

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА**

КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ

Група ЗТ-23-1К

**Чорний Володимир
2026**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут архітектури та
будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»

Чорний Володимир Романович

прізвище, ім'я, по батькові, студента(ки) (підпис)

Група 3Т-23-1К

Розроблення технології виготовлення рами насоса

тема

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

за освітньо-професійною програмою підготовки бакалаврів
«Інжиніринг зварювальних технологій»
спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

Керівник: <i>к.т.н.; доцент</i> _____ науковий ступінь, вчене звання <i>Матвієнків Олег Михайлович</i> _____ прізвище, ім'я, по батькові _____ підпис	Завідувач кафедри будівництва: <i>к.т.н.; доцент</i> _____ науковий ступінь, вчене звання <i>Андрусяк Андрій Васильович</i> _____ прізвище, ім'я, по батькові _____ підпис
--	---

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»
Кафедра будівництва
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг зварювальних технологій»
Спеціальність 131 – Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри будівництва

_____ Андрусяк А.В.
< > _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню кваліфікаційну роботу бакалавра

Студента(ки) Чорного Володимира Романовича

1. Тема роботи: Розроблення технології виготовлення рами насоса

затверджена наказом по університету від < 25 > травня 2026 р. № 219/7

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 18 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи креслення виробу; матеріал – сталь Ст-3сп.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. 1. Загальний розділ. (Загальна характеристика зварної конструкції рами насоса та її елементів. Характеристика технологічності зварної конструкції рами насоса. Аналіз існуючого технологічного процесу.)

2. Технологічний розд. (Вибір способів зварювання і зварювального устаткування. Вибір зварювальних матеріалів. Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції. Заготівельні операції. Розробка технології зварювання. Технічний контроль якості та виправлення браку. 3. Конструкторський розділ. (Компонування складальних та зварювальних установок. Розробка плану цеху.) 4. Безпека праці. Висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Креслення конструкції та зварних з'єднань.

2. Схема технологічного процесу.

3 - 6. Креслення складально-зварювальних стендів та пристосувань.

6. Дата видачі завдання _____

Завдання прийняв до виконання _____

Керівник _____

(підпис)

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Номер етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ. Загальний розділ.</i>	<i>01.05...05.05.2026</i>	
2	<i>Технологічний розділ.</i>	<i>06.05...30.05.2026</i>	
3	<i>Конструкторський розділ.</i>	<i>01.06...10.06.2026</i>	
4	<i>Безпека праці. Висновки.</i>	<i>11.06...17.06.2026</i>	

Здобувач _____ / В.Р. Чорний /

Керівник роботи _____ / О.М. Матвієнків /

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена розробленню та оптимізації технологічного процесу виготовлення зварної просторової конструкції «Рама насоса» в умовах серійного виробництва.

Головною метою роботи є підвищення продуктивності праці та якості готового виробу шляхом заміни застарілого методу ручного дугового зварювання на високоефективне механізоване зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів. У процесі виконання роботи проаналізовано експлуатаційні вимоги до несучої основи, яка піддається статичним та вібраційним навантаженням від роботи насосного обладнання, а також досліджено зварюваність основного матеріалу — вуглецевої сталі ВСт3сп.

У технологічній частині роботи виконано розрахунок раціональних режимів зварювання, підібрано відповідні зварювальні матеріали та газові суміші, а також розроблено покроковий алгоритм складально-зварювальних операцій. Окрему увагу приділено фінішним етапам механічної обробки виробу: фрезеруванню посадкових площин та підготовці кріпильних отворів, у яких формується точна внутрішня нарізь для надійної фіксації двигуна та насоса.

Конструкторський розділ містить розробку спеціалізованого складального кондуктора з розрахунком зусиль затискних елементів, що гарантує просторову точність виробу та мінімізацію залишкових зварювальних деформацій. Додатково опрацьовано питання просторового планування робочого місця зварника.

У розділі охорони праці проаналізовано потенційні виробничі ризики та запропоновано комплекс інженерних рішень для створення безпечних умов праці на робочому місці, включаючи заходи пожежної безпеки. Запропонована у проєкті технологія характеризується високою техніко-економічною ефективністю та повністю готова до впровадження у реальне машинобудівне виробництво.

Ключові слова: рама насоса; гвинтовий притискач; технологія зварювання; технологічний процес; складальний кондуктор.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the development and optimization of the manufacturing process for the welded spatial structure "Pump Frame" under mass production conditions.

The main goal of the work is to increase labor productivity and the quality of the finished product by replacing the obsolete manual arc welding method with highly efficient mechanized gas metal arc welding (GMAW).

During the work, the operational requirements for the load-bearing base, which is subjected to static and vibration loads from the operation of the pumping equipment, were analyzed, and the weldability of the base material—carbon steel VSt3sp—was investigated.

In the technological part of the work, the calculation of rational welding parameters was performed, appropriate welding materials and gas mixtures were selected, and a step-by-step algorithm for assembly and welding operations was developed.

Special attention is given to the final stages of the product's mechanical processing: milling the mounting surfaces and preparing the mounting holes, in which an accurate internal thread is formed for the reliable fixation of the motor and the pump.

The design section includes the development of a specialized assembly jig with the calculation of the clamping elements' forces, which ensures the spatial accuracy of the product and minimizes residual welding deformations.

Additionally, the issue of the spatial layout of the welder's workplace was addressed. In the occupational safety section, potential industrial risks were analyzed, and a comprehensive set of engineering solutions was proposed to create safe working conditions at the workplace, including fire safety measures.

The technology proposed in the project is characterized by high technical and economic efficiency and is fully ready for implementation in actual mechanical engineering production.

Keywords : pump frame; screw clamp; welding technology; technological process; assembly jig.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Загальна характеристика зварної конструкції рами насоса та її елементів.....	8
1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції рами насоса...	10
1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності.	11
1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	15
2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування.....	15
2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання.....	16
2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів.....	18
2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання.....	19
2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування....	22
2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції..	25
2.2.1 Заготівельні операції.....	25
2.2.2 Розробка технології складання та зварювання.....	29
2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями.....	31
2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку.....	33
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	35
3.1 Компонування складальних та зварювальних установок.....	35
3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань.....	40
3.3 Розробка плану цеху.....	43
4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ.....	47
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ.....	53

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Чорний В. Р.				Розроблення технології виготовлення рами насоса	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Матвієнків О.М.						5	52
Реценз.						ІФНТУНГ ЗТ-23-1К		
Н. Контр.	Матвієнків О.М.							
Затверд.	Андрусяк А.В.							

ВСТУП

Сучасний розвиток промислового машинобудування та енергетичного сектору вимагає постійного вдосконалення технологічних процесів виготовлення металевих конструкцій. Серед широкого спектра зварних виробів особливе місце посідають опорні металоконструкції, зокрема рами насосних агрегатів. Вони виконують роль фундаментальної основи, що забезпечує жорстку фіксацію обладнання, сприймає статичні навантаження від ваги вузлів та динамічні зусилля, що виникають під час експлуатації внаслідок вібрації.

Актуальність даної бакалаврської роботи зумовлена необхідністю підвищення техніко-економічних показників виробництва рами насоса в умовах серійного випуску. Традиційні методи виготовлення, що базуються на використанні ручного дугового зварювання, часто не забезпечують необхідної продуктивності та стабільності якості швів. Перехід до механізованих способів зварювання у захисних газових сумішах дозволяє значно скоротити час на виконання складально-зварювальних операцій, зменшити обсяги подальшої механічної обробки та забезпечити високу втомну міцність конструкції.

Об'єктом дослідження у роботі є технологічний процес виготовлення рами насоса, що складається зі швелерного прокату та листових елементів із вуглецевої сталі ВСт3сп. Особливістю даної конструкції є високі вимоги до точності взаємного розташування елементів, оскільки після завершення зварювальних робіт передбачається фінішна обробка посадкових поверхонь. Зокрема, критично важливим етапом є підготовка отворів, у яких нарізається внутрішня нарізь для надійного закріплення насосного обладнання та електродвигуна, що вимагає мінімізації залишкових зварювальних деформацій.

Метою роботи є розроблення комплексної технології виготовлення рами насоса, яка б включала обґрунтований вибір сучасного зварювального обладнання, розрахунок оптимальних режимів механізованого зварювання та проектування спеціалізованого оснащення. Реалізація запропонованих рішень дозволить забезпечити повну відповідність виробу технічним вимогам, знизити собівартість одиниці продукції та гарантувати безпечні умови праці на

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничій дільниці.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються наступні завдання:

- 1) проведення аналізу технологічності конструкції та зварюваності основного матеріалу;
- 2) порівняльний аналіз базового та проєктованого варіантів технології;
- 3) розрахунок параметрів режиму механізованого зварювання плавким електродом у середовищі $Ar+CO_2$;
- 4) проєктний розрахунок складально-зварювального пристрою для забезпечення точності складання;
- 5) розроблення заходів з охорони праці та пожежної безпеки під час виконання робіт.

Результати роботи мають практичну цінність для машинобудівних підприємств, що спеціалізуються на виготовленні рамних конструкцій для промислового обладнання.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальна характеристика зварної конструкції рами насоса та її елементів

Проектована зварна металоконструкція є основою для монтажу промислового насосного агрегату та електродвигуна. Рама насоса (рис.1.1) відноситься до класу просторових рамних конструкцій середньої складності, що працюють в умовах постійних статичних навантажень та знакозмінних динамічних зусиль.

