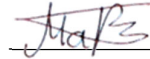


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри



к.т.н., доц. М.В. Матвієнко

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

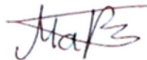
на тему: Розробка технології виготовлення балки коробчастого перерізу

Виконав: студент IV курсу, групи 4121ст
спеціальності 131 Прикладна механіка за
освітньо-професійною програмою Інжині-
ринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Єчин Богдан Леонідович

(прізвище та ініціали)



Керівник Матвієнко Максим Валентинович

(прізвище та ініціали)



Рецензент Лабарткава Андрій Володимирович

(прізвище та ініціали)

Миколаїв - 2025 р.

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

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

ЗАТВЕРДЖУЮ


Гарант освітньої програми
доц. В.В. Співтаренко
“ ” 20__ року

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

студенту Єчину Богдану Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технології виготовлення балки коробчастого перерізу

керівник проекту Матвієнко Максим Валентинович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені розпорядженням ХННІ НУК від “12” 03 2025 року № 07

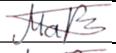
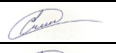
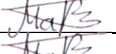
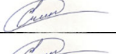
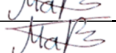
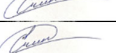
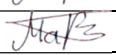
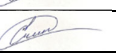
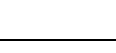
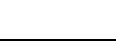
2. Строк подання студентом проекту 12 червня 2025р.

3. Вихідні дані до проекту: Креслення виробу, матеріал ВСтЗсп, річна програма 5000 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальна характеристика конструкції, характеристика основного металу, типові характеристики складання і зварювання строповочної балки; призначення типів і розмірів зварних з'єднань, обґрунтування вибору способів зварювання, розрахунок режимів зварювання, розрахунок термічного циклу, аналіз очікуваної структури зони термічного впливу, розрахунок очікуваних зварювальних деформацій; принципова послідовність складання і зварювання, методи контролю та випробувань; аналіз небезпечних і шкідливих факторів при збірці і зварюванні конструкції

5. Перелік графічного матеріалу 1) Складальне креслення, 2) Розрахунок режимів зварювання, розрахунок термічного циклу, розрахунок зварювальних деформацій, макро- та мікроструктура зварного з'єднання, розрахунок собівартості виготовлення балки коробчастого перерізу

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Матвієнко М.В., к.т.н., доцент		
2	Матвієнко М.В., к.т.н., доцент		
3	Матвієнко М.В., к.т.н., доцент		
4	Матвієнко М.В., к.т.н., доцент		
5	Матвієнко М.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 14.03.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

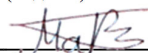
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Глава і Прізвище
	Вступ	30.04.25р.	
1	Аналіз особливостей конструкції, матеріалу і можливих варіантів технологічного процесу її складання і зварювання	30.04.25р.	
2	Аналіз структур і властивостей зварних з'єднань	07.05.25р.	
3	Технологічний процес складання і зварювання балки коробчастого перерізу	21.05.25р.	
4	Охорона праці	28.05.25р.	
5	Розрахунок собівартості виготовлення балки коробчастого перерізу	04.06.25р.	
6	Оформлення графічної частини	09.06.25р.	

Студент


(підпис)

Єчин Б.Л.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Матвієнко М.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Анотація	Помилка! Закладку не визначено.
Вступ	7
1. Аналіз особливостей конструкції, матеріалу і можливих варіантів технологічного процесу її складання і зварювання	8
1.1 Загальна характеристика конструкції.....	9
1.2 Характеристика основного металу.....	10
1.3 Типові технології складання і зварювання балки.....	11
Висновки, мета та завдання дипломного проектування.....	13
Аналіз структури і властивостей зварних з'єднань	14
2.1 Призначення типів і розмірів зварних з'єднань	15
2.2 Обґрунтування вибору способів зварювання.....	17
2.3 Вибір та розрахунок режимів зварювання.....	21
2.4 Розрахунок термічного циклу.....	28
2.4.1 Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання	30
2.4.2 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання ТЗ, виконаного механізованого зварюванням у середовищі захисних газів.....	32
2.4.3 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання Т1, виконаного механізованого зварюванням у середовищі захисних газів.....	33
2.5 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу	37
2.6 Розрахунок зварювальних деформацій	39
Висновки	43
3. Технологічний процес складання і зварювання балки коробчастого перерізуцистерни	29
3.1. Принципова послідовність складання і зварювання	45
3.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	45
3.3 Вибір зварювального устаткування, його технічні характеристики	47
3.4. Методи контролю та випробувань	50
Висновки	54

