

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ
(підпис)

« ____ » _____ 2026 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему: Технологія складання та зварювання балки підіймача**

Виконав:

студент IV курсу, групи ЗВ-21

Рахматулін Ілля Романович

Керівник:

асистент, доктор філософії (PhD)

Лагодзінський Іван Миколайович

Консультант з організаційно-економічного розділу:

доцент, к.е.н., доцент

Нараєвський Сергій Вікторович

Консультант з охорони праці:

Зав. каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент,

Блощинин Михайло Сергійович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2026 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту

Рахматулін Ілля Романович

1. Тема проєкту «Технологія складання та зварювання балки підіймача », керівник проєкту Лагодзінський Іван Миколайович, асистент, доктор філософії (PhD), затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. № 1986-с

2. Термін подання студентом проєкту 9 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Ескіз зварного виробу (додається). Матеріал виробу – сталь S355J2. Забезпечення рівномірності зварних з'єднань та відсутності недопустимих дефектів. Серійна програма виготовлення виробу – 50 шт. Умови виготовлення – цехові , температура експлуатації – від -40 °C до +50 °C.

4. Зміст пояснювальної записки:

Виконати аналіз конструкції та умов виробництва балки підймача. Визначити призначення та область застосування виробу. Провести аналіз конструкції балки, вибрати матеріал та надати його характеристику. Встановити технічні вимоги до виробу та проаналізувати умови виробництва. Виконати вибір та обґрунтування технології виготовлення балки. Провести аналіз існуючих технологій виготовлення, вибрати заготовки та спосіб зварювання. Обґрунтувати вибір технологічного процесу виготовлення виробу. Розробити технологічний процес виготовлення балки, визначити загальну структуру технологічного процесу, розробити маршрутний та операційний технологічні процеси. Розрахувати та обґрунтувати режими зварювання, вибрати обладнання та виконати розрахунок норм часу. Розробити технологічне оснащення для складання та зварювання балки, виконати аналіз необхідності його застосування, розробити пристрій для складання та пристрій для зварювання, описати їх конструкцію та принцип роботи. Призначити методи контролю якості виробу, визначити можливі дефекти зварних з'єднань, обрати методи неруйнівного контролю та встановити технічні вимоги до якості. Виконати організацію виробництва, визначити тип виробництва, організацію виробничої дільниці, розміщення обладнання та організацію робочих місць. Розрахувати матеріальні витрати, собівартість виробу, економічну ефективність та виконати техніко-економічне обґрунтування розробленої технології. Розробити заходи з охорони праці та безпеки, провести аналіз небезпечних і шкідливих факторів, розробити заходи з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища. Зробити загальні висновки за результатами виконаного дипломного проєкту

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Складальний кресленик балки підймача (1 А1).
2. Схема технологічного процесу виготовлення балки підймача (1 А1).
3. Креслення складання до зварювання прямолінійних швів №1 та №2 (1 А1).
4. Креслення складання та зварювання прямолінійних швів №1 та №2 (1 А1).
5. Плакат технологічного процесу (1 А1).
6. План виробничої площі (1 А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний розділ	Нараєвский С.В., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проєкту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 15 травня	
3	Розробка стартап проєкту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 9 червня	

Студент

_____ (підпис)

Ілля РАХМАТУЛІН

Керівник

_____ (підпис)

Іван ЛАГОДЗІНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект представлено пояснювальною запискою на 76 сторінках, графічною частиною на 6 аркушах формату А1, літературних джерел – 17, містить 11 таблиць, 8 рисунків.

ЗВАРНА БАЛКА, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ, СТАЛЬ S355J2, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ДРІБНОСЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО.

Дипломний проект присвячено розробці технологічного процесу виготовлення великогабаритної зварної балки підйомного механізму. Актуальність теми зумовлена широким застосуванням зварних балкових конструкцій у будівництві, крановому обладнанні та важкому машинобудуванні, а також необхідністю підвищення ефективності їх виготовлення в умовах дрібносерійного виробництва.

Мета проекту - розробити раціональний технологічний процес виготовлення зварної балки зі сталі S355J2 (1.0577) з забезпеченням рівномірності зварних з'єднань, відсутності недопустимих дефектів, високої продуктивності та економічної ефективності.

Об'єктом дослідження є технологічний процес складання та зварювання балки, а предметом - режими зварювання, технологічне оснащення, методи контролю якості та організація виробництва. Вихідними даними слугували ескіз виробу (довжина 13012 мм, висота 2367 мм), матеріал - низьколегована конструкційна сталь S355J2 товщиною 8 мм, програма випуску - 50 шт. на рік (дрібносерійне виробництво) та цехові умови виготовлення.

У процесі роботи виконано конструктивно-технологічний аналіз балки, характеристик матеріалу та умов виробництва. Встановлено, що сталь S355J2 має задовільну зварюваність (еквівалент вуглецю $C_{\text{екв}} \approx 0,47 \%$). Обґрунтовано вибір механізованого дугового зварювання в середовищі активного захисного газу

(MAG, процес 135) дротом G4Si1 діаметром 1,2 мм у суміші Ar + 18 % CO₂ як найбільш раціонального способу для даних умов.

Розроблено маршрутний і операційний технологічні процеси, які включають 18 операцій - від вхідного контролю матеріалів до фінішного ґрунтування. Призначено оптимальні режими MAG-зварювання для стикових та кутових швів (катет 6 мм). Вибрано необхідне обладнання (зварювальні напівавтомати ESAB Origo Mig 4004i, каретку-трактор Bug-O, кантувач КСП-5 та ін.), а також розроблено спеціальне складально-зварювальне оснащення на базі плити УСПС-8 з регульованими упорами та притискачами.

У результаті впровадження розробленого процесу трудомісткість зварювальних операцій знижується в 2,5 рази порівняно з ручним дуговим зварюванням. Собівартість одного виробу становить приблизно 123 033 грн, а річний економічний ефект - 51 281 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень - 2,93 року. Забезпечується рівень якості зварних з'єднань В (для стикових швів) та С (для кутових) відповідно до ДСТУ EN ISO 5817.

Таким чином, розроблений технологічний процес є технічно обґрунтованим, економічно ефективним, відповідає вимогам чинних стандартів і може бути впроваджений у виробництво.

ABSTRACT

The thesis project consists of a 76-page explanatory note, a graphic section comprising 6 A1-size sheets, 17 references, 11 tables, and 8 figures.

WELDED BEAM, MAG WELDING, MANUFACTURING PROCESS, MANUFACTURING EQUIPMENT, S355J2 STEEL, QUALITY CONTROL, SMALL-BATCH PRODUCTION.

The diploma project is dedicated to the development of a technological process for manufacturing a large-sized welded beam for a lifting mechanism. The relevance of the topic is determined by the widespread use of welded beam structures in construction, crane equipment, and heavy machine building, as well as the need to improve the efficiency of their production under small-batch manufacturing conditions.

The aim of the project is to develop a rational technological process for manufacturing a welded beam made of S355J2 (1.0577) steel, ensuring equal strength of welded joints, the absence of unacceptable defects, high productivity, and economic efficiency.

The object of the study is the technological process of assembly and welding of the beam, while the subject includes welding modes, technological equipment, quality control methods, and production organization. The initial data were the sketch of the product (length 13012 mm, height 2367 mm), material - low-alloy structural steel S355J2 with a thickness of 8 mm, production program - 50 units per year (small-batch production), and workshop conditions.

During the work, a design and technological analysis of the beam, material characteristics, and production conditions was carried out. It was established that S355J2 steel has satisfactory weldability (carbon equivalent $C_{eq} \approx 0.47\%$). The choice of mechanized arc welding in an active shielding gas environment (MAG, process 135) using G4Si1 wire with a diameter of 1.2 mm in a mixture of Ar + 18% CO₂ was substantiated as the most rational method for the given conditions.

Route and operation technological processes were developed, including 18 operations - from incoming material inspection to final priming. Optimal MAG welding modes were assigned for butt and fillet welds (leg size 6 mm). Necessary equipment was selected (ESAB Origo Mig 4004i semi-automatic welding machines, Bug-O tractor carriage, KSP-5 positioner, etc.), and special assembly-welding equipment based on the YCIIIC-8 plate with adjustable stops and clamps was designed.

As a result of implementing the developed process, the labor intensity of welding operations is reduced by 2.5 times compared to manual arc welding with coated electrodes. The prime cost of one product is approximately 123,033 UAH, and the annual economic effect is 51,281 UAH. The payback period for additional capital investments is 2.93 years. The required quality level of welded joints is achieved: Level B for butt welds and Level C for fillet welds in accordance with DSTU EN ISO 5817.

Thus, the developed technological process is technically sound, economically effective, meets the requirements of current standards, and can be implemented in production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ВИРОБНИЦТВА	12
1.1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БАЛКИ.....	12
1.2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ	13
1.3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА	14
1.4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ВИРОБУ	16
1.5 АНАЛІЗ УМОВ ВИРОБНИЦТВА	18
2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ	22
2.1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ.....	22
2.2 ВИБІР ЗАГОТОВОК.....	24
2.3 ВИБІР СПОСОБУ ЗВАРЮВАННЯ	24
2.4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	25
3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	27
3.1 ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	27
3.2 РОЗРОБКА МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	27
3.3 РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	28
3.4 ВИБІР РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ.....	29
3.5 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	31
3.6 РОЗРАХУНОК НОРМ ЧАСУ	34
4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ.....	36
4.1 АНАЛІЗ НЕОБХІДНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОСНАЩЕННЯ	36
4.2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ СКЛАДАННЯ	36
4.3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ	37
4.4 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ	38
5 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИРОБУ	46
5.1 ВИДИ ДЕФЕКТІВ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ	46

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Технологія складання та зварювання балки підіймача	Літ.	Арк.	Архів
Розроб.		Рахматулін І.Р.						
Перевір.		Лагодзінський І.М.					8	81
Н. контр.		Лисак В.В.				КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона		
Затверд.		Квасницький В.В.						

5.2 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ	46
5.3 НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ.....	47
5.4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ	47
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	49
6.1 ТИП ВИРОБНИЦТВА	49
6.2 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	49
6.3 РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ	51
6.4 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧИХ МІСЦЬ	52
6.5 РОЗРАХУНОК МАТЕРІАЛЬНИХ ВИТРАТ	52
6.6 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ.....	54
6.7 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	56
6.8 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	56
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
7.1 АНАЛІЗ ШКІДЛИВИХ І НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ	58
7.2 ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ	64
7.3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	66
7.4 РОЗРАХУНОК ІНЖЕНЕРНОГО РІШЕННЯ (МІСЦЕВА ВЕНТИЛЯЦІЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПОСТА)	67
7.5 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА	68
7.6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	69
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	76

ВСТУП

Виготовлення зварних металоконструкцій є одним з найважливіших напрямів сучасного машинобудування та будівельної індустрії. Зварні конструкції використовуються практично у всіх галузях промисловості: від важкого машинобудування та суднобудування до будівництва мостів, естакад, резервуарів та несучих каркасів будівель. Висока питома міцність, можливість отримання конструкцій складної форми, широкий вибір способів зварювання та відносно невисока вартість виготовлення роблять зварні вироби незамінними у сучасному виробництві.

Балкові конструкції є одними з найпоширеніших типів зварних виробів. Зварна балка являє собою несучий елемент, що сприймає поперечне навантаження та передає його на опорні конструкції. Такі вироби знаходять широке застосування у промисловому та цивільному будівництві, кранових конструкціях, мостових спорудах, технологічному обладнанні металургійних підприємств та інших відповідальних металоконструкціях.

Якість зварних балок визначається правильним вибором матеріалів, технологічного процесу складання і зварювання, а також режимів виконання зварювальних операцій. Раціональна технологія виготовлення дозволяє знизити матеріалоємність, зменшити трудовитрати, підвищити якість з'єднань та скоротити виробничий цикл виготовлення продукції.

У даному курсовому проєкті розробляється технологічний процес виготовлення зварної балки відповідно до варіанту № 70 [10]. Виріб виготовляється зі сталі S355J2 (1.0577) - конструкційної низьколегованої сталі підвищеної міцності. Виробнича програма складає 50 штук на рік, що відповідає дрібносерійному типу виробництва. Умови виготовлення - цехові.

Основними завданнями курсового проєкту є: аналіз конструкції балки та умов її виготовлення; вибір і обґрунтування технології виготовлення; розробка маршрутного та операційного технологічних процесів; вибір обладнання, матеріалів і режимів зварювання; проєктування; технологічного оснащення;

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробка заходів із контролю якості; організація виробничої дільниці; техніко-економічне обґрунтування; заходи з охорони праці та безпеки.

Розробка технологічного процесу виготовлення зварної балки базується на аналізі конструкторської документації, вимогах діючих стандартів та нормативних документів у сфері зварювання. При виборі способів і режимів зварювання враховуються властивості основного металу, товщина елементів конструкції, тип з'єднань та вимоги до якості зварних швів.

Виконання даного проєкту дозволяє закріпити теоретичні знання з дисципліни «Виробництво конструкцій», набути практичних навичок розробки технологічних процесів виготовлення зварних виробів та застосування методів розрахунку технологічних параметрів зварювального виробництва.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ ВИРОБНИЦТВА

1.1 Призначення та область застосування балки

Зварна балка, що розглядається у курсовому проєкті, є несучим елементом металевих конструкцій і призначена для сприйняття та передавання статичних і динамічних навантажень. Основна функціональна роль балки, яка зображена на рисунку 1.1, полягає у роботі на згин під дією поперечних навантажень, а також у забезпеченні необхідної жорсткості та стійкості конструктивної системи, до складу якої вона входить.

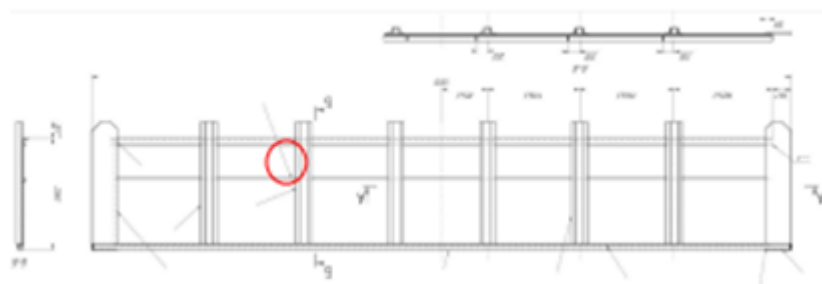


Рисунок 1.1 – Зварна балка

Балкові конструкції широко застосовуються у промисловому та цивільному будівництві як елементи підкранових шляхів, перекриттів технологічних майданчиків, несучих каркасів будівель та споруд. Вони також використовуються у мостобудуванні, суднобудуванні, у виробництві підйомно-транспортного обладнання (кранів, навантажувачів тощо), у конструкціях технологічного обладнання металургійних та машинобудівних підприємств. Балка, що розглядається, має значні габаритні розміри: довжина становить 13012 мм, висота поперечного перерізу - 2367 мм. Такі розміри свідчать про призначення конструкції для застосування в умовах дії значних навантажень.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виріб відноситься до категорії великогабаритних металоконструкцій, що визначає специфічні вимоги до технології його виготовлення: застосування спеціальних складально-зварювальних пристроїв, вантажопідйомних механізмів, а також заходів щодо запобігання зварювальним деформаціям.

З огляду на призначення та умови експлуатації, до балки ставляться підвищені вимоги щодо точності геометричних розмірів, якості зварних з'єднань та відсутності неприпустимих дефектів.

1.2 Аналіз конструкції виробу

Балка є зварною конструкцією складеного перерізу, яка складається з листових та профільних елементів, з'єднаних між собою зварними швами. Конструкція включає такі основні елементи: стінку балки, яка формується з листових пластин; ребра жорсткості, що підвищують стійкість стінки; профільні підсилювальні елементи та накладки на кінцевих ділянках.