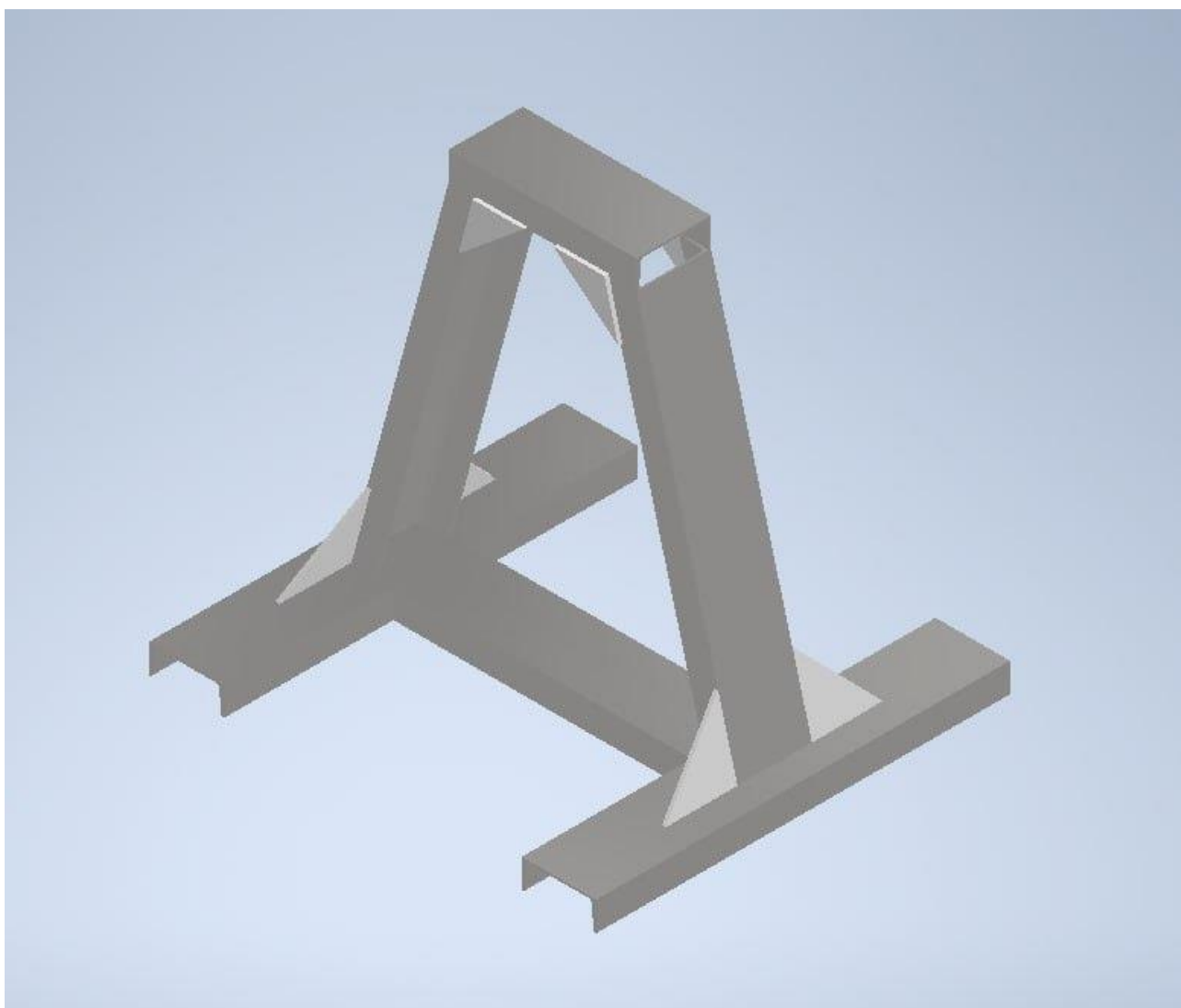


Рисунок 1.1 – 3D модель зварної конструкції рами насосу

Конструктивно виріб являє собою жорстку зварну збірку габаритними розмірами 1000x1100x1050 мм. Загальна маса конструкції після завершення всіх

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

етапів обробки становить 118,4 кг. Основний каркас рами формується з гарячекатаного швелера №18, що забезпечує необхідний момент опору вигину та високу жорсткість на кручення, яка є критичною для збереження співвісності валів насоса та привода.

До складу конструкції входять наступні основні елементи:

- 1) Поздовжні та поперечні балки каркаса — виготовлені зі швелера [18 (сталь ВСтЗсп), що з'єднуються між собою під прямим кутом, утворюючи тримальну основу.
- 2) Опорні плити (лапи) — виконані з листового прокату товщиною 16 мм. Вони слугують фундаментними опорами для всієї установки та мають отвори для анкерного кріплення до підлоги цеху.
- 3) Монтажні майданчики — листи товщиною 10 мм, приварені до верхніх полиць швелерів. Саме на цих елементах після зварювання виконується чистова механічна обробка площин. У них передбачено свердління отворів, де нарізається внутрішня нарізь, що забезпечує надійну болтову фіксацію станин обладнання.
- 4) Підсилювальні ребра та косинки — листові елементи, що встановлюються у вузлах з'єднання балок для підвищення загальної стійкості рами та запобігання виникненню концентраторів напружень.

Зварні з'єднання в даній конструкції є переважно кутовими (Т1, Т3) та тавровими, що виконуються за ГОСТ 5264-80. З огляду на експлуатаційні особливості, до рами висуваються високі вимоги щодо площинності монтажних поверхонь (відхилення не більше 0,5 мм на метр довжини). Це зумовлює необхідність суворого дотримання послідовності накладання швів для мінімізації термічних поведів.

Рама розрахована на тривалий термін експлуатації в умовах промислових приміщень. Використання сталі ВСтЗсп дозволяє отримати рівномірне зварне з'єднання без ризику утворення холодних тріщин, що в поєднанні з раціональним розташуванням ребер жорсткості гарантує стабільність геометричних параметрів рами насоса протягом усього життєвого циклу.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Характеристика технологічності зварної конструкції рами насоса

Технологічність конструкції рами насоса визначається сукупністю її властивостей, які дозволяють мінімізувати витрати праці, засобів та часу на всіх етапах виробничого циклу при повному забезпеченні заданих експлуатаційних показників. Оцінка технологічності даної рами проводиться за якісними та кількісними показниками з урахуванням умов серійного виробництва.

Якісна оцінка технологічності:

- 1) Матеріал конструкції: Використання сталі ВСтЗсп є раціональним рішенням, оскільки цей матеріал не потребує спеціальних технологічних заходів (наприклад, попереднього підігріву чи термічної обробки після зварювання) для запобігання появі тріщин. Це значно спрощує виробничий ланцюжок.
- 2) Геометрична форма та компонування: Рама складається з прямих відрізків стандартного швелера та листових заготовок простої форми. Це дозволяє використовувати високоефективне заготівельне обладнання (дискові пилки, гільйотинні ножиці, плазмове різання) з мінімальною кількістю відходів металу.
- 3) Доступність зварних з'єднань: Просторова структура рами насоса спроектована таким чином, що всі основні шви є відкритими та доступними для сопла зварювального напівавтомата. Це дозволяє виконувати зварювання у зручних положеннях, що критично важливо для стабільної якості при механізованому способі обробки.
- 4) Складально-технологічні властивості: Конструкція дозволяє проводити складання за принципом "від бази", де основні балки швелера слугують основою для позиціювання інших елементів. Використання складально-зварювальних пристроїв забезпечує високу точність без тривалого ручного припасування деталей.
- 5) Взаємозв'язок зі суміжними операціями: Конструкція рами враховує необхідність подальшої механічної обробки. Товщина полиць швелера та накладних листів обрана з урахуванням припусків на фрезерування

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

посадкових площин. Це гарантує, що після зняття шару металу залишиться достатня товщина стінки для того, щоб внутрішня нарізь у кріпильних отворах мала необхідну кількість витків для надійної фіксації болтів.

Кількісна оцінка технологічності:

- 1) Коефіцієнт використання матеріалу: Завдяки застосуванню стандартних профілів (швелер №18) та розкрою листового металу, даний показник наближається до 0,9, що свідчить про високу економічну ефективність конструкції.
- 2) Коефіцієнт зварності: Відношення маси наплавленого металу до загальної маси рами є оптимальним для рамних конструкцій такого типу, що вказує на відсутність надлишкових зварних швів.
- 3) Ступінь уніфікації: Більшість елементів рами (косинки, ребра жорсткості, опорні плити) є уніфікованими, що дозволяє виготовляти їх великими партіями, знижуючи собівартість одиниці продукції.

Загалом, аналіз показує, що конструкція рами насоса є високовдосконаленою з точки зору сучасних технологій зварювального виробництва. Вона повністю придатна для автоматизації та механізації процесів, що забезпечує високу швидкість виготовлення при мінімальних витратах ресурсів.

1.3 Аналіз матеріалів зварної конструкції та визначення їх зварюваності

Для забезпечення високої експлуатаційної надійності рами насоса, що працює в умовах постійної вібрації та статичних навантажень, основним конструкційним матеріалом обрано вуглецеву сталь звичайної якості марки ВСт3сп (згідно з ДСТУ 2651:2005) [1]. Вибір цієї сталі зумовлений її високою технологічністю, доступністю та відмінною здатністю до формування міцних зварних з'єднань без застосування спеціальних методів термічного впливу.

Першочерговим фактором, що визначає придатність металу до

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювання, є його хімічний склад. Для сталі ВСтЗсп характерним є низький вміст шкідливих домішок, що позитивно впливає на кристалізацію зварної ванни. Основні хімічні показники обраного матеріалу наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі ВСтЗсп

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
0,14÷0,22	0,40÷0,65	0,05÷0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3	0,08

Для кількісної оцінки зварюваності та прогнозування структури металу в зоні термічного впливу проведемо розрахунок еквівалента вуглецю за загальноприйнятою формулою (1.1):

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (1.1)$$

Підставивши середні значення вмісту хімічних елементів для сталі ВСтЗсп (C=0,18%; Mn=0,5%; Si=0,11%; Ni=0,3%; Cu=0,3%; P=0,04), отримуємо:

$$C_{\text{екв}} = 0,18 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,11}{24} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,04}{2} \approx 0,31\%$$

Оскільки отримане значення еквівалента вуглецю ($C_{\text{екв}} = 0,31\%$) знаходиться в межах до 0,35%, сталь ВСтЗсп відноситься до групи матеріалів, що зварюються без обмежень. Це підтверджує, що в процесі термічного циклу зварювання в навколошовній зоні не утворюються гартові структури, що повністю виключає ризик виникнення холодних тріщин. Зварювання рами насоса можна проводити за нормальних температурних умов без попереднього чи супутнього підігріву.

Окрім хімічних характеристик, для рами насоса критично важливими є показники міцності та пластичності, які представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі ВСтЗсп

ГОСТ	Стан постачання	Переріз, мм	σ_T	σ_B	$\delta, \%$
			МПа		
16533-70	Лист гарячекатаний	8-12	235-255	370-480	22

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Завдяки високому відносному видовженню та оптимальній границі плинності, матеріал забезпечує необхідну жорсткість рами, одночасно дозволяючи ефективно поглинати вібраційну енергію від працюючого агрегату. Така однорідність властивостей сталі ВСтЗсп є визначальною для етапу фінішної механічної обробки конструкції. Після завершення зварювальних робіт та стабілізації внутрішніх напружень, матеріал дозволяє проводити точне свердління та формування внутрішньої нарізі у монтажних отворах. Якість отриманої нарізі гарантує надійність болтового кріплення станини насоса та двигуна протягом усього терміну експлуатації.

1.4 Аналіз існуючого (базового) технологічного процесу

Аналіз базового технологічного процесу виготовлення рами насоса дозволяє виявити слабкі місця виробництва та обґрунтувати необхідність впровадження нових технологічних рішень. В існуючому варіанті, який розглядався як вихідний, основна частина складально-зварювальних робіт базується на застосуванні ручного дугового зварювання (РДЗ) покритими електродами марки АНО-13.

Технічна характеристика базового процесу: В існуючій технології зварювання виконується на стаціонарних постах, обладнаних зварювальними випрямлячами типу ВД-306. Складання конструкції проводиться на універсальних розмічальних плитах з використанням стандартних струбцин та ручного вимірювального інструменту. Такий підхід має низку суттєвих технологічних та економічних недоліків:

- 1) Низька продуктивність праці: Ручне зварювання характеризується малим коефіцієнтом наплавлення та значними витратами часу на допоміжні операції: заміну електродів, зачищення кратерів та видалення шлакової кірки після кожного проходу. В умовах серійного виробництва (4500 одиниць на рік) це створює «вузьке місце» у виробничому циклі.
- 2) Залежність від людського фактора: Якість зварних швів при РДЗ критично залежить від кваліфікації зварника. Нестабільність довжини дуги та

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості переміщення електрода часто призводять до появи таких дефектів, як непровари, підрізи або пористість, що потребує додаткових витрат на виправлення браку.