4. Охорона праці	48
4.1 Аналіз потенційно небезпек і шкідливих чинників при складанні та зварюванні цистерни	56
4.2 Розрахунок природного освітлення.....	56
5. Розрахунок собівартості виготовленні балки коробчастого перерезу	55
Висновки	62
Загальні висновки	63
Список літератури та використаних джерел.....	65

Анотація

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання балки коробчастого перерізу, що належить до конструкцій підйомно-транспортного обладнання та призначена для встановлення металевих прогонів на опори мостів. Балка є зварною конструкцією, яка працює в умовах дії динамічних, вібраційних і рухомих навантажень та сприймає згинальні зусилля. Габаритні розміри виробу становлять 2790×230×350 мм, маса — 321 кг, товщина з'єднувальних елементів — 10 мм. Конструкція експлуатується на відкритому повітрі. У роботі обґрунтовано вибір способу зварювання, розраховано параметри режимів зварювання, розроблено технологічний процес складання та зварювання, наведено рекомендації щодо техніки виконання зварних з'єднань і методів контролю їх якості. Технологія враховує вимоги охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: балка коробчастого перерізу, зварна конструкція, технологія складання, технологія зварювання, режими зварювання.

Abstract

The qualification thesis develops the technology for assembling and welding a box-section beam belonging to lifting and handling equipment structures and intended for the installation of metal girders on bridge supports. The beam is a welded structure operating under dynamic, vibration, and moving loads and subjected to bending stresses. The overall dimensions of the product are 2790 × 230 × 350 mm, with a weight of 321 kg and a thickness of connecting elements of 10 mm. The structure is designed for outdoor operation.

The thesis substantiates the selection of the welding method, calculates the welding parameters, develops the technological process of assembly and welding, and provides recommendations on welding techniques and quality control methods. The proposed technology complies with occupational health and safety requirements.

Keywords: box-section beam, welded structure, assembly technology, welding technology, welding parameters.

Вступ

В кваліфікаційній роботі розглянута розробка технології складання та зварювання балки коробчастого перерізу. Балка належить до області підйомно-транспортного обладнання та може використовуватись переважно для встановлення металевих прогонів на опори мостів. Балка – зварна конструкція, що працює в важких умовах рухомих навантажень та піддається безпосередньо дії динамічних, вібраційних та рухомих навантажень. Габаритні розміри балки: довжина - 2790 мм, ширина - 230 мм, висота - 350 мм. Маса конструкції 321 кг. Товщина металу з'єднувальних елементів 10 мм. Балка призначена для роботи на відкритому повітрі, при температурі середовища. Конструкція працює на вигин. В кваліфікаційній роботі розроблений технологічний процес складання та зварювання елементів конструкції, обґрунтовано вибір способу зварювання та розраховані параметри режимів зварювання та подані рекомендації з техніки зварювання елементів конструкції, приведені методи контролю якості зварної конструкції. Рекомендована технологія складання та зварювання балки коробчастого перерізу проводиться з урахуванням вимог охорони праці та техніки безпеки.

					КР 131.4121ст.02.05.01 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1. Аналіз особливостей конструкції, матеріалу і можливих варіантів технологічного процесу її складання і зварювання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Єчин Б.Л.						
Перевірів		Матвієнко М.В.					8	
Рецензент						ХННІ НУК		
Н. Контр.								
Зав. каф.		Матвієнко М.В.						