Стінка балки утворюється з листових деталей: верхніх напівстінок розміром 1180 мм × 1825 мм (товщина 8 мм) та нижніх напівстінок розміром 1180 мм × 1825 мм (товщина 8 мм). Ці елементи з'єднуються між собою стиковими зварними швами по всій довжині балки. Загальна кількість листових пластин у конструкції досить значна, що обумовлює відповідну трудомісткість складально-зварювальних операцій.

До складу конструкції входять профільні елементи: сталевий кутник розміром 100 мм × 100 мм × 8 мм довжиною 13012 мм та квадратна труба розміром 80 мм × 80 мм × 8 мм. Ці профілі виконують функцію підсилення конструкції та забезпечують рівномірний розподіл навантаження по довжині балки. Кутники приварюються до стінки балки кутовими зварними швами по всій довжині елемента.

Ребра жорсткості товщиною 8 мм приварюються до стінки балки у поперечному напрямку. Їх призначення - підвищення місцевої стійкості стінки та

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проти дія її вигинання при дії навантажень. Крок встановлення ребер жорсткості визначається розрахунком з умов місцевої стійкості стінки балки.

На кінцевих ділянках балки встановлюються підсилювальні накладки розміром 2287 мм × 465 мм × 8 мм. Ці елементи слугують для розподілу опорних реакцій та підвищення несучої здатності опорних перерізів конструкції.

Загальна маса конструкції є значною, що вимагає застосування вантажопідйомних засобів при складанні та транспортуванні. Велика кількість зварних швів різної довжини та конфігурації визначає трудомісткість зварювальних операцій та необхідність раціональної організації виробничого процесу.

1.3 Вибір матеріалу та його характеристика

Для виготовлення зварної балки використовується конструкційна сталь S355J2 (1.0577) за стандартом EN 10025-2 [1]. Ця сталь належить до групи нормалізованих прокатних сталей для зварних конструкцій підвищеної міцності і широко застосовується у будівельній та машинобудівній галузях.

Сталь S355J2 характеризується нормованим значенням ударної в'язкості при температурі –20 °C (J2 означає мінімальну ударну в'язкість 27 Дж при –20 °C), що забезпечує надійну роботу конструкції в умовах знижених температур. Позначення S355 означає: S - конструкційна сталь (structural), 355 - мінімальна межа текучості в МПа для товщини прокату до 16 мм [9].

Хімічний склад та механічні властивості сталі S355J2 наведено у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S355J2 (масова частка елементів, %)

C, max	Mn, max	Si, max	P, max	S, max	Cu, max	N, max
0,20	1,60	0,55	0,025	0,025	0,55	0,012

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі S355J2

Товщина, мм	ReH, МПа, min	Rm, МПа	A, %, min	KV при -20°C, Дж, min
≤ 16	355	470–630	22	27
17–40	345	470–630	22	27
41–63	335	470–630	22	27

Аналіз хімічного складу сталі S355J2 свідчить про те, що вона відноситься до низьколегованих сталей з відносно невисоким вмістом вуглецю (до 0,20 %) та марганцю (до 1,60 %). Вміст вуглецю є ключовим фактором, що визначає зварюваність матеріалу.

Для оцінки зварюваності сталі використовується еквівалент вуглецю, який розраховується за формулою МКЗ (Міжнародного інституту зварювання):

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

При максимальному вмісті елементів згідно з хімічним складом:

$$C_{\text{екв}} = 0,20 + \frac{1,60}{6} = 0,20 + 0,267 = 0,467 \%$$

При значенні еквівалента вуглецю $C_{\text{екв}} \approx 0,47 \%$, сталь відноситься до групи зі «задовільною зварюваністю» - зварювання можливе без підігріву при товщині до 30–35 мм, однак для підвищеної надійності з'єднань рекомендується підігрів до 100–150 °C при товщині понад 25 мм та при несприятливих умовах зварювання (низькі температури, жорстке закріплення).

Для листового прокату товщиною 8 мм (що застосовується у цій конструкції) підігрів не є обов'язковим, однак температура навколишнього середовища при зварюванні не повинна бути нижче +5 °C. При виконанні зварювання в цехових умовах при нормальній температурі підігрів перед зварюванням не застосовується.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Технічні вимоги до виробу

Технічні вимоги до зварної балки визначаються відповідно до конструкторської документації та вимог чинних стандартів. Основні технічні вимоги стосуються точності геометричних розмірів, якості зварних з'єднань та характеристик поверхні виробу.

Геометричні відхилення готового виробу не повинні перевищувати значень, встановлених у конструкторській документації. Для металоконструкцій типу балок допуски на відхилення встановлюються відповідно до ДСТУ EN 1090–2 [8].

Зокрема: відхилення від прямолінійності по довжині не більше $L/1000$, де L – довжина елемента; відхилення поперечного перерізу – не більше ± 3 мм від номінального значення; перекис полиці відносно стінки – не більше $1/100$ від висоти полиці.

Якість зварних з'єднань є одним із визначальних чинників надійності та довговічності металевих конструкцій, тому до них висуваються чітко регламентовані вимоги, встановлені нормативними документами, зокрема стандартом ДСТУ EN ISO 5817 [6]. Відповідно до цього стандарту, для різних типів зварних з'єднань встановлюються рівні якості, які визначають допустимі відхилення, дефекти та їх граничні розміри. Для відповідальних стикових швів, як правило, застосовується рівень якості В, що передбачає найжорсткіші вимоги, включаючи обов'язкове забезпечення повного проплавлення по всій товщині з'єднуваних елементів. Для кутових швів допускається рівень якості С, який має дещо менш суворі критерії, але також забезпечує достатню міцність і надійність з'єднання в умовах експлуатації.

Особлива увага приділяється недопустимим дефектам. Незалежно від рівня якості категорично забороняється наявність тріщин будь-якого типу – як поверхневих, так і внутрішніх, незалежно від їх розташування та орієнтації. Тріщини є найбільш небезпечним видом дефектів, оскільки вони можуть швидко розповсюджуватись під дією навантажень і призводити до раптового руйнування конструкції. Також не допускаються непровари та несплавлення у стикових швах,

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки вони знижують ефективну площу перерізу з'єднання та порушують його цілісність.

Наявність наскрізних пор і великих шлакових включень понад допустимі значення також є неприпустимою, адже такі дефекти негативно впливають на механічні властивості шва, зокрема на його міцність і втомну витривалість.

Забезпечення необхідної якості зварних з'єднань значною мірою залежить від правильної підготовки кромки під зварювання. Цей процес регламентується стандартом ДСТУ EN ISO 9692-1 [5], який визначає типи з'єднань, геометричні параметри розроблення кромки та умови їх застосування.

Для стикових з'єднань листового металу товщиною 8 мм можливе використання з'єднання типу С4 без розкриття кромки. Такий варіант є доцільним за умови застосування відповідних режимів зварювання, що забезпечують достатнє проплавлення матеріалу по всій товщині.

У випадках, коли необхідно підвищити якість проплавлення або забезпечити більш надійне формування кореня шва, застосовується V-подібне розроблення кромки. Це особливо актуально при виконанні двостороннього зварювання, коли шов формується з обох боків з'єднання. Такий підхід дозволяє досягти повного проплавлення, зменшити ймовірність утворення дефектів у кореневій частині шва та покращити механічні характеристики з'єднання. Не менш важливим етапом є різання листового металу перед зварюванням. Для цього можуть застосовуватись як газово-термічні методи різання, так і механічна обробка. Газово-термічне різання є більш продуктивним і широко використовується при обробці товстих листів, однак воно може супроводжуватись утворенням окалини та зон термічного впливу, які потребують додаткового очищення перед зварюванням. Механічна обробка, зокрема різання на гільйотинних ножицях або фрезерування, забезпечує більш високу точність і чистоту кромки.

Таким чином, дотримання вимог нормативних документів щодо якості зварних з'єднань, правильна підготовка кромки і вибір оптимального способу різання матеріалу є взаємопов'язаними складовими єдиного технологічного процесу. Їх комплексне виконання забезпечує отримання надійних і довговічних

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварних конструкцій, що відповідають як технічним, так і експлуатаційним вимогам. Перед складанням всі деталі повинні бути очищені від іржі, масла, вологи та інших забруднень у зоні зварювання на відстані не менше 20 мм від лінії шва. Поверхні деталей у зоні зварювання мають бути сухими.

Прихватки виконуються тим самим способом зварювання та тими самими матеріалами, що й основні шви. Довжина прихваток для елементів товщиною 8 мм – від 40 мм до 60 мм, крок – від 300 мм до 500 мм. Прихватки, що мають тріщини або інші дефекти, підлягають видаленню та повторному виконанню.

1.5 Аналіз умов виробництва

Відповідно до завдання на курсовий проєкт, балка виготовляється в цехових умовах. Виробнича програма становить 50 штук на рік, що відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Цехові умови виробництва при виконанні складально-зварювальних робіт формуються з урахуванням комплексу технологічних, організаційних і санітарно-гігієнічних вимог, які забезпечують безпечне, ефективне та стабільне функціонування виробничого процесу. Насамперед мова йде про наявність достатніх виробничих площ, що дозволяють раціонально розмістити обладнання, організувати зручні транспортні потоки та забезпечити безпечні умови праці для персоналу. Планування цеху повинно враховувати габарити виробів, особливості технологічного процесу, а також вимоги до зонування робочого простору - виділення ділянок складання, зварювання, контролю якості та допоміжних операцій.

Важливу роль відіграє оснащення виробництва засобами механізації, які значно полегшують виконання складально-зварювальних операцій і підвищують їх точність. До таких засобів належать мостові та консольні крани, які забезпечують переміщення важких деталей і вузлів у межах цеху, кантувачі, що дозволяють змінювати положення виробів у просторі для зручності зварювання, а також

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювальні маніпулятори, які автоматизують процес переміщення зварювального інструменту або виробу.

Використання подібного обладнання не лише підвищує продуктивність праці, але й знижує фізичне навантаження на працівників, що є важливим фактором охорони праці.

Не менш важливим є забезпечення цеху сучасним зварювальним та допоміжним обладнанням. До основного обладнання відносяться джерела живлення для різних видів зварювання (дугового, напівавтоматичного, аргонодугового тощо), зварювальні пальники, механізми подачі дроту та інші пристрої. Допоміжне обладнання включає інструменти для підготовки кромek, пристрої для фіксації деталей, контрольно-вимірювальні засоби. Усі ці елементи повинні відповідати технічним стандартам і забезпечувати стабільну якість зварних з'єднань.

Особливу увагу необхідно приділяти системам вентиляції та газопостачання. Під час зварювання виділяються шкідливі гази та аерозолі, тому ефективна вентиляція є обов'язковою умовою безпечної роботи. Застосовуються як загальнообмінні, так і місцеві витяжні системи, які безпосередньо відводять забруднене повітря із зони зварювання. Система газопостачання повинна забезпечувати безперебійну подачу захисних газів (аргону, вуглекислого газу або їх сумішей) із дотриманням усіх норм безпеки, включаючи герметичність трубопроводів, наявність редукторів, запобіжних клапанів та систем контролю.

Організація виробництва за дрібносерійним типом, із річним обсягом випуску близько 50 виробів, має свої специфічні особливості. Такий тип виробництва характеризується обмеженою повторюваністю технологічних операцій, що виключає доцільність використання вузькоспеціалізованого, жорстко закріпленого оснащення. Натомість основний акцент робиться на універсальності та гнучкості виробничої системи. Це досягається за рахунок застосування переналагоджуваного технологічного оснащення, яке може бути швидко адаптоване до виготовлення різних виробів або їх модифікацій.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому контексті доцільним є використання уніфікованих складально-зварювальних пристроїв, які складаються з типових елементів і можуть комбінуватися залежно від конфігурації виробу.

Такі пристрої дозволяють забезпечити необхідну точність складання при відносно невеликих витратах на їх виготовлення та експлуатацію. Альтернативним варіантом є застосування спеціалізованих стендів із регульованими елементами, які проектується з урахуванням особливостей конкретного виробу, але при цьому зберігають певну універсальність за рахунок можливості налаштування.

Використання регульованих елементів у складально-зварювальному оснащенні дозволяє компенсувати відхилення геометричних розмірів деталей, забезпечити точне взаємне розташування елементів конструкції та знизити ризик виникнення дефектів зварних з'єднань. Це особливо важливо в умовах дрібносерійного виробництва, де відсутність жорсткої стандартизації може призводити до варіацій у параметрах деталей.

З економічної точки зору такий підхід є виправданим, оскільки дозволяє значно знизити капітальні витрати на технологічне оснащення порівняно з масовим виробництвом, де використовуються спеціалізовані пристрої для кожної операції. Водночас забезпечується достатній рівень точності та якості продукції, що відповідає сучасним вимогам.

Таким чином, організація цехових умов при дрібносерійному виробництві зварних конструкцій базується на принципах гнучкості, універсальності та безпеки. Рациональне поєднання сучасного обладнання, механізації процесів, ефективних систем вентиляції та продуманого технологічного оснащення дозволяє забезпечити високу якість виробів при оптимальних витратах ресурсів і дотриманні вимог охорони праці

Зважаючи на великогабаритні розміри балки (довжина 13012 мм), необхідне застосування відповідних вантажопідйомних засобів (кранів вантажопідйомністю не менше 5–10 т), а також забезпечення достатньої виробничої площі для розташування складально-зварювальних стендів та зберігання заготовок і готових виробів.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1 Аналіз існуючих технологій виготовлення

У сучасному зварювальному виробництві для виготовлення балкових конструкцій застосовуються різні технологічні підходи, що визначаються типом виробництва, розмірами та масою виробів, вимогами до якості, а також наявним обладнанням.

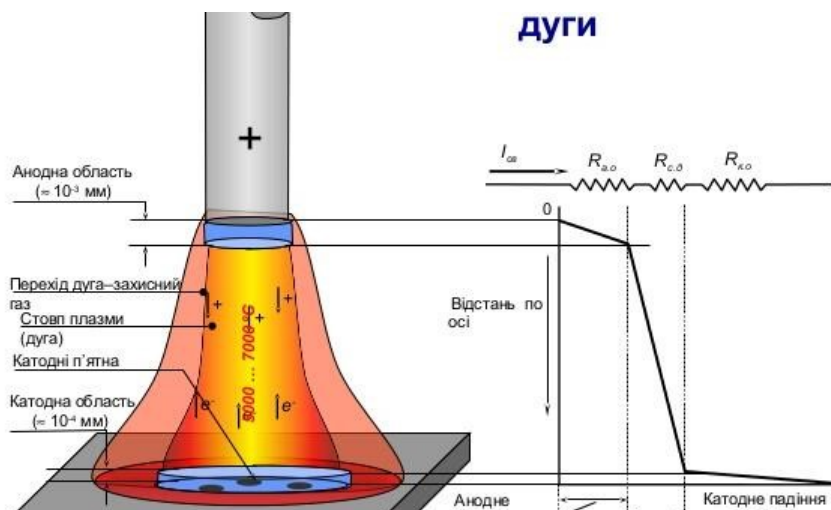


Рисунок 2.1 – Ручне дугове зварювання покритими електродами (РДЗ, процес 111)

Ручне дугове зварювання покритими електродами (РДЗ, процес 111 на рис.2.1) є найбільш універсальним способом і не потребує значних капіталовкладень у обладнання. Однак цей спосіб характеризується відносно низькою продуктивністю (струмові навантаження обмежені діаметром електрода), значною залежністю якості від кваліфікації зварника та великими витратами часу на зміну електродів [12].



