

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри

 С.В. Драган

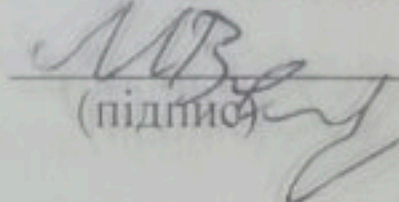
«24» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: «Виготовлення рами складально-зварювального
верстата зі сталі 09Г2С»

Виконав: студент групи 4121

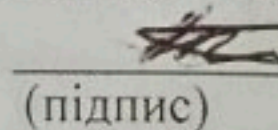

(підпис)

Михайлишин В.В.
(ПІБ)

Керівник роботи:

Ст. викладач, PhD,

(посада, науковий ступень, вчене звання)

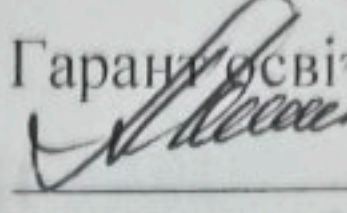

(підпис)

Бутурля Є.А.
(ПІБ)

Миколаїв, 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва
Спеціальність 131 Прикладна механіка
Освітня програма «Інжиніринг зварювання та споріднених процесів»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми

О.М. КОСТІН
« 22 » 06 2026 р.

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

Студенту МИХАЙЛИШИНУ Володимиру Володимировичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Виготовлення рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С»

Керівник роботи: Ст. викладач, PhD БУТУРЛЯ Є.А.

Затверджені наказом ректора № 277 від « 09 » 06 20 26 року

2. Термін подання роботи: 12.06. 2026 р.

3. Вихідні дані по роботі: 1. Робочі креслення зварного виробу. 2. Річна програма випуску – 100 шт.

4. **Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)**

1. Аналіз особливостей конструкції та можливих варіантів її виготовлення. 2. Аналіз структури і властивостей зварних з'єднань. 3. Технологічний процес складання та зварювання конструкції. 4. Охорона праці. 5. Розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт.

5. **Перелік презентаційних матеріалів**

1. Тема, мета та завдання проєкту. 2. Конструкція та умови її роботи. 3. Зварні шви конструкції. 4. Аналіз зварюваності сталі 09Г2С. 5. Обґрунтування вибору технології та матеріалів. 6. Розрахунок режимів зварювання. 7. Структура металу шва та термічні цикли. 8. Зварювальне обладнання. 9. Контроль якості та охорона праці. 10. Економічне обґрунтування технології. 11. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Бутурля Є.А., ст. викладач		
2	Бутурля Є.А., ст. викладач		
3	Бутурля Є.А., ст. викладач		
4	Бутурля Є.А., ст. викладач		
5	Бутурля Є.А., ст. викладач		

Дата видачі завдання 10.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Аналіз особливостей конструкції та можливих варіантів її виготовлення	24.02. 2026	
2	Аналіз структури і властивостей зварних з'єднань	20.03. 2026	
3	Технологічний процес складання та зварювання конструкції	15.04. 2026	
4	Охорона праці	25.04.2026	
5	Розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт	01.06. 2026	
6	Підготовка презентації та доповіді	10.06. 2026	

Студент М.В.М. МИХАЙЛИШИН В.В.
 (підпис) (ПІБ)
 Керівник роботи Є.А.Б. БУТУРЛЯ Є.А.
 (підпис) (ПІБ)

Анотація

У дипломному проекті розроблено технологічний процес складання та зварювання рами зі сталі 09Г2С. Як спосіб зварювання обрано механізоване зварювання в середовищі вуглекислого газу (CO₂). У роботі підібрано зварювальні матеріали, розраховано режими зварювання та детально описано технологічний процес.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, 5-ти розділів основної частини, висновків та списку використаної літератури.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технології складання та зварювання рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С.

Для вирішення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Вибрати раціональну послідовність зібрання та зварювання рами складально-зварювального верстата.
2. Вибрати спосіб зварювання та розрахувати режими зварювання.
2. Виконати дослідження структури і властивостей одержуваних зварних з'єднань.
3. Вибрати зварювальні матеріали й устаткування;
4. Розрахувати собівартість виконання зварювальних робіт.

Запропоновано заходи щодо захисту від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що супроводжують впровадження проектної технології.

Проведено розрахунок собівартість зварювання річної програми випуску у кількості 100 шт. Себіавртість складає 215281 грн.

Ключеві слова: рами складально-зварювального верстата, сталь 09Г2С, режими зварювання, термічний цикл зварювання, собівартість зварювання.

Abstract

The qualification thesis develops a technological process for the assembly and welding of a frame made of 09G2S steel. The chosen welding method is mechanized welding in a carbon dioxide (CO₂) atmosphere. The work selects welding consumables, calculates welding parameters, and provides a detailed description of the technological process.

The qualification thesis consists of an introduction, five main chapters, conclusions, and a list of references.

The aim of the qualification thesis is to develop an assembly and welding technology for a frame of an assembly-welding jig made of 09G2S steel.

To achieve this aim, the following tasks must be solved:

- Select a rational sequence for the assembly and welding of the frame of the assembly-welding jig.
- Select the welding method and calculate the welding parameters.
- Investigate the structure and properties of the resulting welded joints.
- Select welding consumables and equipment.
- Calculate the cost of the welding operations.

Measures for protection against hazardous and harmful production factors accompanying the implementation of the proposed technology have been proposed.

The cost of welding for an annual production program of 100 units has been calculated. The cost amounts to 215,281 UAH.

Keywords: frame of assembly-welding jig, 09G2S steel, welding parameters, thermal cycle of welding, welding cost.

					131.4121.05.05.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата										
Студент		Михайлишин В.В.			Зміст				Лит		Лист		Листів	
Керівник		Бутурля Є.А.									2		3	
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед		Драган С.В.												

ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ	
1.1. Загальна характеристика рами складально-зварювального верстата .	
1.2. Аналіз матеріалу зварної конструкції	
1.2.1. Зварюваність сталі 09Г2С	
1.3. Технологічні особливості виготовлення рамних конструкцій	
Висновки та завдання дипломного проекту	
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ	
2.1. Характеристика зварних з'єднань; типи та розміри зварних з'єднань.	
2.2. Обґрунтування способу зварювання	
2.3. Розрахунок режимів зварювання	
2.4. Розрахунок термічного циклу зварювання та визначення очікуваної структури зварних з'єднань	
2.5. Аналіз отриманої структури	
Висновки	
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ	
3.1. Технологічний процес складання та зварювання рами складально- зварювального верстата	
3.2. Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	
3.3. Обґрунтування вибору зварювального обладнання	
3.4. Контроль якості зварювання	
Висновки	

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....

4.2. Вимоги безпеки праці

4.3. Розрахунок системи вентиляції.

Висновки

**РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИКОНАННЯ
ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ**

Висновки

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

					131.4121.05.05.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		4

					131.4121.05.05.ПЗ			
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Студент		Михайлишин В.В.			ВСТУП			
Керівник		Бутурля Є.А.						
Консульт								
Зав. кафедр		Драган С.В.						
					Лит	Лист	Листів	
						1	2	
					НУК ім. Адм. Макарова			

ВСТУП

Зварювальне виробництво наразі відіграє провідну роль у царині створення металоконструкцій. Якість і безвідмовність зварних швів у відповідальних секторах промисловості – енергетиці, нафтогазовому комплексі, гірничій справі, хімічній індустрії та машинобудуванні – безпосередньо визначають рівень безпеки та рентабельності підприємств. Значна матеріалоємність виробів зумовлює потребу у впровадженні високонадійних та максимально продуктивних методів зварювання.

Еволюція зварювальних технік і технологій має відбуватися синхронно з удосконаленням економічних механізмів та організаційної структури виробництва. Саме тому постає нагальна необхідність у ґрунтовній підготовці управлінських кадрів для зварювальної галузі. Фахівці-зварювальники мусять володіти не лише технічними навичками, а й глибокими компетенціями в питаннях економіки, менеджменту та планування виробничих процесів.

У фокусі даного дослідження перебуває технологічний процес складання та зварювання рами складально-зварювального верстата.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технології складання та зварювання рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С.

					131.4121.05.05.ПЗ	Лист
						6
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.01.ПЗ							
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата								
Студент		Михайлишин В.В.			Аналіз особливостей конструкції та можливих варіантів її виготовлення				Лит	Лист	Листів	
Керівник		Бутурля Є.А.									1	
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова			
Зав.кафед		Драган С.В.										

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЇ ТА МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ ЇЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

1.1. Загальна характеристика рами складально-зварювального верстата

Рама (станина, портал) є базовим несучим елементом, що забезпечує точність взаємного розташування складальних одиниць і стабільність процесу. Її основне призначення — сприймати статичні та динамічні навантаження, а також компенсувати температурні деформації.

Жорсткість рами безпосередньо впливає на точність позиціонування. Недостатня жорсткість призводить до спотворення форми виробу під дією сил затиску та зварювальних напружень. Вібростійкість є критичним параметром, оскільки вібрації під час зварювання погіршують якість шва, а в разі резонансу з частотою роботи обладнання можуть зруйнувати конструкцію. Для забезпечення вібростійкості проводять модальний аналіз, уникаючи збігу власних частот рами з робочими частотами. На практиці інколи застосовують емпіричне правило: "глухий" звук при ударі по конструкції свідчить про її високу демпфувальну здатність [1].

Загальний вигляд рами складально-зварювального верстата наведено на рис. 1.1. Раму виконано зі сталі марки 09Г2С. Габаритні розміри конструкції становлять: довжина — 2480 мм, ширина — 1800 мм.

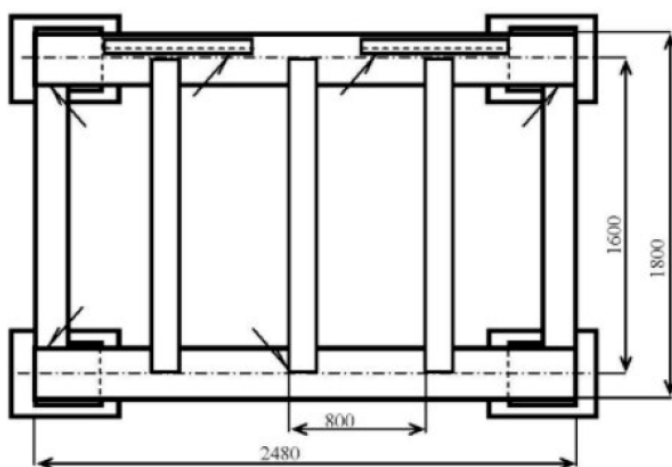


Рис.1.1. Рама складально-зварювального верстата

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

За характером діючих навантажень рама сприймає як статичні, так і динамічні зусилля. Вплив агресивних середовищ відсутній. До конструкції висуваються вимоги збереження необхідної міцності та пластичності; зварні шви повинні бути рівноміцними з основним металом. Конструкція складається з профільних труб, швелерів та листових елементів (пластин).

1.2. Аналіз матеріалу зварної конструкції

Усі деталі зварної рами виготовляють із низьколегованої конструкційної сталі 09Г2С.

09Г2С – це низьколегована конструкційна сталь, спеціально призначена для виготовлення зварних металоконструкцій. Вона належить до кремнемарганцовистих сталей. Загальний вміст легуючих елементів не перевищує 2,5%, що й визначає її як низьколеговану. У будівництві ця сталь відповідає марці С345 [2].

Хімічний складу сталі 09Г2С приведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад в % сталі 09Г2С згідно ДСТУ 8541:2015 [2]

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
0.12	1.3- 1.7	0.5- 0.8	до 0.3	до 0.3	до 0.3	до 0.04	до 0.035

Вміст шкідливих домішок, таких як сірка (S) та фосфор (P), суворо обмежений (не більше 0.040% та 0.035% відповідно).

Сталь характеризується поєднанням високої міцності та хорошої пластичності. Однією з її найважливіших технологічних переваг є відмінна зварюваність.