- 3) Значні термічні деформації: Через високу концентрацію тепла та низьку швидкість зварювання, зона термічного впливу при ручній обробці є досить широкою. Це спричиняє жолоблення рами та порушення її геометричної точності. Як наслідок, виникають складнощі при подальшій механічній обробці посадкових місць, де точність позиціонування отворів під кріпильну нарізь повинна бути максимальною.
- 4) Високі втрати матеріалів: При використанні покритих електродів значна частина металу втрачається на розбризкування та недогарки, що негативно впливає на собівартість виробу.
- 5) Трудомісткість заготівельних та фінішних операцій: Базовий процес не передбачає використання спеціалізованої оснастки, що подовжує етап складання «по місцю». Крім того, велика кількість бризок металу на поверхні швелерів вимагає тривалого слюсарного зачищення перед фарбуванням чи механічною обробкою.

Особливу проблему базового процесу становить забезпечення співвісності опорних елементів. Через нестабільні поведження конструкції під час ручного зварювання, після завершення робіт нерідко спостерігається «гвинт» рами, що перевищує допустимі 1-2 мм. Це змушує збільшувати припуски на фрезерування, що здорожує процес нарізання внутрішньої нарізі та загальну збірку агрегату.

Проведений аналіз показує, що існуюча технологія виготовлення рами насоса на базі ручного дугового зварювання є морально застарілою та економічно неефективною для заданих обсягів виробництва. Вона не забезпечує необхідної повторюваності результатів та високої якості поверхонь. Це створює об'єктивні передумови для переходу до механізованого зварювання у захисних газах та застосування спеціалізованого складально-зварювального обладнання, що і буде розроблено в наступних розділах роботи.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір способів зварювання і зварювального устаткування

Розроблення ефективного технологічного процесу виготовлення просторових металоконструкцій, до яких належить опорна рама насоса, базується на правильному підборі методів з'єднання деталей та відповідної апаратної бази. Вибір раціонального способу зварювання є фундаментальним етапом, що визначає не лише техніко-економічні показники виробництва, але й кінцеву експлуатаційну надійність виробу, який безперервно працюватиме в умовах динамічних та вібраційних навантажень.

Оскільки основним матеріалом конструкції є вуглецева сталь звичайної якості ВСтЗсп, а товщина елементів, що зварюються (швелерний прокат та листові деталі), варіюється від 10 до 16 мм, обрана технологія повинна гарантувати глибоке проплавлення кореня шва та стабільне формування необхідного катета без утворення макродефектів. Традиційне ручне дугове зварювання покритими електродами в умовах серійного випуску виявляється технологічно застарілим та малоефективним. Висока частка ручної праці, значні втрати часу на супутні операції (видалення шлакової кірки, постійна заміна електродів) та неминучі термічні деформації через надмірне локальне тепловкладення роблять цей метод неконкурентоспроможним.

Особливої уваги під час проектування вимагає збереження жорсткості та суворої площинності просторового каркаса. Будь-які значні термічні повідки після зварювання ускладнюють або роблять неможливим якісне виконання подальших етапів механічної обробки. Саме на цих фінішних етапах у монтажних майданчиках формуються точні кріпильні отвори та нарізається внутрішня нарізь, яка відповідає за жорстке та співвісне позиціонування станини насоса та привідного електродвигуна.

Враховуючи зазначені технологічні бар'єри, базовим рішенням у даній роботі обрано перехід на механізоване зварювання плавким металевим електродом у середовищі багатокomпонентних захисних газів (MAG).

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання активних газових сумішей на основі аргону дозволяє перевести процес у дрібнокрапельне або струминне перенесення присадного матеріалу. Це різко знижує розбризкування рідкого металу, забезпечує плавний перехід від шва до основного металу та гарантує високу продуктивність праці завдяки безперервному автоматизованому подаванню зварювального дроту.

Для повної реалізації переваг обраного способу зварювання та забезпечення стабільності процесу передбачається використання сучасного промислового обладнання інверторного типу, зокрема зварювальної системи Fronius TransSynergic 4000. Впровадження інверторних джерел живлення із вбудованим синергетичним керуванням та надійними чотирироликowymi механізмами подавання дроту дозволяє автоматично адаптувати параметри горіння дуги. Це мінімізує негативний вплив людського фактора та забезпечує стабільно високу якість зварних з'єднань на всіх ділянках просторової рами. Такий комплексний підхід до вибору технології та устаткування є найбільш обґрунтованим і раціональним для умов сучасного машинобудівного підприємства.

2.1.1 Техніко-економічне обґрунтування способів зварювання

Вибір оптимального способу формування нерознімних з'єднань для просторової рами насоса базується на необхідності досягнення високої рентабельності та стабільної якості в умовах серійного випуску із річною програмою 4500 одиниць.

Існуючий (базовий) технологічний підхід, що спирається на застосування ручного дугового зварювання (РДЗ) штучними покритими електродами, демонструє низку критичних недоліків, які роблять його економічно недоцільним для заданих масштабів виробництва. Головним обмежувальним фактором є низький коефіцієнт наплавлення та суттєві втрати робочого часу на допоміжні операції: постійну заміну електродів, переривання процесу горіння дуги, зачищення кратерів і обов'язкове видалення шлакової кірки після кожного проходу. Крім того, специфіка тепловкладення при РДЗ характеризується

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворенням широкої зони термічного впливу, що призводить до неминучих залишкових деформацій зварного швелерного каркаса. Збереження суворой геометричної стабільності основи є критично важливим етапом, оскільки будь-які перекоси унеможливлюють подальше точне фрезерування посадкових майданчиків та свердління кріпильних отворів, у яких нарізатиметься внутрішня нарізь для жорсткої фіксації станини насоса і двигуна.

З метою усунення вказаних технологічних бар'єрів та підвищення загальної ефективності виробничого циклу, у даному проєкті обґрунтовується доцільність переходу до механізованого зварювання плавким електродом у середовищі активних захисних газів (MAG). Цей спосіб є найбільш раціональним для з'єднання елементів з вуглецевої сталі ВСт3сп товщиною від 10 до 16 мм.

Техніко-економічні переваги впровадження MAG-процесу для виготовлення рами насоса полягають у наступному:

- 1) Багаторазове зростання продуктивності: Завдяки безперервному механізованому подаванню присадного дроту швидкість виконання зварювальних робіт збільшується у 2–2,5 раза, що ліквідує "вузькі місця" на складально-зварювальній ділянці.
- 2) Оптимізація теплових процесів: Висока концентрація теплової енергії дуги та збільшена швидкість переміщення пальника радикально зменшують загальне тепловкладення в деталь. Це запобігає жолобленню масивної конструкції та зберігає співвісність майбутніх кріпильних вузлів.
- 3) Мінімізація втрат матеріалу: Використання багатокомпонентної газової суміші забезпечує стабільне перенесення металу, що зводить до мінімуму втрати на розбризкування. Це не лише економить зварювальний дріт, а й практично повністю усуває потребу у трудомісткій слюсарній обробці навколошовних поверхонь від налиплих крапель перед нанесенням лакофарбового покриття.
- 4) Висока якість провару: Сприятлива форма зварної ванни гарантує надійне сплавлення кореня шва у кутових та таврових з'єднаннях каркаса, забезпечуючи високу втомну міцність виробу під впливом вібраційних

5)

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажень.

Таким чином, заміна застарілого методу РДЗ на сучасне напівавтоматичне зварювання у захисних газах є ключовим інженерним рішенням, яке гарантує зниження собівартості одиниці продукції та підвищення надійності рами насоса під час експлуатації.

2.1.2 Вибір зварювальних матеріалів

Забезпечення експлуатаційної надійності та міцності рами насоса, що піддається значним вібраційним навантаженням, вимагає ретельного підбору зварювальних матеріалів. Головною метою є отримання металу шва, який за своїми механічними характеристиками та хімічним складом буде максимально наближений до основного матеріалу конструкції — сталі ВСтЗсп.

Зварювальний дріт. Для реалізації механізованого зварювання плавким електродом обрано легований дріт марки Св-08Г2С діаметром 1,2 мм (згідно з ДСТУ 2246-87) [2]. Цей діаметр є оптимальним для стабільного горіння дуги в умовах серійного виробництва, забезпечуючи високу швидкість наплавлення та якісний провар елементів товщиною до 16 мм. Хімічні показники обраного присадного матеріалу, що гарантують розкислення зварної ванни, наведені нижче.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С

C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
0,05÷0,11	1,8÷2,1	0,7÷0,95	0,2	0,25	0,028	0,03

Завдяки підвищеному вмісту марганцю та кремнію, дріт Св-08Г2С ефективно нейтралізує залишковий кисень та азот у зоні плавлення. Це запобігає утворенню пор та забезпечує дрібнозернисту структуру шва, що критично важливо для збереження цілісності рами під час роботи агрегату. Висока чистота поверхні швів після використання цього дроту дозволяє без перешкод

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переходити до наступних етапів обробки, зокрема до формування отворів, у яких нарізається внутрішня нарізь для встановлення двигуна та насоса.

Захисне газове середовище. Для надійної ізоляції зони зварювання від впливу атмосферного повітря обрано двокомпонентну газову суміш складу 82% Ar + 18% CO₂ [3]. Використання аргонової основи замість чистого вуглекислого газу дозволяє змінити енергетичні характеристики дуги, перевівши процес у режим стабільного дрібнокрапельного перенесення металу. Таке рішення забезпечує:

- 1) суттєве зменшення витрат присадного матеріалу на розбризкування;
- 2) отримання гладкого та естетичного валика зварного шва;
- 3) стабільну глибину проплавлення кореня у кутових з'єднаннях.

Комплексне застосування дроту Св-08Г2С та захисної суміші на основі аргону дозволяє досягти найвищої якості виготовлення рами насоса, мінімізуючи витрати на фінішну слюсарну обробку конструкції.

2.1.3 Визначення та розрахунок режимів зварювання

Формування надійних нерознімних з'єднань просторового каркаса рами насоса вимагає точного математичного обґрунтування енергетичних параметрів зварювальної дуги [4]. Головна мета розрахунку полягає у забезпеченні необхідної глибини проплавлення кореня шва при з'єднанні прокату товщиною від 10 до 16 мм (сталь ВСт3сп) із суворим дотриманням допустимого рівня тепловкладення. Жорсткий контроль погонної енергії є критичним фактором, оскільки надмірне перегрівання металу неминуче призведе до термічного короблення базових поверхонь. Збереження геометричної стабільності швелерної основи є обов'язковою умовою для того, щоб на етапі механічної обробки в кріпильних отворах була сформована ідеально точна внутрішня нарізь.

Основними параметрами, які підлягають розрахунку для напівавтоматичного процесу в захисному середовищі, є сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість переміщення пальника та витрата газової суміші. Діаметр легованого електродного дроту суцільного перерізу приймаємо

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструктивно $d_e = 1,2$ мм, що гарантує стабільне подавання матеріалу через роликовий механізм та роботу на високих густинах струму.