Рисунок 2.2 – Механізоване зварювання в захисному газі (МАГ-зварювання, процес 135)

Механізоване зварювання в захисному газі (МАГ-зварювання, процес 135 на рис.2.2) забезпечує вищу продуктивність порівняно з ручним дуговим зварюванням за рахунок безперервної подачі дроту. Процес 135 широко застосовується при виготовленні металоконструкцій зі сталі S355J2, оскільки забезпечує хорошу якість зварних з'єднань при помірних витратах на обладнання та матеріали.

Автоматичне зварювання під флюсом (процес 121) дає змогу отримати шви з мінімальною кількістю дефектів та високою продуктивністю завдяки великим струмам та швидкостям зварювання. Цей спосіб є найбільш ефективним для виконання довгих прямолінійних швів (зварювання поясів до стінки балки) у серійному та масовому виробництві. Однак він потребує значних витрат на обладнання та є менш гнучким при виконанні швів різної конфігурації.

Аргонодугове зварювання (ТІГ-зварювання, процес 141) застосовується переважно для зварювання кольорових металів та нержавіючих сталей і є надмірно дорогим для виготовлення конструкцій зі звичайних конструкційних сталей.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-21.08.11.000 ПЗ

Арк..

23

2.2 Вибір заготовок

Заготовки для виготовлення балки виготовляються з листового та профільного прокату зі сталі S355J2. Листовий прокат поставляється у вигляді листів або рулонів відповідно до ДСТУ EN 10025-2. Для виготовлення стінки балки та ребер жорсткості застосовується листовий прокат товщиною 8 мм.

Різання листового прокату на заготовки потрібних розмірів виконується газово-кисневим різанням. Цей спосіб є найбільш поширеним при виготовленні великогабаритних металоконструкцій завдяки своїй продуктивності та відносно невисокій вартості. При необхідності підвищеної точності розмірів заготовок та якості поверхні різку застосовується плазмове різання.

Після різання кромки заготовок, призначених для зварювання, обробляються механічним способом (стругальними або фрезерними верстатами) або зачищаються шліфувальними машинами для видалення окалини та задирок і надання кромкам форми, необхідної для зварювання.

Профільний прокат (кутники та квадратні труби) поставляється у вигляді прутків (штабів) стандартної довжини. Різання профільного прокату на відрізки необхідної довжини виконується механічним способом (стрічковопильними верстатами або відрізними дисковими пилами) для забезпечення прямолінійності торцевих поверхонь.

2.3 Вибір способу зварювання

З огляду на тип виробництва (дрібносерійне, 50 шт./рік), матеріал конструкції (сталі S355J2, товщина 8 мм), конфігурацію зварних з'єднань та вимоги до якості, для активного захисного газу (MAG-зварювання, процес 135 за ДСТУ EN ISO 4063 [2]).

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обґрунтування вибору

Спосіб МАГ (процес 135) є оптимальним для даних умов виробництва з таких причин. По-перше, він забезпечує значно вищу продуктивність порівняно з ручним дуговим зварюванням (в 1,5–3 рази) за рахунок більш високих допустимих струмових навантажень та безперервної подачі дроту. По-друге, цей спосіб є більш гнучким порівняно з автоматичним зварюванням під флюсом, що важливо при виконанні численних коротких швів (ребра жорсткості). По-третє, МАГ-зварювання добре підходить для зварювання низьколегованих конструкційних сталей товщиною від 3 мм до 12 мм, забезпечуючи стабільну якість з'єднань.

Як захисний газ для МАГ-зварювання сталі S355J2 обирається суміш аргону та вуглекислого газу - Ar + 18% CO₂ (суміш M21 за ДСТУ EN ISO 14175 [4]). Ця газова суміш забезпечує стабільне горіння дуги, гарне формування шва, знижений рівень розплесків та мінімальне насичення зварного металу азотом.

Як зварювальний дріт обирається суцільний дріт G4Si1 (SG3) діаметром 1,2 мм відповідно до ДСТУ EN ISO 14341 [3]. Цей дріт забезпечує необхідний рівень легування наплавленого металу кремнієм та марганцем для отримання механічних властивостей зварного з'єднання, не нижчих за властивості основного металу.

Стикові шви (з'єднання деталей стінки) виконуються двостороннім зварюванням з повним проплавленням. Кутові шви (приварювання ребер жорсткості, кутників, квадратних труб) виконуються однопрохідним способом з катетом шва відповідно до вимог конструкторської документації [14].

2.4 Обґрунтування вибору технологічного процесу

На підставі проведеного аналізу конструкції, матеріалу та умов виробництва обрана така загальна схема технологічного процесу виготовлення балки: заготівельні операції (різання, правлення, підготовка кромки); складання стінки з листових елементів та зварювання стикових швів; складання балки (встановлення

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ребер жорсткості, кутників, профілів) та зварювання кутових швів; встановлення кінцевих накладок та їх зварювання; контроль якості та правка деформацій.

Послідовність виконання зварних швів обирається таким чином, щоб мінімізувати зварювальні деформації та залишкові напруження. Враховуючи симетричність конструкції, зварювання симетрично розташованих швів виконується по чергово або паралельно, що дозволяє компенсувати деформації.

Для складання та зварювання стикових з'єднань стінки балки застосовуються складально-зварювальні стенди з базувальними елементами та затискними пристроями. Для виконання кутових швів приварювання ребер жорсткості застосовуються мобільні складальні струбцини та упори. Після складання балки в цілому для виконання зварювання застосовуються кантувачі, що забезпечують поворот великогабаритного виробу у зручне положення для зварювання.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Загальна структура технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення зварної балки включає такі групи операцій: заготівельні операції; складально-зварювальні операції; операції контролю та виправлення дефектів; фінішні операції (зачистка, маркування, нанесення покриттів).

На заготівельному етапі виконуються: розмічання листового та профільного прокату; різання заготовок на мірні довжини; правлення листових заготовок на листопрямильних вальцях; підготовка кромки під зварювання (при необхідності - механічна обробка кромки); очищення поверхонь від іржі, окалини та забруднень.

На складально-зварювальному етапі здійснюються: складання стінки балки з листових елементів та виконання стикових зварних швів; складання і зварювання вузлів ребер жорсткості; загальне складання балки з усіх елементів та виконання зварних швів; контроль і виправлення деформацій у процесі зварювання.

3.2 Розробка маршрутного технологічного процесу

Маршрутний технологічний процес виготовлення балки наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Маршрутний технологічний процес виготовлення балки

№ оп.	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
005	Вхідний контроль	Перевірка відповідності прокату вимогам стандарту. Вимірювання геометричних розмірів. Перевірка сертифікатів.	Вимірювальний інструмент
010	Розмічально-різальна	Розмічання листів та профілів. Різання на заготовки потрібних розмірів газом-кисневим різанням.	Газорізальне обладнання
015	Правка	Правлення листових заготовок на листопрямильних вальцях.	Листопрямильні вальці

Продовження таблиці 3.1

№ оп.	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
020	Підготовка кромок	Зачистка кромок заготовок від окалини. При необхідності - механічна обробка кромок.	Кутошліфувальна машина, фреза
025	Очищення	Очищення поверхонь заготовок від іржі, масла, вологи у зонах зварювання.	Піско/дробоструминний апарат
030	Склад. стінки	Складання листових пластин стінки на стенді. Фіксація прихватками.	Складальний стенд, МАГ
035	Зварювання стинів	Виконання стикових зварних швів стінки балки. МАГ-зварювання.	Зварювальний напівавтомат
040	Контроль стінки	Візуальний контроль швів. Вимірювання геометричних відхилень.	ВК, шаблони
045	Склад. балки	Загальне складання: встановлення ребер жорсткості, кутників, труб. Прихватки.	Складальний стенд, МАГ
050	Зварювання	Виконання кутових зварних швів: ребра жорсткості, кутники, труби.	Зварювальний напівавтомат
055	Склад. накладок	Встановлення та прихватка кінцевих накладок.	МАГ
060	Зварювання накладок	Зварювання накладок по контуру.	Зварювальний напівавтомат
065	Контроль зварних швів	ВК + ВК всіх швів. УЗК стикових швів. Вимірювання геометрії.	Дефектоскоп ВД-70
070	Правка деформацій	Виправлення залишкових деформацій (при необхідності).	Прес гідравлічний
075	Зачистка швів	Зачистка поверхні зварних швів від бризок та шлаку.	КШМ, металева щітка
080	Фінішний контроль	Повний контроль геометричних розмірів. Складання протоколу контролю.	Вимірювальний інструмент
085	Маркування	Нанесення маркування виробу відповідно до КД.	Кернер, фарба
090	Ґрунтування	Нанесення ґрунтувального покриття на поверхню виробу.	Фарборозпилювач

3.3 Розробка операцій технологічного процесу

Операція 030 - Складання стінки балки. На складальному стенді встановлюються базувальні упори для фіксації листових пластин у проектному положенні. Листові заготовки верхніх та нижніх напівстінок подаються краном і встановлюються на стенд відповідно до схеми складання. Перевіряється суміщення

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кромки у площині, зазор між кромками та відсутність перекосу. Фіксація деталей виконується прихватками довжиною 50 мм з кроком 350 мм, після чого виконується вимірювальний контроль геометрії складеного вузла.

Операція 035 - Зварювання стикових швів стінки (Додаток А). Стикові шви виконуються МАГ-зварюванням у нижньому положенні методом двостороннього зварювання. Спочатку виконується перший прохід з однієї сторони, потім кантуванням виріб перевертається та виконується другий прохід з зворотного боку. Між проходами здійснюється зачистка шва та контроль відсутності дефектів.

Операція 045 - Загальне складання балки. Після зварювання стінки на неї встановлюються ребра жорсткості з кроком, зазначеним у конструкторській документації. Ребра встановлюються перпендикулярно до площини стінки та фіксуються прихватками. Після встановлення всіх ребер монтується поздовжній профіль (кутники, квадратні труби) і кінцеві накладки.

Операція 050 - Зварювання кутових швів. Кутові шви приварювання ребер жорсткості виконуються катетом $k = 6$ мм МАГ-зварюванням. Шви виконуються «у розгін» - симетрично від середини до країв балки - для мінімізації деформацій. Кутові шви приварювання поздовжніх профілів виконуються безперервними швами по всій довжині.

3.4 Вибір режимів зварювання

Режими зварювання розраховуються для основного детально розглянутого з'єднання - кутового зварного шва приварювання ребра жорсткості до стінки балки (шов, позначений на кресленні). З'єднання - кутове, тип Т1 за ДСТУ EN ISO 9692-1. Катет шва $k = 6$ мм. Матеріал: сталь S355J2, товщина 8 мм.

Зварювання виконується МАГ-процесом (135) дротом G4Si1 діаметром 1,2 мм у захисному газі $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок параметрів режиму зварювання

Площа поперечного перерізу шва. Для кутового шва з катетом $k = 6$ мм:

$$F_H = 0,75 \cdot k^2 = 0,75 \cdot 6^2 = 27 \text{ мм}^2$$

Діаметр електродного дроту: $d_d = 1,2$ мм - для зварювання у нижньому та вертикальному положеннях.

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = \frac{j \cdot \pi \cdot d_d^2}{4}$$

де j - допустима щільність струму. Для $d_d = 1,2$ мм приймаємо $j = 200$ А/мм².

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

Приймаємо $I_{зв} = 220 \text{ А} - 240 \text{ А}$.

Напруга на дузі:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 230 = 25,5 \text{ В}$$

Приймаємо $U_d = 25 \text{ В} - 27 \text{ В}$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{зв}}{(\pi \times d_d^2 \times \rho)}$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення для МАГ

$$\alpha_n \approx 15 \text{ г/(А} \times \text{год)}; \rho = 7,8 \text{ г/см}^3.$$

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 230}{(3,14 \cdot 0,012^2 \cdot 7,8 \cdot 10^6)} = 3,92 \text{ м/хв} \approx 65,4 \text{ мм/с.}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{(3600 \cdot F_n \cdot \rho)} = \frac{15 \cdot 230}{(3600 \cdot 0,027 \cdot 7,8)} = 4,55 \text{ м/год} \approx 7,6 \text{ мм/с}.$$

Приймаємо $V_{зв} = 6 \text{ мм/с} - 8 \text{ мм/с}$ (21,6 м/год – 28,8 м/год).

Витрата захисного газу: $q = 8 \text{ л/хв} - 12 \text{ л/хв}$ (приймаємо 10 л/хв).

Таблиця 3.2 – Зведені параметри режиму МАG-зварювання кутового шва

Параметр	Значення
Спосіб зварювання	МАG (процес 135)
Зварювальний дріт	G4Si1, діаметр 1,2 мм
Захисний газ	Ar + 18% CO ₂ (M21)
Сила струму, А	220–240
Напруга, В	25–27
Швидкість подачі дроту, м/хв	3,8–4,2
Швидкість зварювання, м/год	22–28
Витрата газу, л/хв	10–12
Кількість проходів	1
Вильот електрода, мм	12–15
Катет шва, мм	6

3.5 Вибір обладнання

Для виконання МАG-зварювання при виготовленні балки обирається зварювальний напівавтомат типу ESAB Origo Mig 4004i або аналогічний.

Основні технічні характеристики: номінальний зварювальний струм 400 А (при ПВ 100%), діапазон регулювання струму від 30 А до 400 А, номінальна напруга від 15 В до 38 В. Даний апарат забезпечує необхідний діапазон параметрів для зварювання в захисному газі з дротом діаметром 1,2 мм.



Рисунок 3.1 – Зварювальний напіваавтомат типу ESAB Origo Mig 4004i

Подаючий механізм - чотириролик ова подача, діаметр дроту від 0,8 мм до 1,6 мм, швидкість подачі від 0,5 м/хв до 22 м/хв. Пальник зварювальний типу «шия» або з гнучким шлангом для зварювання у важкодоступних місцях. Для виконання зварювання стикових швів стінки балки, де довжина швів значна та є можливість механізації переміщення пальника, обирається зварювальна каретка-трактор типу Bug-O або аналогічна, яка переміщається по напрямній рейці вздовж лінії шва. Це дозволяє підвищити рівномірність швидкості зварювання та якість шва. Для переміщення та кантування виробу під час складально-зварювальних операцій застосовується підлоговий кантувач вантажопідйомністю 5 т.



Рисунок 3.2 – Зварювальна каретка-трактор типу Bug-O

Таблиця 3.3 – Зведена відомість зварювального обладнання

Обладнання	Марка/тип	К-сть	Призначення
Зварювальний напівавтомат MAG	ESAB Origo Mig 4004i	2	MAG-зварювання
Зварювальна каретка-трактор	Bug-O MDS-1000	1	Механізоване зварювання довгих швів
Кантувач зварювальний	Тип КСП-5	1	Кантування виробу
Компресор балонний CO ₂	KMC-5000	2	Подача захисного газу
Змішувач газів Ar+CO ₂	WZ-2	2	Приготування газової суміші
Кутошліфувальна машина	Bosch GWS 22-230	3	Зачистка швів
Листопрямильні вальці	W11-25×2500	1	Правка листів

Таблиця 3.4 – Зведена відомість зварних швів балки

№ шва	Тип з'єднання	Спосіб зварювання	Катет/розмір, мм	Довжина, мм	Кількість	Положення
1–6	Стикове (листи стінки)	MAG 135	S8+S8	1825	6	Нижнє
7–13	Кутове (ребра жорсткості)	MAG 135	k=6	1800	7×2=14	Нижнє/верт.
14	Кутове (кутник)	MAG 135	k=6	13012	2	Нижнє
15	Кутове (труба квадратна)	MAG 135	k=6	13012	4	Нижнє
16–17	Кутове (накладки)	MAG 135	k=6	2287+465·2	2	Нижнє

Таблиця 3.5 – Відомість обладнання зварювальної дільниці

№ пп	Найменування	Марка	К-сть, шт.	Потужність, кВт	Маса, кг
1	Напівавтомат MAG	ESAB Origo Mig 4004i	2	23	52
2	Каретка-трактор	Bug-O MDS- 1000	1	0,3	18
3	Кантувач	КСП-5	1	3,0	3500
4	Листопрямильні вальці	W11-25×2500	1	11	4800
5	Газорізальна машина	ESAB Suprarex SXE-P	1	2,5	1200
6	Кутошліфувальна машина	Bosch GWS 22- 230	3	2,2	5,2
7	Мостовий кран	10т, L=18м	1	22	12000

3.6 Розрахунок норм часу

Норми часу на зварювальні операції розраховуються для операцій зварювання кутових швів ребер жорсткості (операція 050) та зварювання стикових швів стінки (операція 035). Розрахунок ведеться за методикою технічного нормування зварювальних робіт.