1.1 Загальна характеристика конструкції

Балка - це конструктивний елемент, який представляє собою горизонтальний або похилий брус, що працює переважно на вигин. На практиці, як правило, горизонтально розташована балка сприймає вертикальне поперечне вагове навантаження, але в окремих випадках необхідно враховувати вплив і ймовірність горизонтальних поперечних сил (наприклад, вітрове навантаження або при обліку можливого землетрусу). Навантажена балка, в свою чергу, впливає на опори, якими можуть бути колони, підвіси, стіни або інші балки (перекладини). Потім навантаження передається далі і в підсумку, в більшості випадків, сприймається конструктивними елементами, що працюють на стиск - опорами. Окремо можна виділити випадок фермерної конструкції, в якій стрижні покоються на горизонтальній балці.

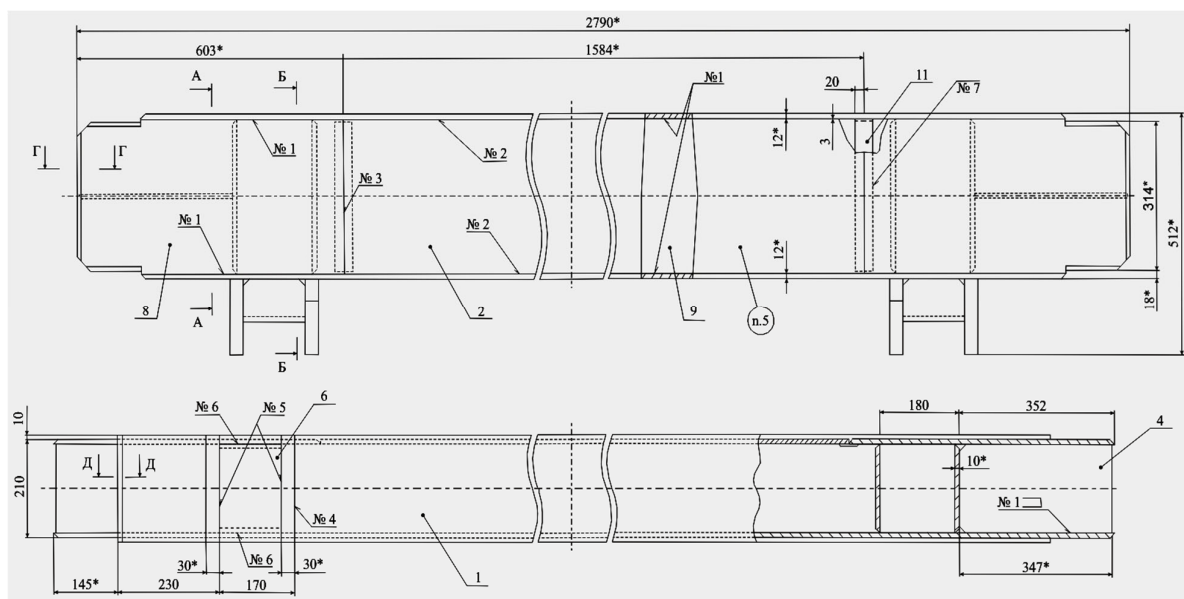


Рисунок 1.1 – Строповочна балка

Міцнісні якості балки залежать від кількох її характеристик:

- площа і форма її поперечного перерізу;
- довжина балки;
- матеріал балки;
- спосіб її закріплення.

Призначена для установки пролітних будівель мостів. Відноситься до області підйомно-транспортного обладнання і може бути використана переважно для установки металевих прогонових будов на опори мостів. Недоліком відомої строповочної балки є зміщення щодо консолі, що зменшує стійкість крана.

Габаритні розміри: довжина - 2790 мм, ширина - 230 мм, висота - 350 мм.