Розрахунок сили зварювального струму

Сила струму є визначальним параметром для досягнення розрахункової глибини провару та необхідної кінематики плавлення дроту. Значення сили струму обчислюється через оптимальну густину струму за формулою (2.1):

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

де j — рекомендована густина зварювального струму для механізованого зварювання в суміші газів, А/мм²;

d_e — діаметр електродного дроту, мм.

При заданих значеннях $j = 165$ А/мм² та $d_e = 1,2$ мм, згідно з формулою (2.1) одержимо:

$$I_{зв} = 165 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 186,5 \text{ А.}$$

Для забезпечення стабільного дрібнокрапельного перенесення металу при товщині деталей до 16 мм, приймаємо робоче значення струму $I_{зв} = 190$ А.

Визначення напруги на дузі

Напруга безпосередньо формує ширину зварної ванни та геометричний профіль валика. Для синергетичних систем керування оптимальна напруга дуги знаходиться у лінійній залежності від струму і розраховується за емпіричною формулою (2.2) [5]:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} \quad (2.2)$$

де $I_{зв}$ — робоча сила зварювального струму, А.

При $I_{зв} = 190$ А, згідно з формулою (2.2) одержимо:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot 190 = 23,5 \text{ В.}$$

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей показник гарантує плавний перехід від наплавленого металу до основного без утворення різких концентраторів напружень чи підрізів, тому робочий діапазон напруги встановлюється в межах 23–24 В.

Розрахунок швидкості зварювання

Швидкість лінійного переміщення джерела тепла прямо впливає на площу поперечного перерізу наплавленого валика шва та інтенсивність кристалізації ванни. Оптимальна швидкість зварювання визначається з умови заповнення заданої площі шва за формулою (2.3):

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{F_{ш} \cdot \rho \cdot 100} \quad (2.3)$$

де α_n — коефіцієнт наплавлення для легованого дроту в суміші активних та інертних газів, г/(А·год) [6];

$I_{зв}$ — робоча сила зварювального струму, А;

$F_{ш}$ — середня площа поперечного перерізу наплавленого металу кутового шва, см²;

ρ — густина розплавленої сталі, г/см³.

При заданих значеннях $\alpha_n = 14$ г/(А·год), $I_{зв} = 190$ А, $F_{ш} = 0,18$ см², $\rho = 7,85$ г/см³, згідно з формулою (2.3) одержимо:

$$V_{зв} = \frac{14 \cdot 190}{0,18 \cdot 7,85 \cdot 100} = 18,8 \text{ м/год.}$$

З урахуванням похибок на ручне коригування пальника зварником, конструктивно приймаємо швидкість переміщення на рівні 18–20 м/год.

Визначення витрати захисного газу

Для створення щільного ламінарного потоку, що повністю ізолює рідку зварну ванну від окиснювального впливу атмосфери, витрата двокомпонентної газової суміші (82% Ar + 18% CO₂) розраховується пропорційно до діаметра дроту за формулою (2.4):

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = k_r \cdot d_p \quad (2.4)$$

де k_r — коефіцієнт витрати газу, що враховує конструкцію газорозподільного сопла, л/(хв·мм);

d_e — діаметр електродного дроту, мм.

При $k_r = 12$ л/(хв·мм) та $d_e = 1,2$ мм, згідно з формулою (2.4) одержимо:

$$Q = 12 \cdot 1,2 = 14,4 \text{ л/хв.}$$

Робоча витрата газу на редукторі встановлюється на рівні 14–15 л/хв.

Зведені показники розрахованих та оптимізованих параметрів процесу механізованого зварювання для складання рами насоса наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Режими механізованого зварювання рами насоса у середовищі захисних газів

Товщина металу, мм	Діаметр дроту, мм	Катет шва, мм	Зварювальний струм, А	Напруга, В	Швид. звар., м/год	Виліт електр., мм	Витрата газу, л/хв
5, 10, 16.	1.2	4	185÷195	23÷24	18÷20	12÷15	14÷15

2.1.4 Вибір основного та допоміжного зварювального устаткування

Ефективна реалізація механізованого зварювання в середовищі захисних газів для просторової рами насоса потребує застосування інтелектуальних систем керування зварювальною дугою. Відповідно до вимог щодо підвищення рівня механізації виробничих процесів, вибір устаткування базувався на аналізі технічних можливостей сучасних цифрових комплексів, що здатні забезпечити стабільність параметрів у різних просторових положеннях.

Основним критерієм вибору є необхідність забезпечення жорсткої зовнішньої вольт-амперної характеристики джерела живлення, що є обов'язковою умовою для MAG-процесу. Враховуючи конкретні умови експлуатації на ділянці, а саме складність доступу до окремих вузлів каркаса та

значні габарити виробу, як базове обладнання обрано синергетичний напівавтомат інверторного типу Fronius TransSynergic 4000 [7].

Даний вибір обґрунтований наступними технічними факторами, що відповідають умовам раціонального використання устаткування:

- 1) Ступінь механізації та автоматизації: Апарат має повністю цифрове керування. Завдяки впровадженню системи «Synergic» [8], зварнику достатньо обрати лише марку дроту (Св-08Г2С), його діаметр (1,2 мм) та тип захисного газу, а система автоматично налаштовує оптимальну швидкість подавання дроту та напругу, що мінімізує вплив людського фактора.
- 2) Мобільність та доступність: Конструкція напівавтомата передбачає використання виносного механізму подавання дроту VR 4000. Це дозволяє основному джерелу живлення залишатися стаціонарним, тоді як зварник може вільно переміщуватися навколо рами насоса, забезпечуючи доступ до будь-якого з'єднання без деформації шланг-пакетів.
- 3) Програмне керування: Наявність вбудованих програм для зварювання сталей у сумішах Ar+CO₂ дозволяє підтримувати стабільне дрібнокрапельне перенесення металу. Це критично важливо для зменшення термічних поведів конструкції, оскільки будь-яке викривлення опорної основи може призвести до неспіввісності під час фінішної обробки монтажних отворів, де згодом формується внутрішня нарізь.
- 4) Стабілізація параметрів: Використання мікропроцесорної стабілізації довжини дуги гарантує відсутність розбризкування металу. Це усуває потребу в тривалому зачищенні поверхонь перед фарбуванням та механічною обробкою кріпильних майданчиків.

Технічні показники синергетичного напівавтоматичного комплексу наведено у таблиці 2.3.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики напівавтомата Fronius TransSynergic 4000

Основні параметри напівавтомата	Величина параметру
Номінальна напруга мережі трифазного змінного струму, В.	220÷230
Частота мережі живлення, Гц	50÷60
Номінальний зварювальний струм, А при ТВ=60% та циклі зварювання 10 хв/40с	200
Номінальний зварювальний струм, А при ТВ=100% та циклі зварювання 10 хв/40с	300
Вид струму	Постійний
Межі регулювання зварювального струму, А.	15÷250
Діаметр дроту, мм.	До 5
Напруга холостого ходу, В	45
Габаритні розміри напівавтомата, мм: довжина, ширина, висота.	457x226x339
Маса напівавтомата , кг.	14



Рисунок 2.1 – Зварювальний напівавтомата Fronius TransSynergic 4000

Використання напівавтомата Fronius TransSynergic 4000 (рис.2.1) у поєднанні з виносним блоком подавання дроту та транспортним візком створює

					КРБ.3Т-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ергономічне робоче місце, що повністю відповідає сучасним стандартам машинобудівного виробництва. Таке обладнання забезпечує найвищий рівень точності зварювальних робіт, що є запорукою якості всієї рами та надійності болтових з'єднань, які фіксуються в отворах через нарізь.

2.2 Розробка технологічного процесу виготовлення зварної конструкції

Проектування раціонального технологічного маршруту виготовлення рами насоса базується на принципах послідовного нарощування жорсткості конструкції при забезпеченні максимальної точності взаємного розташування елементів. Технологічний цикл розроблено таким чином, щоб мінімізувати кількість кантувань виробу та оптимізувати витрати часу на складально-зварювальні операції в умовах серійного виробництва [9].

2.2.1 Заготівельні операції

Ефективність та якість зварювального виробництва закладаються на етапі підготовки та розкрою металопрокату. Для виготовлення просторової рами насоса, що складається зі швелерів №18 та листових елементів різної товщини (10–16 мм), технологічний процес заготівельних робіт організовано таким чином, щоб забезпечити максимальну точність геометричних розмірів та чистоту поверхонь під зварювання.

Первинна обробка та очищення металу

На початковому етапі проводиться вхідний контроль прокату та його очищення. Основним завданням є видалення іржі, окалини та консерваційного мастила, що є критично важливим для стабільного горіння дуги напівавтомата Fronius. Для великогабаритних елементів швелерного каркаса застосовується механічне очищення за допомогою дробоструминних установок або шліфувальних машин. Чистота поверхні повинна відповідати другому ступеню згідно з ДСТУ, що гарантує відсутність пір та включень у майбутніх зварних швах.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розкрій та розділення профільного прокату

Для отримання мірних заготовок поздовжніх та поперечних балок рами використовується гарячекатаний швелер. Основним обладнанням для цієї операції обрано відрізний стрікопильного верстата, моделі 8Б545 (рис.2.2), що дозволяє виконувати точні перпендикулярні різи без значного термічного впливу на метал. Використання стрікопильного верстата забезпечує високу якість торців, які не потребують додаткового слюсарного доведення перед складанням.



Рисунок 2.2 – Стрікопильний верстат 8Б545

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика стрікопильного верстата 8Б545

Найменування параметра	Значення
Призначення обладнання	Розрізання фасонного та профільного прокату (зокрема швелерів)
Габаритні розміри (Довжина x Ширина x Висота), мм	3325 x 3030 x 2150
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	4,1
Клас точності верстата	Н (нормальний)
Маса верстата з виносним обладнанням, кг	4300

Розкрій листових елементів

Виготовлення опорних плит, косинок та підсилювальних ребер жорсткості виконується з листової сталі ВСтЗсп. Для прямих розрізів листових деталей товщиною до 16 мм раціонально використовувати гільйотинні ножиці моделі Н481А (рис.2.3) . Для деталей складної конфігурації або при необхідності отримання високої точності кромки застосовується верстат термічного різання з ЧПК (наприклад, установка «Комета» або аналоги для плазмового розкрою). Це дозволяє мінімізувати припуски на подальшу механічну обробку.



Рисунок 2.3 – Гільйотинні ножиці моделі Н481А

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика механічних гільйотинних ножиць Н481А

Найменування параметра	Значення
Найбільша товщина листа, що розрізається (для сталі), мм	20
Найбільша ширина листа, що розрізається, мм	3150
Номінальне зусилля різання, кН (тс)	1400 (140)
Число ходів ножа, хід/хв	30
Хід ножа, мм	170
Потужність головного електродвигуна, кВт	28
Габаритні розміри (Довжина x Ширина x Висота), мм	5040 x 3350 x 2660
Маса обладнання, кг	33150

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічна підготовка кромки та свердління

Після завершення розділових операцій проводиться підготовка кромки під зварювання. Для з'єднань, що потребують зняття фасок, використовується кромкостругальне обладнання або ручні кутові шліфувальні машини (УШМ). Зачищення зон навколо швів на ширину 20 мм до металевого блиску є обов'язковою вимогою для MAG-зварювання у суміші Ar+CO₂.

