється виробничим майстром в відповідності з вимогами креслень, технологічної документації на зварювальну конструкцію. Перевіряється правильність складання конструкції, вузлів, оброблення крайок та величина зазору, чистота поверхні зварюваних крайок, на яких не повинно бути окалин, вологи, мастила, фарби та інших забруднень, розміри та якість прихоплень.

Контроль якості зварних визначається декількома методами. Візуальний контроль є обов'язковим для усіх конструкцій. Він дозволяє визначити такі дефекти як пори, тріщини, незаварені кратери, підрізи, поверхневі тріщини, рельєфність ширини або висоти шву, невідповідальність кресленню та інші зовнішні дефекти, які потрібно усувати.

Виявлення внутрішніх дефектів швів пазу та стиків здійснюється вибіркоким гамаграфуванням за допомогою дефектоскопа «РИФ-21М».

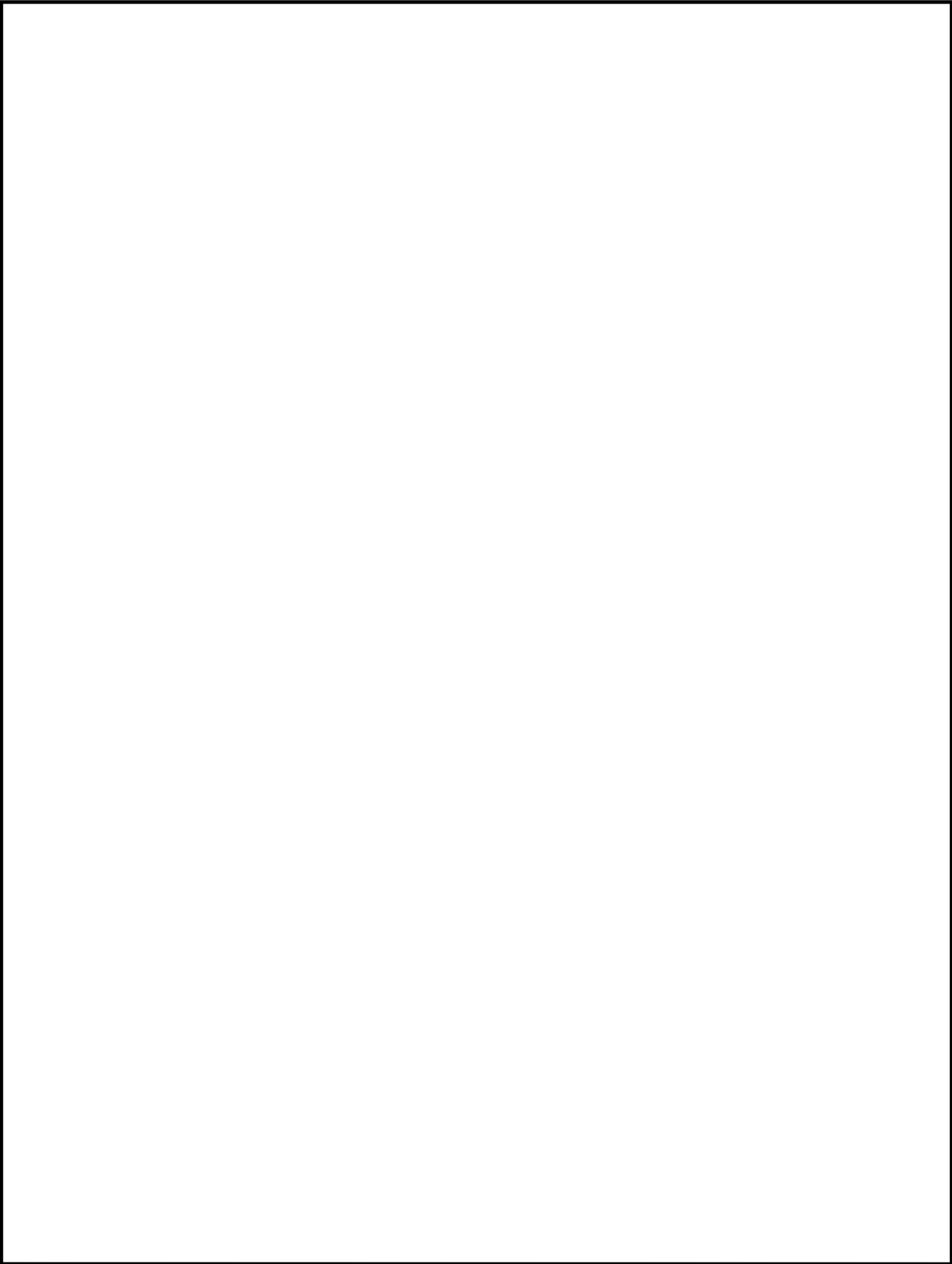
Контроль зварних швів вузлів підкріплення другого дна виконується способом «гас на крейду».

Висновки:

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконано розробка технологічного процесу виготовлення поперечних переборок. Обрано зварювальне обладнання та матеріали для автоматичного і механізованого зварювання, розглянуті методи контролю якості зварних швів.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ДП.131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці				Літ.	Арк.	Акрушіє		
Студент	Синицький Д.А..											58	10
Керівник	Єрмолаєв Г.В.												
Конс.	Єрмолаєв Г.В.											ХННІ НУК	
Н. Контр.													
Зав. каф.	Єрмолаєв Г.В.												