Маса конструкції 321 кг. Товщина металу з'єднувальних елементів 10 мм. Балка призначена для роботи на відкритому повітрі, при температурі даного середовища. Конструкція працює на вигин.

1.2 Характеристика основного металу

Основний метал конструкції - ВСт.3сп. Призначення - несучі елементи зварних конструкцій і деталей, що працюють при сприятливих температурах. Фасонний і листовий прокат (5-й категорії) - для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях: при товщині прокату до 25 мм в інтервалі температур від - 40 до + 425 ° С; при товщині прокату понад 25 мм - від - 20 до + 425 ° С за умови поставки з гарантованою зварюваністю.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад ВСт.3сп, % (ГОСТ 380 -71)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
			не більше					
0,14 - 0,22	0,40 – 0,65	0,12 – 0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості ВСт.3сп

Температура випробування, °C	$\sigma_{0,2}$	σ_e	σ_s	ψ	КСУ, <i>Дж / см³</i>
	МПа		%		
20	205 - 340	420 - 520	28 - 37	56 - 68	-

Зварюваність - здатність металів утворювати якісне зварюваний з'єднання, яке задовольняє експлуатаційним вимогам.

Зварюваність металів можна оцінити попередньо розрахунковим шляхом, використовуючи відомості про хімічний склад, характеристики підлягають зварюванню з'єднань і параметри технологічних умов зварювання.

Чутливість зварного з'єднання до утворення холодних тріщин оцінюють еквівалентним вмістом вуглецю зварюється. Еквівалент вуглецю Секв, % , визначають за емпіричними формулами , одна з яких має наступний вигляд:

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

$$C_{\text{Секв}_{\text{max}}} = 0,22 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,30 + 0,30}{15} = 0,36, \%$$

$$C_{\text{Секв}_{\text{min}}} = 0,14 + \frac{0,40}{6} = 0,20, \%$$

Якщо Секв $\leq 0,45\%$, вважаються не схильними до утворення холодних тріщин при зварюванні. При Секв $> 0,45\%$ стали стають схильними до тріщин.

Сталь ВСтЗсп не схильна до утворення холодних тріщин, що обумовлюється низьким вмістом в основному металі шва вуглецю.

1.3 Типові технології складання і зварювання балки

Балки коробчастого перетину збирають і зварюють шляхом послідовного приєднання деталей. На верхньому поясі встановлюють по розмітці діафрагми і приварюють їх ручним або механізованим дуговим зварюванням. До гребінці під'єднують вертикальні листи, підтискаючи їх до діафрагм складальними механізмами скобоподібної конструкції з пневмо - або гідроприжимами. У нижньому положенні приварюють листи до діафрагмі, повертаючи балку. На отриманий П - подібний профіль укладають , підтискають і прихоплюють нижній пояс. Зварювання кожного стику ведуть одночасно двома автоматами від середини балки до її кінців.

					КР 131.4121ст.02.05.01 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складання балок виробляють також за допомогою самохідних порталів з гідравлічними притисками. Портал складається з зварного корпусу, вертикальних і горизонтальних притисків з гідроциліндрами, гідроприводу з пультом управління, ходових коліс і механізму пересування. Для складання різних по висоті і ширині балок застосовуються змінні штоки. На горизонтальних штоках закріплені ролики, що зменшують тертя при включенні вертикальних притисків. Пересуванням portalу та притисками управляє оператор, що знаходиться біля пульта керування у верхній частині portalу, а прихватку виробляє зварювальник, що розташовується всередині збіраної балки. Є великий портал і малий.

Ще один спосіб відноситься до обробки металів тиском і призначене для використання при виготовленні балок коробчатого перетину з гнутих профілів. При виготовленні балок з гнутих профілів з полками подвійної товщини, в тому числі і перфорованих, виробляють зварювання профілів між собою по краях полиць.