Механічні властивості сталі 09Г2С приведено в табл. 1.2.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 09Г2С у відповідності до ДСТУ 8541:2015 [2]

Клас міцності	Товщина листового прокату продукції, мм	Зріз сортового прокату, мм	Межа текучості, Н/мм ²	Тимчасовий спротив, Н/мм ² , не менше	Відносне видовження при розриві, %, не менше
265	20-160	20-100	265	430	21
295	20-32	20-32	295	430	21
325	10-20	≤20	325	450	21
345	≤10	≤10	345	480	21

1.2.1. Зварюваність сталі 09Г2С

Зварюваність — це комплексна технологічна характеристика сталі, яка відображає її придатність до зварювання та надійність майбутньої зварної конструкції [3].

До основних показників зварюваності належать умови та можливість отримання надійних з'єднань без дефектів. Легуючі елементи суттєво впливають на кристалічну ґратку: що більша різниця діаметрів атомів елемента, який розчиняє, та елемента, який розчиняється, то більшим є викривлення ґратки. У процесі легування відбувається зміцнення сталі, підвищення її твердості, а також зміна інших фізико-хімічних властивостей. Розглянемо вплив легуючих елементів і домішок на зварюваність сталі 09Г2С [3].

Вуглець підвищує міцність, але знижує пластичність і в'язкість легованої сталі. Він також негативно впливає на зварюваність, оскільки збільшує чутливість до перегріву та загартовуваність. У низьколегованих сталях цей негативний вплив є незначним, оскільки вміст вуглецю не перевищує 0,25% [3].

Хром підвищує сприйнятливність сталі до гартування (особливо за збільшеного вмісту вуглецю), нейтралізує негативний вплив фосфору на ударну в'язкість і зменшує холодноламкість; за вмісту $\leq 0,90\%$ істотно не впливає на зварюваність. Марганець підвищує міцність, майже не знижуючи пластичності, та за концентрації до 1,5% мало позначається на зварюваності. Нікель (до 0,3%) дещо зміцнює сталь, позитивно впливає на пластичність і в'язкість, підвищує опір крихкому руйнуванню й практично не погіршує зварюваність [3].

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення корозійної стійкості до деяких сталей додають мідь (до 0,5%). Ця кількість істотно не впливає на зварюваність сталі.

Сірка та фосфор належать до особливо шкідливих домішок. Зі збільшенням вмісту вуглецю вздовж меж зерен утворюється легкоплавка евтектика Fe-FeS (температура плавлення 985 °C), а фосфор, розчиняючись у фериті, спричиняє різке зниження його пластичності. Зазначені чинники підвищують схильність металу шва до гарячого розтріскування, тобто негативно впливають на зварюваність. Азот також є шкідливою домішкою: він призводить до утворення пор, спричиняє старіння та синьоламкість сталі [3].

Зварюваність сталі оцінюємо за допомогою розрахункових методик. Визначаємо схильність металу шва до гарячого розтріскування для найбільш несприятливих сполучень легуючих елементів і домішок.

$$HCS = \frac{C(S + P + 0.04Si + 0.01Ni)}{3Mn + Cr + Mo + V} = \frac{0,12(0,04 + 0,04 + 0,04 * 0,37 + 0,01 * 0,3)}{3 * 1,4 + 0,3} = 0,0025$$

Розрахункове значення показника HCS становить 0,0025, що нижче за допустиму межу 0,004. Це свідчить про відсутність схильності металу шва до гарячих тріщин. Наступним етапом оцінюємо схильність основного металу до утворення холодних тріщин за максимального вмісту легуючих елементів та домішок:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \%$$

$$C_{екв} = 0,12 + 1,5/6 + 0,3/5 + 0,3/15 = 0,12 + 0,25 + 0,06 + 0,02 = 0,45 \%$$

Оскільки $C_{екв}$ виявився рівним 0,45%, то попередній підігрів для даної марки сталі не потрібен.

Сталь відноситься до до 1-ї групи зварюваності (добре зварювана). Як правило, її можна зварювати без попереднього підігріву (за винятком випадків роботи з товстим металом при низьких температурах, коли може знадобитися підігрів до 100-160 °C).

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Технологічні особливості виготовлення рамних конструкцій

Рама являє собою об'ємну просторову несучу конструкцію, що забезпечує об'єднання деталей і вузлів у складі агрегату, машини чи верстата. Виходячи з її призначення та умов роботи, формуються основні рекомендації до технологічного процесу виготовлення зварних рам, які детально проаналізовано далі.

Однією з головних вимог до рам є жорсткість конструкції. Саме тому зварні рами часто виконують із балками Н-подібного та коробчастого перерізу, підсиленими в багатьох місцях ребрами жорсткості. Характерною особливістю таких конструкцій є велика кількість відносно коротких швів, розташованих у різних просторових положеннях. Це зумовлює такі технологічні рекомендації:

- для з'єднання деталей доцільно застосовувати напіваавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу або газових сумішей, а за значної віддаленості швів один від одного – ручне дугове зварювання покритими електродами;

- значні габарити рам по ширині вимагають спеціальних заходів для полегшення доступу до місць зварювання. Для цього використовують: кантувачі з підйомними центрами, які під час кантування піднімають раму, забезпечуючи її поворот, а при зварюванні опускають, відкриваючи доступ до швів; пересувні підйомні майданчики для зварників, що дають змогу підняти виконавця на потрібну висоту; або розташування позиціонера в спеціальному заглибленні, завдяки чому зварювання виконується на рівні підлоги, а кантування – у приямку.

Висока точність взаємного розташування окремих вузлів і деталей рами є обов'язковою вимогою, оскільки на рамі монтуються різні механізми. Найпростішим технологічним прийомом забезпечення цієї точності є призначення механічної обробки після зварювання готового виробу. Однак для великогабаритних рам така рекомендація часто виявляється нездійсненною через розташування окремих деталей у важкодоступних для обробки місцях. Крім того, механічна обробка виключно після зварювання потребує збільшених припусків, що підвищує трудомісткість виготовлення. Натомість остаточна механічна

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

обробка до зварювання істотно знижує трудомісткість складання, але водночас висуває жорсткіші вимоги до точності позиціонування деталей під час складальних операцій.

Оскільки при зварюванні складних рам неможливо врахувати всі залишкові деформації, механічна обробка готового виробу є неминучою. З огляду на це, найбільш раціональним визнано прийом, що поєднує попередню механічну обробку заготовок із мінімальним припуском (для точного фіксування при складанні) та остаточну обробку після зварювання. Особливі труднощі характерні для рам із запресованими втулками й корпусами підшипників.

Взаємна фіксація втулок і корпусів підшипників при складанні та зварюванні ускладнюється через можливий перекіс осей, спричинений зварювальними деформаціями, що своєю чергою призводить до заклинювання фіксувальних пристроїв. Для усунення цієї проблеми доцільно використовувати фіксатори з розсувними кулачками.

Висока жорсткість і насиченість зварними швами, характерні для рам, зумовлюють значні залишкові напруження. Їх подальший перерозподіл унаслідок обробки різанням або експлуатаційних навантажень призводить до деформацій і відхилень міжосьових розмірів. Для низьколегованих сталей додатковим чинником виступає розпад аустеніту. Тому для стабілізації геометрії рами перед механічною обробкою доцільно застосовувати високий відпуск, а після зварювання — вібраційну обробку. Остання реалізується шляхом встановлення на закріплену раму дебалансного вібратора, який генерує коливання близькорезонансної частоти (регулювання частоти забезпечує двигун постійного струму). Секції з різними резонансними характеристиками обробляють по чергово. Релаксація залишкових напружень тим інтенсивніша, чим вища амплітуда коливань, однак слід уникати надмірних амплітуд і тривалості — вони загрожують втомними пошкодженнями конструкції.

Визначення раціональної черговості складально-зварювальних операцій є ключовим етапом проектування технології. Попереднє повне складання виправдане хіба що для малих і простих рам; загалом ж ефективнішим є

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

повузлове складання з наступним монтажем укрупнених вузлів. Це спрощує оснащення, полегшує доступ до швів, дозволяє комбінувати зварювання з механічною обробкою та компенсувати деформації окремих вузлів на фінальному етапі складання.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки та завдання дипломного проекту

На підставі аналізу технології складання та зварювання, а також дослідження конструктивних особливостей рами складально-зварювального верстата, сформульовано такі висновки:

1. Рама складально-зварювального верстата є базовою несучою конструкцією, що забезпечує точність взаємного розташування вузлів та стабільність роботи верстата. До неї висуваються високі вимоги щодо жорсткості, вібростійкості, міцності та стабільності геометричних розмірів у процесі експлуатації.

2. Габаритні розміри рами (2480×1800 мм) та її конструктивне виконання з профільних труб, швелерів і листових елементів зумовлюють значну насиченість зварними швами, розташованими в різних просторових положеннях, що потребує раціонального вибору способів зварювання та складально-зварювального оснащення.

3. Основним матеріалом для виготовлення рами обрано низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С, яка характеризується відмінною зварюваністю, високою міцністю, хорошою пластичністю та не потребує попереднього підігріву за звичайних умов. Розрахункове значення показника НС ($0,0025 < 0,004$) підтверджує відсутність схильності металу шва до гарячих тріщин, а еквівалент вуглецю ($C_{\text{екв}} = 0,45\%$) не перевищує допустимих меж.

5. Розглянуто технологічні особливості виготовлення рамних конструкцій. Конструктивні особливості рами (велика кількість коротких швів, важкодоступні місця, розташування втулок і корпусів підшипників) обґрунтовують доцільність повузлового складання з подальшим загальним монтажем, що спрощує оснащення, полегшує доступ до місць зварювання та дає змогу компенсувати зварювальні деформації.

6. Забезпечення високої точності взаємного розташування деталей рами потребує поєднання попередньої механічної обробки заготовок із мінімальними припусками та остаточної механічної обробки після зварювання, а також

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування спеціальних фіксаторів (зокрема, із розсувними кулачками) для запобігання перекосам осей.

На основі проведеного аналізу рами складально-зварювального верстата поставлена мета кваліфікаційній роботи: – розробка технології складання та зварювання рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С.

Для вирішення даної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Вибрати раціональну послідовність зібрання та зварювання рами складально-зварювального верстата.
2. Вибрати спосіб зварювання та розрахувати режими зварювання.
2. Виконати дослідження структури і властивостей одержуваних зварних з'єднань.
3. Вибрати зварювальні матеріали й устаткування;
4. Розрахувати собівартість виконання зварювальних робіт.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.02.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата	Аналіз структури і властивостей зварних з'єднань					Лит	Лист	Листів		
Студент	Михайлишин В.В.												1	
Керівник	Бутурля Є.А.													
Консульт														
Зав.кафед	Драган С.В.													
										НУК ім. Адм. Макарова				

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

2.1. Характеристика зварних з'єднань; типи та розміри зварних з'єднань

Аналіз зварних з'єднань рама складально-зварювального верстата виконується при аналізі складального креслення зварної конструкції рис. 2.1.