Окремим відповідальним етапом є підготовка монтажних отворів у верхніх плитах рами. Для цього застосовується вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135 (рис.2.3). Свердління проводиться згідно з розміткою або по шаблону. Висока точність позиціонування та дотримання діаметрів отворів на цьому етапі є запорукою того, що після завершення зварювальних робіт у них буде сформована якісна внутрішня нарізь. Саме ця нарізь забезпечуватиме надійну фіксацію агрегату до рами, тому відсутність відхилень на заготівельному етапі є пріоритетною.



Рисунок 2.4 – Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н135

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика вертикально-свердлильного верстата 2Н135

Найменування параметра	Значення
Найбільший умовний діаметр свердління в сталі, мм	35
Кількість швидкостей обертання шпинделя	12
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	31,5 – 1400
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	4,0
Розміри робочої поверхні стола, мм	450 x 500
Маса верстата, кг	1200

Завершення заготівельних операцій передбачає маркування деталей та їх транспортування на дільницю складання, де в спеціалізованому кондукторі розпочнеться формування просторової структури рами насоса.

2.2.2 Розробка технології складання та зварювання

Технологічний цикл формування просторового вузла рами насоса MB150.01.000, базується на принципах послідовного нарощування жорсткості конструкції за допомогою спеціалізованої оснастки. Процес регламентується суворим порядком встановлення деталей, що дозволяє мінімізувати термічні деформації та забезпечити точність взаємного розташування елементів під подальшу механічну обробку.

Технологічна послідовність складання

Виготовлення конструкції розпочинається з формування попереднього технологічного підвузла. На цьому етапі виконується спряження стійок (поз. 3) та косинців (поз. 6). Фіксація елементів здійснюється шляхом накладання шести прихоплювань завдовжки 15 мм кожне. Під час операції критично важливо витримати проектний зазор у межах 5 ± 2 мм.

Наступний етап передбачає використання складального пристрою для формування основи рами:

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) У спеціальні заглиблення бази пристрою послідовно інсталюються чотири підкладки (поз. 7).
- 2) Орієнтуючись на пази нерухомих упорів та кромки раніше встановлених підкладок, виставляються дві деталі основи (поз. 1).
- 3) Зібраний пакет деталей жорстко фіксується в П-подібних пазах пластин пристрою за допомогою чотирьох гвинтових поворотних притискачів. Після перевірки геометрії виконується шість прихоплювань ($L=15$ мм).
- 4) Використовуючи П-подібні пази фігурного упору, на основу (поз. 1) монтуються два раніше підготовлені підвузли (стійка + косинець). Для їхнього позиціонування та тимчасового закріплення застосовуються електромагнітні фіксатори.
- 5) Завершальною операцією на стапелі є встановлення поперечини (поз. 5) у пази фігурного упору та її спряження зі стійками (поз. 3). Після фіксації вузла електромагнітами виконується десять прихоплювань завдовжки 15 мм.

Після завершення основного етапу складання гвинтові притискачі переводяться у неробоче положення, а рама вилучається з пристрою. На вільних від оснащення ділянках, згідно з розміткою, на стійки та поперечину встановлюються чотири додаткові косинці (поз. 4). При цьому витримується допуск 5 ± 2 мм та накладається вісім фіксуючих прихоплювань по 15 мм.

Технологія зварювальних робіт

Перед початком зварювання всі прихоплювання підлягають обов'язковому зачищенню до металевого блиску. Зварювальний процес організовується з урахуванням потреби у вільному доступі до з'єднань, для чого передбачено кантування вузла у зручні просторові положення.

Характеристики зварних з'єднань рами представлені в таблиці 2.8 [10].

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Параметри основних зварних швів рами MB150.01.000

Тип з'єднання за ДСТУ	Кількість та тип швів	Елементи, що з'єднуються	Характеристики шва (катет, довжина)
T1 (таврове)	4 кутових прямолінійних	Основа (поз. 1) — Поперечина (поз. 2)	k = 4 мм, L = 70 мм
T1 (таврове)	2 по незамкнутому контуру	Основа (поз. 1) — Стійка (поз. 3)	k = 4 мм, L = 320 мм
T1 (таврове)	8 кутових прямолінійних	Основа (поз. 1) — Підкладка (поз. 7)	k = 4 мм, L = 150 мм
T3 (таврове)	4 кутових двосторонніх	Основа (1), Стійка (3), Косинець (6)	k = 4 мм, L = 300 мм
C2 (стикове)	2 прямолінійних	Основа (поз. 1) — Поперечина (поз. 2)	L = 180 мм
C2 (стикове)	4 прямолінійних	Стійка (поз. 3) — Поперечина (поз. 5)	L = 75 мм

Після завершення зварювальних операцій виконується фінішне очищення швів та прилеглих зон від бризок і оксидів. Готовий виріб спрямовується на технологічний контроль для перевірки цілісності з'єднань та точності посадкових місць, де згодом буде виконуватися свердління та формуватися внутрішня нарізь.

2.2.3 Вибір заходів боротьби зі зварювальними напруженнями та деформаціями

Виготовлення складної просторової металоконструкції, якою є рама насоса, неминуче супроводжується виникненням внутрішніх зварювальних напружень. Нерівномірне нагрівання та подальше охолодження металу в зоні термічного впливу призводять до виникнення поздовжніх і поперечних деформацій. Оскільки конструкція має велику кількість таврових та кутових з'єднань, основним завданням є вибір таких технологічних заходів, які дозволять мінімізувати жолоблення каркаса та зберегти точність посадкових площин.

Збереження проектної геометрії є критичною умовою для подальшого етапу механічної обробки. Будь-які значні відхилення від площинності унеможливають якісне свердління монтажних отворів та формування в них точної внутрішньої нарізі, необхідної для надійної фіксації агрегату.

Для запобігання деформаціям у даній роботі прийнято наступний комплекс заходів:

- 1) Жорстке закріплення деталей у пристрої. Складання та зварювання рами проводиться у спеціалізованому кондукторі. Використання гвинтових притискачів та упорів створює жорсткий опір термічній усадці металу шва під час його кристалізації. Це дозволяє утримувати деталі в заданому проектному положенні до повного завершення циклу зварювання.
- 2) Рациональна послідовність накладання швів. Застосовується принцип врівноваження деформацій. Зварювання виконується симетрично відносно нейтральної осі рами. Спочатку накладаються короткі шви (прихватки), а основне зварювання ведеться від середини конструкції до її країв. Це дозволяє тепловим потокам розподілятися рівномірно, компенсуючи напруження від попередніх проходів наступними.
- 3) Використання обернено-ступінчастого способу зварювання. Для довгих прямолінійних швів, що з'єднують швелери основи, застосовується метод поділу шва на ділянки. Зварювання кожної ділянки ведеться у напрямку, протилежному загальному приросту шва. Це значно знижує загальний рівень залишкових напружень у конструкції.
- 4) Зменшення погонної енергії зварювання. Перехід від ручного дугового зварювання до механізованого MAG-процесу в газовій суміші (Ar+CO₂) дозволяє використовувати більш концентроване джерело тепла. Завдяки високій швидкості зварювання та стабільності дуги апарата Fronius, зона термічного впливу звужується, що прямо пропорційно зменшує величину термічних деформацій.
- 5) Витримка вузла у пристрої до повного охолодження. Рама вилучається з кондуктора лише після того, як температура зварних з'єднань зрівняється

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з температурою навколишнього середовища. Це запобігає «пружинному» ефекту та жолобленню вільної конструкції під дією внутрішніх сил.

У разі виникнення незначних поводів після зварювання, передбачається проведення правки на спеціальних плитах, проте обраний технологічний маршрут спрямований на те, щоб звести потребу в правці до мінімуму. Це гарантує, що кожна нарізь у кріпильних вузлах буде розташована суворо вертикально і без зміщень відносно осей насоса.

2.2.4 Технічний контроль якості та виправлення браку

Гарантування безперебійної експлуатації та довговічності просторової рами насоса вимагає впровадження багаторівневої системи технічного контролю на всіх стадіях виробництва. Оскільки агрегат під час роботи генерує значні вібраційні навантаження, наявність прихованих макродефектів або порушення геометрії зварних вузлів є абсолютно неприпустимими.

Організація стадійного контролю

Система управління якістю розбита на три ключові етапи. Першим кроком є вхідний контроль матеріалів, який полягає у ретельній перевірці сертифікатів на сталений прокат (ВСт3сп), легований дріт (Св-08Г2С) та балони із захисною сумішшю (Ar+CO₂). Одночасно інспектується якість підготовки кромek деталей, їхнє очищення від оксидної плівки та точність базування у складальному пристрої із дотриманням необхідних зазорів.

Другим етапом є поопераційний нагляд, що здійснюється безпосередньо в процесі накладання швів. Контролер або майстер ділянки відстежує дотримання заданих параметрів механізованого зварювання (силу струму в межах 180–200 А, робочу напругу та витрату газу), а також правильність виконання обернено-ступінчастої схеми заповнення швів.

Завершальним етапом є приймальний контроль готової конструкції. Після повного охолодження металу до температури навколишнього середовища всі з'єднання піддаються 100% візуально-вимірювальному контролю (ВВК). За допомогою універсальних шаблонів зварника перевіряються катети кутових та таврових швів ($k=4$ мм), їхня ширина та плавність переходу валиків до основного

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металу. Паралельно виконується інструментальна перевірка площинності верхніх монтажних плит. Відсутність деформацій на цих площинах є критично важливою вимогою, оскільки будь-який перекіс унеможливить суворо вертикальне нарізання внутрішньої нарізи в посадкових отворах, що призведе до порушення співвісності між двигуном та насосом.

Ідентифікація дефектів та методи їх ліквідації

Незважаючи на високу стабільність синергетичного напівавтомата, вплив зовнішніх факторів може призводити до утворення локальних дефектів, які потребують негайного усунення за чітко регламентованою процедурою.

Поява газових пор (зовнішніх або внутрішніх) найчастіше провокується наявністю протягів у цеху, які здувають аргоновий захист, засміченням газового сопла пальника або недостатнім очищенням металу від мастила. Усунення цього недоліку полягає у повному механічному вишліфовуванні дефектної ділянки за допомогою борфрез або кутових шліфувальних машин до появи суцільного, "здорового" металу з наступним його заварюванням. Застосування термічного стругання заборонено, щоб уникнути додаткових повідків рами.

Підрізи основного металу виникають через завищену напругу на дузі, неправильний кут нахилу пальника або занадто високу швидкість його переміщення. Для виправлення такого браку зону підрізу ретельно зачищають абразивним інструментом, після чого акуратно наплавляють вузький коригуючий валик, що відновлює робочий переріз з'єднання.