Розрахунок тривалості основного зварювального часу

Загальна довжина кутових швів ребер жорсткості на одній балці: з урахуванням 6 ребер, кожне ребро приварюється двостороннім кутовим швом.

Довжина шва ребра по обидва боки $\approx 1800 \text{ мм} \cdot 2 = 3600 \text{ мм}$ на ребро.
Кількість ребер ≈ 7 шт.

$$\text{Загальна довжина} = 7 \cdot 3600 = 25200 \text{ мм} \approx 25,2 \text{ м.}$$

Маса наплавленого металу:

$$m_H = F_H \cdot L_{\text{ш}} \cdot \rho = 27 \cdot 10^{-6} \cdot 25,2 \cdot 7800 = 5,31 \text{ кг}$$

Основний час зварювання кутових швів:

$$t_o = \frac{m_H}{(\alpha_H \cdot I_{\text{зв}})} \cdot 60 = \frac{5,31 \cdot 3600}{3450} = 5,54 \text{ год}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт допоміжного часу $k_d = 1,5$ (для механізованого зварювання).

Допоміжний час

$$t_d = t_o \cdot (k_d - 1) = 5,54 \cdot 0,5 = 2,77 \text{ год.}$$

Підготовчо-заключний час на партію з 50 шт.: $t_{пз} = 0,5$ год на партію.

$$t_{пз} / 1 \text{ шт.} = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ год.}$$

Норма часу на 1 виріб:

$$T_n = (t_o + t_d) + t_{пз} = (5,54 + 2,77) + 0,01 = 8,32 \text{ год.}$$

Для стикових швів стінки:

$$\text{загальна довжина} \approx 6 \cdot 1825 = 10950 \text{ мм} = 10,95 \text{ м.}$$

$$F_n = 16 \text{ мм}^2 \text{ (без оброблення кромки, катет 8 мм еквівалент).}$$

$$t_o = \frac{1,36 \cdot 3600}{(15 \cdot 230)} = 1,42 \text{ год.}$$

$$m_n = 16 \cdot 10^{-6} \cdot 10,95 \cdot 7800 = 1,36 \text{ кг.}$$

Загальний час зварювальних операцій на один виріб:

$$T = 8,32 + (1,42 \cdot 1,5) + 0,01 \approx 10,4 \text{ год}$$

(без обліку часу на складання, транспортування та контроль).

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

4.1 Аналіз необхідності застосування оснащення

При виготовленні великогабаритних зварних конструкцій, до яких відноситься балка завдовжки 13012 мм, застосування спеціального технологічного оснащення є обов'язковою умовою забезпечення необхідної точності складання та якості зварювання. Основні функції технологічного оснащення: точне базування і фіксація елементів конструкції у заданому взаємному положенні; забезпечення стабільності зазорів між кромками деталей в процесі зварювання; зменшення зварювальних деформацій; підвищення продуктивності та полегшення праці складальників і зварників.

Для дрібносерійного виробництва найбільш доцільним є застосування переналагоджуваного оснащення на базі стандартизованих систем (УСПС або аналогічних), яке дозволяє швидко переналагоджувати пристрої для складання деталей різних типорозмірів. Такий підхід дозволяє знизити вартість оснащення в порівнянні зі спеціальними нерозбірними стендами.

4.2 Розробка пристрою для складання

Для складання стінки балки з листових елементів розробляється складальний стенд на базі плити УСПС-8. Стенд включає такі основні елементи: базувальну плиту (або рейковий стелаж) зі стандартними Т-подібними пазами; регульовані упори для фіксації листів в поздовжньому та поперечному напрямках; затискні гвинтові або пневматичні притискачі для фіксації листів у вертикальному напрямку; дистанційні шаблони для формування необхідного зазору між кромками.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

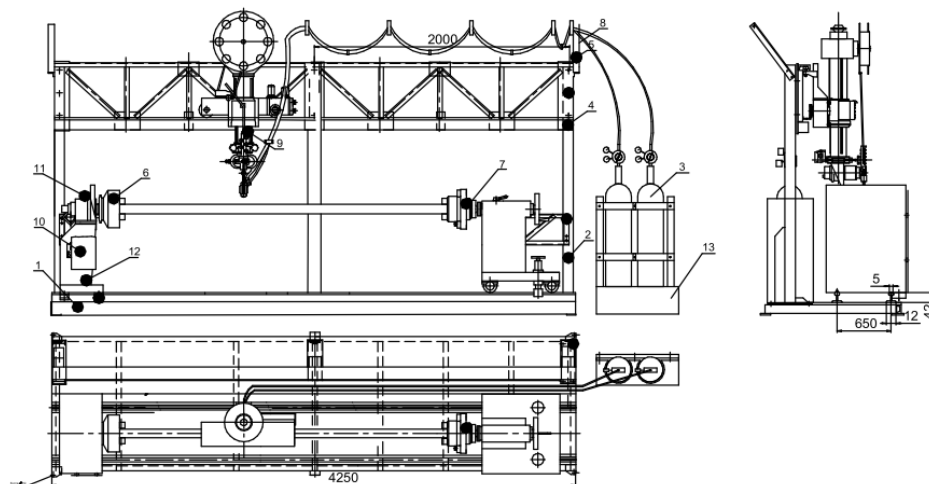


Рисунок 4.1 – Складально-зварювальний стенд

Базування листових пластин здійснюється за двома взаємно перпендикулярними площинами (нижня поверхня і бокова грань листів). Упори встановлюються по довжині стенда з кроком від 500 мм до 700 мм, що забезпечує стабільність положення деталей по всій довжині шва.

Розрахунок зусилля затиску гвинтового притискача:

Маса листа (1180 мм × 1825 мм × 8 мм):

$$m = 1,18 \times 1,825 \times 0,008 \times 7800 = 134,2 \text{ кг}; G = 1316 \text{ Н.}$$

Коефіцієнт надійності затискання $k = 1,5$. Необхідне зусилля затиску:

$$Q = k \cdot G = 1,5 \cdot 1316 = 1974 \text{ Н} \approx 2000 \text{ Н.}$$

Для гвинтового притискача зусилля $Q = 10000 \text{ Н}$ (стандартний притискач), що забезпечує необхідний запас надійності.

4.3 Розробка пристрою для зварювання

Для виконання зварювання великогабаритної балки необхідний кантувач, що забезпечує поворот виробу навколо поздовжньої осі для доступу до всіх зварних швів.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Обирається кантувач-маніпулятор вантажопідйомністю 5 т, що відповідає орієнтовній масі балки від 3 т до 4 т з урахуванням маси оснащення.

Кантувач забезпечує поворот виробу на 360° для виконання зварювання у нижньому або горизонтальному положенні, що є найбільш сприятливим для якості шва. Регульована швидкість обертання (від 0,1 об/хв до 1,0 об/хв) дозволяє підтримувати оптимальне положення для зварювання.

Для виконання поздовжніх швів великої довжини застосовується зварювальна каретка-трактор, що переміщається по напрямній вздовж лінії шва. Напрямна закріплюється безпосередньо на виробі за допомогою магнітних тримачів. Привод переміщення каретки – від електромотора з редуктором, регульована швидкість від 0,5 м/хв до 3 м/хв.

4.4 Опис конструкції та принцип роботи пристрою

Складально-зварювальний пристрій для збирання стінки балки являє собою горизонтальний стелаж з опорними балками, встановленими на підлозі цеху. На стелажі розміщені базувальна плита або підготовлені опорні поверхні для розміщення листових заготовок у горизонтальному положенні. Вздовж стелажа з кроком 500 мм встановлені вертикальні стійки з регульованими боковими упорами для фіксації положення листів у поперечному напрямку.

Принцип роботи пристрою. Перед складанням базувальні упори встановлюються у положення, що відповідають розмірам складальних одиниць. Листові заготовки подаються краном і укладаються на стелаж. При укладанні листи орієнтуються по базувальних поверхнях упорів та фіксуються затискачами. Між суміжними листами встановлюються дистанційні прокладки для формування необхідного зазору. Після перевірки правильності розташування деталей виконуються прихватки (точки зварювання). Після прихватки дистанційні прокладки видаляються та виконується основне зварювання.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для виконання зварювання в нижньому положенні зібрана конструкція за допомогою крана подається на кантувач, де встановлюється у горизонтальне положення. Зварювальна каретка з навішеним пальником встановлюється на напрямну, закріплену вздовж лінії шва. При включенні кантувача або при переміщенні каретки виконується зварювання з постійними параметрами режиму.

4.5 Перевірочні розрахунки технологічного оснащення

Розрахунок зусилля притискання гвинтових затискачів стенда

Метою розрахунку є перевірка достатності зусилля гвинтових притискачів для забезпечення нерухомості листових заготовок стінки балки при виконанні прихваток і зварювання (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Параметр	Значення
Товщина листів стінки, t	8 мм
Розмір заготовки (верхня напівстінка), $b \times l$	1180 мм $\times$ 1825 мм
Маса однієї пластини стінки, m	$\approx 133,8$ кг
Матеріал заготовки	Сталь S355J2
Кут нахилу виробу при зварюванні, α	0° (горизонтальне положення)
Кількість гвинтових затискачів на стенді	6 шт. (крок 500 мм)

Розрахунок зусилля від зварювальних деформацій:

При поздовжньому стиковому зварюванні листів стінки виникають поперечні зварювальні напруження, які прагнуть відігнути краї листів. Сила, що відриває лист від площини стенда, визначається за формулою:

$$F_{\text{деф}} = \sigma_p \cdot t \cdot l = 80 \cdot 0,008 \cdot 1,825 \approx 1168 \text{ Н} \approx 1,17 \text{ кН}$$

де σ_p – розтягувальне напруження в зоні шва, МПа (приймається $\sigma_p = 80$ МПа для МАГ-зварювання);

t – товщина листа, м;

l – довжина зварного шва, м.

Сила притискання одного затискача (з коефіцієнтом запасу $k = 1,5$):

$$F_{\text{зат}} = \frac{(F_{\text{деф}} \cdot k)}{n} = \frac{(1168 \cdot 1,5)}{6} = 292 \text{ Н}$$

де $n = 6$ – кількість затискачів.

Перевірочний розрахунок гвинтового затискача:

Для гвинтового притискача М20 (різьба метрична, крок $p = 2,5$ мм, середній діаметр $d_2 = 18,376$ мм):

$$Q = \left(\frac{2 \cdot M}{(d_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \rho'))} \right) = \frac{(2 \cdot 40)}{(0,01838 \cdot \operatorname{tg}(2^\circ 29' + 6^\circ 34'))} \approx 8000 \text{ Н}$$

де $M = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент, прикладений до рукоятки;

$\varphi = 2^\circ 29'$ – кут підйому різьби;

$\rho' = 6^\circ 34'$ – кут тертя в різьбі ($f = 0,1$).

Висновок: $Q = 8000 \text{ Н} \gg F_{\text{зат}} = 292 \text{ Н}$. Гвинтовий затискач М20 забезпечує достатнє зусилля притискання з запасом $n = 8000/292 \approx 27$. Умова виконується з великим запасом надійності.

Перевірочний розрахунок поздовжньої рами стенда на згин

Рама стенда розглядається як балка на двох опорах з розподіленим навантаженням від маси виробу. Визначається максимальний прогин і напруження у рамі (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Вихідні дані балки

Параметр	Значення
Маса балки (виробу) з оснащенням, G	3500 кг (34,3 кН)
Довжина стенда, L	15 000 мм
Переріз рами (двотавр № 30)	I _{зо} , W _x = 472 см ³
Матеріал рами	Сталь Ст3сп, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$

Розрахункова схема: рівномірно розподілене навантаження

$$q = \frac{G}{L} = \frac{34300}{15} = 2287 \text{ Н/м}$$

Максимальний згинальний момент у середині прольоту:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{2287 \cdot 15^2}{8} = 64\,334 \text{ Н} \cdot \text{м} \approx 64,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Максимальне нормальне напруження:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{64,3 \cdot 10^6}{472 \cdot 10^3} = 136,2 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

$$\sigma_{max} = 136,2 \text{ МПа} < [\sigma] = 160 \text{ МПа} \text{ — умова виконується}$$

Максимальний прогин рами:

$$f_{max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{(384 \cdot E \cdot I_x)} = \frac{5 \cdot 2287 \cdot 15^4}{(384 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 7080 \cdot 10^{-8})} \approx 8,4 \text{ мм}$$

Допустимий прогин:

$$[f] = L/1000 = 15000/1000 = 15 \text{ мм.}$$

Умова жорсткості виконується:

$$f_{max} = 8,4 \text{ мм} < [f] = 15 \text{ мм.}$$

Висновок: рама стенда на базі двотавра №30 задовольняє умовам міцності та жорсткості при навантаженні від маси балки 3500 кг.

Перевірочний розрахунок кантувача-маніпулятора КСП-5

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка кантувача виконується за умовою забезпечення моменту, необхідного для повороту виробу, та за стійкістю проти перекидання.

Момент опору повороту виробу:

При повороті балки масою $G = 34,3$ кН з ексцентриситетом e від осі обертання:

$$M_{\text{пов}} = G \cdot e = 34300 \cdot 0,20 = 6860 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $e = 0,20$ м – максимальний ексцентриситет центра мас від осі обертання кантувача (прийнятий за результатами аналізу геометрії перерізу балки).

Момент тертя в підшипниках веденої бабки:

$$M_{\text{тр}} = G \cdot f \cdot r = 34300 \cdot 0,02 \cdot 0,08 = 54,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $f = 0,02$ – приведений коефіцієнт тертя в підшипниках кочення;

$r = 0,08$ м – радіус цапфи.

Сумарний момент навантаження на привод кантувача:

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{пов}} + M_{\text{тр}} = 6860 + 55 = 6915 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність привода:

$$N = \frac{M_{\text{заг}} \cdot \omega}{\eta} = \frac{6915 \cdot 0,105}{0,85} = 853 \text{ Вт} \approx 0,85 \text{ кВт}$$

де $\omega = 2\pi \cdot n/60 = 2\pi \cdot 1/60 = 0,105$ рад/с (швидкість обертання $n = 1$ об/хв);

$\eta = 0,85$ – ККД редуктора.

Встановлена потужність привода КСП-5: $N_{\text{уст}} = 3,0$ кВт $\gg 0,85$ кВт. Кантувач КСП-5 забезпечує необхідний момент для повороту балки з запасом по потужності $k = 3,0/0,85 = 3,5$.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка стійкості кантувача проти перекидання:

Умова стійкості (момент стабілізуючих сил відносно точки перекидання повинен перевищувати момент перекидаючих сил):

$$M_{\text{ст}} / M_{\text{пер}} = \frac{(G_k \cdot \frac{b}{2})}{(G \cdot e)} = \frac{(20000 \cdot 0,65)}{(34300 \cdot 0,2)} = 1,90 > 1,5$$

де $G_k = 20000 \text{ Н}$ – власна маса кантувача;

$b = 1,3 \text{ м}$ – ширина бази кантувача.