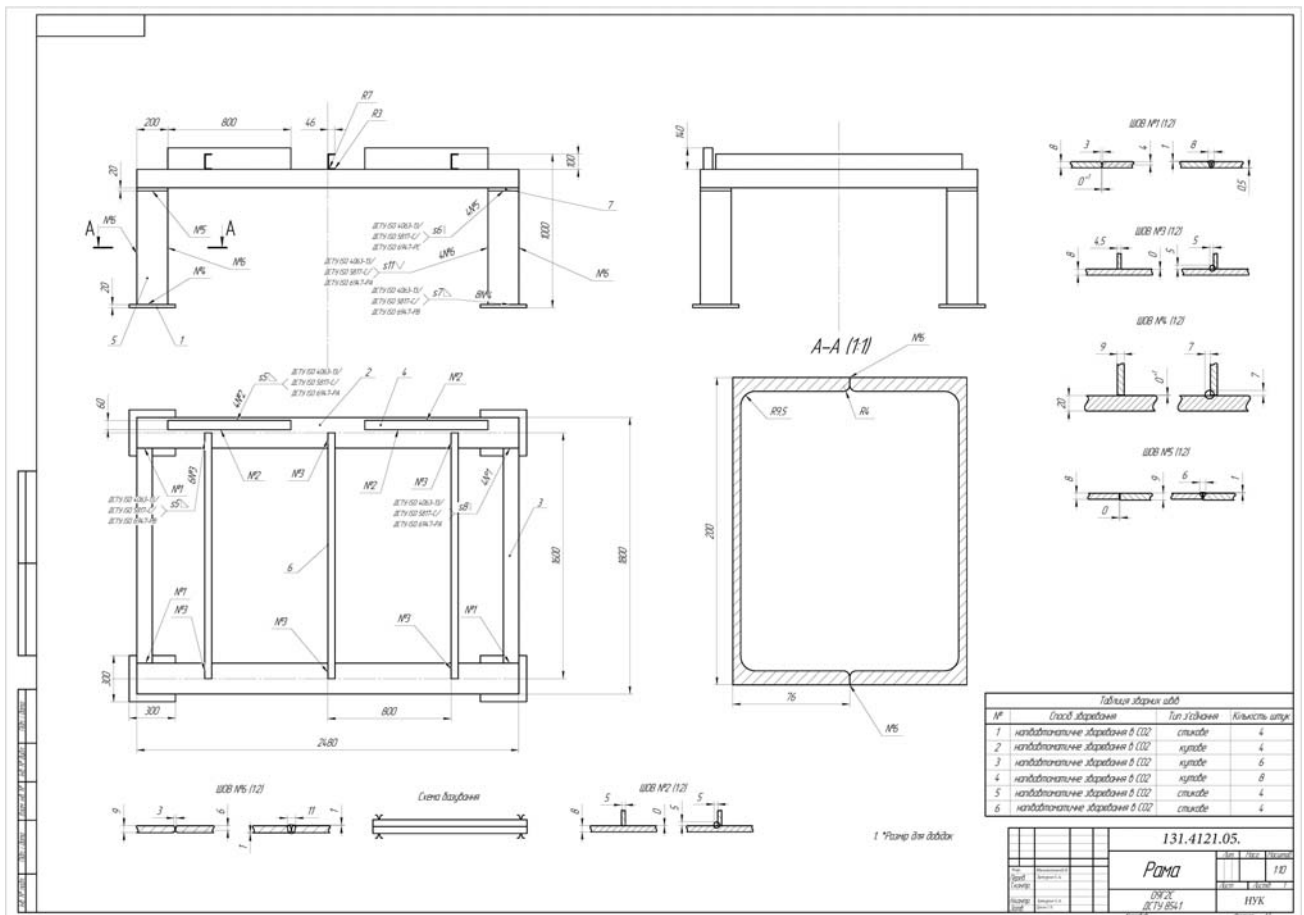


Рис. 2.1. Складального креслення рами

Зварний виріб має 6 типів зварних з'єднань:

№1 - стикове з'єднання двох профільних труб. Дане з'єднання виконується в кількості 4 од. Довжина кожного з'єднання складає 0,1 м;

№2 – кутове з'єднання двох профільних труб. Виконується 4 з'єднання даного типу, довжиною по 0,8 м. кожне;

№3- кутове з'єднання швелера з профільною трубою довжиною 0,1 м. Це з'єднання виконується в кількості 6 од;

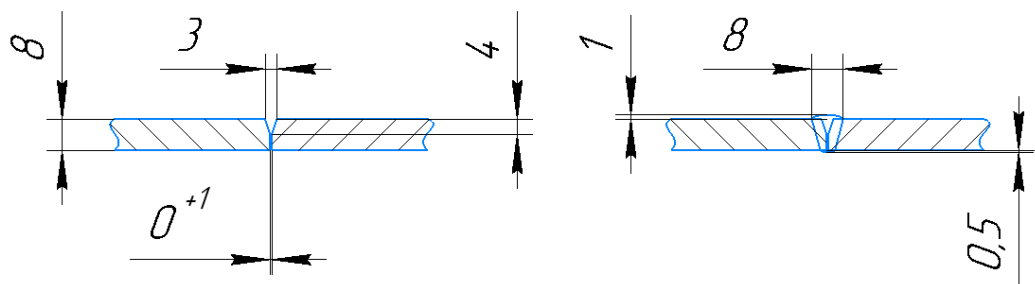
№4 – кутове з'єднання ніжки рами з пластиною. Ніжка являє собою 2 зварені швелери. Довжина шва 0,2 м і кількість 8 од;

№5 – стикове з'єднання профільної труби і ніжки деталі довжиною 0,2 м і загальною кількістю 4 од;

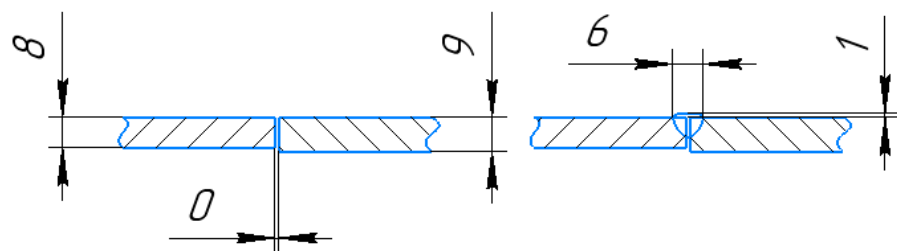
№6 – стикове з'єднання двох швелерів завдовжки 0,74 м і кількості 4 од.

Для з'єднань №1, №5 та №6, керуючись ДСТУ EN ISO 9692-1:2014, застосовуємо стикове однобічне зварювання (рис.2.2.) [4].

ШОВ №1 (1:2)



ШОВ №5 (1:2)



ШОВ №6 (1:2)

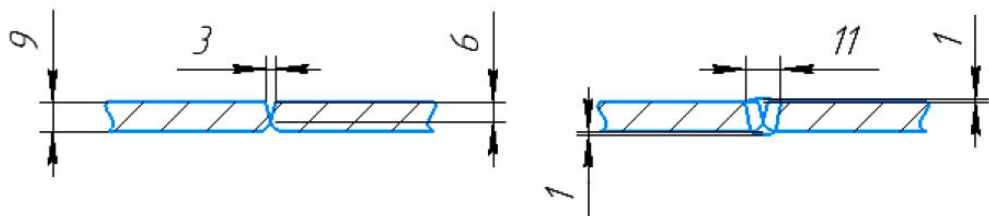


Рис.2.2. Геометричні розміри підготовки кромки для зварювальних швів
№1,5,6

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для з'єднань №2, №3 та №4, керуючись ДСТУ EN ISO 9692-1:2014, застосовуємо таврове однобічне зварювання (рис.2.3) [4].

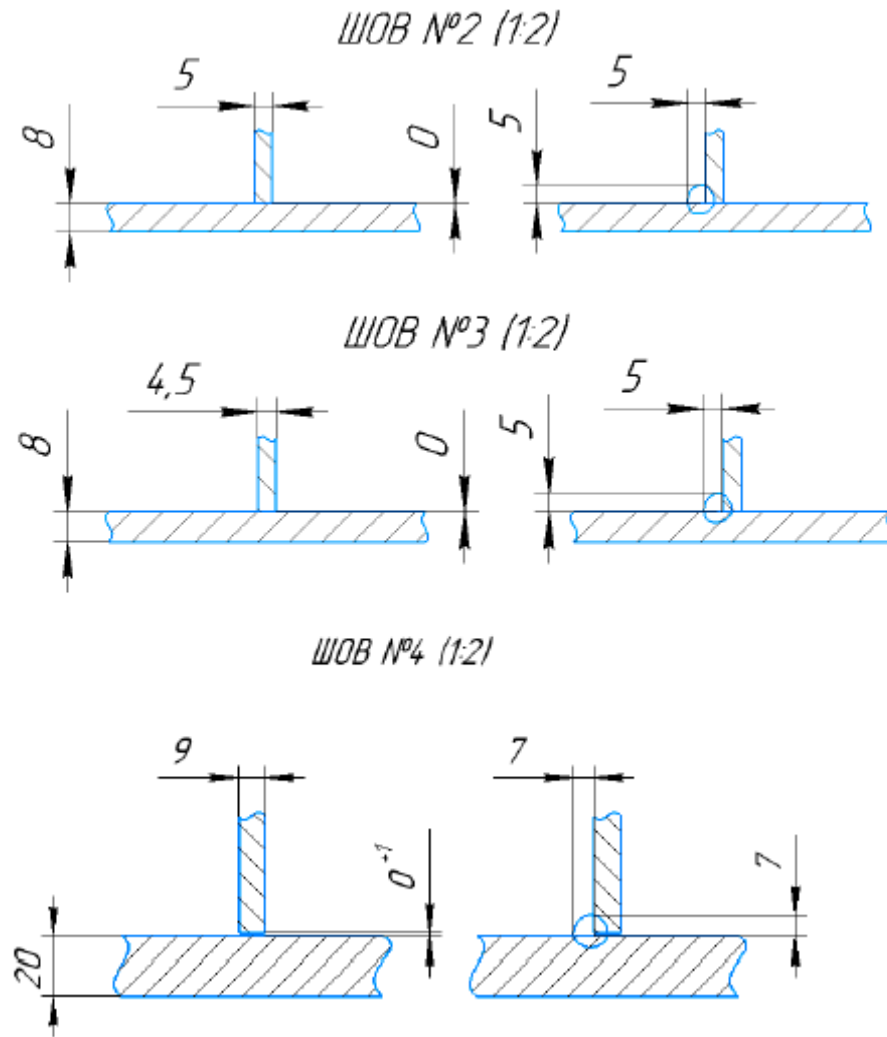


Рис.2.3. Геометричні розміри підготовки кромки для зварювальних швів №2,3,4

2.2 Обґрунтування способу зварювання

Оскільки сталь 09Г2С не містить легуючих елементів Ti, Al та інших високоактивних хімічних елементів, із подальшого розгляду вилучаються способи дугового зварювання плавким (ПП) і неплавким (ПН) електродом у дорогих інертних газах. Також ця сталь не належить до тугоплавких матеріалів, тому відпадає потреба у способах зварювання з дорогим обладнанням і високою густиною енергії — плазмовому (П), електронно-променевому (ЕП) та лазерному (Л). Таким чином, для подальшого аналізу залишаються: ручне дугове

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювання (Е), у вуглекислому газі (УП), під флюсом (Ф), електрошлакове (Ш), газове (Г) та зварювання неплавким електродом в активних газах (АН) [5].

Проаналізуємо можливість застосування цих способів для зварювання сталі товщиною 9 мм. Вочевидь, недоцільно використовувати низькопродуктивне газове зварювання (Г) — багатопрохідний процес із присадним дротом — та малоефективне зварювання неплавким електродом в активних газах (АН). З решти методів електрошлакове зварювання (Ш) та автоматичне під флюсом (Ф) дозволяють з'єднувати метал завтовшки 9 мм за один прохід. Зварювання в середовищі вуглекислого газу (УП) і ручне дугове зварювання (Е) виконуються за два проходи. Оцінка кількості проходів дає уявлення про продуктивність технології: чим менше проходів, тим вона вища [5].

Оскільки довжина зварювальних швів не перевищує 0,8 м а товщина стикових з'єднань 9 мм. при річному випуску продукції 100 ед. доцільніше використовувати механізоване зварювання у CO_2 .

2.3. Розрахунок режимів зварювання

Розрахунок режимів зварювання для швів №1,5,6 виконується за методикою розрахунку за глибиною проплавлення [6].