Напливи або натікання металу, зазвичай, є наслідком надмірної сили зварювального струму при недостатній швидкості ведення дуги. Оскільки в зоні напливу розплавлений метал не сплавляється з основою, зайвий об'єм видаляють виключно механічним способом (шліфуванням) до забезпечення плавного переходу шва у базовий прокат.

Утворення незаварених кратерів у кінці шва є результатом різкого обривання дуги без використання функції поступового зниження струму (заварювання кратера). Виправлення такого дефекту передбачає зачищення заглиблення шліфувальним кругом та обережне його заповнення металом за

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою коротких замикань дуги.

Після виконання будь-яких ремонтних операцій відновлені ділянки швів підлягають повторному візуально-вимірювальному контролю. За технологічними нормами допускається не більше двох виправлень на одній локації, щоб запобігти деградації механічних властивостей сталі.

					КРБ.3Т-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Компонування складальних та зварювальних установок

Для забезпечення ритмічного випуску та високої якості просторових рам насосних агрегатів необхідно раціонально скомпонувати робоче місце зварника та спроектувати надійне механічне оснащення. Згідно з принципами агрегаткування, робочий пост комплектується сучасним інверторним джерелом живлення Fronius TransSynergic 4000, цеховим підймально-транспортним обладнанням для кантування виробу та спеціалізованим механічним складально-зварювальним пристроєм (кондуктором).

Головним елементом робочої установки є жорсткий стаціонарний кондуктор, просторова конфігурація якого розроблена спеціально під геометрію рами. Його конструкція забезпечує швидке, безвивіркове базування деталей та надійну протидію реактивним зварювальним напруженням під час накладання прихваток.

Конструктивно розроблена оснастка складається з таких функціональних вузлів:

- 1) Базова складальна основа із заглибленнями: Масивна плита пристрою має спеціально відфрезеровані заглиблення, які слугують матрицею для точного початкового встановлення чотирьох плоских підкладок (поз. 7).
- 2) Система нерухомих та фігурних упорів: Для просторового орієнтування двох масивних профілів основи (поз. 1) передбачені нерухомі упори з напрямними пазами. Крім того, пристрій оснащений спеціальним фігурним нерухомим упором із П-подібними пазами, який відповідає за чітке вертикальне позиціонування технологічних підвузлів (стійок і косинців) та центральної поперечини.
- 3) Комбіновані затискні механізми: Фіксація базових деталей в горизонтальній площині здійснюється за допомогою чотирьох гвинтових поворотних притискачів, які змонтовані у П-подібних пазах пластин основи (детальний силовий розрахунок гвинтового механізму наведено в

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підрозділі 3.2).

- 4) Електромагнітні фіксатори: Інноваційним елементом оснастки є використання електромагнітних фіксаторів для закріплення вертикальних стійок (поз. 3) та поперечини (поз. 5). Це виключає необхідність використання громіздких струбцин і відкриває вільний доступ зварювального пальника до зон формування таврових швів.

Загальний вигляд, конструктивні особливості та компонування розробленого складально-зварювального пристрою проілюстровано на рисунку 3.1.

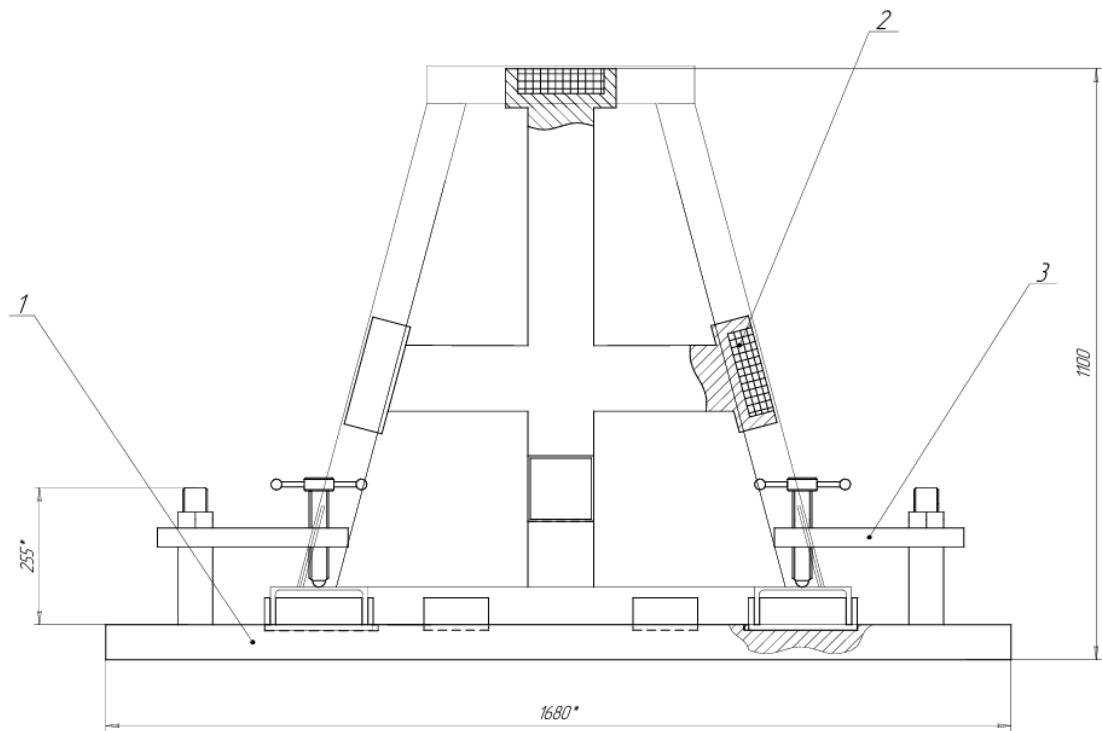


Рисунок 3.1 – Складально-зварювальний пристрій для фіксації рами насоса

Технологічна логіка роботи пристрою полягає у послідовному складанні каркаса: від укладання підкладок та основи до монтажу стійок на електромагнітах. Після надійного закріплення всіх елементів поворотними

гвинтовими притискачами виконуються короткі фіксуючі прихватки (завдовжки 15 мм).

Жорстка фіксація деталей у кондукторі на етапі прихоплювання повністю виключає ймовірність термічного перекосу базових площин. Збереження їхньої ідеальної пласкості є критичною вимогою, оскільки після зварювання конструкція передається на механічну обробку, де в опорних елементах формуватиметься точна внутрішня нарізь під анкерні болти кріплення насоса [11]. Після накладання прихваток поворотні притискачі відводяться в неробоче положення, і попередньо зібраний вузол вилучається з пристрою. Подальше накладання основних таврових та стикових швів (з катетом 4 мм) виконується з обов'язковим вільним кантуванням рами у зручне просторове положення (у "човник").

Раціональна просторова організація робочого місця (компонування) є визначальним фактором підвищення продуктивності та забезпечення високої якості виготовлення металоконструкцій. Оскільки просторова рама насоса має значні габарити та масу (118,4 кг), планування зварювальної дільниці розроблено з урахуванням суворих вимог ергономіки, внутрішньоцехової логістики та безпеки праці.

Організація центральної робочої зони

Основою дільниці є зона формування каркаса, де розташовані складальна (поз. 12) та зварювальна (поз. 3) плити. Безпосередньо біля них організовано майданчик для складального пристрою (поз. 6), на якому встановлюється сам кондуктор (поз. 11). Жорстке базування елементів на цих масивних плитах гарантує ідеальну площинність готового виробу. Це критично важливо для збереження співвісності монтажних отворів, у яких на етапі механічної обробки формуватиметься точна внутрішня нарізь під болтові з'єднання насоса.

Розміщення зварювального та енергетичного обладнання

Зварювальний напівавтомат (поз. 14) розміщений стаціонарно із забезпеченням вільного доступу для налаштування режимів. Електроживлення поста здійснюється через виділений рубильник (поз. 13), що дозволяє миттєво

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

знеструмити дільницю в разі аварійної ситуації або після закінчення зміни.

Поруч, із дотриманням норм пожежної безпеки, встановлена спеціальна стійка з балонами захисної суміші (поз. 16). Для видалення шкідливих аерозолів безпосередньо із зони горіння дуги передбачено автономний фільтро-вентиляційний агрегат (поз. 4).

Логістика та підйомно-транспортні операції

Враховуючи масу виробу, ручне переміщення рами є неможливим. Тому просторове компонування дільниці охоплює зону дії кран-балки (поз. 8). Для оперативного керування вантажними потоками передбачена окрема стійка з кнопкою виклику мостового крана (поз. 1). Це дозволяє швидко знімати готові вироби зі стапеля та передавати їх на наступні технологічні етапи.

Накопичувальні та допоміжні майданчики

Для забезпечення безперебійного ритму виробництва планування включає систему спеціалізованих зон і тари:

- 1) Для зберігання вхідних деталей передбачено 7 одиниць тари для заготовок (поз. 9).
- 2) Проміжні елементи (стійки з косинцями) зберігаються в тарі для зібраних підвузлів (поз. 10).
- 3) Для розміщення підготовлених до зварювання каркасів виділено площадку для накопичення зібраних вузлів (поз. 15).
- 4) Готова продукція складається на площадці для накопичення зварних вузлів (поз. 2).

Окремо виділено зону технічного контролю (поз. 5), де інспектор ВТК проводить візуально-вимірювальну перевірку швів. Усі необхідні вимірювальні інструменти, шаблони та витратні матеріали зберігаються в інструментальній шафі (поз. 7) безпосередньо на робочому місці.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