Висновок: коефіцієнт стійкості $1,90 > [k_{\text{ст}}] = 1,5$. Умова стійкості проти перекидання виконується.

Розрахунок прихваток при складанні

Прихвати забезпечують нерухомість деталей при зварюванні та сприймають зварювальні напруження до виконання основного шва. Виконаємо перевірку міцності прихвати при складанні стінки балки (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Вихідні дані розрахунку стінки:

Параметр	Значення
Спосіб зварювання прихваток	MAG 135 (як основний)
Довжина однієї прихватки, $l_{\text{пр}}$	50 мм
Крок прихваток, s	400 мм
Катет прихватки, k	4 мм
Розрахунковий переріз прихватки ($z = 0,7k$)	2,8 мм
Допустиме дотичне напруження для MAG, $[\tau]$	140 МПа

Навантаження на прихваті від власної маси листа між двома сусідніми прихватами:

$$F = q \cdot s = \frac{m}{l} \cdot g \cdot s = \frac{133,8}{1,825} \cdot 9,81 \cdot 0,4 = 286,6 \text{ Н}$$

де q – лінійна маса листа;

$s = 400 \text{ мм}$ – крок між прихватами.

Площа розрахункового перерізу однієї прихватки:

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = z \cdot l_{\text{пр}} = 2,8 \cdot 50 = 140 \text{ мм}^2$$

Фактичне дотичне напруження в прихваті:

$$\tau_{\phi} = \frac{F}{A} = \frac{286,6}{140} = 2,05 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності прихвата:

$$\tau_{\phi} = 2,05 \text{ МПа} \ll [\tau] = 140 \text{ МПа} - \text{умова виконується}$$

Висновок: прийняті розміри прихваток ($l = 50 \text{ мм}$, $k = 4 \text{ мм}$, крок 400 мм) цілком забезпечують утримання листових заготовок стінки балки при складанні. Запас міцності по напруженням становить $k = 140/2,05 = 68$. Визначальним є не міцність, а технологічні вимоги (запобігання відриву кромки при зварювальних деформаціях) і вимоги до якості прихваток за EN ISO 5817.

Перевірка стійкості зварювальної каретки-трактора на напрямній

Зварювальна каретка Bug-O MDS-1000 закріплюється на магнітних тримачах на напрямній. Перевіримо достатність сили утримання магнітних тримачів.

Маса каретки: $G_k = 18 \text{ кг} = 177 \text{ Н}$. Кількість магнітних тримачів: $n = 4$.

Сила утримання одного магнітного тримача: $F_m = 600 \text{ Н}$ (за паспортними даними).

Загальна сила утримання:

$$F_{\text{уд}} = n \cdot F_m = 4 \cdot 600 = 2400 \text{ Н}$$

Сила відриву від напрямної з урахуванням реакції від натягнення шлангів $G_{\text{ш}} \approx 30 \text{ Н}$ та динамічних навантажень ($k_d = 2$):

$$F_{\text{відр}} = (G_k + G_{\text{ш}}) \cdot k_d = (177 + 30) \cdot 2 = 414 \text{ Н}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт запасу:

$$n_3 = \frac{F_{уд}}{F_{відр}} = \frac{2400}{414} = 5,8 > [n] = 2,5$$

Висновок: магнітні тримачі каретки забезпечують надійне утримання на напрямній з запасом $n_3 = 5,8 > [n] = 2,5$. Умова виконується (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Наведена таблиця результатів перевірочних розрахунків

Елемент оснащення / Параметр	Умова перевірки	Результат	Висновок
Гвинтовий затискач М20 (зусилля), Q	$Q \geq F_{зат} \cdot k_3 = 292 \cdot 1,5 = 438 \text{ Н}$	$Q = 8000 \text{ Н}$	Виконується
Рама стенда, двотавр №30 (міцність)	$\sigma_{\max} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа}$	136,2 МПа	Виконується
Рама стенда, двотавр №30 (жорсткість)	$f_{\max} \leq L/1000 = 15 \text{ мм}$	8,4 мм	Виконується
Кантувач КСП-5 (потужність привода)	$N_{уст} \geq N_{розр} = 0,85 \text{ кВт}$	$N_{уст} = 3,0 \text{ кВт}$	Виконується
Кантувач КСП-5 (стійкість)	$M_{ст}/M_{пер} \geq [k] = 1,5$	$k = 1,90$	Виконується
Прихватки k4×50, крок 400 мм (міцність)	$\tau_{\phi} \leq [\tau] = 140 \text{ МПа}$	2,05 МПа	Виконується
Каретка Bug-O MDS-1000 (магнітні тримачі)	$n_3 = F_{уд}/F_{відр} \geq [n] = 2,5$	$n_3 = 5,8$	Виконується

Усі перевірочні розрахунки підтверджують, що розроблене технологічне оснащення задовольняє вимогам міцності, жорсткості та надійності при виготовленні зварної балки в умовах дрібносерійного виробництва.

5 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИРОБУ

5.1 Види дефектів зварних з'єднань

У зварних з'єднаннях балки можуть виникати такі дефекти. Тріщини - найбільш небезпечний вид дефектів, що виникають у результаті надмірних зварювальних напружень, неправильного вибору режимів зварювання або хімічного складу присадного матеріалу. Тріщини можуть бути поздовжніми, поперечними, а також в зоні термічного впливу.

Пори - газові включення, що утворюються внаслідок виділення газів при кристалізації зварної ванни. Причини утворення: забруднення кромки, недостатній захист зони зварювання, підвищений вміст вологи у флюсі або покритті електроду, занадто велика швидкість охолодження.

Непровар - відсутність зплавлення між основним і наплавленим металом або між окремими шарами шва. Утворюється при недостатньому струмі, великій швидкості зварювання, великому вильоті електроду або неправильному куті нахилу пальника.

Підрізи - поздовжні канавки вздовж краю шва, що виникають внаслідок великої сили струму або неправильного положення пальника. Підрізи зменшують робочий переріз основного металу і є концентраторами напружень.

Зовнішні дефекти форми шва: нерівна ширина та висота шва, кратери наприкінці шва. Шлакові включення - залишки шлаку всередині шва, що виникають через неповне видалення шлакової кірки між проходами або неправильне ведення пальника.

5.2 Методи контролю якості

Контроль якості зварних з'єднань балки здійснюється відповідно до ДСТУ EN ISO 17635 [7] «Неруйнівний контроль зварних з'єднань». Програма контролю включає: вхідний контроль матеріалів; операційний контроль у процесі складання і зварювання; приймальний контроль готового виробу.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вхідний контроль матеріалів передбачає перевірку відповідності сертифікатів на прокат та зварювальні матеріали вимогам стандартів, а також вибіркову перевірку механічних властивостей та хімічного складу.

Операційний контроль включає: перевірку підготовки кромки і поверхонь під зварювання; контроль складання (зазори, суміщення кромки, відсутність перекосів); контроль прихваток; перевірку параметрів режимів зварювання; міжопераційний контроль якості виконаних швів. Приймальний контроль включає 100% візуальний та вимірювальний контроль усіх зварних швів, ультразвукову дефектоскопію стикових швів та вибіркову перевірку кутових швів методом магнітопорошкового контролю.

5.3 Неруйнівний контроль

Ультразвукова дефектоскопія (УЗД) застосовується для виявлення внутрішніх дефектів стикових зварних швів стінки балки. Метод ґрунтується на відбитті ультразвукових хвиль від меж розділу середовищ (включень, пор, тріщин) і дозволяє виявляти дефекти розміром від 1 мм, розташовані на будь-якій глибині. Для контролю кутових швів, до яких ультразвукова дефектоскопія застосовується з обмеженнями, використовується метод магнітопорошкового контролю (МПК). Цей метод дозволяє виявляти поверхневі та підповерхневі дефекти (тріщини, непровари) на глибині до 3 мм у феромагнітних матеріалах (яким є сталь S355J2). Проведення УЗД стикових швів передбачає переміщення п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП) вздовж шва та забезпечує сканування у визначеній зоні.

5.4 Технічні вимоги до якості

Зварні з'єднання балки повинні відповідати рівню якості С (за ДСТУ EN ISO 5817) для кутових швів та рівню В для стикових швів, якщо інше не вказано у конструкторській документації.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустимі відхилення геометрії зварних швів: відхилення катета кутового шва від номінального $\pm 1,0$ мм; ширина стикового шва - відповідно до стандарту; посилення стикового шва - не більше 2,0 мм при нижньому та не більше 3,0 мм при вертикальному положенні зварювання; підрізи - не допускаються для рівня В, допускається глибиною до 0,5 мм для рівня С.

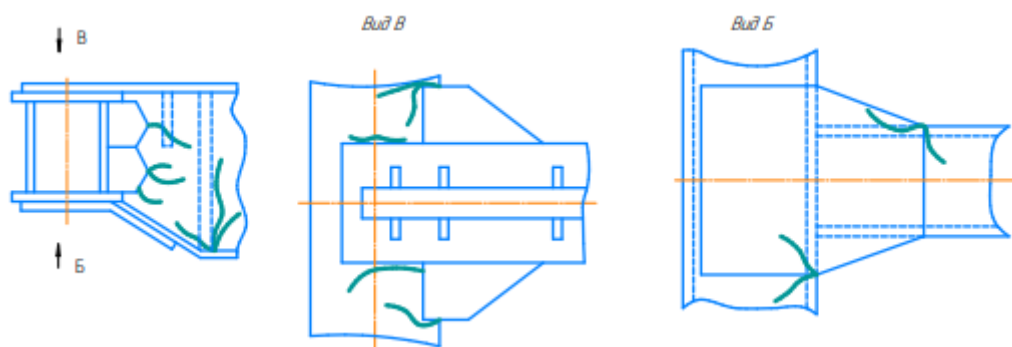


Рисунок 5.1 –Зварні шви балки

Відхилення геометричних розмірів готового виробу: прямолінійність по довжині не більше $L/1000 = 13012/1000 = 13$ мм; відхилення по висоті поперечного перерізу ± 3 мм; кут нахилу ребер жорсткості відносно поздовжньої осі $\pm 2^\circ$.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Тип виробництва

Виробнича програма 50 штук на рік при значних трудовитратах на виготовлення одного виробу (орієнтовно 20–30 нормо-годин) відповідає дрібносерійному типу виробництва. При дрібносерійному виробництві запуск деталей у виробництво здійснюється партіями, обладнання використовується за груповим принципом, широко застосовується переналагоджуване оснащення.

Характерними ознаками дрібносерійного виробництва є: відносно широка номенклатура однотипних виробів; невелика кількість виробів, що виготовляються одночасно; переважне застосування універсального обладнання з невеликою часткою спеціалізованого; більш тривалі виробничі цикли порівняно із серійним виробництвом; висока кваліфікація виконавців.

Для дрібносерійного виробництва балок рекомендується використання гнучких складально-зварювальних систем на базі стандартизованих модульних стендів (типу УСПС), що дозволяє швидко переналагоджувати оснащення при переході до виготовлення іншого типу виробів. Такий підхід знижує витрати на оснащення та скорочує час переналагодження.

6.2 Організація виробничої ділянки

Виробнича ділянка для виготовлення балок організовується за принципом технологічної спеціалізації з послідовним розташуванням робочих місць відповідно до маршруту технологічного процесу. У складі ділянки передбачаються: ділянка підготовки (заготівельна ділянка); ділянка складання та зварювання; ділянка контролю та виправлення; склад заготовок та готової продукції.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

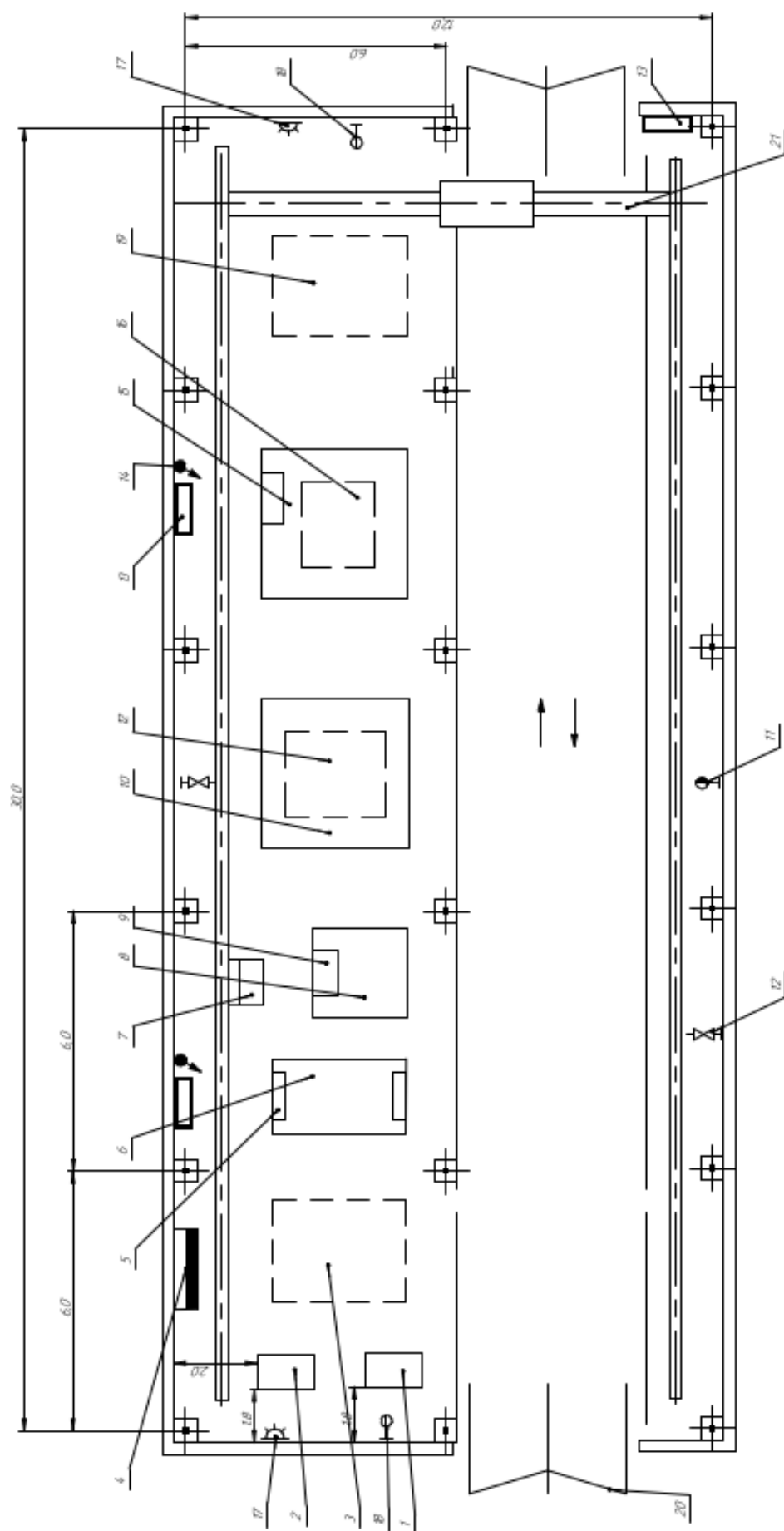


Рисунок 6.1 – Схема дільниці

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-21.08.11.000 ПЗ

Арк..