Рекомендована схема розрахунку:

$$s \rightarrow h \rightarrow I_{\text{зв}} \rightarrow U_{\text{д}} \rightarrow d_{\text{с}} \rightarrow F_{\text{н}} \rightarrow V_{\text{зв}} \rightarrow V_{\text{др.}}$$

Необхідна глибина провару h (зазвичай визначається товщиною t), яку можна розрахувати за формулою:

$$h = 0,5s \pm (1 \dots 3), \text{ мм.}$$

$$h = 0,5 \cdot 8 - 1 = 3 \text{ мм. — шов №1.}$$

$$h = 0,5 \cdot 9 - 1 = 4 \text{ мм. — шов №5.}$$

$$h = 0,5 \cdot 9 + 1,5 = 6 \text{ мм. — шов №6.}$$

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Зварювальний струм:

$$I_{зв} = \frac{100h}{\kappa_1},$$

де $\kappa_1 = 1,75$ – при зварюванні у вуглекислому газі електродом діаметром 1,6 мм.

$$I_{зв} = 100 \cdot 3 / 1,75 = 170 \text{ А} - \text{шов №1.}$$

$$I_{зв} = 100 \cdot 4 / 1,75 = 230 \text{ А} - \text{шов №5.}$$

$$I_{зв} = 100 \cdot 6 / 1,75 = 340 \text{ А} - \text{шов №6.}$$

Діаметр зварювального дроту:

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{I_{зв}}{\pi \cdot j}},$$

де j – густина струму, яка залежить від діаметра.

$$d_e = 2 \cdot \text{КОРЕНЬ}(170 / (3,14 \cdot 140)) = 1,2 \text{ мм} - \text{шов №1.}$$

$$d_e = 2 \cdot \text{КОРЕНЬ}(230 / (3,14 \cdot 140)) = 1,4 \text{ мм} - \text{шов №5.}$$

$$d_e = 2 \cdot \text{КОРЕНЬ}(340 / (3,14 \cdot 160)) = 1,6 \text{ мм} - \text{шов №6.}$$

Напруга на дузі

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0,5}} I_{зв} \pm 1, \text{ В,}$$

$$U_d = 20 + (0,05 / 1,095) \cdot 170 = 28 \text{ В} - \text{шов №1.}$$

$$U_d = 20 + (0,05 / 1,18) \cdot 230 = 30 \text{ В} - \text{шов №5.}$$

$$U_d = 20 + (0,05 / 1,26) \cdot 340 = 34 \text{ В} - \text{шов №6.}$$

Для механізованого зварювання $F_i = 30 \dots 70 \text{ мм}^2$. Прийmemo $F_i = 30 \text{ мм}^2$.

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{\gamma \cdot F_i}, \text{ м/год.}, \parallel$$

Розрахунок швидкості зварювання виконуємо за формулою:

де α_n коефіцієнт наплавлення. Для зварювання у вуглекислому газі дротом суцільного перерізу $\alpha_n = 19 \text{ г/А} \cdot \text{год}$. Густина металу електродного дроту, для сталі $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$V_{зв} = (19 \cdot 170) / (7,8 \cdot 30) = 13,8 \text{ м/год} = 0,38 \text{ см/с} - \text{шов №1.}$$

$$V_{зв} = (19 \cdot 230) / (7,8 \cdot 30) = 18,7 \text{ м/год} = 0,52 \text{ см/с} - \text{шов №5.}$$

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{зв} = (19 \cdot 340) / (7,8 \cdot 30) = 27,6 \text{ м/год} = 0,77 \text{ см/с} - \text{шов №6.}$$

Погонна енергія:

$$q_n = \frac{I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta}{V_{зв}}, \text{ Дж/см, [1]}$$

де η – ефективний ККД процесу нагріву (для механізованого зварювання у захисних газах $\eta = 0,7 \dots 0,75$).

$$q_n = (170 \cdot 28 \cdot 0,75) / 0,38 = 9395 \text{ Дж/см. шов №1.}$$

$$q_n = (230 \cdot 30 \cdot 0,75) / 0,52 = 9952 \text{ Дж/см. шов №5.}$$

$$q_n = (340 \cdot 34 \cdot 0,75) / 0,77 = 11260 \text{ Дж/см. шов №6.}$$

Розрахунок режимів зварювання для швів № 2,3,4 виконується за методикою розрахунку за площею [6].

Знаючи катет шва, визначають площу поперечного перерізу наплавленого металу за формулою:

$$F_n = \frac{k^2}{2} = \frac{6^2}{2} = 18 \text{ мм}^2,$$

де, k – катет кутового шва.

$$\text{Для } k = 5 \text{ мм } F_n = 12,5 \text{ мм}^2 \text{ шов №2,3.}$$

$$\text{Для } k = 7 \text{ мм } F_n = 24,5 \text{ мм}^2 \text{ шов №4.}$$

Силу зварювального струму $I_{зв}$ розрахуємо за формулою:

$$I_{зв} = (\pi d_e^2 / 4) \cdot j$$

де j – допустима густина струму, вибирається у залежності від діаметра електродного дроту d_e . Для механізованого зварювання даних товщин $d_e = 1,2 \text{ мм}$. Приймаймо $j = 160 \text{ А/мм}^2$ [6].

$$I_{зв} = (3,14 \cdot 1,2^2 / 4) \cdot 160 = 180,9 \text{ А}$$

приймаймо $I_{зв} = 180 \text{ А}$.

Визначаємо оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \left(50 \cdot \frac{10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \right) \cdot I_{зв} \pm 1 \text{ В, В}$$

$$U_d = 20 + (50 \cdot (10^{-3} / 1,095)) \cdot 180 = 28 \text{ В.}$$

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок швидкості зварювання виконуємо за формулою:

$$V_{ze} = \frac{\alpha_n \cdot I_{ze}}{\gamma \cdot F_i}, \text{ м/год.},$$

де α_n коефіцієнт наплавлення. Для зварювання у вуглекислому газі дротом суцільного перерізу $\alpha_n = 19 \text{ г/А} \cdot \text{год}$. Густина металу електродного дроту, для сталі $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

$$V_{ze} = (19 \cdot 180) / (7,8 \cdot 12,5) = 35 \text{ м/год} = 0,97 \text{ см/с шов №2,3.}$$

$$V_{ze} = (19 \cdot 180) / (7,8 \cdot 24,5) = 18 \text{ м/год} = 0,27 \text{ см/с шов №4.}$$

Погонна енергія:

$$q_n = \frac{I_{ze} \cdot U_d \cdot \eta}{V_{ze}}, \text{ Дж/см},$$

де η – ефективний ККД процесу нагріву (для механізованого зварювання у захисних газах $\eta = 0,7 \dots 0,75$).

$$q_n = (180 \cdot 28 \cdot 0,75) / 0,97 = 3897 \text{ Дж/см. шов №2,3.}$$

$$q_n = (180 \cdot 28 \cdot 0,75) / 0,27 = 14000 \text{ Дж/см. шов №4.}$$

У табл.2.1. наведено розрахункові режими зварювання.

Таблиця 2.1 – Розрахункові режими зварювання

Тип з'єднання	Катет кутового шва, мм	$F_n, \text{ мм}^2$	$d_e, \text{ мм}$	$I_{ze}, \text{ А}$	$U_d, \text{ В}$	$V_{ze}, \text{ см/с}$	$q_n, \text{ Дж/см}$
Шов №1	-	-	1,2	170	28	0,38	9395
Шов №2	5	12,5	1,2	180	28	0,97	3897
Шов №3	5	12,5	1,2	180	28	0,97	3897
Шов №4	7	24,5	1,2	180	28	0,27	14000
Шов №5	-	-	1,4	230	30	0,52	9952
Шов №6	-	-	1,6	340	34	0,77	11260

2.4 Розрахунок термічного циклу зварювання та визначення очікуваної структури зварних з'єднань

Розрахункова схема термічних циклів залежить від геометрії шва та глибини проплавлення. Для стикових з'єднань з наскрізним проплавленням виріб розглядають як нескінченну пластину. Для кутових швів, наплавлення та неповного проплавлення — як масивне тіло. Оскільки в даній конструкції присутні таврові з'єднання та з'єднання в напусток (кутові шви), то розрахунок виконується за схемою масивного тіла, з використанням формул для швидко рухомого потужного джерела теплоти [6,7].

Для масивного тіла:

$$T(r_0, t) = \frac{q}{2 * \pi * \lambda * \nu * t} * e^{\frac{-r_0^2}{4at}} + T_0 ,$$

де t – час, що відраховується з того моменту, коли джерело перетинає площину, в якій знаходиться точка, що розглядається і має координати y_0, z_0 ; $r_0 = \sqrt{y_0^2 + z_0^2}$ – відстань в площині, що розглядається від обраної точки до вісі переміщення джерела;

q – ефективна теплова потужність дуги;

T_0 – температура підігріву = 0;

$a = \lambda / c\gamma$ – коефіцієнт температуропровідності = 0,08 см³/з;

λ – коефіцієнт теплопровідності, що для низьковуглецевих і низьколегованих сталей дорівнює:

$\lambda = 0,38 - 0,42$ Дж/(см*с*К);

$c\gamma$ – об'ємна теплоємність, $c\gamma = 4,9 - 5,2$ Дж/(см³*К);

Знайдемо ефективну теплову потужність дуги для з'єднання шов 3,6:

$$q = I_{зв} * U_d * \eta = 180 * 28 * 0,75 = 3780 \text{ Дж/с шов № 3};$$

$$q = I_{зв} * U_d * \eta = 340 * 34 * 0,75 = 8670 \text{ Дж/с шов № 6}.$$

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,736q}{\pi c \gamma \nu_H T_M}} = \sqrt{\frac{0,736 \cdot 3780}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,97 \cdot 1350}} = 0,37 \text{ см (шов № 3);}$$

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,736q}{\pi c \gamma \nu_H T_M}} = \sqrt{\frac{0,736 \cdot 8670}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 1350}} = 0,62 \text{ см (шов № 6).}$$

Розрахунок зміни температури в часі в точці $r_0 = 0,37$ см для з'єднання шов № 3 наведено у табл. 2.2.

Розрахунок зміни температури в часі в точці $r_0 = 0,62$ см для з'єднання шов № 6 наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.2 – Зміна температури в часі в точці $r_0 = 0,37$ см

$t, \text{с}$	$T, ^\circ\text{C}$
1	2379,562
1,2	1846,502
1,4	1504,126
1,6	1266,786
1,8	1093,071
2	960,6579
2,2	856,5067
2,4	772,5106
2,6	703,3756
2,8	645,5031
3	596,3639
4	431,6081
5	337,979
6	277,6613
7	235,5834
8	204,5667
9	180,7599
10	161,9124

Таблиця 2.3 – Зміна температури в часі в точці $r_0 = 0,62$ см

$t, \text{с}$	$T, ^\circ\text{C}$
1	14900,64
2	4086,268
3	2229,904
4	1513,118
5	1139,929
6	912,6555
7	760,219
8	651,0746
9	569,1575
10	505,4502
11	454,5095
12	412,8594
13	378,1777
14	348,8548
15	323,7406
16	301,9915
17	282,9748
18	266,2069

Розрахунок температури A_{C3} для сталі 09Г2С:

$$\begin{aligned}
 A_{C3} &= 910 - 230C + 32Si - 25Mn - 8Cr - 18Ni + 2Mo = \\
 &= 910 - 230 \cdot 0,12 + 32 \cdot 0,65 - 25 \cdot 1,5 - 8 \cdot 0,3 - 18 \cdot 0,3 = \\
 &= 910 - 27,6 + 20,8 - 37,5 - 2,4 - 5,4 = 858 ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Графіки залежності $T=f(t)$ зварного термічного циклу наведений на рис.2.4.

Діаграма термодинамічного перетворення аустеніту сталі 09Г2С приведена на рис.2.5.