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при виготовленні переборок

При виготовленні переборок в умовах механізованої ділянки виникає шум, вібрації, світлове та теплове випромінювання, виділення шкідливих газів та пилу. Електрообладнання працює під високими напругами та створює небезпеку враження електричним струмом. Роботи по електрозварюванню в середовищі захисних газів можуть призвести до виникнення пожежі та вибуху.

Найбільш небезпечними та шкідливими факторами є:

- ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека;
- ураження очей та відкритих частин шкіри як прямим та і відбитими променями дуги;
- дія шуму та вібрації;
- недолік освітлення;
- опіки при розбризкуванні розплавленого металу;
- вибухонебезпечність;
- шкідлива дія газів та пилу.

4.1.1 Електробезпека

На території механізованої ділянки в відповідності до ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок розміщується велика кількість електрообладнання: зварювальні автомати, джерела живлення зварювальної дуги, баластні реостати, зварювальні кабелі та інше електрообладнання. У зв'язку з цим може виникнути небезпека ураження електричним струмом [23].

Для захисту людини від дотику з струмопровідними частинами електрообладнання повинна бути ізоляція струмопровідних частин

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

електрообладнання та заземлення. Механічні пошкодження, волога, перегрівання, хімічні впливи зменшують захисні властивості ізоляції. Навіть у нормальних умовах ізоляція поступово втрачає свої початкові властивості, "старіє". Тому необхідно систематично проводити профілактичні огляди та випробовування ізоляції. У приміщеннях з підвищеною небезпекою та в особливо небезпечних, відповідно не менше одного разу на два роки та в півріччя, перевіряють відповідність опору ізоляції до норм шляхом вимірювання. Для електромереж напругою до 1000 В опір ізоляції струмовідних частин електроустановок повинен бути не меншим ніж 0,5 МОм, а електрифікованого ручного інструменту - не менше ніж 1 МОм, якщо інше не передбачено відповідними нормами [24]

Заземлення призначене перш за все для забезпечення безпеки людей від ураження електричним струмом при торканні ними елементів електрообладнання, що опинилося під напругою при аварійних режимах. Також заземлення має важливе значення і для забезпечення пожежної безпеки експлуатації електроустановок об'єктів [25].

Пересувне електричне обладнання (зварювальні автомати, напіваавтомати) захисне заземлення яких ускладнене, повинні бути забезпечені пристроями захисного відключення.

Всі руків'я, кнопки, які можуть опинитись під напругою виконується з діелектричного матеріалу. Пересувна напруга не повинна складати більш ніж 12 В [26].

4.1.2 Протипожежна безпека

Забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємства, отже вся відповідальність за забезпечення пожежної безпеки на підприємстві покладається на його власника та керівника (п. 3 статті 55 Кодексу цивільного захисту України) [27].

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Основні вимоги пожежної небезпеки викладені в «правила пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих роботах на об'єктах народного хазяйства». У місцях виконання зварювання повинні бути вогнегасники, ящики з піском, лопати та совки, бочки чи відра з водою.

Працівники дільниці виготовлення переборок повинні знати правила та способи користування первинними засобами гасіння пожеж. Схеми евакуації людей при пожежах повинні бути вивішені на видних місцях.

4.1.3 Ураження випромінюванням зварювальної дуги

Електрична дуга випромінює видимі світлові промені та невидимі для очей ультрафіолетове, а також інфрачервоне випромінювання, яке шкідливо впливає на зір та шкіру людини.

Короткочасне попадання світла дуги на сітчатку ока через декілька годин викликає сильний різкий біль, погіршення зору.

Захист обличчя та очей зварювальників від дії дуги забезпечується застосуванням захисних щитків або світлофільтрами (ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів), зовнішня сторона світлофільтрів має прозоре скло. Усі захисні засоби та їх компоненти, що їх використовують під час зварювальних робіт, не повинні мати виступаючих частин, гострих країв або інших дефектів, які, ймовірно, можуть спричинити незручність або пошкодження особі, яка використовує захисний засіб [28].

4.1.4 Захист від вібрації

При зачищенні від бризок використовують пневматичні машинки зі швидкістю обертання абразивних каменів 500...600 об/хв., котрі призводять до негативного впливу на працюючих. Вібрації негативно впливає на центральну нервову систему та руйнує кровоносні судини людини, викликає часті головні болі, порушення серцевої діяльності та кровообігу, деформацію та зниження

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

рухомості суглобів, призводить до підвищення втомлюваності та зниження продуктивності праці [29, 30].

При роботі з пневмоінструментами робітник повинен користуватись індивідуальними засобами захисту від вібрації: антивібраційні черевики, рукавицями, наколінниками, налокітниками. Тривалість роботи пневмоінструментом не повинна перевищувати 7 годин в зміну та 35 годин на тиждень.

Для виміру вібрації ручних машин рекомендують вітчизняні вібровимірювачі: вимірювач шуму та вібрації ВШВ–1, шумовіброметричний комплекс ШВК–1 з фільтрами ФЕ–2.