50

де 1 – в'їзні ворота дільниці; 2 – місце складування листового прокату; 3 – місце складування профільного прокату; 4 – газорізальний пост; 5 – установка для очищення та підготовки кромки; 6 – складальний стенд для складання стінки балки; 7 – зварювальний напівавтомат mag; 8 – пост прихватки та контролю складання; 9 – складально-зварювальний стенд для загального складання балки; 10 – пристрій для встановлення ребер жорсткості; 11 – мостовий кран вантажопідйомністю 10 т; 12 – місце розташування зварника; 13 – шафа керування обладнанням; 14 – витяжна вентиляційна установка; 15 – пост візуального та вимірювального контролю; 16 – ультразвуковий дефектоскоп; 17 – зона правки конструкції; 18 – місце зачищення зварних швів; 19 – зона готової продукції; 20 – виїзні ворота дільниці; 21 – кранова колія; 22 – електророзподільний щит

Загальна потрібна площа виробничої дільниці визначається, виходячи з розмірів виробу та нормативних площ на одиницю обладнання. При довжині балки 13 м необхідна довжина складально-зварювального стенда не менше 15 м–16 м. З урахуванням проходів та відстаней між обладнанням орієнтовна потрібна площа дільниці складає від 600 м² до 800 м².

6.3 Розміщення обладнання

Обладнання на виробничій дільниці розміщується відповідно до потоку виготовлення виробів. Заготівельне обладнання (газорізальні верстати, листопривальні вальці) розташовується біля входу в дільницю. Складально-зварювальні стенди розташовуються паралельно поздовжній осі дільниці для забезпечення зручного обслуговування краном.

Відстані між обладнанням приймаються відповідно до норм технологічного проектування підприємств зварювального виробництва: між стендами і стінами - не менше 1 м; між суміжними стендами - не менше 1,5 м; ширина проїздів - не менше 3 м для двостороннього руху транспорту.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дільниця обладнується мостовим краном або кран-балкою вантажопідйомністю не менше 10 т, що забезпечує обслуговування всього прольоту. Висота крюка крана повинна дозволяти переміщення балки у вертикальному положенні.

6.4 Організація робочих місць

Кожне робоче місце зварника обладнується: зварювальним напівавтоматом; шафою для зварювальних матеріалів та інструменту; місцевою вентиляцією (витяжним зонтом або відсмоктувальним патрубком); засобами індивідуального захисту (зварювальна маска, рукавиці, захисний одяг).

Робоче місце складальника оснащується набором ручного інструменту (молоток, зубило, кутниковий ключ, вимірювальний інструмент), а також механізованими засобами для переміщення та установки деталей.

На кожному робочому місці передбачено місце для зберігання деталей, що підготовлені до складання або зварювання, а також місце для складання готових вузлів після зварювання. Між робочими місцями забезпечуються проходи шириною не менше 1 м.

6.5 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати на виготовлення одного виробу включають вартість основних матеріалів (листового та профільного прокату), зварювальних матеріалів (дроту та захисного газу) та витратних матеріалів (абразивів, засобів очищення тощо).

Розрахунок маси листового прокату:

Пластини стінки (1180 мм × 1825 мм × 8 мм):

$$7 \text{ штук} \times (1,18 \times 1,825 \times 0,008 \times 7800) = 7 \cdot 133,8 = 936,6 \text{ кг}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пластини нижньої стінки (700 мм × 1825 мм × 8 мм):

$$7 \text{ шт.} \times (0,70 \times 1,825 \times 0,008 \times 7800) = 7 \cdot 79,4 = 555,8 \text{ кг}$$

Ребра жорсткості (товщина 8 мм, приблизні розміри 600 мм × 1800 мм):

$$7 \text{ шт.} \times (0,6 \times 1,8 \times 0,008 \times 7800) = 7 \cdot 67,4 = 471,8 \text{ кг}$$

Накладки (2287 мм × 465 мм × 8 мм):

$$2 \text{ шт.} \times (2,287 \times 0,465 \times 0,008 \times 7800) = 2 \cdot 66,4 = 132,8 \text{ кг}$$

Разом листового прокату:

$$M_{\text{л}} = 936,6 + 555,8 + 471,8 + 132,8 = 2097,0 \text{ кг}$$

Розрахунок маси профільного прокату:

Кутник 100 мм × 100 мм × 8 мм (маса 1 м = 12,2 кг):

$$1 \times 13,012 \times 12,2 = 158,7 \text{ кг}$$

Квадратна труба 80 мм × 80 мм × 8 мм (маса 1 м = 18,4 кг):

$$1 \times 13,012 \times 18,4 = 239,4 \text{ кг}$$

Разом профільного прокату:

$$M_{\text{п}} = 158,7 + 239,4 = 398,1 \text{ кг}$$

Загальна маса прокату:

$$M_{\text{заг}} = 2097,0 + 398,1 = 2495,1 \text{ кг} \approx 2495 \text{ кг}$$

Витрати на прокат зі сталі S355J2 (ціна орієнтовна 45 000 грн/т з урахуванням доставки):

Вартість прокату на 1 виріб:

$$C_{\text{прокат}} = 2,495 \text{ т} \cdot 45\,000 \text{ грн/т} = 112\,275 \text{ грн}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок витрати зварювальних матеріалів:

Маса наплавленого металу всіх швів (орієнтовно):

$$m_{\text{нзаг}} \approx 5,31 \text{ (кутові)} + 1,36 \text{ (стикові)} + 3,5 \text{ (інші)} = 10,17 \text{ кг}$$

Витрата зварювального дроту з урахуванням коефіцієнта витрати $k_p = 1,15$:

$$m_{\text{др}} = m_{\text{н}} \cdot k_p = 10,17 \cdot 1,15 = 11,7 \text{ кг}$$

Вартість дроту G4Si1 (ціна 185 грн/кг):

$$C_{\text{дріт}} = 11,7 \cdot 185 = 2164,5 \text{ грн}$$

Витрата захисного газу (Ar+CO₂): при витраті 10 л/хв і загальному часі зварювання 7 год = 420 хв: Разом матеріальних витрат:

$$C_{\text{мат}} = 112\,275 + 2164,5 + 294 = 114\,733,5 \text{ грн}$$
$$V_{\text{газ}} = 10 \cdot 420 = 4200 \text{ л} = 4,2 \text{ м}^3.$$

Вартість газу (70 грн/м³):

$$C_{\text{газ}} = 4,2 \cdot 70 = 294 \text{ грн}$$

6.6 Розрахунок собівартості

Собівартість виготовлення одного виробу включає матеріальні витрати, витрати на оплату праці, відрахування на соціальне страхування, амортизацію обладнання та загальновиробничі витрати.

Розрахунок витрат на оплату праці

Трудовістість виготовлення одного виробу (орієнтовна): $T = 30$ нормо-годин (включаючи заготівельні, складальні, зварювальні, контрольні операції)

Середня годинна тарифна ставка для зварника IV розряду (відповідно до тарифної сітки, табл. 6.3, коефіцієнт 1,350):

$$t_c = 52,00 \times 1,350 = 70,20 \text{ грн/год}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на основну заробітну плату:

$$ЗП_{\text{осн}} = T \cdot t_c = 30 \cdot 70,20 = 2\,106,00 \text{ грн}$$

Доплати і надбавки (30 %):

$$ЗП_{\text{доп}} = 2\,106,00 \cdot 0,30 = 631,80 \text{ грн}$$

Разом витрати на оплату праці:

$$ЗП = 2\,106,00 + 631,80 = 2\,737,80 \text{ грн}$$

Єдиний соціальний внесок (22 %):

$$ЄСВ = 2\,737,80 \cdot 0,22 = 602,32 \text{ грн}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Вартість зварювального обладнання (2 напівавтомати + каретка + кантувач):

$$В_{\text{обл}} \approx 450\,000 \text{ грн}$$

Норма амортизації 20 % на рік:

$$A_{\text{рік}} = 450\,000 \cdot 0,20 = 90\,000 \text{ грн}$$

Амортизація на 1 виріб (50 шт./рік):

$$A_1 = \frac{90\,000}{50} = 1800 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати (150 % від основної заробітної плати):

$$ЗВВ = 2\,106,00 \cdot 1,5 = 3\,159,00 \text{ грн}$$

Повна собівартість одного виробу:

$$\begin{aligned} C &= 114\,733,5 + 2\,737,80 + 602,32 + 1\,800 + 3\,159,00 \\ &= 123\,032,62 \text{ грн} \approx 123\,033 \text{ грн} \end{aligned}$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.7 Економічна ефективність

Для оцінки економічної ефективності розробленого технологічного процесу проводиться порівняння з базовим варіантом - виготовленням за допомогою ручного дугового зварювання покритими електродами.

При ручному дуговому зварюванні трудомісткість зварювальних операцій збільшується приблизно в 2,5 рази (через нижчу продуктивність). Отже, трудомісткість зварювальних операцій при РДЗ:

$$T_{\text{РДЗ}} = (8,32 + 1,42) \cdot 2,5 = 24,35 \text{ год.}$$

замість 9,74 год при МАГ-зварюванні.

Різниця в трудомісткості:

$$\Delta T = 24,35 - 9,74 = 14,61 \text{ год на виріб.}$$

Економія витрат на оплату праці при МАГ порівняно з РДЗ на 1 виріб:

$$\Delta ЗП = 14,61 \cdot 70,20 = 1\,025,62 \text{ грн}$$

Річна економія (50 шт.):

$$\Delta ЗП_{\text{рік}} = 1\,025,62 \cdot 50 = 51\,281,00 \text{ грн}$$

Додаткові витрати на обладнання (різниця у вартості): $\Delta В = 150\,000$ грн
Термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta В}{\Delta ЗП_{\text{рік}}} = \frac{150\,000}{51\,281} \approx 2,93 \text{ року}$$

Термін окупності 2,93 року свідчить про економічну доцільність застосування МАГ-зварювання порівняно з ручним дуговим.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.8 Техніко-економічне обґрунтування

Розроблений технологічний процес виготовлення зварної балки забезпечує: зниження трудомісткості зварювальних операцій у 2,5 рази порівняно з ручним дуговим зварюванням; підвищення якості зварних з'єднань завдяки стабільності параметрів механізованого процесу; зменшення витрати зварювальних матеріалів на 10–15 % порівняно з ручним зварюванням; скорочення виробничого циклу виготовлення одного виробу орієнтовно на 25–30 %.

Застосування спеціалізованого складально-зварювального оснащення дозволяє скоротити час на операції складання на 20–25 % та знизити кількість дефектів зварних з'єднань, пов'язаних з неправильним взаємним розташуванням деталей, на 30–40 %. Загалом, розроблений технологічний процес є економічно ефективним та технічно обґрунтованим.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Технологічний процес, що розглядається в дипломному проєкті, передбачає виконання операцій механізованого дугового зварювання в середовищі активних газів (МАГ-зварювання) під час виготовлення зварних металоконструкцій та елементів технологічного оснащення виробничої дільниці. Під час реалізації даного технологічного процесу на робочих місцях зварників і складальників виникає комплекс шкідливих та небезпечних виробничих факторів фізичної, хімічної та електричної природи, що потребують детального аналізу та розроблення відповідних інженерних рішень.

Метою даного розділу є аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що супроводжують технологічний процес МАГ-зварювання, розроблення інженерних рішень щодо забезпечення безпечних умов праці, виконання розрахунку продуктивності місцевої витяжної вентиляції зварювального поста та визначення заходів пожежної безпеки на виробничій дільниці.

7.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

При виконанні зварювальних та складальних робіт на виробничій дільниці виникають такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) відповідно до ДСТУ EN ISO 9612 та ДСН 3.3.6.042-99 [15].

МАГ-зварювання, тобто механізоване дугове зварювання в середовищі активних захисних газів, є одним із найпоширеніших методів з'єднання металів у сучасному виробництві. Воно забезпечує високу продуктивність, якісний шов і відносну універсальність, але водночас супроводжується значним впливом на організм зварника комплексу шкідливих факторів. Ці фактори умовно поділяють на хімічні та фізичні. Найбільш небезпечним і домінуючим серед них є зварювальний аерозоль, який утворюється внаслідок інтенсивного випаровування металу в зоні дуги.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме він створює основне навантаження на дихальну систему та визначає загальну токсичність процесу.

Зварювальний аерозоль являє собою суміш дрібнодисперсних частинок оксидів різних металів. Під час МАГ-зварювання в повітря потрапляє значна кількість оксидів марганцю, заліза, кремнію, а також сполук інших елементів залежно від марки присадкового дроту та складу основного металу [11].

Частинки цього аерозолу надзвичайно малі - переважно субмікронного розміру, тому вони легко проникають у найглибші відділи легень, осідають в альвеолах і практично не виводяться природним способом. Марганець, який часто присутній у значних концентраціях, є потужним нейротоксином. При тривалому вдиханні він накопичується в базальних гангліях мозку, що з часом може призвести до розвитку марганцевої паркінсонізму - важкого неврологічного захворювання з тремором, порушенням ходи, зниженням когнітивних функцій. Оксиди заліза викликають сидероз легень - пневмоконіоз, при якому тканини легень поступово замінюються сполучною тканиною, знижуючи їхню еластичність і газообмінну функцію. Кремній у формі оксидів також сприяє розвитку фібротичних процесів.

Кількість і склад аерозолу сильно залежать від режимів зварювання. З підвищенням сили струму та напруги температура в зоні дуги зростає, випаровування металу посилюється, а отже, різко збільшується виділення аерозолу. Використання вуглекислого газу як захисного газу або його сумішей з аргонном зазвичай дає вищий рівень аерозолу порівняно з чисто інертними сумішами. При зварюванні на високих режимах концентрація аерозолу в зоні дихання зварника може в десятки разів перевищувати гранично допустимі значення, особливо якщо відсутня ефективна місцева витяжна вентиляція.

Окрім твердого аерозолу, при МАГ-зварюванні інтенсивно утворюються шкідливі гази. Оксид вуглецю (CO) виникає внаслідок неповного згоряння вуглецевмісних компонентів або при розкладі вуглекислого газу в дузі. Він є особливо небезпечним у закритих приміщеннях, колодязях, ємностях і погано вентильованих цехах. CO легко зв'язується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін, через що кисень перестає надходити до тканин. Навіть

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

невеликі концентрації викликають головний біль, запаморочення, нудоту, а при вищих - втрату свідомості та летальний наслідок.

Оксиди азоту (NO_x) формуються через високотемпературну взаємодію азоту та кисню повітря в стовпі дуги. Вони подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів, спричиняють хімічні опіки легень і можуть призводити до розвитку набряку легень із відстроченим проявом. Озон (O_3) утворюється під дією потужного ультрафіолетового випромінювання дуги на молекулярний кисень повітря. Це один із найсильніших окисників. Навіть у концентраціях в кілька разів нижчих за гранично допустимі озон викликає сухість у горлі, кашель, біль у грудях, головний біль і тривале зниження функції легень. Тривалий вплив озону прискорює процеси старіння легеневої тканини.

Фізичні фактори при МАГ-зварюванні також створюють серйозне навантаження. Зварювальна дуга є потужним джерелом випромінювання у всьому оптичному діапазоні - від ультрафіолетового до інфрачервоного. Ультрафіолетове випромінювання особливо інтенсивне і викликає ураження рогівки очей (електроофтальмію або «зварювальну сліпоту»), яка проявляється сильним болем, сльозотечею, світлобоязню через кілька годин після роботи. При систематичному впливі без захисту УФ-промені сприяють розвитку катаракти, передчасному старінню шкіри та підвищують ризик раку шкіри. Видиме випромінювання сліпить і втомлює зір, а інфрачервоне - глибоко прогріває тканини, сприяючи розвитку теплових уражень кришталика ока.