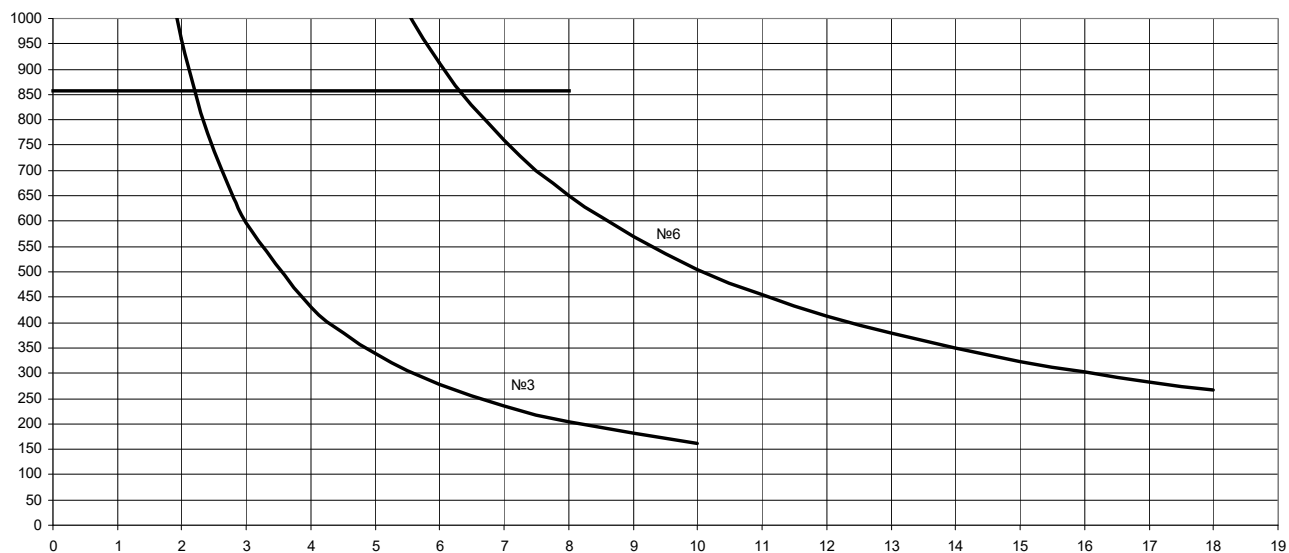


Рис.2.4. Графік залежності $T=f(t)$ зварних термічних циклів

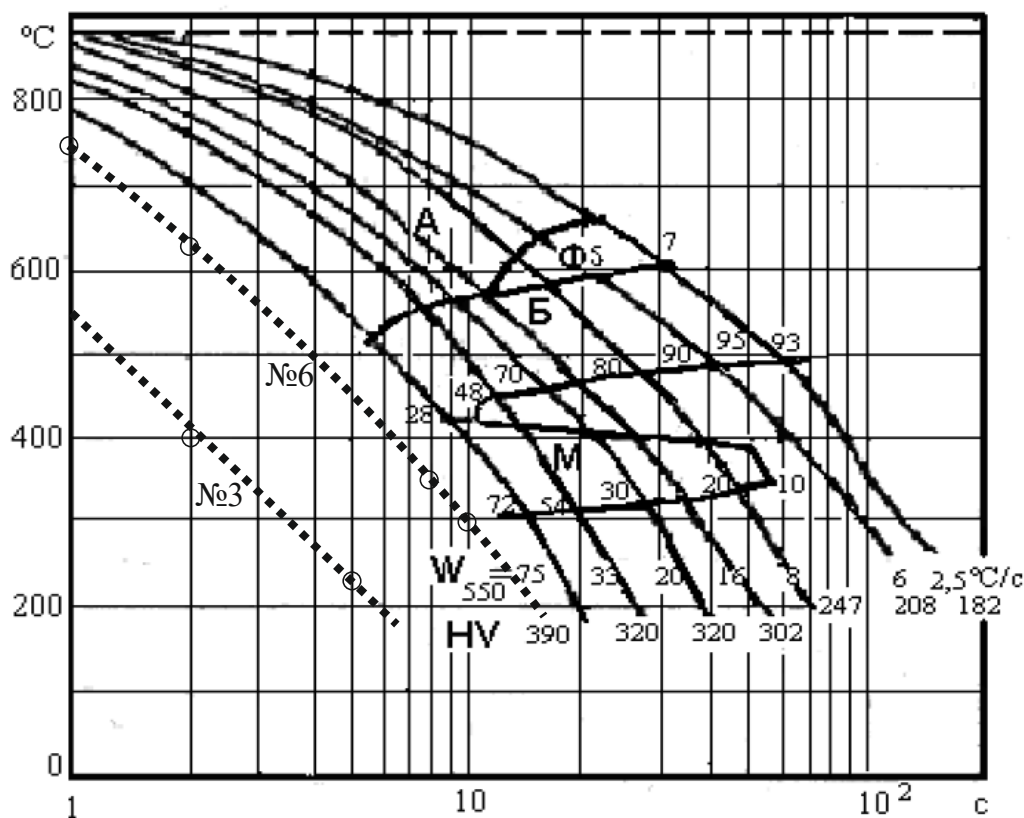


Рис.2.5. Діаграма термкінетичного перетворення аустеніту сталі 09Г2С

Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

131.4121.05.05.02.ПЗ

Лист

2.5. Аналіз отриманої структури

В результаті розрахунку термоциклів при зварюванні таврового та стикового з'єднання у, аналізу діаграми термодіаграми перетворення аустеніту була визначена очікувана структура зварних з'єднань.

Для з'єднання №3 при механізованому зварюванні утворюється структура мартенситу, з діапазоном твердості по діаграмі термодіаграми перетворення аустеніту сталі 09Г2С HV=400-420.

Для з'єднання №6 при механізованому зварюванні утворюється мартенсит з діапазоном твердості по діаграмі термодіаграми перетворення аустеніту сталі 09Г2С HV=395-380.

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки:

1. Для виготовлення рами складально-зварювального верстата передбачено механізоване зварювання в середовищі CO₂. У роботі наведено обґрунтування вибору цього процесу, виконано розрахунок його режимів, а також визначено необхідні типи зварних з'єднань.

3. У роботі були розраховані режими зварювання для виготовлення рами складально-зварювального верстата.

4. В результаті розрахунку термоциклів при зварюванні таврового та стикового з'єднання обмазується мартенситна структура, для з'єднання №3 HV=400-420, для таврового з'єднання №6 HV=395-380.

					131.4121.05.05.02.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.03.ПЗ								
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата									
Студент	Михайлишин В.В.				Технологічний процес складання та зварювання конструкції				Лит		Лист		Листів
Керівник	Бутурля Є.А.										1		
Консулт									НУК ім. Адм. Макарова				
Зав.кафед	Драган С.В.												

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СКЛАДАННЯ ТА ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Технологічний процес складання та зварювання рами складально-зварювального верстата

Перед складанням основи рами доцільно попередньо виконати зварювання з'єднання №2. Деталь фіксується на одностояковому кантувачі за допомогою струбцин з обох боків платформи. Далі, використовуючи напрямну, виставляємо дві профільні труби з дотриманням заданої відстані та робимо прихоплення. Оскільки зварювати необхідно під кутом 45 градусів, деталь разом із кантувачем переводимо у відповідне положення. Після цього налаштовуємо режими обладнання та виконуємо зварювання шва №2.

Після цього переходимо до складання основи рами, що складається з чотирьох профільних труб. Виставляємо необхідний зазор у місцях стикування та перевіряємо відсутність недопустимого зміщення кромки. Далі виконуємо прихоплення на стиках профільних труб і надійно фіксуємо конструкцію в нерухомому положенні. Після чого здійснюємо зварювання швів №1.

Наступним етапом виконується кутове з'єднання швелера з профільною трубою. Виставляємо на профільні труби швелери згідно складального креслення та виконуємо прихоплення. Після виконується зварювання швів №3.

Після виготовлення верхньої часті рами виконується виготовлення ніжок у кількості 4 штук. Спочатку виконується складання швелерів у квадратну трубу, виставляються зазори, та виконується прихоплення. Потім виконується кантування ніжки, та виставлення зазорів і прихоплення з другої сторони. Наступним етапом виконується зварювання №6. Після виконується кантування та зварювання (шов №6.)

Наступним етапом виконується кутове зварювання ніжки рами з пластиною (основою ніжки) швом №4.

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Останнім етапом виготовлення рами складально-зварювального верстата є зварювання рами з ніжками, а саме стикове з'єднання профільної труби і ніжки деталі швом №5.

Технологічна схема (послідовність) зварювання рами складально-зварювального верстата представлена на рис. 3.1.

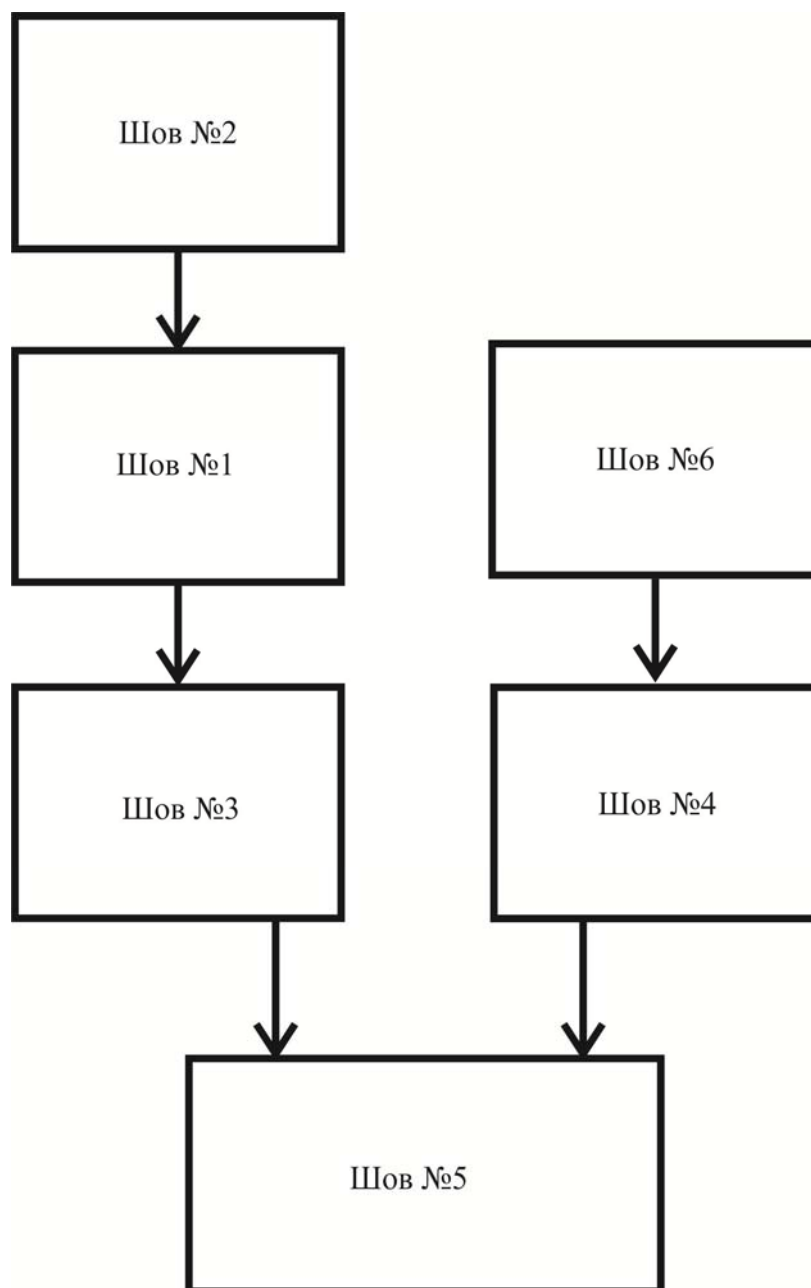


Рис. 3.1. Технологічна схема (послідовність) зварювання рами складально-зварювального верстата

3.2.Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Для зварювання сталі 09Г2С доцільно застосовувати зварювальний дріт, хімічний склад якого максимально наближений до основного металу, але з меншим вмістом вуглецю. Присутність марганцю в дроті підвищує ударну в'язкість та стійкість до холодного руйнування, що забезпечує задовільну зварюваність. Для цієї зварної конструкції обрано дріт марки Св-08Г2С [8]. Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С представлено у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С [8]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0.1	1.8-2.1	0.7-0.95	0.03	0.025	До 0.2	До 0.25	До 0.25

Механічні властивості металу, наплавленого дротом Св-08Г2С представлено табл.3.2. [8].

Таблиця 3.2 – Механічні властивості металу, наплавленого дротом Св-08Г2С [8]

Марка дроту	Механічні властивості наплавленого металу		
	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %
Св-08Г2С	375	508	23

Для зварювання вуглецево-конструкційних сталей рекомендується застосовувати активний газ CO_2 . Цей захисний газ має економічну перевагу та забезпечує надійний захист зварювальної ванни та дуги. Вимоги до складу зварювального газу CO_2 вищого сорту представлено у табл.3.3 [8].

Таблиця 3.3 – Вимоги до складу зварювального CO_2 вищого сорту [8]

Об'ємна частка CO_2 , %	Водяна пара, г/см ³	Вода, %
> 99,8	< 0,037	Відсутня

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Обґрунтування вибору зварювального обладнання

Вибір зварювального обладнання суттєво впливає на якість готового виробу та його економічну доцільність. Джерело живлення зварювальної дуги має забезпечувати: надійне збудження дуги, її стійке горіння, високу еластичність, стабільний режим зварювання, а також сприяти перенесенню електродного металу та формуванню зварного шва.