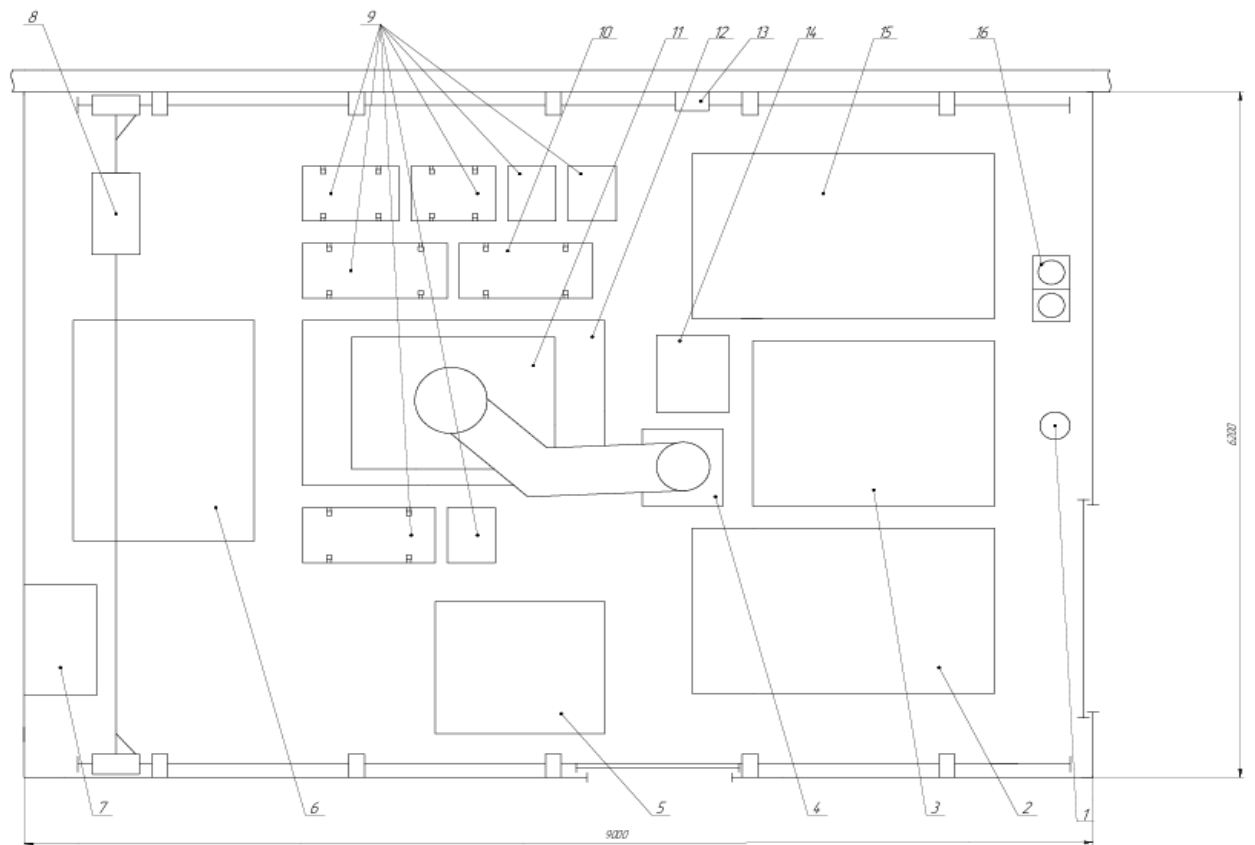


Рисунок 3.1 – Схема планування робочого місця

Таблиця 3.1 – Специфікація обладнання зварювального поста

Позиція на плані	Найменування обладнання та просторових зон	Кількість, шт.
1	Стійка з кнопкою виклику мостового крана	1
2	Площадка для накопичення зварних вузлів	1
3	Плита зварювальна	1
4	Агрегат фільтро-вентиляційний	1
5	Площадка для контролю зібраних вузлів	1
6	Площадка для пристрою складального	1
7	Шафа інструментальна	1
8	Кран-балка	1
9	Тара для заготовок	7
10	Тара для зібраних підвузлів	1

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Закінчення таблиці 3.1

11	Пристрій складальний	1
12	Плита складальна	1
13	Рубильник	1
14	Напівавтомат зварювальний	1
15	Площадка для накопичення зібраних вузлів	1
16	Стійка із балонами із захисною сумішшю	1

3.2 Розрахунок окремих елементів пристосувань

Проектування надійного складально-зварювального оснащення для просторової рами масою 118,4 кг потребує чіткого силового обґрунтування затискних механізмів [12]. Оскільки конструкція має велику кількість кутових та таврових з'єднань, у процесі накладання швів виникають реактивні термічні напруження, які прагнуть змістити базові швелери №18 з їхніх проектних позицій. Для жорсткої фіксації деталей основи в кондукторі використовуються гвинтові притискачі.

Визначення необхідного зусилля затискання

Головне завдання притискача — створити силу тертя між заготовкою та опорними базами кондуктора, яка перевищуватиме зсувні зусилля від зварювальних деформацій. Розрахункове зусилля зсуву, спричинене локальним нагріванням для даного типу прокату, приймаємо $P_{зв} = 1450 \text{ Н}$.

Необхідне зусилля затискання обчислюється за формулою (3.1):

$$W = \frac{K \cdot P_{зв}}{f} \quad (3.1)$$

де K — гарантійний коефіцієнт запасу для механізованого зварювання, $K = 1,5$;

$P_{зв}$ — зусилля зсуву від зварювальних деформацій, Н;

f — коефіцієнт тертя ковзання для сталевих поверхонь без змащування, $f = 0,15$.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$W = \frac{1,5 \cdot 1450}{0,15} = 14500 \text{ Н.}$$

Вибір параметрів гвинта та перевірка на самогальмування

Для забезпечення заданого зусилля обираємо стандартний силовий гвинт. Оптимальним рішенням є метрична нарізь з великим кроком, що забезпечує міцність та технологічність. Приймаємо гвинт М20х2,5 з такими геометричними параметрами:

- 1) Середній діаметр нарізі: $d_2 = 18,376 \text{ мм}$;
- 2) Внутрішній діаметр: $d_1 = 17,294 \text{ мм}$;
- 3) Крок нарізі: $P = 2,5 \text{ мм}$.

Для запобігання самовільному розкручуванню гвинта під дією вібрацій кут підйому витка (α) повинен бути меншим за зведений кут тертя (ρ').

Кут підйому витка визначається за формулою (3.2):

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{P}{\pi \cdot d_2} \quad (3.2)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{2,5}{3,14 \cdot 18,376} = 0,0433 \approx 2,48^\circ$$

Зведений кут тертя визначається за формулою (3.3):

$$\rho' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_p}{\cos 30^\circ}\right) \quad (3.3)$$

де f_p — коефіцієнт тертя в різьбовому з'єднанні, $f_p = 0,12$.

$$\rho' = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,12}{0,866}\right) \approx 7,89^\circ$$

Оскільки $2,48^\circ < 7,89^\circ$, умова самогальмування повністю виконується.

Визначення крутного моменту та довжини рукоятки

Сумарний крутний момент ($M_{кр}$), який необхідно прикласти до гвинта, складається з моменту опору в різьбовій парі та моменту тертя на п'яті гвинта. За розрахунками, для створення зусилля $W = 14500 \text{ Н}$ необхідно прикласти момент $M_{кр} \approx 41,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Довжина рукоятки (L) визначається з умови, що робітник прикладає комфортне зусилля, і розраховується за формулою (3.4):

$$L = \frac{M_{кр}}{P_p} \quad (3.4)$$

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_p — зусилля, що прикладається робітником, $P_p = 150$ Н.

$$L = \frac{41800}{150} \approx 278,7 \text{ мм.}$$

Конструктивно приймаємо довжину рукоятки $L = 280$ мм.

Перевірка гвинта на міцність

Гвинт зазнає складного напруженого стану. Його міцність перевіряється за еквівалентними напруженнями за формулою(3.5):

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (3.5)$$

де σ — напруження стискання, $\sigma_{\text{ст}} = 61,7$ МПа;

τ — напруження кручення, $\tau = 23,5$ МПа;

$[\sigma]$ — допустиме напруження для сталі 45, $[\sigma] = 170$ МПа.

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{61,7^2 + 3 \cdot 23,5^2} \approx 73,9 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується ($73,9 < 170$), що гарантує надійність фіксації та стабільність геометрії рами. Це дозволяє забезпечити точність посадкових поверхонь для подальшого формування внутрішньої нарізі в монтажних отворах.

Підсумкові параметри затискного механізму представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики гвинтового притискача

Параметр	Значення
Розрахункове зусилля затискання, Н	14500
Тип та розмір силової нарізі	M20 x 2,5
Кут підйому витка / Кут тертя	2,48°/ 7,89°
Необхідний момент затягування, Н·м	41,8
Довжина рукоятки пристрою, мм	280
Еквівалентне напруження у гвинті, МПа	73,9

3.3 Розробка плану цеху

Проектування планувального рішення зварювального цеху є фундаментальним етапом, що визначає загальну продуктивність дільниці та якість виготовлення металоконструкцій. Враховуючи, що просторова рама насоса характеризується значними габаритами та масою, план робочого простору розроблено з суворим дотриманням принципів прямоточності вантажопотоків, ергономіки та безпеки життєдіяльності.

Організація головної технологічної зони

Основою плану цеху є центральний робочий майданчик, де відбувається безпосереднє формування каркаса. Тут змонтовано складальну (поз. 12) та зварювальну (поз. 3) плити. У безпосередній близькості облаштовано спеціальний майданчик (поз. 6), на якому жорстко зафіксовано складальний пристрій-кондуктор (поз. 11). Надійне базування металопрокату на цих масивних елементах нівелює ризики просторових деформацій і гарантує ідеальну площинність виробу. Суворе дотримання геометрії на цьому етапі є критичною вимогою, оскільки воно забезпечує співвісність монтажних отворів, у яких під час подальшої механічної обробки нарізатиметься точна внутрішня нарізь під болтове кріплення насоса.

Розміщення енергетичного та зварювального устаткування

Забезпечення стабільного зварювального процесу реалізовано через раціональне розміщення апаратури. Зварювальний напівавтомат (поз. 14) встановлено стаціонарно, що гарантує зварнику безперешкодний доступ до панелі керування режимами. Електроживлення дільниці заведено через окремий головний рубильник (поз. 13), який дозволяє миттєво знеструмити лінію в позаштатних ситуаціях або по завершенні робочої зміни. Згідно з нормами пожежної безпеки, стійка з газовими балонами (поз. 16) винесена на регламентовану відстань від зони розлітання іскор. Для локалізації та видалення токсичних зварювальних аерозолів план цеху передбачає встановлення автономного фільтро-вентиляційного агрегату (поз. 4) безпосередньо над джерелом емісії газів.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Внутрішньоцехова логістика та підймальні операції

Оскільки маса зібраної рами значно перевищує нормативи для ручного маніпулювання, логістична схема дільниці стовідсотково перекривається зоною обслуговування підвісної кран-балки (поз. 8). Для зручної координації вантажопідймальних операцій на плані виділено місце для стійки з кнопкою виклику мостового крана (поз. 1). Це технологічне рішення дозволяє оперативно транспортувати важкі деталі, знімати зварені конструкції зі стапеля та передавати їх на наступні етапи виробничого циклу без простоїв.

Накопичувальні майданчики та зони контролю

Для підтримки безперебійного ритму виготовлення рам, план цеху включає чітко розмежовану систему допоміжних зон та накопичувачів:

- 1) Вхідний матеріальний потік акумулюється у 7 одиницях спеціальної тари для заготовок (поз. 9).
- 2) Проміжні елементи конструкції (зібрані стійки та косинці) зберігаються в окремій тарі для підвузлів (поз. 10).
- 3) Сформовані та скріплені прихватками каркаси очікують остаточного зварювання на виділеному майданчику для накопичення зібраних вузлів (поз. 15).
- 4) Готова продукція складається на фінішному майданчику накопичення зварних вузлів (поз. 2) перед відвантаженням.