Рівень шуму при роботі зварювального обладнання та супутніх механічних операціях (зачистка швів, шліфування) часто досягає 85 дБА–95 дБА і вище. Такий шум протягом робочої зміни призводить до поступового зниження слуху, розвитку професійної приглухуватості, порушень сну, підвищеної втомлюваності та навіть серцево-судинних захворювань. Вібрація, хоча й менш виражена, ніж при ручному зварюванні, все ж присутня при роботі з механізованими пристроями подачі дроту та інструментом, сприяючи розвитку вібраційної хвороби з ураженням судин і нервів рук.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищена температура поверхонь деталей, обладнання та самого повітря в робочій зоні створює значне теплове навантаження. Зварник працює в умовах інтенсивного теплового випромінювання від розплавленого металу та нагрітих конструкцій. Це призводить до перегрівання організму, посиленого потовиділення, зневоднення, порушення водно-сольового балансу та швидкої втоми. У літній період або в погано вентильованих приміщеннях теплове навантаження може стати критичним.

Ще одним постійним супутником є розплеск розплавленого металу. Краплі рідкого металу розлітаються на значну відстань, потрапляють на шкіру, одяг, взуття, викликаючи термічні опіки різного ступеня. При потраплянні в очі вони можуть спричинити тяжкі травми з втратою зору.

Усі перелічені фактори діють на організм зварника одночасно, створюючи ефект поєднаної дії, коли шкідливість кожного з них посилюється. Тривалий стаж роботи без належного захисту призводить до розвитку професійних захворювань: хронічного бронхіту, пневмоконіозу, нейротоксичних уражень, зниження слуху, патології очей, шкіри та серцево-судинної системи. Саме тому організація безпечних умов праці при МАГ-зварюванні вимагає комплексного підходу: ефективної місцевої витяжної вентиляції з уловлюванням аерозолі безпосередньо біля джерела, загальнообмінної вентиляції, використання сучасних засобів індивідуального захисту органів дихання (респіратори з фільтрами АВЕК-Н_gP3 або Powered Air Purifying Respirators), захисних щитків з відповідними світлофільтрами, спеціального вогнестійкого одягу, навушників або протишумних вкладишів.

Правильний вибір режимів зварювання, захисних газових сумішей з пониженим аерозолеутворенням, регулярний контроль параметрів повітряного середовища та медичний нагляд дозволяють суттєво знизити ризики. Однак навіть за найкращих умов МАГ-зварювання залишається професією з високим рівнем професійного ризику, тому свідоме ставлення до засобів захисту та дотримання технологічної дисципліни є запорукою збереження здоров'я протягом усього трудового життя.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із серйозних і постійних ризиків при механізованому дуговому зварюванні в активних газах є електрична небезпека. Зварювальне обладнання працює під досить високою напругою та струмом, що створює реальну загрозу ураження електричним струмом для зварника та оточуючих працівників. При МАГ-зварюванні типові параметри обладнання становлять зварювальний струм до 400 А (а на потужних напівавтоматах і вище), напруга дуги в процесі зварювання – від 18 В до 40 В, а напруга холостого ходу джерела живлення може сягати 60 В–80 В. Хоча робоча напруга дуги відносно невисока, напруга холостого ходу вже є небезпечною для людини, особливо в умовах виробничого середовища.

Небезпека ураження електричним струмом виникає в кількох випадках. По-перше, при безпосередньому дотику до струмовідних частин обладнання: тримача (пальника), оголених ділянок кабелів, контактів у з'єднаннях або внутрішніх елементів джерела живлення, що знаходяться під напругою. По-друге, при порушенні ізоляції зварювальних кабелів, шланг-пакетів або самого пальника. Ізоляція з часом перетирається, тріскається від високих температур, впливу бризок металу, механічних пошкоджень та агресивного середовища цеху. По-третє, через непрямий контакт - коли людина торкається заземленої конструкції або деталі, що перебуває під потенціалом, а іншою частиною тіла торкається струмовідної частини. Особливо небезпечними є ситуації, коли зварник працює в обмежених просторах, всередині ємностей, котлів, трубопроводів або на висоті.

Дія електричного струму на організм людини залежить від багатьох факторів: сили струму, шляху його проходження через тіло, тривалості контакту, частоти струму (при постійному та змінному струмі ефект різний), опору тіла та індивідуального стану здоров'я. При струмах від 10 мА до 20 мА виникають больові відчуття та м'язові судоми, від 50 мА до 100 мА - фібриляція шлуночків серця (найнебезпечніший наслідок), а при більших значеннях - зупинка дихання та теплові опіки тканин уздовж шляху струму. Зварювальний струм у сотні ампер здатен спричинити миттєву смерть або тяжку електротравму з глибокими опіками, навіть якщо контакт був дуже короткочасним.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови роботи при МАГ-зварюванні значно підвищують електричну небезпеку. Підлога в цехах часто волога або забруднена, зварник працює в поті, руки можуть бути вологими, а захисний одяг - просочений вологою. Вологість і бруд різко знижують опір тіла, тому навіть напруга від 50 В до 80 В стає смертельно небезпечною. Додатковим ризиком є робота на відкритих майданчиках під час дощу або снігу, у приміщеннях з підвищеною вологістю або при зварюванні металоконструкцій, що стоять на землі. Також небезпечним є поєднання електричного фактора з іншими: наприклад, якщо зварник отримав електрошок, він може впасти з висоти, випустити пальник і спричинити пожежу або потрапити під розпечені бризки металу.

Особливу увагу слід приділяти стану обладнання. Джерела живлення, пальники, кабелі та з'єднання повинні регулярно перевірятися. Пошкоджена ізоляція, ослаблені контакти, відсутність захисного заземлення корпусу апарата - усе це створює потенційно аварійні ситуації. При МАГ-зварюванні використовуються напівавтомати з постійним струмом (переважно), але деякі режими або обладнання можуть працювати на змінному струмі, що має свої особливості впливу на серцево-судинну систему.

Щоб запобігти ураженню електричним струмом, необхідно строго дотримуватися комплексу заходів. Насамперед - використання справного обладнання з надійною ізоляцією та захисним заземленням. Корпус зварювального апарата обов'язково має бути заземлений. Зварювальні кабелі повинні мати цілу ізоляцію, надійні з'єднання і достатній переріз. Пальник має бути в хорошому технічному стані. Зварник повинен працювати в сухому спеціальному взутті з діелектричною підошвою, в захисному одязі з довгими рукавами, що добре закриває тіло, і обов'язково використовувати сухі рукавиці. У вологих умовах або при роботі всередині ємностей рекомендується додатковий захист - діелектричні килими, гумові калоші, ізолюючі підставки. Перед початком роботи необхідно перевіряти відсутність напруги на обладнанні, цілість ізоляції та надійність заземлення.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дуже важливою є правильна організація робочого місця: кабелі не повинні лежати в калюжах, перетинатися з іншими комунікаціями, створювати петлі або перешкоди для руху. У закритих просторах обов'язковим є використання систем контролю газового середовища та додаткових заходів електробезпеки. Регулярне навчання персоналу, інструктажі з електробезпеки та атестація робочих місць дозволяють суттєво знизити ризик.

Електрична небезпека при МАГ-зварюванні не менш важлива, ніж хімічна чи променева, хоча про неї часто згадують менше. Її наслідки можуть бути миттєвими та фатальними, на відміну від поступового накопичення шкоди від аерозолю чи шуму. Тому дотримання правил електробезпеки, постійний контроль стану обладнання та свідоме використання засобів захисту є обов'язковою умовою безпечної роботи зварника.

7.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Для усунення або зниження впливу НШВФ на зварника та складальника передбачаються такі заходи. Вентиляція: загальна припливно-витяжна вентиляція дільниці та місцеві відсмоктувальні пристрої у кожного зварювального поста (витяжний зонт або відсмоктувальний пальник). Продуктивність місцевої вентиляції при МАГ-зварюванні - не менше 3000 м³/год. Концентрація зварювального аерозолю у зоні дихання зварника не повинна перевищувати гранично допустимої концентрації (ГДК) 6 мг/м³.

Одним із ключових елементів забезпечення безпеки при МАГ-зварюванні є надійний захист від потужного оптичного випромінювання зварювальної дуги. Дуга при цьому виді зварювання генерує інтенсивне ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання, яке може спричинити тяжкі ураження очей і шкіри. Для захисту очей і обличчя зварника обов'язково застосовуються сучасні зварювальні маски з автоматичними затемнюючими фільтрами (АЗФ). Такі маски реагують на спалах дуги за тисячні частки секунди і автоматично затемнюються до потрібного рівня.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від сили зварювального струму рекомендується використовувати фільтри класу DIN 9–12. При струмах до 150 А зазвичай достатньо DIN 9–10, при 150 А–300 А - DIN 11, а при потужних режимах понад 300 А - DIN 12. Автоматичні маски значно зручніші за старі щитки зі змінними скельцями, оскільки дозволяють зварнику добре бачити місце зварювання до запалювання дуги і не знімати маску між швами.

Для захисту суміжних робочих місць і запобігання впливу випромінювання на інших працівників застосовують захисні щитки та стаціонарні або пересувні ширми. Ширми встановлюють між зварювальними постами, особливо в цехах з великою кількістю одночасно працюючих зварників. Вони повинні бути достатньо високими, вогнетривкими і непрозорими для ультрафіолетових променів. Це дозволяє уникнути явища «відбитого» УФ-випромінювання, яке також небезпечне для очей і шкіри.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) відіграють вирішальну роль у комплексному захисті зварника. Основним елементом залишається зварювальна маска з автоматичним фільтром, яка повинна відповідати стандартам EN 379 та EN 175. Маска має щільно прилягати до обличчя, мати регулювання розміру та хорошу вентиляцію, щоб уникнути запотівання.

Захисний одяг має бути виготовлений зі спеціальних матеріалів, що не підтримують горіння і стійкі до бризок розплавленого металу. Найкращим варіантом є шкіряні куртки та штани або комбінезони зі спеціальної вогнестійкої шкіри або просочених бавовняних тканин з антистатичними та вогнезахисними просоченнями. Одяг повинен повністю закривати тіло: довгі рукави, штани поверх взуття, комір, що застібається. Не допускається використання синтетичного одягу (поліестер, нейлон), який легко плавиться і прилипає до шкіри при попаданні бризок.

Шкіряні рукавиці-краги є обов'язковим засобом захисту рук. Вони повинні бути довгими, щільними, з натуральної шкіри, добре захищати зап'ястя і нижню частину передпліччя. Рукавиці захищають не тільки від бризок металу та високої температури, а й від електричного струму та механічних пошкоджень.

					ЗВ–21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захисне взуття для зварника - це спеціальні черевики або чоботи зі сталевими (або композитними) носками, ударостійкими, нафто- та теплостійкими підошвами. Підошва повинна бути стійкою до контакту з гарячими поверхнями та не накопичувати статичну електрику. Взуття має закривати щиколотки і добре захищати від попадання всередину іскор та крапель металу.

При рівні шуму 85 дБА і вище, що типово для МАГ-зварювання, необхідно використовувати засоби захисту органів слуху - беруши або навушники. Навушники зручніші при тривалій роботі, вони забезпечують зниження шуму на 20 дБ–30 дБ. Їх поєднують із масками, що мають відповідні кріплення.

Усі засоби індивідуального захисту повинні бути сертифікованими, відповідати розміру працівника та знаходитися в справному стані. Зварник зобов'язаний перевіряти цілість маски, фільтрів, одягу та рукавиць перед кожною зміною. Пошкоджений ЗІЗ не забезпечує належного захисту і сам може стати джерелом небезпеки.

Правильне використання засобів захисту в комплексі з ефективною вентиляцією та організацією робочого місця дозволяє значно знизити ризики професійних захворювань і травм. При МАГ-зварюванні, де одночасно діють хімічні, фізичні та електричні фактори, ЗІЗ не є другорядним елементом - це один із основних бар'єрів, що зберігає здоров'я зварника.

7.3 Електробезпека

Зварювальне обладнання повинне бути заземлене відповідно до вимог ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). Опір контуру заземлення - не більше 4 Ом. Заземлюючий провід перерізом не менше 6 мм² підключається до корпусу джерела зварювального струму та до зварювального стенда.

Зварювальний кабель (кабель зварювального ланцюга) повинен мати цілу ізоляцію, без механічних пошкоджень. Довжина зварювального кабелю - не більше 10 м для уникнення надмірних падінь напруги.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приєднання кабелю до джерела живлення виконується через з'єднувальні штепсельні роз'єми. Прокладення зварювального кабелю та кабелю зворотного струму здійснюється таким чином, щоб уникнути їх перетинання та можливого пошкодження рухомими елементами обладнання.

Для підвищення рівня електробезпеки на зварювальних постах рекомендується застосування пристроїв знижування напруги холостого ходу (ПЗНХХ), що автоматично знижують напругу на зварювальному пальнику до безпечного рівня (не більше 12 В) після закінчення горіння дуги.

7.4 Розрахунок інженерного рішення (місцева вентиляція зварювального поста)

Як інженерне рішення, спрямоване на зниження концентрації зварювального аерозолі в зоні дихання працівника, виконано розрахунок продуктивності місцевого витяжного пристрою (бортового відсмоктувача круглого перерізу з захисним екраном), встановленого безпосередньо біля зварювального поста МАГ-зварювання.

Об'єм повітря L_m , який необхідно видалити місцевою вентиляцією, визначається за формулою [17]:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0, \text{ м}^3/\text{год},$$

де F_0 - площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ;

V_0 - швидкість всмоктування повітря у цьому отворі, м/с .

Вихідні дані для розрахунку: діаметр всмоктувального отвору відсмоктувача $d = 0,3 \text{ м}$; відстань від отвору до джерела виділення шкідливих речовин (зони дуги) $X = 0,35 \text{ м}$; необхідна швидкість руху повітря у зоні зварювання в середовищі вуглекислого газу $V_x = 0,5 \text{ м/с}$ (відповідно до вимог [16,3]).

Оскільки витяжний отвір круглої форми оснащений захисним екраном, швидкість всмоктування повітря в отворі V_0 визначається за формулою (8.2) [17]:

$$V_0 = 8 \cdot V_x \cdot (X/d)^2,$$

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_0 = 8 \cdot 0,5 \cdot (0,35 / 0,3)^2 = 4 \cdot 1,361 = 5,44 \text{ м/с.}$$

Площу відкритого перерізу круглого витяжного отвору F_0 визначаємо за формулою площі круга:

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,0707 \text{ м}^2.$$

Підставивши отримані значення F_0 та V_0 у формулу (8.1), визначаємо необхідну продуктивність місцевого витяжного пристрою:

$$L_m = 3600 \cdot 0,0707 \cdot 5,44 \approx 1386 \text{ м}^3/\text{год'}$$

Отже, для забезпечення нормативної швидкості всмоктування повітря в зоні дуги необхідно встановити місцевий витяжний пристрій продуктивністю не менше 1400 м³/год на кожному зварювальному пості. Отримане значення узгоджується з вимогами підрозділу 8.2 щодо мінімальної продуктивності системи місцевої та загальнообмінної вентиляції дільниці (не менше 3000 м³/год при наявності двох і більше постів МАГ-зварювання) та підтверджує достатність прийнятого інженерного рішення для зниження концентрації зварювального аерозолю в зоні дихання працівника до рівня, що не перевищує ГДК (6 мг/м³).

7.5 Пожежна безпека

Виробнича дільниця зварювання відноситься до категорії В за пожежною небезпекою відповідно до ДБНВ 1.1-7. Протипожежний захист дільниці передбачає наступне. Вогнегасники - первинні засоби пожежогасіння: порошкові вогнегасники типу ВП-5 або ВП-10 розміщуються з розрахунку 1 вогнегасник на 50 м² площі, але не менше двох на дільницю.

Для гасіння електрообладнання застосовуються вуглекислотні вогнегасники ВВК-3 або ВВК-5.

Протипожежний водогін: пожежні гідранти та крани з розрахунком забезпечення витрати води для внутрішнього пожежогасіння не менше 5 л/с.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Евакуаційні виходи: не менше двох евакуаційних виходів з дільниці, ширина дверного прорізу не менше 1 м, маршрути евакуації позначені відповідними знаками.