Для виготовлення складально-зварювального верстата обираємо зварювальний напівавтомат FastMig M 420 (рис. 3.2), оскільки він забезпечує необхідне значення зварювального струму (440 А) при ПВ 100 %, чого повністю достатньо для виконання поставленого завдання.



Рис. 3.4. Зварювальний напівавтомат FastMig M 420 [9].

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Серія FastMig M поєднує в собі модульну конструкцію, простоту використання та широкий спектр застосування. Ці апарати характеризуються високими показниками робочого циклу, компактним корпусом та малою вагою, що підвищує продуктивність і мобільність на зварювальному майданчику. У галузі промислового зварювання MIG/MAG обладнання FastMig M є популярною високотехнологічною альтернативою традиційному устаткуванню. Система керування забезпечує відмінне запалювання дуги та високі зварювальні характеристики, що дозволяє зосередитися на процесі зварювання та витратити менше часу на видалення бризок розплавленого металу. Обладнання пропонується у двох варіантах комплектації: професійний комплект для синергетичного зварювання та стандартний комплект для базового використання [9].

Комплекти FastMig M Synergic оснащені панелями керування MS, які мають прості у використанні синергетичні функції та широкий вибір додаткових можливостей для оптимізації зварювальних робіт. Ці комплекти призначені для професійного промислового застосування з підвищеними вимогами. Поєднання механізму подачі дроту та панелі керування можна обирати відповідно до поточних потреб виробництва. У разі зміни завдань систему FastMig M завжди можна розширити за рахунок нових рівнів потужності, моделей механізмів подачі дроту та програмного забезпечення [9].

Синергетичні панелі керування MS 200 та MS 300 пропонують надзвичайно прості у використанні функції та широкі можливості для оптимізації зварювальної системи. Чітке відображення зварювальних параметрів, керування потужністю зварювання за допомогою одного регулятора, просте налаштування та вибір каналів пам'яті, а також загальна зручність використання панелей MS роблять систему FastMig M універсальним та ефективним інструментом для промислового зварювання MIG/MAG [9].

Технічні характеристики FastMig M 420 представлені у табл. 3.4. Технічні характеристики механізми подачі дроту MXF 65 EL представлені у табл. 3.5.

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики FastMig M 420 [9]

Код обладнання	6132420
Напруга трифазної мережі, 50/60 Гц	400 В -15...+20 %
Запобіжник (із затримкою спрацювання)	35 А
Мінімальна вихідна потужність генератора	20 кВА (60 %) 18 кВА (100 %)
Діапазон зварювального струму та напруги	U ₀ = 50–58 В
Вихідний струм, ПВ 60 %	420 А (60 %)
Вихідний струм, ПВ 100 %	380 А (100 %)
Номинальна потужність при ПВ 60 %	20 KVA
Номинальна потужність при ПВ 100 %	18 kVA
Макс. зварювальна напруга	45 V
Напруга холостого ходу (зварювання MMA)	U ₀ = 48 – 53 V, U _{av} = 50 V
Напруга холостого ходу під час зварювання MIG/MAG	U ₀ = 80–98V
Діапазон зварювального струму і напруги, зварювання штучними електродами (MMA)	15 A/20 V – 420 A/44 V
Потужність холостого ходу	25 W
ККД при максимальному струмі	89 %
Коефіцієнт потужності при макс. струмі	0.87
Діапазон зварювального струму та напруги, MIG	20 A/12 V – 420 A/44 V
Діапазон робочих температур	-20...+40 °C
Габаритні розміри, ДхШхВ	590 × 230 × 430 мм
Маса (без додаткового обладнання)	35 кг
Клас захисту	IP23S
Стандарти	IEC 60974-1, IEC 60974-5, IEC 60974-10
Діапазон температури зберігання	-40 ... +60 °C

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики механізми подачі дроту MXF 65 EL [9]

Код обладнання	6152100EL
Вихідний струм, ПВ 60 %	520 А
Вихідний струм, ПВ 100 %	440 А
Механізм подачі дроту	4-roll
Присадний дріт, Ss	0.6 – 1.6 mm
Присадний дріт, Al	1.0 – 2.4 mm
Присадний дріт, Fe	0.6 – 1.6 mm
Швидкість подачі дроту	0 – 25 m/min
Діаметр подавальних роликів	32 mm
Присадковий дріт, порошковий дріт	0.8 – 2.0 mm
Маса котушки дроту (макс.)	20 kg
Діаметр котушки дроту (макс.)	300 mm
Габаритні розміри	620 × 210 × 445 mm
Маса	11.1 kg

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення нового рівня продуктивності пропонується об'єднати потужність зварювального обладнання FastMig M зі швидкістю та надійністю зварювального трактора Kemppi MagTrac F 61. Для подальшого підвищення продуктивності це поєднання можна доповнити функцією оптимізації зварювання WiseFusion. Така комбінація забезпечує високоякісне виконання зварних швів із дуже низьким тепловкладенням, що дозволяє значно скоротити витрати на підгонку та інші операції подальшої обробки. За розрахунками, це рішення дає змогу зменшити витрати на подальшу обробку до 20 %. Крім того, система FastMig M пропонує широкий вибір пристроїв дистанційного керування, які підвищують ефективність та продуктивність праці зварника. За необхідності збільшення робочого радіусу можна підключити допоміжний механізм подачі дроту SuperSnake, що розширює робочу зону на 30 метрів [9].

Охолодження для зварювального обладнання FastMig M і для охолодження зварювального пальника виконується за допомогою блока FastCool 10. Технічні характеристики FastCool 10 представлено у табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики FastCool 10 [9]

Код обладнання	6068100
Охолоджувальна рідина	20% – 40 % etanol/water
Робоча напруга	400V -15%...+20%
Допустиме навантаження на з'єднання	250 W (100 %)
Початковий тиск, макс.	0.4 MPa
Діапазон робочих температур	-20 ... +40 °C
Клас захисту	IP23S
Об'єм резервуара	ca. 3 l
Габаритні розміри	570 x 230 x 280 mm
Клас електромагнітної сумісності	A
Потужність охолодження	1 kW
Діапазон температури зберігання	-40 ... +60 °C
Маса	11 kg

3.4. Контроль якості зварювання

Оскільки зварна рама не належить до відповідальних конструкцій і не потребує спеціальних вимог щодо контролю якості, було обрано візуальний метод контролю. Цей метод дозволяє виявити значну кількість дефектів, зокрема:

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підрізи, тріщини, пори, зміщення кромek, напливи, непровари та інші. Для проведення контролю достатньо мати молоточок для очищення шлакової кірки з метою оцінки якості шва, а також лупу для детальнішого розгляду можливих дефектів.

За допомогою візуального методу контролю можна виявити такі дефекти зварних швів: підрізи – поздовжні заглиблення на поверхні основного металу вздовж краю зварного шва; тріщини – розриви металу шва або зони термічного впливу; пори – порожнини в металі шва різної форми та розміру; зміщення кромek – неспівпадіння зварюваних елементів за висотою або шириною; напливи – надлишковий метал, що натікає на основний метал без сплавлення; непровари – відсутність сплавлення між металом шва та основним металом; наплавлення – неякісне формування поверхні шва; кратери – заглиблення в кінці зварного шва.

Для виконання візуального контролю зварних швів використовуються такі інструменти: умовний молоточок – призначений для очищення зварного шва від шлакової кірки, окалини та інших забруднень, що заважають огляду. За допомогою молоточка можна також визначити наявність непроварів за характером звуку при постукуванні; лупа – використовується для детального розгляду підозрілих ділянок зварного шва, а також для виявлення дрібних тріщин та пор, які неможливо побачити неозброєним оком; шаблони зварника — для перевірки геометричних параметрів шва (катет, ширина, висота).

Послідовність проведення візуального контролю:

1. Підготовка поверхні – очищення зварного шва та прилеглих ділянок основного металу від шлаку, бризок металу, іржі, бруду та інших забруднень.
2. Огляд шва – візуальний огляд зварного шва неозброєним оком (або з використанням лупи) з метою виявлення зовнішніх дефектів.
3. Перевірка геометрії шва – контроль відповідності розмірів шва вимогам креслення або технологічної документації.
4. Оцінка якості – прийняття рішення про відповідність шва вимогам нормативних документів.

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги візуального методу: низька вартість проведення (не потребує складного обладнання); висока швидкість виконання (дозволяє швидко оцінити якість); можливість виявлення більшості зовнішніх дефектів; простота виконання та інтерпретації результатів; не потребує спеціальної підготовки оператора.

До недоліків візуального методу можна віднести: неможливість виявлення внутрішніх дефектів (пори, тріщини, непровари всередині шва); обмежена точність (залежить від кваліфікації та уважності контролера); не дозволяє оцінити механічні властивості зварного з'єднання.

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки:

1. Розроблено технологію складання та зварювання рами складально-зварювального верстата з використанням сучасного складального і зварювального обладнання та відповідних матеріалів.

2. Для зварювання сталі рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С обрано зварювальний дріт Св-08Г2С, який за хімічним складом наближений до основного металу, але має менший вміст вуглецю. Наявність марганцю в дроті підвищує ударну в'язкість та стійкість до холодного руйнування. Як захисний газ обрано активний газ CO₂ вищого сорту, який має економічну перевагу та забезпечує надійний захист зварювальної ванни та дуги.

3. Для виготовлення складально-зварювального верстата обрано зварювальний напівавтомат FastMig M 420 (Kemppi), який забезпечує необхідне значення зварювального струму (440 А) при ПВ 100 %, що повністю достатньо для виконання поставленого завдання. Система керування забезпечує відмінне запалювання дуги та високі зварювальні характеристики, дозволяючи зосередитися на процесі зварювання та витратити менше часу на видалення бризок розплавленого металу.

4. Обрано метод контролю якості. Оскільки зварна рама не належить до відповідальних конструкцій, обрано візуальний метод контролю. Цей метод дозволяє виявити такі дефекти, як подрізи, тріщини, пори, зміщення кромки, напливи, непровари та інші.

					131.4121.05.05.03.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.04.ПЗ									
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата										
Студент	Михайлишин В.В				Охорона праці				Лит		Лист		Листів	
Керівник	Бутурля Є.А										1			
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед	Драган С.В.													

РОЗДІЛ 4. Охорона праці

Метою даного розділу є розробка заходів з охорони праці під час зварювання рами. Технологічний процес виготовлення рами передбачає застосування електродугового зварювання, яке супроводжується впливом шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що за певних умов можуть спричинити професійні захворювання зварників. Зварювання рами виконується автоматичним способом у захисних газах, зокрема з використанням вуглекислого газу CO₂, що призводить до утворення зварювальних аерозолів, кількість яких залежить від режиму зварювання та складу зварювального матеріалу.

4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Проаналізуємо шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають при автоматичному зварюванні в захисних газах, зокрема в середовищі CO₂. Для систематизації даних та зручності сприйняття ці фактори разом із зазначенням їх інтенсивності наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при зварюванні

ШНВФ для автоматичного звар. в CO ₂			Інтенсивність фактора
Шкідливі виробничі фактори	Шкідливі речовини		XX
	Випромінювання в оптичному діапазоні.	Ультрафіолетове	XX
		Видиме	XX
		Інфрачервоне	XX
	Електромагнітні поля		-
	Магнітні поля		-
	Іонізуючі випромінювання		-
	Шум		X
	Ультразвук		-
	Статичне навантаження на руку		-

Небезпечні виробничі фактори	Електричний струм	<u>xx</u>
	Іскри, бризки і викиди розплавленого металу	<u>xx</u>
	Механізми і вироби, що рухаються	<u>xx</u>
	Системи, які знаходяться під тиском, що не дорівнює атмосферному	<u>xx</u>

Примітки: xx – інтенсивний фактор; x – помірний фактор; (-) – незначний фактор або його відсутність. За походженням та характером впливу на організм людини шкідливі та небезпечні виробничі фактори (ШНВФ) поділяються на хімічні, фізичні, психофізіологічні, біологічні та соціальні [10].