Відомий спосіб виготовлення балок коробчатого перетину для стелажів, згідно з яким балка виготовляється з двох жолобчастих гнутих профілів, які мають відігнуті частини на фланцях. При складанні жолобчасті профілі розгортаються на 180° один щодо іншого, в результаті чого їх фланці перекриваються, а відігнуті частини одного профілю перекривають ребра іншого.

Недоліком такого способу виготовлення балки є те, що балка виконується без отворів для видалення конденсату, що знижує її довговічність через корозію.

Спосіб виробництва балки коробчатого перетину з порожніми полицями, використовуваної в стелажах і рамах, яка виконується з двох гнутих профілів, кожен з яких містить пару паралельних фланців. Зовнішні поверхні фланців другого профілю відстоять одна від одної на відстані, рівному відстані між внутрішніми поверхнями фланців першого профілю. Фланці другого профілю взаємно перекриваються майже повністю, утворюючи замкнуту балку. При

експлуатації скупчується всередині конденсат сприяє корозії і зниження довговічності балки.

Можливі способи зварювання - ручне дугове зварювання і зварювання в захисних газах.

Висновки, мета та завдання дипломного проектування

В проекті розглядається строповочна балка яка призначена для установки пролітних будівель мостів. Також відноситься до області підйомно-транспортного обладнання і може бути використана переважно для установки металевих прогонових будов на опори мостів. Розглянуто вузли балки, а саме: стикове, таврове та напускне з'єднання. При виготовленні конструкції використовуємо сталь ВСт.3сп, дріт Св-08Г2С та захисний газ $Ar + CO_2$.

Застосовано технологію складання балок шляхом послідовного приєднання деталей зварюванням з допомогою конструкцій пневмо- та гідроприжимів, допоміжну роботу виконуємо електродами УОНИ 13/45.

Найбільш актуальним способом зварювання для всіх видів з'єднань, було вибрано механізоване зварювання в суміші захисних газів.

Тому метою даного дипломного проекту є розробка технологічного процесу складання и зварювання строповочної балки, який забезпечить продуктивність праці, низьку собівартість та високу якість продукції. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

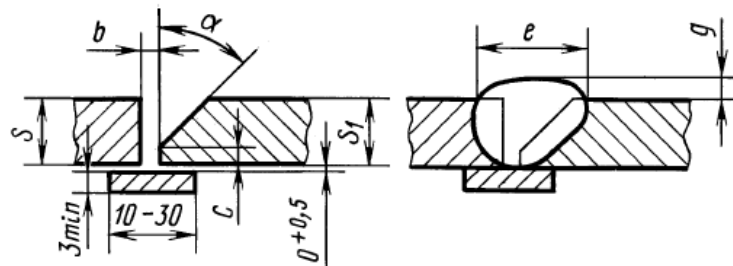
1. Вибрати раціональну послідовність і оптимальні способи зварювання;
2. Розрахувати режими зварювання;
3. Виконати аналіз структури і властивостей одержуваних зварних з'єднань;
4. Вибрати зварювальні матеріали та обладнання;
5. Вибрати зварювальне обладнання;
6. Розробити заходи з охорони праці при виконанні зварювальних робіт;
7. Провести розрахунок собівартості виготовлення балки.

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження структури та властивостей зварних з'єднань	Літ.		Арк.	Аркуші		
Розробив		Єчин Б.Л.							14		
Перевірів		Матвієнко М.В.				ХННІ НУК					
Рецензент											
Н. Контр.											
Зав. каф.		Матвієнко М.В.									

2.1 Призначення типів і розмірів зварних з'єднань

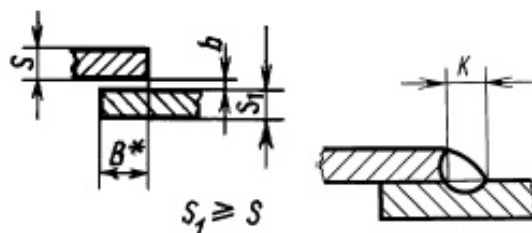
При зварюванні конструкції використовуємо такі з'єднання: стикові, напускні і таврові.