4.1.5 Освітлення

Освітлення безпосередньо впливає на продуктивність праці та працездатність людини. Якщо протягом робочої зміни очі втрачають здатність чіткого бачення, а також швидкість сприймання зорових сигналів, то це призводить до нещасних випадків та аварій на виробництві, до захворювань органів зору.

Як що природне освітлення недостатнє за нормами, необхідно його доповнити штучним.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується ДБН В.2.5.-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [31].

Ці норми повинні дотримуватись при проектуванні освітлення приміщень.

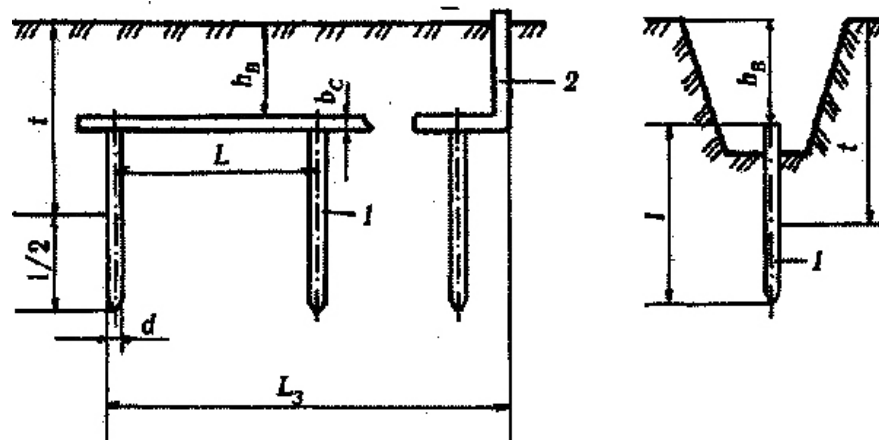
Як джерела штучного освітлення широко використовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи. Основною перевагою газорозрядних ламп є їх економічність [32].

4.2 Розрахунок заземлення

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Заземлення електродвигунів, апаратів та іншого обладнання, що встановлені безпосередньо на металевих верстатах, які мають з металом верстатів надійний контакт, може здійснюватися шляхом приєднання станини верстатів до заземлюючої магістралі. Для них використовуються сталеві труби, смуги та т.д. Всі елементи заземлюючого пристрою з'єднуються за допомогою зварювання.

В електроустановках напругою більш ніж 1000 В з великими струмами замикання на землі (більш ніж 500 А), незалежно від наявності природних заземлювачів необхідно передбачати штучне заземлення [30].



1 – заземлювач; 2 – з'єднувальна стрічка; h_B – глибина закладання вертикальних заземлювачів; L – відстань між заземлювачами; t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту; l – довжина заземлювача; b_C – ширина стрічки

Рисунок 4.1 Схема позначення розмірів для розрахунку захисного заземлення [33]

Виконуємо розрахунок захисного заземлення згідно [34]. Застосовуємо нормальну кліматичну вологість ґрунту, його тип. Виходячи з цього обираємо матеріал та профіль вертикального заземлення. Це стальна , яка має наступні геометричні розміри:

- довжина $l_B = 3$ м;

- діаметр $d_B = 0,06$ м;

- заглиблення $t_r = 0,7$ м.

глибина закладення вертикального заземлювача розраховується за формулою (4.1)

$$t_B = t_r + 0,5 l_B; \text{ м} \quad (4.1)$$

$$t_B = 0,7 \text{ м} + 0,5 \cdot 3 \text{ м} = 2,2 \text{ м}$$

Питомий об'ємний опір ґрунту ρ визначається приладами. Коли можливості прямого заміру немає, значення ρ орієнтовно приймають. Воно залежить від багатьох факторів: природи ґрунтів, ступеню їх ущільнення, температури, вологості, часу року.

Питомий об'ємний опір ґрунту ρ коливається в межах 150–4000 м.м. Приймаю рекомендоване для розрахунків значення $\rho = 3000$ м.м.

Опір одиничного вертикального заземлювача R_B визначається за формулою (4.2) [33]

$$R_B = 0,366 \frac{\rho}{l_B} \left(\lg \frac{2l_B}{d_B} + 0,5 \lg \frac{4t_B + l_B}{4t_B - l_B} \right); \text{ Ом} \quad (4.2)$$

При умові застосування $l_B \gg d_B$.

Ця умова виконується.

Підставляємо вихідні значення в формулу (4.2) та визначаємо R_B :

$$R_B = 0,366 \frac{3000 \text{ м}}{3 \text{ м}} \left(\lg \frac{2 \cdot 3 \text{ м}}{0,06 \text{ м}} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 2,2 \text{ м} + 3 \text{ м}}{4 \cdot 2,2 \text{ м} - 3 \text{ м}} \right) = 76,26 \text{ Ом}$$

При проектуванні заземлюючих приладів необхідно враховувати коефіцієнт сезонності ψ , який враховує зміни питомого опору ґрунту в залежності від похідних та кліматичних умов (табл. 3 [34]). Приймаємо коефіцієнт сезонності $\psi = 1,3$.