Визначимо типи факторів, наведених у табл. 4.1. До хімічних факторів належать шкідливі речовини, здебільшого зварювальні аерозолі, що утворюються під час зварювання. До фізичних факторів відносяться: випромінювання в оптичному діапазоні (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне); електромагнітні та магнітні поля; рівень шуму; ультразвук; електричний струм; іскри, бризки та викиди розплавленого металу; механізми та вироби, що рухаються; системи, які перебувають під тиском, що відрізняється від атмосферного. До психологічних факторів віднесено статичне навантаження на руки, а також фізичні перевантаження, що можуть виникати в процесі роботи, та нервово-психічні фактори – розумові та емоційні навантаження, монотонність праці та емоційні перевантаження. Біологічні фактори у виробничих умовах виникають рідко, оскільки вони не є прямим наслідком процесу зварювання. До соціальних факторів належать: неякісна організація праці, понаднормова робота, незадовільні міжособистісні відносини в колективі та інші.

Оцінюючи рівень небезпеки та шкідливості виробничого процесу зварювання, можна зробити висновок, що він є високим. Це зумовлено наявністю численних шкідливих і небезпечних факторів — від зварювальних аерозолів, які вдихають працівники під час роботи, до ризику ураження електричним струмом.

4.2. Вимоги безпеки праці

Вимоги безпеки праці до технічних зварювальних процесів регламентуються нормативним документом НПАОП 28.52-1.31-13 [11]. При виборі технології зварювання слід надавати перевагу тим процесам, які забезпечують вищий рівень безпеки праці. Також необхідно обирати зварювальні матеріали, що виділяють меншу кількість шкідливих речовин під час зварювання.

Обов'язковим етапом проектування технологічного процесу зварювання є розробка відповідних засобів колективного захисту від впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів, характерних для цього процесу. Одним із таких заходів є застосування витяжної вентиляції з системою очищення повітря від аерозолів та газів відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 [12]. Механізоване зварювальне обладнання має бути оснащено пристроєм для уловлювання аерозолів та газів. Важливо зазначити, що зварювання не допускається, якщо витяжна вентиляція не працює. Безпека праці під час дугового зварювання повинна відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 [13].

Під час дугового зварювання в середовищі CO₂ місцеві повітроприймачі повинні забезпечувати видалення повітря в обсязі не менше 50 м³/год. Балони зі стисненим газом слід розташовувати на відстані не менше 5 м від зварювального пальника та не менше 1 м від нагрівача. Якщо нагрівач обладнаний екраном, що захищає балон від нагрівання, то відстань від балона до екрана повинна становити не менше 0,1 м. Експлуатація балонів, контейнерів зі стиснутим та скрапленим газом, а також рамп має здійснюватися відповідно до норм ДНАОП 0.00-1.07-94 [14].

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочі місця для дугового зварювання мають бути захищені стаціонарною або переносною непрозорою огорожею з негорючого матеріалу. Висота огорожі повинна становити не менше 2,5 м, забезпечуючи надійний захист. Відстані між обладнанням, а також від обладнання до стін, колон, інших конструкцій, проходів та проїздів мають відповідати чинним будівельним нормам, нормам проєктування заготівельних і зварювальних цехів та ДБН В.2.2-28:2010 [8]. Ширина проходів по периметру робочого стола, стенда або зварювального виробу повинна бути не менше 1 м.

Підлоги промислових приміщень для виконання дугового зварювання повинні бути виготовлені з матеріалів, які не згорають мають малу теплопровідність. Підлога повинна мати рівну, неслизьку поверхню.

Виробниче приміщення має бути обладнане загальнообмінною припливно-втяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [12]. Повітря, що видаляється з промислових об'єктів в атмосферу, повинно проходити фільтрацію (очищення) від шкідливих речовин до концентрацій, які не перевищують допустимих рівнів викидів. Повітрообмін у зварювальних цехах слід розраховувати таким чином, щоб шкідливі речовини, які не були вловлені місцевими витяжними пристроями, розводилися до рівня гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Припливне повітря слід подавати безпосередньо в робочу зону або в напрямку до неї. Температура повітря, що подається вентиляційними системами, повинна бути не нижче +20 °С відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. У разі, якщо вентиляція не забезпечує зниження концентрації шкідливих речовин до рівня ГДК, необхідне примусове подавання чистого повітря під маску зварника в об'ємі від 6 до 8 м³/год, підігрітого в холодну пору року до температури не нижче +18 °С згідно з ДСН 3.3.6.042-99. Параметри мікроклімату виробничих приміщень мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Якщо інтенсивність теплового

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

опромінення працівників перевищує встановлені норми, необхідно передбачити спеціальні засоби захисту: екранування джерела тепла, повітряне душення, засоби індивідуального захисту [16].

Рівні шуму, ультразвуку та інфразвуку повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99, а рівні загальної та місцевої вібрації — вимогам ДСН 3.3.6.039-99. Освітлення в цехах, на ділянках та робочих місцях, де виконується дугове зварювання, має відповідати ДБН В.2.5-28-2006. Під час дугового зварювання освітлення повинно забезпечуватися прямим зовнішнім джерелом світла або місцевим освітленням з напругою не більше 12 В, при цьому освітленість робочої зони має бути не менше 30 лк.

Відповідно до ДСТУ 2456-94 [13], для дугового зварювання та зварювання під флюсом необхідно застосовувати місцеву вентиляцію. В інших випадках допускається використання загальнообмінної вентиляції, яку також слід застосовувати в поєднанні з місцевою. Загальнообмінна вентиляція призначена для видалення з виробничого приміщення шкідливих речовин, які не вловлюються місцевою витяжною системою. Швидкість руху повітря, що створюється місцевою витяжною системою поблизу джерела виділення шкідливих речовин, має становити: при ручному зварюванні покритими електродами — не менше 0,5 м/с; при зварюванні під флюсом — 0,2...0,5 м/с.

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є: дотик до струмоведучих частин, що перебувають під напругою в робочому режимі; дотик до струмоведучих частин, які випадково опинилися під напругою; дотик до неструмоведучих частин, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції; а також ураження електричною дугою та напругою кроку. Виробничі приміщення, з точки зору небезпеки ураження електричним струмом, належать до категорії особливо шкідливих. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов роботи в особливо небезпечних приміщеннях.

Для захисту від ураження електричним струмом в аварійному режимі застосовуються такі заходи: заземлення, занулення, захисне вимикання та

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

подвійна ізоляція. Заземлення використовується завжди при живленні від мереж з ізолюваною нейтраллю, а також у мережах з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В. У чотирипровідних мережах з глухозаземленою нейтраллю застосовується система занулення (заземлення). Зануленню підлягає електрообладнання у виробничих приміщеннях, що живиться струмом з напругою понад 42 В змінного та 110 В постійного струму.

Захисне вимикання є високонадійною та швидкодіючою системою захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, що використовують генератор з ізолюваною нейтраллю, а також в інших випадках, де умови експлуатації вимагають підвищеного рівня безпеки.

Обладнання, що застосовується для всіх основних видів дугового зварювання, включаючи технологічне, механічне та допоміжне, має відповідати вимогам ДСТУ 2456-94 [13]. Підключення до мережі живлення, вмикання устаткування для дугового та електрошлакового зварювання, спостереження за його справністю, а також ремонт повинен виконувати електротехнічний персонал з групою допуску не нижче III. Блок живлення має бути підключений до мережі з напругою не більше 600 В. Біля роз'ємів для підключення джерел повинен бути напис «МЕРЕЖА!», а на видному місці корпусу джерела живлення — напис «Не вмикати без заземлення!».

Усі металеві частини зварювального обладнання, що можуть опинитися під напругою, повинні бути заземлені. Кожен пристрій має окремий заземлювальний дріт до магістралі. Заземлюються також педальні кнопки, корпуси контактних машин, шафи керування та вторинна обмотка трансформатора. Перед кожною зміною обладнання перевіряється на відсутність замикань, оголених струмоведучих частин, справність ізоляції, кабелів, заземлення та блокіровок.

Зварювальники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з галузевими стандартами та ДСТУ 7239:2011 [17], залежно від наявних небезпечних і шкідливих факторів.

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Захисний одяг – роба. ЗІЗ органів дихання – за ДСТУ EN 133:2005 [13]. Для огляду та зачищення швів – захисні окуляри. Захист рук – рукавиці за ДСТУ EN 420-2017. Для захисту від струму – килимки, а в обмежених просторах – калоші та рукавиці типу Ен, Ев. При зварюванні відкритою дугою – щитки (ДСТУ EN 175-2001) зі світлофільтрами (ДСТУ EN 169-2001).

Основним елементом щитка є скляний світлофільтр, який захищає очі від УФ та ІЧ випромінювання. Він має послаблювати світло дуги в 10 разів. Для механізованого зварювання обираємо фільтр з 11-м ступенем захисту (ДСТУ EN 169-2001). Якщо виникає дискомфорт, потрібно перевірити умови праці та зір. Надто темний фільтр небезпечний, бо змушує зварника наближатися до дуги та вдихати шкідливий дим.

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007, об'єкти зварювальних робіт за вибухопожежною безпекою належать до категорії Г (негорючі речовини в гарячому/розплавленому стані з виділенням тепла, іскор, полум'я; горючі газы, рідини, тверді речовини як паливо) [18].

Пожежна безпека забезпечується: захистом від КЗ (максимальний струмовий захист); запобіганням утворенню горючого середовища (герметизація, обмеження горючих/вибухонебезпечних речовин); пожежною сигналізацією (датчики ИДФ-І, ДППД); вогнегасниками для класу В (ОХП-10, ОХВП-10, ОВП-7, ОХ-7, ОП-10А) та класу Е (УО, ОП-10А), обраними згідно з НАПБ Б.03.002-2007.

При організації технологічного процесу дотримуються всіх вимог електростатичної іскробезпеки. Також передбачається аварійне зливання пожежонебезпечних рідин та аварійне стравлювання горючих газів з апаратури. Рекомендується періодично очищати робочі місця та обладнання від горючих відходів і пилу, утилізувати пожежонебезпечні відходи виробництва, а також замінювати легкозаймисті (ЛВЖ) та горючі рідини (ГЖ) на пожежобезпечні технічні мийні засоби. Приміщення обладнуються засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі, а також засобами протидимного захисту.

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Розрахунок системи вентиляції

Для видалення зварювальних аерозолів, що утворюються при зварюванні в середовищі вуглекислого газу, буде застосовуватися загальнообмінна вентиляція. Визначимо об'єм повітря, який видалятиме відсмоктувач, за умови, що діаметр воронки становить $d = 0,5$ м (рис. 4.1).

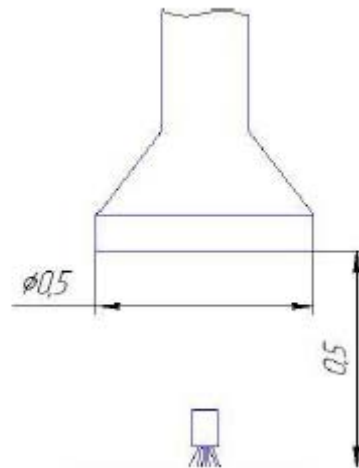


Рис. 4.1. Місцевий відсмоктувач (розміри вказані у метрах).

Швидкість повітря в отворі відсмоктувача розраховують по формулі:

$$V_o = 8 \cdot V_x \cdot (x/d)^2 = 8 \cdot 0.3 \cdot \left(\frac{0.5}{0.5}\right)^2 = 2.4 \text{ м/с},$$

де x – відстань від вхідного отвору воронки до зони зварювання, м; d – діаметр вхідного отвору, м.

Витрати повітря, що видаляється відсмоктувачем, визначаються за формулою:

$$L_M = 3600 \cdot F_o \cdot V_o = 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 2.4 = 1695,6 \text{ м}^3/\text{год},$$

де V_o – швидкість повітря в отворі відсмоктувача, м/с; F_o – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, $0,19625 \text{ м}^2$

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки.

1. У розділі з охорони праці було розроблено заходи безпеки під час зварювання, спрямовані на забезпечення задовільних умов праці робітників. Визначено настанови, яких необхідно дотримуватися на робочих місцях, а також способи захисту від впливу шкідливих факторів. Встановлено вимоги до засобів індивідуального захисту та запропоновано інженерні рішення для забезпечення безпеки. Крім того, наведено правила пожежної безпеки.