Стикові з'єднання є найбільш розповсюдженими майже при всіх способах зварювання, тому що дають найменші власні напруження і деформації під час зварювання. Стикові з'єднання в основному застосовують для конструкцій з листового металу. Вони потребують мінімальної витрати основного і наплавленого металу і часу на зварювання, можуть бути виконані рівномісними до основного металу. Проводимо механізоване зварювання в захисному газі для захисту зварюваної ванни від впливу кисню. Напускні з'єднання застосовуються переважно при дуговому зварюванні конструкцій зі сталі товщиною не більше, ніж 10 – 12 мм. Вони не потребують спеціальної обробки кромки, окрім обрізки. Рекомендується зварювати листи з обох боків.



S, S_1 - товщина металу; e - товщина шва; g - висота шва; b - зазор між зварюваним металом; c - зазор між металом та пластиною; α - кут скосу кромки

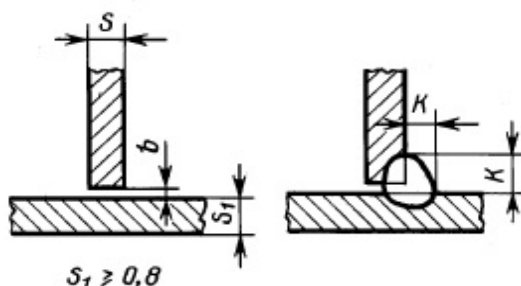
Рисунок 2.1 – Стикове з'єднання С10



S - товщина металу; b - зазор між зварюваним металом; k - катет шва; B - відстань накладення металу

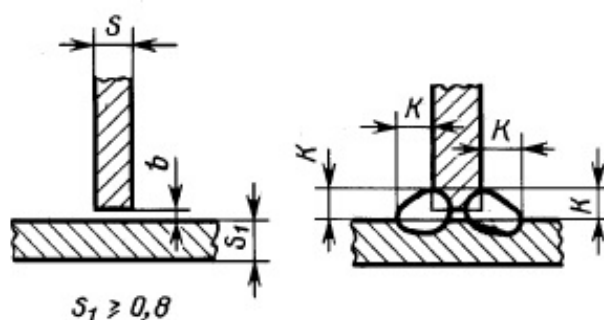
Рисунок 2.2 –Напускне з'єднання Н1

Таврові з'єднання широко використовуються при дуговому зварюванні; виконуються без скосу кромки та зі скосами з одного чи обох боків. Вертикальний лист повинен мати достатньо рівно обрізану кромку. При односторонньому і двосторонньому скосі кромки вертикального листа між вертикальним і горизонтальним листами залишається зазор в 2 – 3 мм для кращого провару



S - товщина металу; b – зазор між зварюваним металом; k – катет шва

Рисунок 2.3 –Таврове з'єднання Т1



S - товщина металу; b – зазор між зварюваним металом; k – катет шва

Рисунок 2.4 – Таврове з'єднання Т3

Таблиця 2.1 Типи з'єднань

№ шва	ГОСТ	Позначення
1	14771-76	ТЗ – Д 5
2		Т1 – Д 5
3		С10
4		ТЗ – Д 5
5		Т1 – Д 5
6		ТЗ – Д 5
7		Н1 – Д 6

Полку 1 зварюється із стінкою 2 зварним тавровим з'єднанням Т1, два внутрішніх і два зовнішніх шва (довжина зварюваної частини балки 1584 мм). Полка 4 зварюється із стінкою 8 зварним тавровим з'єднанням Т3, довжина зварюваної деталі 603 мм, до деталі приварюється упор 6 тавровим з'єднанням Т1. Упор відбувся з деталей 7 і 10 зварюється тавровим з'єднанням Т3. Частини балки з'єднуються планкою з внутрішнім з'єднань внапуск Н1 і зовнішнім стикових з'єднанням С10. Ребро 3 зварюється тавровим з'єднанням Т1 зі стінкою 8 і полицею 4.