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів $\eta_B = 0,7$.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Знаючи опір розтікання струму одиничного заземлювача R_v та розрахункову величину опору заземлюючого пристрою R , згідно правилам ПУЄ, визначаємо кількість необхідних заземлювачів за формулою 4.3.

$$n = \frac{R_d \cdot \psi}{R \cdot \eta_{\lambda}}; \text{ шт} \quad (4.3)$$

де: $R = 4 \text{ Ом}$.

η_{λ} – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів. Він коливається в межах $0,5 \dots 0,9$.

$$n = \frac{76,76 \cdot 1,3}{4 \cdot 0,7} = 35,68 \text{ шт.}$$

Приймаємо ціле число вертикальних заземлювачів $n = 36$.

Матеріал та профіль горизонтальних заземлюючих провідників це стальна смуга, яка застосовується для зв'язку.

Геометричні розміри стальної смужки:

- довжина визначається за формулою (4.4)

$$l_r = 1,05 a \cdot n, \text{ м} \quad (4.4)$$

де: a – відстань між вертикальними електродами. Значення a коливається в межах $a = 1 \div 3 \text{ м}$

В даних розрахунках приймається $a = 2 \text{ м}$

$$l_r = 1,05 \cdot 2 \text{ м} \cdot 36 = 75,6 \text{ м}$$

- ширина обирається за таблицею 7 [32]

$$b_r = 0,024 \text{ м}$$

Глибина закладення горизонтального заземлюючого провідника $t_r = 0,7 \text{ м}$.

Опір заземлюючого провідника розраховується за формулою (4.5)

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

$$R_r = 0,366 \frac{\rho}{l_r} \left(\lg \frac{l_r^2}{0,5 \cdot b_r \cdot t_n} \right); \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Підставляючи у формулу (4.5) зазначені вище параметри розраховуємо R_r

$$R_r = 0,366 \frac{3000 \cdot i \cdot i}{75,6 i} \cdot \left(\lg \frac{(75,6)^2}{0,5 \cdot 0,024 i \cdot 0,7 i} \right) = 8,45 \text{ Ом}$$

Потім визначаємо загальний опір заземлюючого приладу.

Опір розтіканню струму заземлюючого приладу розраховується за формулою (4.6):

$$R_0 = \frac{1}{\frac{\eta_r}{R_r} + \frac{n \cdot \eta_B}{R_B}}; \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Де, η_r — коефіцієнт використання горизонтального заземлення. Величина η_r коливається в межах 0,2...0,7.

В даному розрахунку приймаємо значення $\eta_r = 0,6$.

$$R_0 = \frac{1}{\frac{0,6}{8,45} + \frac{36 \cdot 0,7}{76,26}} = 2,48 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземлюючого пристрою $R_0 = 2,48 \text{ Ом}$, а це задовольняє вимогам «Правил улаштування електроустановок» при напрузі менш 1000 В.

Висновки: У розділі «Охорона праці» був виконаний аналіз небезпечних та шкідливих факторів при виготовленні гофрованих переборок та розроблені заходи по їх усуненню. Розрахунок захисного заземлення показав, що загальний опір заземлюючого приладу складає 2,48 Ом, що задовольняє вимогам «Правил улаштування електроустановок» при напрузі менш 1000 В.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок собівартості зварювання	Літ.		Арк.	Акрушіє
Студент		Синицький Д.А.						67	9
Керівник		Єрмолаєв Г.В.							
Конс.		Єрмолаєв Г.В.				ХННІ НУК			
Н. Контр.									
Зав. каф.		Єрмолаєв Г.В.							

Виконуємо розрахунок собівартості зварювання одного метра шва стикових з'єднань.

При розрахунку враховуємо вартість зварювальних матеріалів, витрати на заробітну плату та витрачену електроенергію.

5.1 Розрахунок собівартості зварювання за базовим варіантом

Собівартість зварювальних робіт при базовому варіанту зварювання визначається за формулою:

$$C = C_m + C_z + C_e, \quad (5.1)$$

де: C_m – витрати на зварювальні матеріали, грн;

C_z – витрати на заробітну плату, грн;

C_e – витрати на електроенергію, грн.

Витрати на зварювальні матеріали включають:

- вартість електродів ($C_{ел}$);
- вартість ацетилену ($C_{ац}$) і кисню ($C_{кис}$) при струганні.

Витрати на електроди ($C_{ел}$, грн.) визначаються за формулою:

$$C_{ел.} = \frac{S_{ш} \cdot L \cdot \gamma \cdot K_1 \cdot R_1}{1000}, \quad (5.2)$$

де: $S_{ш}$ – площа поперечного перерізу шва, $см^2$; $S_{ш} = 0,62 \text{ } см^2$;

L – довжина зварного шва, $см$; $L = 100 \text{ } см$;

γ – густина металу, $г/см^3$; $\gamma = 7,8 \text{ } г/см^3$;

K_1 – коефіцієнт переходу електродного металу; $K_1 = 1,7$;

R_1 – вартість 1 кг електродів марки УОНИ 13/55, $грн/кг$; $R_1 = 56,0 \text{ } грн./кг$.

$$C_{ел.} = \frac{0,62 \cdot 100 \cdot 7,85 \cdot 1,7 \cdot 56,0}{1000} = 46,8 \text{ } грн.$$

Витрати на ацетилен ($C_{ац}$, грн) при струганні визначаємо за формулою:

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$C_{\text{ац}} = B_{\text{ац}} \cdot L \cdot R_2, \quad (5.3)$$

де: $B_{\text{ац}}$ – витрата ацетилену при струганні 1 см шва, $\text{м}^3/\text{см}$;
 $B_{\text{ац}} = 0,0048 \text{ м}^3/\text{см}$;

L – довжина шва що піддається струганню, см; $L = 100 \text{ см}$;

R_2 – вартість одного м^3 ацетилену, грн./ м^3 ; $R_2 = 52,4 \text{ грн./м}^3$;

$$C_{\text{ац}} = 0,0048 \cdot 100 \cdot 56,4 = 27,10 \text{ грн.}$$

Витрати на кисень ($C_{\text{кис}}$, грн) при струганні визначаємо за формулою:

$$C_{\text{кис}} = B_{\text{кис}} \cdot L \cdot R_3, \quad (5.4)$$

де: $B_{\text{кис}}$ – витрата кисню при струганні 1 см шва, $\text{м}^3/\text{см}$; $B_{\text{кис}} = 0,0096 \text{ м}^3/\text{см}$;
 L – довжина шва що піддається струганню, см; $L = 100 \text{ см}$;

R_3 – вартість м^3 кисню, грн./ м^3 ; $R_3 = 12,2 \text{ грн./м}^3$;

$$C_{\text{кис}} = 0,0096 \cdot 100 \cdot 12,2 = 11,7 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на зварювальні матеріали ($C_{\text{м}}$, грн.) складають:

$$C_{\text{м}} = 46,8 + 27,1 + 11,7 = 85,6 \text{ грн.}$$

Трудомісткість зварювання стикового з'єднання ($T_{\text{зв}}$, н-год.) визначається за формулою:

$$T_{\text{тех}} = T_{\text{зв}} + T_{\text{стр}}, \quad (5.5)$$

де: $T_{\text{зв}}$ – трудомісткість виконання зварного шву, н-год;

$T_{\text{стр}}$ – трудомісткість стругальних робіт, н-год.

$$T_{\text{зв}} = T_{\text{ш.к.}} \cdot L, \quad (5.6)$$

де: $T_{\text{ш.к.}}$ – штучно калькуляційний час зварювання одного стику, н-год;

$$T_{\text{ш.к.}} = (T_{\text{оп}} + t_{\text{д.ш}}) \cdot K_{\text{д.і}} \cdot K_{\text{заг}} \cdot K_{\text{у}}, \quad (5.7)$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

де: $T_{оп}$ – оперативний час (час горіння дуги), год.:

$$T_{оп} = \frac{S_{заг} \cdot 100 \cdot \gamma}{I \cdot \alpha_n}, \quad (5.8)$$

де: $I_{зв}$ – сила зварювального струму, А;

α_n – коефіцієнт наплавлення; $\alpha_n = 9,5$ г/А · год.;

$t_{д.ш}$ – допоміжний час, залежний від довжини шва, включає витрати часу на зачистку кромки, зміну електродів, зачистку шва після кожного проходу; $t_{д.ш} = 0,2 \cdot T_{оп}$;

$K_{д.і}$ – коефіцієнт, залежний від зварюваного виробу, що враховує допоміжний час на пересування зварювальника з інструментом; $K_{д.і} = 1$;

$K_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує час на обслуговування робітника, час на відпочинок і підготовчо–завершальний час; $K_{заг} = 1,13$;

K_y – коефіцієнт, що враховує умови праці; $K_y = 1,06$.

$$T_{оп} = \frac{0,62 \cdot 100 \cdot 7,85}{90 \cdot 9,5} = 0,54 \text{ год.}$$

$$t_{д.ш} = 0,2 \cdot 0,54 = 0,1$$

Штучно–калькуляційний час ($T_{ш.к.}$, н-год) дорівнює:

$$T_{ш.к.} = (0,54 + 0,1) \cdot 1,13 \cdot 1,06 = 0,77 \text{ н-год};$$

Загальна трудомісткість зварювання ($T_{зв}$, н-год) дорівнює:

$$T_{зв} = 0,77 \cdot 1 = 0,77 \text{ н-год.}$$

Трудомісткість стругання кореню шву ($T_{стр}$) визначається як:

$$T_{стр} = T_{ш.к.стр.} \cdot L, \quad (5.9)$$

де: $T_{ш.к.стр.}$ – штучно–калькуляційний час на стругання кореня шву, н-год.

$$T_{ш.к.стр.} = (T_{оп.стр.} + t_{д.стр.}) \cdot K_{д.і} \cdot K_{заг} \cdot K_{y.стр.}, \quad (5.10)$$

де: $T_{оп.стр.}$ – оперативний час стругання 1см шву, годин.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$T_{\text{оп.стр}} = \frac{1}{v}, \quad (5.11)$$

де: v – швидкість стругання; $v = 0,43$ м/хв.