Завершальним елементом планування є спеціалізована зона технічного контролю (поз. 5), де здійснюється візуально-вимірювальна інспекція геометричних параметрів та якості зварних швів. Для оптимізації рухів робітника всі необхідні вимірювальні прилади, інструменти та шаблони компактно розміщені в інструментальній шафі (поз. 7), що знаходиться в межах робочої зони.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

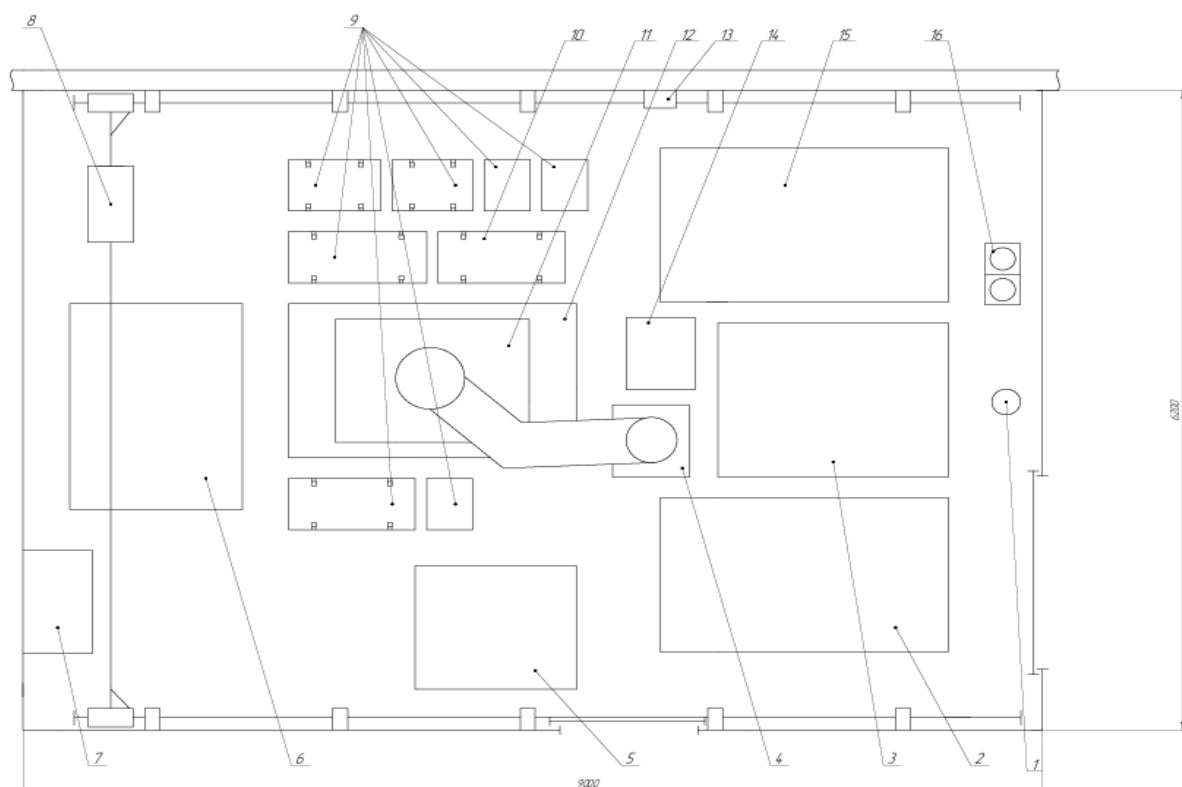


Рисунок 3.2 – Схема планування робочого місця (план цеху)

Специфікація розміщеного технологічного та допоміжного обладнання, що відповідає розробленому плану, наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Специфікація обладнання зварювального поста

Позиція на плані	Найменування обладнання та просторових зон	Кількість, шт.
1	Стійка з кнопкою виклику мостового крана	1
2	Площадка для накопичення зварних вузлів	1
3	Плита зварювальна	1
4	Агрегат фільтро-вентиляційний	1
5	Площадка для контролю зібраних вузлів	1
6	Площадка для пристрою складального	1
7	Шафа інструментальна	1

Закінчення таблиці 3.2

8	Кран-балка	1
9	Тара для заготовок	7
10	Тара для зібраних підвузлів	1
11	Пристрій складальний	1
12	Плита складальна	1
13	Рубильник	1
14	Напівавтомат зварювальний	1
15	Площадка для накопичення зібраних вузлів	1
16	Стійка із балонами із захисною сумішшю	1

4 БЕЗПЕКА ПРАЦІ

Процес виготовлення просторової рами насосного агрегату масою 118,4 кг вимагає суворого дотримання комплексу заходів з охорони праці [13], оскільки складально-зварювальні роботи супроводжуються впливом низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До ключових ризиків на робочому місці належать інтенсивне оптичне випромінювання дуги, виділення токсичних аерозолів, небезпека ураження електричним струмом та ймовірність механічного травмування під час маніпуляцій із важкими елементами конструкції. Враховуючи значну масу виробу, яка перевищує допустимі норми для ручного підймання, усі вантажно-розвантажувальні операції та міжстапельне транспортування на ділянці виконуються виключно за допомогою підвісної кран-балки з обов'язковою попередньою перевіркою цілісності стропів. Надійне та безпечне базування деталей у складальному кондукторі досягається за рахунок використання гвинтових притискачів. Особлива увага приділяється жорсткій фіксації масивних опорних плит товщиною 16 мм — усунення ризику їхнього випадкового падіння чи зміщення не лише запобігає виробничому травматизму, але й створює безпечні умови для виконання подальших етапів механічної обробки, де в цих вузлах формуватиметься точна внутрішня нарізь під анкерне кріплення.

Для надійного захисту персоналу від електротравматизму реалізовано систему захисного заземлення [14], опір якої не перевищує 4 Ом. До загального контуру заземлення цеху в обов'язковому порядку підключаються струмопровідні корпуси інверторного джерела живлення Fronius TransSynergic 4000, механізму подавання дроту, розподільного електрощита та сама металева зварювальна плита. Силові та зварювальні кабелі прокладаються таким чином, щоб повністю виключити їхнє механічне пошкодження цеховим транспортом або перепалювання гарячими бризками розплавленого металу.

З метою нейтралізації шкідливого впливу газів та дрібнодисперсних аерозолів, що інтенсивно генеруються під час напіваавтоматичного плавлення легованого дроту Св-08Г2С, робоче місце обладнане ефективною місцевою

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

витяжною вентиляцією. Поворотно-витяжний агрегат встановлюється безпосередньо над зоною зварювання, забезпечуючи перехоплення небезпечних речовин до їх потрапляння в зону дихання робітника. Індивідуальний захист зварника гарантується обов'язковим використанням маски з автоматичним світлофільтром, костюма з вогнетривкого спилку, термостійких краг та спеціального взуття на діелектричній підшві.

Оскільки роботи в середовищі захисних газів належать до категорії вогневих, на ділянці впроваджено жорсткий протипожежний режим. Робоча зона очищається від будь-яких легкозаймистих речовин у радіусі щонайменше 5 метрів від джерела дуги. Балони із робочою газовою сумішшю (Ar+CO₂) надійно фіксуються металевими хомутами у спеціальних стійках біля стіни для унеможливлення їхнього перекидання, а для оперативної локалізації можливих загорянь ділянка укомплектована пожежним щитом із вуглекислотними та порошковими вогнегасниками.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У результаті виконання бакалаврської роботи було розроблено комплексний технологічний процес виготовлення зварної металоконструкції — рами насоса MB150.01.000. На основі проведених досліджень та розрахунків можна сформулювати наступні підсумкові положення:

- 1) Обґрунтування матеріалів та способу зварювання: Для виготовлення рами обрано конструкційну вуглецеву сталь марки ВСт3сп, яка має відмінну зварюваність та забезпечує необхідну жорсткість каркаса. Основним методом з'єднання елементів визначено механізоване зварювання в середовищі захисних газів (суміш 82% Ar + 18% CO₂) дротом суцільного перетину Св-08Г2С. Даний спосіб дозволяє отримати рівномірні шви з високою глибиною проплавлення та мінімальним розбризкуванням металу.
- 2) Розробка технології складання: Запропоновано послідовну схему формування просторового вузла із використанням спеціалізованої складально-зварювальної оснастки. Впровадження жорсткого базування швелерів №18 та опорних плит товщиною 16 мм у кондукторі дозволило забезпечити високу точність геометричних параметрів. Це є критично важливою умовою для подальшої механічної обробки посадкових місць, де в отворах має бути сформована точна внутрішня нарізь для надійної фіксації насоса та двигуна.
- 3) Заходи щодо запобігання деформаціям: Для мінімізації термічних повідків, спричинених значним об'ємом наплавленого металу, застосовано метод обернено-ступінчастого зварювання та симетричне накладання швів відносно нейтральної осі рами. Розраховано та обґрунтовано параметри гвинтових затискних пристроїв, які забезпечують зусилля фіксації на рівні 14,5 кН, що гарантує стабільність конструкції під час кристалізації швів.
- 4) Вибір обладнання та організація виробництва: Проведено технічне переозброєння ділянки шляхом вибору сучасного інверторного джерела Fronius TransSynergic 4000. Розроблено план-схему робочого місця

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварника площею 55,8 м², де раціонально розміщено 16 позицій технологічного та допоміжного устаткування. Враховуючи масу рами (118,4 кг), передбачено використання кран-балки для виконання всіх вантажопідйомних операцій.

- 5) Контроль якості та безпека: Розроблено систему тристадійного контролю якості (вхідний, поопераційний та приймальний), що включає 100% візуально-вимірювальну інспекцію зварних з'єднань. У розділі безпеки праці запропоновано заходи з електробезпеки, місцевої витяжної вентиляції та пожежного захисту, що відповідають чинним нормативним актам (НПАОП) та забезпечують безпечні умови роботи на ділянці.

Виконана робота має практичну цінність, оскільки розроблений технологічний процес дозволяє знизити трудомісткість виготовлення рами, зменшити відсоток браку та забезпечити високу експлуатаційну надійність насосного агрегату в цілому. Всі поставлені завдання бакалаврського проекту виконані в повному обсязі.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 380-2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ, 2006. 12 с.
2. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання в захисних газах нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ, 2015. 26 с.
3. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Гази та газові суміші для зварювання плавленням і споріднених процесів. Київ, 2015. 18 с.
4. Квасницький В. В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 184 с.
5. Панчук М. В., Шлапак Л. С. Зварювання плавленням: конспект лекцій (Частина 2). Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 109 с.
6. Василик А. В. Теорія зварювальних процесів: практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 82 с.
7. Зварювальні технології Fronius [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnologiyi> (дата звернення: 18.05.2026).
8. Семенцов Г. Н., Когутич М. І., Кучмистенко О. В., Карпінець Б. І. Автоматизоване керування зварюванням. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. 549 с.
9. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій: підручник. Київ: КВІЦ, 2012. 896 с.
10. Матвієнків О. М. Проектування зварних конструкцій: практикум, частина 1 Розрахунок зварних з'єднань. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 45 с.
11. Богуслаєв В. О. Технологія машинобудування (Основи взаємозамінності, базування та механічної обробки з'єднань): підручник. Запоріжжя: Мотор Січ, 2005. 430 с.
12. Коваленко С. М. Розрахунок та проектування складально-зварювальних пристосувань: методичні вказівки. Миколаїв: НУК, 2014. 115 с.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Семчук Я. М., Воевідко І. В., Кулик М. П. Охорона праці: навч. посіб. Івано-Франківськ: Факел, 2010. 408 с.

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98). Затв. Держнаглядохоронпраці 09.01.1998. Чинний від 05.02.1998. Київ, 1998. 386 с.

					КРБ.ЗТ-23.00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53