2.2 Обґрунтування вибору способів зварювання

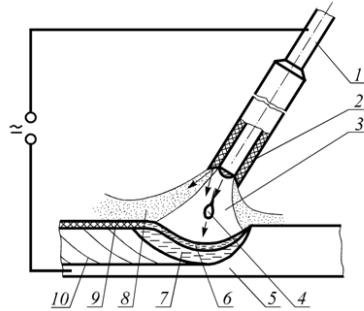
При виробництві строповочної балки найчастіше застосовується три способи зварювання, такі як ручне дугове покритими електродами, механізоване в суміші газів.

Ручне дугове зварювання (рис. 2.5) є найпоширенішим видом електрозварювання, застосовується для зварювання м'якої та легованої сталей, чавуну, нержавіючих сталей, у деяких випадках кольорових металів. Електрод має вигляд стрижня діаметром 1,5 — 10 мм, закріплений в ручному електродотримачі. При дотику електрода до металевої зварної деталі, замикається електричне коло, й кінець електрода нагрівається. Якщо потім електрод відвести на 3 — 5 мм від деталі, то встановлюється дуговий розряд, за рахунок якого далі і підтримується струм. Інтенсивне локальне нагрівання викликає розплавлення основного металу (металу деталі) поблизу дуги розряду. Кінець електрода теж плавиться, і метал електрода вливається в розплавлену «зварювальну ванну» основного металу.

Зварювальник, стежачи за тим, щоб дуговий проміжок не змінювався, веде електродом уздовж стикованих країв зварюваних деталей. При проходженні електрода утворюється розплавлена зварювальна ванна.

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

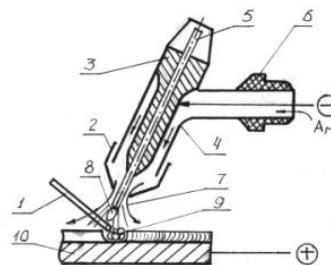
Витрати енергії при автоматичному зварюванні в середовищі захисних газів зменшуються на 30 – 40%.



1 - хвостовик електрода; 2 - електродні покриття; 3 - дуга; 4 - крапля, що переходить з кінця електрода в зварювальну ванну; 5 - зварюваний метал; 6 - рідкий шлак; 7 - зварювальна ванна; 8 - газопарові оболонка; 9 - затверділий шлак; 10 - шов

Рисунок 2.5 – Схема ручного дугового зварювання

Механізоване зварювання в захисних газах (рис. 2.6) відрізняються тим, що її можна виконувати у всіх просторових положеннях. Розширення області її застосування йде за рахунок заміни ручного зварювання й напівавтоматичного зварювання під флюсом. Широке використання напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів замість ручного дугового зварювання покритими електродами обумовлено більшою продуктивністю, кращими умовами праці, меншими вимогами до кваліфікації робітників. Стосовно автоматичного зварювання в захисних газах вона має переваги в маневреності й більше простому встаткуванні.



1 – присадочний прут; 2 — сопло; 3 — токоведучий мундштук;
4 – корпус; 5 – електрод; 6 – рукоятка; 7 – атмосфера захисного газу,
8 – зварювальна дуга, 9 – ванна розплавленого металу; 10 – деталь

Рисунок 2.6 – Схема зварювання в захисних газах

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Сутність й особливість дугового зварювання в захисних газах – захист розплавленого й нагрітого до високої температури основного й електродного металу від негативного впливу повітря захисними газами. Використають інертні (аргон, гелій) і активні (вуглекислий газ, водень, кисень, азот) гази. З інертних в основному використовують аргон, з активних – вуглекислий газ.