$$T_{\text{оп.стр}} = \frac{1}{0,43} = 2,33 \text{ хв.} = 0,039 \text{ год.}$$

$$T_{\text{ш.к.стр}} = (0,039 + 0,23) \cdot 1,09 \cdot 1,1 = 0,32 \text{ год.}$$

Загальна трудомісткість стругання ($T_{\text{стр}}$, н-год) дорівнює:

$$T_{\text{стр}} = 0,32 \cdot 1 = 0,32 \text{ н-год.}$$

Загальна трудомісткість процесу зварювання та стругання ($T_{\text{тех}}$, н-год) дорівнює:

$$T_{\text{тех}} = 0,77 + 0,32 = 1,09 \text{ н-год.}$$

Витрати на заробітну плату при виконанні зварювання ($C_{\text{з.ш.}}$, грн.) визначаємо за формулою:

$$C_{\text{з.ш.}} = T_{\text{зв}} \cdot C_1, \quad (5.12)$$

де: C_1 – тарифна ставка зварювальника, грн/н-год; $C_1 = 100$ грн./н-год

$$C_{\text{з.ш.}} = 0,77 \cdot 100 = 77,0 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату при струганні кореню шву ($C_{\text{з.с.}}$):

$$C_{\text{з.с.}} = T_{\text{стр}} \cdot C_2, \quad (5.13)$$

де: C_2 – тарифна ставка стругальника; $C_2 = 80$ грн./н-год

$$C_{\text{з.с.}} = 0,32 \cdot 100 = 32,0 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на заробітну плату (C_3 , грн.):

$$C_3 = 77,0 + 32,0 = 109,0 \text{ грн.}$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Витрати на електроенергію ($C_{\text{ел}}$, грн.) визначимо по формулі:

$$C_{\text{ел}} = \frac{S_{\text{шв}} \cdot L \cdot \gamma \cdot K_{\text{пот}} \cdot Q \cdot q_e}{1000}, \quad (5.14)$$

де: Q – питома втрата електроенергії джерела живлення ВДУ–506УМ, кВт·год/кг; $Q = 10$ кВт/год;

q_e – вартість електроенергії, $q_e = 3,20$ грн./кВт · год

$$C_{\text{ел}} = \frac{0,62 \cdot 100 \cdot 7,85 \cdot 1,15 \cdot 10 \cdot 3,20}{1000} = 17,9 \text{ грн.}$$

Собівартість при базовій технології зварювання ($C_{\text{тех}}$, грн.) складає:

$$C_{\text{тех}} = 85,6 + 109,0 + 17,9 = 212,5 \text{ грн.}$$

5.2 Розрахунок собівартості зварювання за проектованим варіантом

Собівартість зварювальних робіт при проектованому варіанту визначається за формулою:

$$C = C_{\text{м}} + C_{\text{з}} + C_{\text{е}}, \quad (5.15)$$

де $C_{\text{м}}$ – витрати на зварювальні матеріали, грн;

$C_{\text{з}}$ – витрати на заробітну плату, грн;

$C_{\text{е}}$ – витрати на електроенергію, грн.

Витрати на зварювальні матеріали включають вартість зварювального дроту ($C_{\text{ел}}$), вартість флюсу ($C_{\text{фл}}$), вартість підкладки ($C_{\text{п}}$).

Витрати на електродний дріт ($C_{\text{ел}}$, грн.) визначаються за формулою:

$$C_{\text{ел}} = \frac{S_{\text{ш}} \cdot L \cdot \gamma \cdot K_1 \cdot R_1}{1000}, \quad (5.16)$$

де: $S_{\text{ш}}$ – площа поперечного перерізу шва, см^2 ; $S_{\text{ш}} = 1,2 \text{ см}^2$;

L – довжина зварного шва, см ; $L = 100 \text{ см}$;

γ – густина металу, г/см^3 ; $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$;

K_1 – коефіцієнт переходу присадного металу; $K_1 = 1,05$;

R_1 – вартість 1 кг електродного дроту Св–08А, грн/кг ; $R_1 = 45,6 \text{ грн./кг}$.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

$$C_{\text{ел.}} = \frac{1,2 \cdot 100 \cdot 7,85 \cdot 1,05 \cdot 45,6}{1000} = 45,1 \text{ грн}$$

Витрати на флюс ($C_{\text{фл.}}$, грн.) визначаються за формулою:

$$C_{\text{фл.}} = \frac{S_{\text{ш}} \cdot L \cdot \gamma \cdot K_{\text{фл}} \cdot R_5}{1000}, \quad (5.17)$$

де: $S_{\text{ш}}$ – площа поперечного перерізу шву, см^2 ; $S_{\text{ш}} = 1,2 \text{ см}^2$;

L – довжина зварного шва, см ; $L = 100 \text{ см}$;

γ – густина металу, г/см^3 ; $\gamma = 7,85 \text{ г/см}^3$;

$K_{\text{фл}}$ – коефіцієнт витрати флюсу; $K_{\text{фл}} = 1,1$;

R_5 – вартість флюсу, грн/кг ; $R_5 = 8,2 \text{ грн./кг}$.