2. Проведено розрахунок системи вентиляції приміщення.

					131.4121.05.05.04.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.05.ПЗ										
Ізм	Лист	№ документа	Підпис	Дата											
Студент	Михайлишин В.В				Розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт					Лит		Лист		Листів	
Керівник	Бутурля Є.А											53		7	
Консульт										НУК ім. Адм. Макарова					
Зав.кафед	Драган С.В.														

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ

У даному розділі дипломного проекту виконується розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт при виготовленні річної програми випуску рами складально-зварювального верстата.

Розрахунок виконується для річного випуску у кількості 100 шт.

Вихідні данні розрахунку:

1. Річний об'єм продукції, шт	100
2. Ціна дроту, грн. за кг	80
3. Витрати CO ₂ на 1 м.п., л	1,85
4. Витрати дроту на 1 м.п., кг	0,45
5. Вартість 1 л. CO ₂ , грн.	17,5
6. Витрати електроенергії на 1 м.п. с.д. кВт/г	3,7
7. Вартість 1 кВт/г, грн.	18
8. Трудомісткість на 1м.п. н/а н.-г.	0,23
9. Розряд робіт	4
10. Часова тарифна ставка, грн.	110
11. Рівень додаткових витрат, %	16
12. Норма амортизації, %	15
13. Норма витрат на поточний ремонт обладнання, %	5
14. Вартість зварювального обладнання, грн.	344 000

Розрахунок витрат на електроенергію наведений в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Витрати на електроенергію

Найменування	Е.О. виміри	Річна програма, 100 шт.	Річна програма в п.м.	Розхід на 1 п.м.	Ціна 1 кВт/г, грн.	Витрати на електрое нергію, грн.
Електро- енергія	кВт/г	15	8,12*100=812	3,7	18	54079

Розрахунок витрат на основну заробітну плату приведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Витрати на ОЗП

Найменування	Е.О. виміри	Річна програма п.м.	Трудовісткість на річну програму, н-г	Часова тарифна ставка, грн.	Сума витрат ОЗП, грн.
Зварювання напівавтоматом	0,23	Існуючий варіант		110	20544
		812	187		

Розрахунок витрат на зварювальні матеріали приведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Витрати на зварювальні матеріали

Найменування матеріалу	Одиниці виміру	Розхід на 1 п.м.	Річна програма, п.м.	Ціна одиниці, грн.	Розхід на річну програму, кг; л	Витрати на матеріал, грн.
Дріт	кг.	0,45	812	80	365,4	29232
СО ₂	л.	1,85	812	17,5	1502,2	26289
						55521

Розрахунок витрат на додаткову заробітну плату (ДЗП) наведений в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Витрати на ДЗП

Сума витрат ОЗП, грн.	Рівень витрат на ДЗП, %	Сума витрат на ДЗП, грн.
20544	16%	3287

Розрахунок відрахувань на єдиний соціальний внесок приведений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Відрахування на ЄСВ

Сума витрат на ОЗП і ДЗП, грн.	Рівень відрахувань від ЗП, %	Сума відрахувань від ЗП, грн.
23831	22,0 % (ЄСВ)	5243
	Всього	5243

Розрахунок витрат на амортизацію зварювального обладнання наведено у таблиці 5.6

Таблиця 5.6 – Витрати на амортизацію зварювального обладнання

Найменування обладнання	Початкова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Сума витрат на амортизацію, грн.
Зварювальний напівавтомат з джерелом живлення	344 000	15	51600

Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання наведено у таблиці 5.7

Таблиця 5.7 – Витрати на поточний ремонт обладнання

Найменування обладнання	Вартість обладнання, грн.	Норма витрат на поточний ремонт, %	Сума витрат на поточний ремонт обладнання, грн.
Зварювальний напівавтомат з джерелом живлення	344 000	5	17200

Розрахунок цехових накладних витрат наведено у таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Розрахунок цехових накладних витрат

Сума витрат на основну зарплатню, грн.	Рівень витрат на цехові накладні витрати, %	Рівень затрат на цехові накладні витрати, грн.
20544	20	4109

Розрахунок витрат на загальнозаводські накладні витрати наведено у таблиці 5.9

Таблиця 5.9 – Розрахунок витрат на загальнозаводські накладні витрати

Сума витрат на основну зарплатню, грн.	Рівень витрат на основні загальнозаводські витрати, %	Сума витрат на загальнозаводські витрати, грн.
20544	18	3698

Розрахункові показники собівартості зварювальних робіт при виготовленні навісу автомобільної стоянки приведено у таблиці 5.10.

					131.4121.05.05.05.ПЗ	Лист
						57
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.10 – Розрахункові показники собівартості зварювальних робіт при виготовленні рам

	Показники	Одиниці вимірювання	Зміна витрат, грн.
1	Витрати на матеріали	грн.	55521
2	Витрати на електроенергію	грн.	54079
3	Витрати на ОЗП	грн.	20544
4	Витрати на ДЗП	грн.	3287
5	Єдиний соціальний внесок	грн.	5243
6	Витрати на поточний ремонт	грн.	17200
7	Амортизаційні відрахування	грн.	51600
8	Цехові накладні витрати	грн.	4109
9	Загальнозаводські накладні витрати	грн.	3698
10	Загальна собівартість зварювальних робіт	грн.	215281

Висновки.

1. Здійснено економічний розрахунок собівартості зварювальних робіт у процесі виготовлення рами складально-зварювального верстата.

2. Розрахункова загальна собівартість зварювання річного обсягу продукції (100 шт.) дорівнює 215281 грн, або 2153 грн у розрахунку на один виріб.

					131.4121.05.05.05.ПЗ	Лист
						59
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					131.4121.05.05.01.ПЗ								
Ізм	Лист	№ документу	Підпис	Дата									
Студент		Михайлишин В.В.			Загальні висновки				Лит		Лист	Листів	
Керівник		Бутурля Є.А.									60	6	
Консульт									НУК ім. Адм. Макарова				
Зав.кафед		Драган С.В.											

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Рама складально-зварювального верстата є базовою несучою конструкцією, що забезпечує точність взаємного розташування вузлів та стабільність роботи верстата. До неї висуваються високі вимоги щодо жорсткості, вібростійкості, міцності та стабільності геометричних розмірів у процесі експлуатації.

2. Габаритні розміри рами (2480×1800 мм) та її конструктивне виконання з профільних труб, швелерів і листових елементів зумовлюють значну насиченість зварними швами, розташованими в різних просторових положеннях, що потребує раціонального вибору способів зварювання та складально-зварювального оснащення.

3. Основним матеріалом для виготовлення рами обрано низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С, яка характеризується відмінною зварюваністю, високою міцністю, хорошою пластичністю та не потребує попереднього підігріву за звичайних умов. Розрахункове значення показника НСS ($0,0025 < 0,004$) підтверджує відсутність схильності металу шва до гарячих тріщин, а еквівалент вуглецю ($C_{\text{екв}} = 0,45\%$) не перевищує допустимих меж.

5. Розглянуто технологічні особливості виготовлення рамних конструкцій. Конструктивні особливості рами (велика кількість коротких швів, важкодоступні місця, розташування втулок і корпусів підшипників) обґрунтовують доцільність повузлового складання з подальшим загальним монтажем, що спрощує оснащення, полегшує доступ до місць зварювання та дає змогу компенсувати зварювальні деформації.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
						61
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Забезпечення високої точності взаємного розташування деталей рами потребує поєднання попередньої механічної обробки заготовок із мінімальними припусками та остаточної механічної обробки після зварювання, а також застосування спеціальних фіксаторів (зокрема, із розсувними кулачками) для запобігання перекосам осей.

7. Для виготовлення рами складально-зварювального верстата передбачено механізоване зварювання в середовищі CO₂. У роботі наведено обґрунтування вибору цього процесу, виконано розрахунок його режимів, а також визначено необхідні типи зварних з'єднань.

8. У роботи були розраховані режими зварювання для виготовлення рами складально-зварювального верстата.

9. В результаті розрахунку термоциклів при зварюванні таврового та стикового з'єднання обмазується мартенситна структура, для з'єднання №3 HV=400-420, для таврового з'єднання №6 HV=395-380.

10. Розроблено технологію складання та зварювання рами складально-зварювального верстата з використанням сучасного складального і зварювального обладнання та відповідних матеріалів.

11. Для зварювання сталі рами складально-зварювального верстата зі сталі 09Г2С обрано зварювальний дріт Св-08Г2С, який за хімічним складом наближений до основного металу, але має менший вміст вуглецю. Наявність марганцю в дроті підвищує ударну в'язкість та стійкість до холодного руйнування. Як захисний газ обрано активний газ CO₂ вищого сорту, який має економічну перевагу та забезпечує надійний захист зварювальної ванни та дуги.

12. Для виготовлення складально-зварювального верстата обрано зварювальний напівавтомат FastMig M 420 (Kemppi), який забезпечує необхідне значення зварювального струму (440 А) при ПВ 100 %, що повністю достатньо для виконання поставленого завдання. Система керування забезпечує відмінне запалювання дуги та високі зварювальні характеристики, дозволяючи

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
						62
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

зосередитися на процесі зварювання та витратити менше часу на видалення бризок розплавленого металу.

13. Обрано метод контролю якості. Оскільки зварна рама не належить до відповідальних конструкцій, обрано візуальний метод контролю. Цей метод дозволяє виявити такі дефекти, як підрізи, тріщини, пори, зміщення кромок, напливи, непровари та інші.

14. У розділі з охорони праці було розроблено заходи безпеки під час зварювання, спрямовані на забезпечення задовільних умов праці робітників. Визначено настанови, яких необхідно дотримуватися на робочих місцях, а також способи захисту від впливу шкідливих факторів. Встановлено вимоги до засобів індивідуального захисту та запропоновано інженерні рішення для забезпечення безпеки. Крім того, наведено правила пожежної безпеки.

15. Проведено розрахунок системи вентиляції приміщення.

16. Здійснено економічний розрахунок собівартості зварювальних робіт у процесі виготовлення рами складально-зварювального верстата. Розрахункова загальна собівартість зварювання річного обсягу продукції (100 шт.) дорівнює 215281 грн, або 2153 грн у розрахунку на один виріб.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
						63
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Design and Analysis of Distortion in Welding Fixture for Frame Assembly
URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4bVLbVe4/> (дата звернення: 06.05.2026).
2. Характеристики сталі 09Г2С URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s> (дата звернення: 06.05.2026).
3. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних металургійних процесів та здатності металів до зварювання: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 181 с.
4. ДСТУ EN ISO 9692-1-2014. Зварювання та споріднені. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG - зварювання та променеве зварювання сталей URL: https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=79480 (дата звернення: 08.05.2026).
5. Голобородько Ж.Г. Основи технології дугового зварювання суднових конструкцій: навчальний посібник / Ж.Г. Голобородько, С.В. Драган, В.В. Квасницький; під заг. ред. С.В. Драгана. – Миколаїв: НУК, 2013. – 380 с.
6. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра за напрямом підготовки 6.050504 "Зварювання" / С.В. Драган, Г.В. Єрмолаєв, Ж.Г. Голобородько, М.В. Матвієнко, С.А. Лой, В.Я. Сагань. – Миколаїв : НУК, 2015. – 69 с.
7. Лебедєв Ю.М., Лебедєва В.Ф., Лой С.А. Розрахунки теплових процесів при зварюванні: Методичні вказівки до виконання курсової роботи. – Миколаїв: НУК, 2008. – 64 с.
8. Костін О.М. Зварювальні матеріали: Навч. посібник. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
9. FastMig М URL: https://kemppi.in.ua/catalog/sinergicheskoe_upravlenie/135.htm (дата звернення: 13.05.2026).

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

10. Охорона праці та цивільний захист / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний та ін. // За ред. О. Г. Левченка. □ К.: Основа, 2019. – 472 с.
11. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів.
12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування.
13. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.
14. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
15. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки адміністративного та побутового призначення.
16. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
17. ДСТУ 7239:2011. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
18. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

					131.4121.05.05.01.ПЗ	Лист
						65
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		