Персонал дільниці повинен пройти інструктаж з пожежної безпеки та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння. На видному місці розміщується план евакуації та номери телефонів аварійних служб.

7.6 Охорона навколишнього середовища

Виробництво зварних металоконструкцій пов'язане з впливом на навколишнє середовище через викиди забруднюючих речовин в атмосферу, утворення твердих відходів та використання природних ресурсів.

Очищення атмосферного повітря на підприємствах, де виконуються зварювальні роботи, є одним із ключових напрямів забезпечення екологічної безпеки та дотримання вимог природоохоронного законодавства. Під час зварювання у повітря робочої зони та в атмосферу виділяється значна кількість шкідливих речовин у вигляді зварювального аерозолу та газоподібних сполук. До складу зварювального аерозолу входять дрібнодисперсні частинки металів (заліза, марганцю, кремнію, хрому, нікелю), а також оксиди цих елементів, які утворюються внаслідок термічного випаровування і подальшої конденсації металу. Газова складова включає оксиди азоту, оксид вуглецю, озон та інші шкідливі речовини, концентрація яких може значно перевищувати допустимі рівні без належної системи очищення.

З метою мінімізації негативного впливу на атмосферне повітря передбачено впровадження ефективних систем вентиляції та очищення викидів. Основним технічним рішенням є використання пило-газоочисних установок, які забезпечують видалення шкідливих домішок із повітря перед його викидом у довкілля.

Найбільш поширеними є сухі фільтри та рукавні фільтри, які характеризуються високою ефективністю очищення, що становить не менше 98%

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

по зваженим часткам. Принцип роботи рукавних фільтрів полягає у пропусканні забрудненого повітря через спеціальні тканинні рукави, на поверхні яких осідають тверді частинки пилу та аерозолі. Очищене повітря після цього виводиться в атмосферу, а накопичений пил періодично видаляється шляхом механічного струшування або імпульсної продувки стисненим повітрям.

Сухі фільтри, у свою чергу, працюють за принципом механічного уловлювання частинок у фільтруючому середовищі або за рахунок інерційних та гравітаційних сил. Вибір типу фільтра залежить від характеристик забруднюючих речовин, їх концентрації, температури повітряного потоку та економічної доцільності. Для підвищення ефективності очищення можуть застосовуватись комбіновані системи, що поєднують декілька ступенів фільтрації, включаючи попереднє очищення та тонке доочищення.

Важливою умовою є дотримання встановлених нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ), які регламентують максимальну кількість забруднюючих речовин, що можуть надходити в атмосферу без шкоди для довкілля та здоров'я населення. Контроль за дотриманням цих нормативів здійснюється шляхом регулярного моніторингу складу викидів, проведення лабораторних аналізів та використання автоматизованих систем контролю. У разі перевищення встановлених показників необхідно вживати заходів щодо модернізації очисного обладнання або зміни технологічних параметрів виробництва.

Окрім очищення повітря, важливим аспектом екологічної безпеки є раціональне поводження з твердими відходами, що утворюються в процесі різання металу та зварювання. Значну частину таких відходів становлять залишки прокату, які виникають після різання листів, труб та профілів. Ці відходи не є небезпечними, проте потребують організованого збору та подальшої переробки.

Як правило, обрізки металу сортуються за видами та здаються на металургійні підприємства як вторинна сировина у вигляді металобрухту.

Такий підхід дозволяє не лише зменшити обсяг відходів, що підлягають захороненню, але й забезпечити повторне використання цінних матеріальних ресурсів, що має важливе економічне значення.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншим видом відходів є шлак, що утворюється під час зварювання, а також залишки зварювальних матеріалів, таких як електроди, флюси та порошкові дроти. Ці відходи можуть містити залишки металів та хімічних сполук, тому потребують більш уважного поводження. З метою запобігання їх потраплянню у ґрунт або водні об'єкти, вони збираються у спеціальні герметичні контейнери, які розміщуються у визначених місцях на території підприємства. Подальше поводження з такими відходами здійснюється через спеціалізовані організації, що мають відповідні ліцензії на їх утилізацію або знешкодження.

Організація системи поводження з відходами включає також ведення обліку їх утворення, зберігання та передачі на утилізацію. Це дозволяє контролювати обсяги відходів, оцінювати ефективність використання матеріалів та впроваджувати заходи щодо їх зменшення. Важливим напрямом є впровадження ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють мінімізувати утворення відходів на стадії виробництва, наприклад, за рахунок оптимізації розкрою матеріалів або використання більш ефективних зварювальних технологій.

Таким чином, комплекс заходів із очищення атмосферного повітря та поводження з твердими відходами при зварювальних роботах спрямований на зниження техногенного навантаження на довкілля, забезпечення безпечних умов праці та дотримання екологічних стандартів. Ефективне функціонування систем вентиляції та очищення викидів у поєднанні з раціональним використанням ресурсів і належною утилізацією відходів є необхідною умовою сталого розвитку промислових підприємств.

Водоспоживання при виконанні зварювальних робіт, особливо в умовах інтенсивного або тривалого навантаження, є важливим аспектом як з технологічної, так і з екологічної точки зору. Одним із основних напрямів використання води у зварювальних процесах є охолодження зварювального пальника, який піддається значним тепловим навантаженням.

Під час роботи температура окремих елементів пальника може досягати критичних значень, що призводить до зниження його ресурсу, погіршення якості

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

зварювання та підвищення ризику аварійних ситуацій. Саме тому для стабільної та безпечної роботи обладнання застосовуються системи рідинного охолодження.

Найбільш ефективним і сучасним рішенням є використання замкнених систем водяного або рідинного охолодження. Принцип їх роботи полягає у безперервній циркуляції охолоджуючої рідини по замкненому контуру, що включає зварювальний пальник, насос, теплообмінник (радіатор) та резервуар. Рідина, проходячи через нагріті елементи пальника, відбирає надлишкове тепло, після чого транспортується до теплообмінника, де охолоджується і знову подається в систему. Такий цикл повторюється безперервно протягом усього процесу зварювання.

Основною перевагою замкненого циклу є відсутність необхідності постійного забору свіжої води та скидання відпрацьованої рідини. Це дозволяє суттєво зменшити загальне водоспоживання підприємства, що особливо актуально в умовах обмежених водних ресурсів або високої вартості водопостачання. Крім того, виключається скидання забрудненої охолоджуючої рідини у систему каналізації, що є важливим екологічним фактором. У процесі експлуатації охолоджуюча рідина може накопичувати домішки, зокрема частинки металу, мастильні матеріали або продукти корозії, тому її неконтрольоване скидання могло б призвести до забруднення водних об'єктів.

Замкнені системи охолодження також сприяють підвищенню енергоефективності виробництва. Завдяки стабільному температурному режиму забезпечується рівномірна робота зварювального обладнання, зменшується зношування деталей і скорочуються витрати на їх обслуговування та заміну. Крім того, використання спеціальних охолоджуючих рідин із додаванням антикорозійних та антифризних компонентів дозволяє експлуатувати систему в широкому діапазоні температур без ризику пошкодження обладнання.

Для забезпечення ефективної роботи системи необхідно здійснювати регулярний контроль стану охолоджуючої рідини, перевіряти її рівень, температуру та ступінь забруднення. У разі необхідності проводиться її часткова або повна заміна, а також очищення елементів системи. Важливою умовою є

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

герметичність контуру, що запобігає витокам рідини та втратам води. Сучасні установки часто оснащуються автоматизованими системами контролю, які дозволяють відстежувати параметри роботи в реальному часі та оперативно реагувати на відхилення.

Таким чином, впровадження систем рідинного охолодження замкненого циклу при інтенсивному зварюванні є ефективним технічним рішенням, що забезпечує не лише надійність і довговічність обладнання, але й значне зниження негативного впливу на довкілля. Відсутність скидання забрудненої рідини у каналізацію, раціональне використання водних ресурсів та підвищення енергоефективності роблять такі системи невід'ємною складовою сучасного екологічно орієнтованого виробництва.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсового проекту розроблено технологічний процес виготовлення зварної балки зі сталі S355J2. У ході роботи вирішені такі задачі.

Проведено аналіз конструкції балки. Виріб являє собою великогабаритну зварну конструкцію (довжина 13012 мм, висота 2367 мм), що складається з листових та профільних елементів товщиною 8 мм: верхніх і нижніх напівстінок, ребер жорсткості, кутника 100 мм × 100 мм × 8 мм, квадратної труби 80 мм × 80 мм × 8 мм та кінцевих накладок. Загальна маса конструкції складає орієнтовно 2500 кг–2700 кг.

Виконано аналіз матеріалу конструкції. Сталь S355J2 (1.0577) – конструкційна низьколегована сталь підвищеної міцності ($R_{eH} \geq 355$ МПа, $R_m = 470$ МПа–630 МПа) з гарантованою ударною в'язкістю при -20°C . Еквівалент вуглецю $S_{eq} \approx 0,47\%$, що відповідає задовільній зварюваності без попереднього підігріву при товщинах до 25 мм–30 мм.

Обґрунтовано вибір способу зварювання. Для виготовлення балки в умовах дрібносерійного виробництва обрано механізоване МАГ-зварювання (процес 135 за ДСТУ EN ISO 4063) дротом G4Si1 діаметром 1,2 мм у захисному газі $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$ (суміш M21). Цей спосіб забезпечує продуктивність у 2,5 рази вищу порівняно з ручним дуговим зварюванням за умов збереження необхідного рівня якості.

Розроблено маршрутний та операційний технологічні процеси. Технологічний процес включає 18 операцій: від вхідного контролю матеріалів до фінішного маркування та ґрунтування. Визначено режими МАГ-зварювання кутового шва ($I_{зв} = 220 \text{ А}–240 \text{ А}$, $U_d = 25 \text{ В}–27 \text{ В}$, $V_{зв} = 22 \text{ м/год}–28 \text{ м/год}$).

Розроблено технологічне оснащення. Запропоновано складально-зварювальний стенд на базі плити УСПС-8 з регульованими упорами та гвинтовими притискачами. Для виконання зварювання обрано кантувач-маніпулятор вантажопідйомністю 5 т та зварювальну каретку-трактор для механізації переміщення пальника при виконанні довгих швів [13].

					ЗВ–21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розроблено заходи з контролю якості. Запропоновано трирівневу систему контролю: вхідний контроль матеріалів, операційний контроль та приймальний контроль готового виробу із застосуванням 100 % візуально-вимірювального контролю, ультразвукової дефектоскопії стикових швів та магнітопорошкового контролю кутових швів. Рівень якості зварних з'єднань - В та С за ДСТУ EN ISO 5817.

Розроблено організацію виробничої ділянки. Визначено, що виробнича програма (50 шт./рік) відповідає дрібносерійному типу виробництва. Орієнтовна потрібна площа виробничої ділянки – від 600 м² до 800 м². Обладнання розташовується відповідно до потоку виготовлення з дотриманням нормативних відстаней.

Виконано техніко-економічне обґрунтування. Повна собівартість одного виробу складає орієнтовно 123 033 грн. Річна економія від застосування MAG-зварювання порівняно з ручним дуговим - 51 281 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень в обладнання - близько 2,93 року, що підтверджує економічну доцільність прийнятих рішень.

Розроблено заходи з охорони праці. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виготовленні балки: зварювальний аерозоль, випромінювання дуги, підвищений шум, електрична небезпека. Передбачено комплекс захисних заходів: місцева та загальна вентиляція, засоби індивідуального захисту, заземлення обладнання, первинні засоби пожежогасіння.

Таким чином, розроблений технологічний процес виготовлення зварної балки є технічно обґрунтованим, економічно ефективним та відповідає вимогам чинних стандартів у галузі зварювального виробництва.

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ EN 10025-2:2022. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей (EN 10025-2:2019, IDT). — [Чинний від 2023-01-01]. — К. : ДП «УкрНДНЦ», 2022. — III, 44 с. — (Національний стандарт України).
2. ДСТУ EN ISO 4063:2011. Зварювання та споріднені процеси. Перелік і позначення процесів (EN ISO 4063:2009, IDT). — Введ. 2012-07-01. — К. : Держспоживстандарт України, 2012. — IV, 34 с. — (Національний стандарт України).
3. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Електродні дроти та наплавлений метал у захисному газі плавким електродом нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14341:2011, IDT). — Введ. 2016-01-01. — К. : УкрНДНЦ, 2015. — 24 с. — (Національний стандарт України).
4. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (EN ISO 14175:2008, IDT). — Введ. 2016-01-01. — К. : УкрНДНЦ, 2015. — 18 с. — (Національний стандарт України).
5. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання, TIG-зварювання та променеве зварювання сталей (EN ISO 9692-1:2013, IDT). — Введ. 2016-01-01. — К. : УкрНДНЦ, 2015. — 21 с. — (Національний стандарт України).
6. ДСТУ EN ISO 5817:2014. Зварювання. Зварні з'єднання зі сталі, нікелю, титану та їх сплавів, виконані зварюванням плавленням (крім електронно-променевого зварювання). Рівні якості для дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT). — Введ. 2016-01-01. — К. : УкрНДНЦ, 2015. — 33 с. — (Національний стандарт України).
7. ДСТУ EN ISO 17635:2016. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Загальні правила для металевих матеріалів (EN ISO 17635:2016, IDT). — Введ. 2017-10-01. — К. : УкрНДНЦ, 2017. — 22 с. — (Національний стандарт України).

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. ДСТУ EN 1090-2:2017. Виконання сталевих конструкцій та алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій (EN 1090-2:2008+A1:2011, IDT). — Введ. 2019-01-01. — К. : УкрНДНЦ, 2018. — 156 с. — (Національний стандарт України).

9. Сталь S355: характеристики та застосування [Електронний ресурс] // ТОВ «ЄВРОМЕТАЛ» : [сайт]. — Електрон. дані. — Львів, 2021. — Режим доступу: <https://eurometal.com.ua/stal-s355-2/> (дата звернення: 10.02.2026). — Назва з екрана.

10. Виробництво зварних конструкцій [Текст] : методичні вказівки до курсового проектування для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / уклад. В. В. Лисак. — К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 110 с.

11. Металургія зварювання [Текст] : підручник / І. К. Походня, І. Р. Явдошин, А. П. Пальцевич та ін. ; за ред. І. К. Походні. — К. : Академперіодика, 2004. — 468 с.

12. Сагань В. Я. Технологія виготовлення зварних конструкцій [Текст] : навч. посіб. / В. Я. Сагань. — К. : НАУ, 2007. — 336 с.

13. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]. — Введ. 1999-12-01. — К. : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. — 18 с. — (Державні санітарні норми).

14. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки [Текст]. — Введ. 1995-07-01. — К. : Держстандарт України, 1994. — 26 с. — (Державний стандарт України).

15. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві [Текст] : навч. посіб. / О. Г. Левченко. — К. : Основа, 2010. — 240 с. ДСТУ EN 10025-2:2022 Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей (EN 10025-2:2019, IDT)

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ЗВ-21.08.11.000 ПЗ	Арк..
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Операція 035 - Зварювання стикових швів стінки

Параметр контролю	Номінальне значення	Допустиме відхилення	Засіб контролю
Сила струму, А	220–240	± 10	Амперметр
Напруга, В	25–27	± 1	Вольтметр
Швидкість зварювання, м/год	24	± 3	Секундомір + лінійка
Зазор між кромками, мм	0–1,5	+0,5	Щупи
Суміщення кромок (зміщення), мм	0	до 1,5	Вимірвальна лінійка
Катет (для посилення), мм	2	+1/–0	Кутниковий шаблон
Витрата захисного газу, л/хв	10	± 2	Ротаметр

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]