Підставляємо усі необхідні значення у формулу (5.17) для розрахунку вартості флюсу:

$$C_{\text{фл.}} = \frac{1,2 \cdot 100 \cdot 7,85 \cdot 1,1 \cdot 8,2}{1000} = 8,50 \text{ грн.}$$

Вартість підкладок визначаємо за формулою:

$$C_{\text{п}} = R_6 \cdot L, \quad (5.18)$$

де R_6 – вартість 1 м склотканинної підкладки ГПЛ–1; $R_6 = 15 \text{ грн./м}$.

$$C_{\text{п}} = 15 \cdot 1 = 15 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на матеріали становлять:

$$C_{\text{м}} = 45,1 + 8,5 + 15,0 = 68,6 \text{ грн.}$$

Трудомісткість зварювання одного метру стикового з'єднання ($T_{\text{зв}}$, грн.) визначається за формулою:

$$T_{\text{тех}} = T_{\text{зв}}, \quad (5.19)$$

де $T_{\text{зв}}$ – трудомісткість виконання зварного шву, н-год ;

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$T_{зв} = T_{ш.к.} \cdot L, \quad (5.20)$$

де $T_{ш.к.}$ – штучно калькуляційний час зварювання одного стику, н-год;

$$T_{ш.к.} = (T_{оп} + t_{д.ш}) \cdot K_{д.і} \cdot K_{заг} \cdot K_y, \quad (5.21)$$

де: $T_{оп}$ – оперативний час (час горіння дуги), год.; $T_{оп} = 0,06$ год.

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

α_n – коефіцієнт наплавлення; $\alpha_n = 9,5$ г/А · год.;

$t_{д.ш}$ – допоміжний час, залежний від довжини шва, включає витрати часу на зачистку кромek, засипку флюсу, зачистку шва; при автоматичному зварюванні у нижньому положенні $t_{д.ш} = 0,1 \cdot T_{оп}$;

$K_{д.і}$ – коефіцієнт, залежний від зварюваного виробу, що враховує допоміжний час на пересування зварювальника з інструментом; $K_{д.і} = 1$;

$K_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує час на обслуговування робітника, час на відпочинок і підготовчо–завершальний час; $K_{заг} = 1,13$;

K_y – коефіцієнт, що враховує умови праці; $K_y = 1,06$.

$$t_{д.ш} = 0,1 T_{оп} = 0,1 \cdot 0,06 = 0,006 \text{ год.}$$

Штучно–калькуляційний час ($T_{ш.к.}$, н-год) дорівнює:

$$T_{ш.к.} = (0,06 + 0,006) \cdot 1,13 \cdot 1,06 = 0,08 \text{ н-год};$$

Загальна трудомісткість зварювання ($T_{зв}$, н-год) дорівнює:

$$T_{зв} = 0,08 \cdot 1 = 0,08 \text{ н-год.}$$

Витрати на заробітну плату при виконанні зварювання ($C_{з.ш.}$, грн.) визначаємо за формулою:

$$C_{з.ш.} = T_{зв} \cdot C_1, \quad (5.22)$$

де: C_1 –тарифна ставка зварювальника, грн/н–год; $C_1 = 100$ грн/н-год

$$C_{з.ш.} = 0,08 \cdot 100 = 8,00 \text{ грн.}$$

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Витрати на електроенергію($C_{\text{ел}}$, грн.) визначимо по формулі:

$$C_{\text{ел}} = \frac{S_{\text{шв}} \cdot L \cdot \gamma \cdot K_{\text{пот}} \cdot Q \cdot q_e}{1000}, \quad (5.23)$$

де: Q – питома втрата електроенергії джерела живлення ВДУ–1201К, кВт·год/кг; $Q = 21$ кВт/год;

q_e – вартість електроенергії, $q_e = 3,20$ грн./кВт · год.

$$C_{\text{ел}} = \frac{1,2 \cdot 100 \cdot 7,85 \cdot 1,05 \cdot 21 \cdot 3,20}{1000} = 66,47 \text{ грн}$$

Собівартість по проектованому варіанту зварювання ($C_{\text{тех}}$, грн.):

$$C_{\text{тех}} = 68,6 + 8,00 + 66,47 = 143,07 \text{ грн.}$$

Висновки: технологічна собівартість зварювання одного метру стикового з'єднання гофрованої переборки по проектованому та базовому варіанту технологічного процесу склала 143,07 та 212,50 грн. відповідно. Таким чином вона зменшилась на 32,7 %.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Існуючий технологічний процес складання та зварювання переборки має ряд суттєвих недоліків, на базі чого встановлена мета та завдання дипломного проектування.

В розділу 2 кваліфікаційної роботи були обрані способи зварювання, які використовуються при виготовленні переборки. Для обраних типів зварних з'єднань виконано розрахунок параметрів режиму зварювання.

Для зварювання пазу переборки використовуємо одностороннє механізоване зварювання в захисних газах зі зворотнім формуванням шву на гнучких підкладках. Для зварювання стику переборки використовуємо одностороннє автоматичне зварювання під флюсом на флюсомідних балках.

За результатами розрахунку термічного циклу встановлено, що твердість металу ЗТВ при зварюванні стику складає 256 HV, пазу – 291 HV. Таким чином утворення холодних тріщин не відбувається.

При розробці технологічного процесу виготовлення поперечних гофрованих переборок з використанням одностороннього автоматичного та механізованого зварювання із зворотнім формуванням шву було обрано необхідне зварювальне обладнання, зварювальні матеріали, методи контролю якості зварних з'єднань.

Для зварювання паза секції використовуємо суміш $Ar + CO_2$ та гнучкі підкладки зі скловолокна. Зварювання стиків переборки виконуємо за допомогою одностороннього автоматичного зварювання під флюсом на флюсомідних балках.

У розділі роботи «Охорона праці» проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори при зварюванні переборок та розроблені заходи по їх усуненню.

За результатами розрахунку захисного заземлення визначаємо, що загальний опір заземлюючого приладу складає 2,48 Ом, що задовольняє вимогам «Правил улаштування електроустановок» при напрузі менш 1000 В.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Технологічна собівартість зварювання одного метру стикового з'єднання гофрованої переборки по проектованому та базовому варіанту технологічного процесу склала 143,07 та 212,50 грн. відповідно. Таким чином вона зменшилась на 32,7 %.

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. ПЗ.	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел інформації

1. <https://forbes.ua/ru/company/osnova-suverenitetu-yaki-problemi-mae-sudnobudivna-galuz-ukraini-ta-chomu-vazhlivo-virishuvati-ikh-uzhe-zaraz-28082023-15582>
2. <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1092>.
3. <https://sea-man.org/sudovyue-pereborki.html>
4. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності.- К.: ДП «УкрНДНЦ». – 20 с.
5. Егоров, Г.В. Основы технологии сварки низколегированных высокопрочных сталей: учебное пособие [Текст] / Г.В. Егоров, Г.В. Ермолаев, В.Ф. Квасницкий и др.; под общ. ред. Г.В. Егорова – Николаев: НУК, 2014. – 136 с.
6. Драган, С.В. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра (для студентів за напрямом підготовки 6.050504 “Зварювання”, спеціальність “Технології та устаткування зварювання”) [Текст] / С.В. Драган, Г.В. Ермолаєв, Ж.Г. Голобородько та ін. // – Миколаїв: НУК, 2014. – 62 с.
7. <https://svarkakiev.com.ua/ua/p65657519-keraline-tf2.html>
8. <https://wtc.com.ua/ua/p1275833422-keramichni-pidkladki-backing.html>
9. Адлерштейн, Л.Ц. Механизация и автоматизация судостроительного производства: справочник [Текст] / Л.Ц. Адлерштейн, М.И. Клестов, Л.А. Нахамкин и др. – Л.: Судостроение, 1988. – 322 с.
10. Бугаєнко, Б.В. Технологічні процеси зварювального виробництва: методичні вказівки до виконання курсового проекту [Електронний аналог] / Б.В.Бугаєнко, В.Я.Сагань. – Миколаїв, НУК, 2010. – 52с.
11. <https://mg.biz.ua/komplektujushie-i-rashodnye-materialy/keramicheskie-podkladki>

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

12. Голобородько, Ж.Г. Основи технології дугового зварювання суднових конструкцій: навчальний посібник [Текст] / Ж.Г. Голобородько, С.В. Драган, В.В. Квасницький; під заг. ред. С.В. Драгана. – Миколаїв: НУК, 2013. – 380 с.
13. Костін, О.М. Зварювальні матеріали: навчальний посібник [Текст] / О.М. Костін. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
14. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
15. ГОСТ 14771–76. Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
16. ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
17. ГОСТ 5264 – 80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.
18. Расчеты в дипломных проектах по технологии и оборудованию сварочного производства: учебное пособие [Текст] / Под ред. В.Ф. Квасницкого. – Николаев: НКИ, 1991. – 89 с.
19. Спіхтаренко, В.В. Використання персонального комп'ютера в інженерних розрахунках: навчальний посібник [Текст] / В.В. Спіхтаренко. – Херсон: Олді-плюс, 2007. – 284 с.
20. Лебедєв, Ю.М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні: методичні вказівки до виконання курсової роботи. [Текст] / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.А. Лой. – Миколаїв: НУК, 2007.– 64 с.
21. <https://kzeso.com/catalog/electric-welding-equipment/>
22. <https://proizvodim.com/svarochnye-avtomaty-2.html>
23. [ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок.](#)
24. <https://studfile.net/preview/8349676/page:12/>

					ДП. 131. 2121ст. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

25. http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/book_212/9644.html
26. Щедролосєв, О.В. Методичні рекомендації до виконання розділу “Охорона праці” у бакалаврських випускних роботах (проектах) [Текст] / О.В. Щедролосєв, Г.В. Додонова, А.М. Мозговий, В.В. Савельєв. – Миколаїв: НУК, 2012. – 28 с.
27. <https://oppb.com.ua/articles/pozhezhna-bezpeka-na-pidpryyemstvi-u-pytanniah-i-vidpovidyah>
28. ДСТУ EN 175-2001. Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів.
29. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.92 р.; №2694//Ліга –Закон.
30. Жидецький, В.Ц. Основи охорони праці: підручник [Текст] / В.Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.
31. ДБН В.2.5.-28:2018 Природне і штучне освітлення. – Київ, 2018. – 137 с.
32. https://pidru4niki.com/92788/bzhd/osvitlennya_virobnichih_primi_schen
33. https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/rozrah_rozd_OP_DP_bak_spec_mag/90.html
34. Ремешевська І. В. Методичні вказівки з виконання розрахунку величини опору за- хисного заземлення електротехнічної установки / І. В. Ремешевська, О. Г. Грушина. – Миколаїв : НУК, 2016. – 43 с.