Переваги дугового зварювання в захисних газах: висока продуктивність, гарна якість, можливість спостереження за процесом горіння дуги, простота механізації й автоматизації, можливість зварювання в різних просторових положеннях, широкий діапазон зміни параметрів режиму зварювання.

Недоліки: підвищене розбризкування розплавленого металу при використанні активних газів, що вимагає зачищення виробу після зварювання або покриття його перед зварюванням спеціальним складом, що зменшує прилипання бризів металу, дорожнеча інертних газів, поганий захист зони зварювання при підвищеному русі повітряних потоків (вітер, протяг).

Останнім часом знаходить застосування спосіб напівавтоматичного зварювання порошковими дротами, у яких порошкоподібна речовина запресовується в оболонку, виготовлену зі сталевий низко вуглецевої стрічки.

До складу покриття входять шлакоутворюючі та газоутворюючі компоненти, феросплави, а в деяких випадках і залізний порошок.

Зварювання можна робити в нижнім і вертикальному положеннях. При зварюванні забезпечується гарне формування шва, стійкість процесу й малі втрати металу на вигар і розбризкування. Відсутність флюсу або захисного газу значно спрощує конструкцію зварювальних установок і полегшує умови роботи зварників. Внаслідок великої твердості електродного дроту не пред'являються які-небудь спеціальні вимоги до конструкції механізмів поджаття й подачі її.

При зварюванні відкритою дугою відбувається значний вигар легуючих елементів і насичення металу шва газами (киснем, азотом і воднем). Вигар елементів компенсується підвищенням їхнього змісту в електродному дроті або введенням у її склад елементів, що володіють більшим, ніж розглянутий,

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк. 19
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спорідненістю до кисню. Запобігти насиченню металу шва газами, зокрема азотом, або при зварюванні без захисту – завдання більш складне.

У цей час воно вирішується зниженням їхнього шкідливого впливу на властивості металу шва. Кисень зв'язується в нерозчинні в розплавленому металі шлаки, що спливають на поверхню шва, як і при зварюванні у вуглекислому газі.

Азот для запобігання утворення нітрідів і крихкості металу шва переводиться у твердий розчин. Це досягається легуванням металу шва титаном, алюмінієм, селеном й іншими елементами.

Продуктивність процесу зварювання електродними дротами без захисту практично така ж, як і при зварюванні в захисних середовищах. Однак технологічні властивості дуги трохи гірше. Поверхня швів покрита товстою плівкою окислів, щільно зчеплених з поверхнею шва.

Рід і полярність струму також впливають на форму й розміри шва. При зварюванні постійним струмом зворотної полярності глибина провару на 40—50% більше, ніж постійним струмом прямої полярності, що порозумівається різною кількістю теплоти, що виділяється на аноді й катоді. При зварюванні змінним струмом глибина провару на 15—20% менше, ніж При зварюванні постійним струмом зворотної полярності.

Діаметр електрода вибирають залежно від товщини металу, що зварюється, положення, у якому виконується зварювання, а також від виду з'єднання й форми підготовлених крайок під зварювання. При зварюванні встик "аркушів сталі товщиною до 4 мм у нижньому положенні діаметр електрода звичайно береться рівним товщині металу, що зварює. При зварюванні сталі більшої товщини використовують електроди діаметром 4—6 мм за умови забезпечення повного провару деталей, що з'єднують, і правильного формування шва.

Напруга визначає, головним чином, ширину шва. На глибину провару напруга робить досить незначний вплив. Якщо при збільшенні напруги швидкість зварювання збільшити, ширина шва зменшиться.

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Сила струму в основному залежить від діаметра електрода, а також від довжини його робочої частини, склада покриття, положення зварювання. Чим більше струм, тим вище продуктивність, тобто більше наплавляється металу.

Однак при надмірному для даного діаметра електрода струмі електрод швидко нагрівається вище припустимої межі, що приводить до зниження якості шва й підвищеному розбризкуванню.

Для виготовлення стропової балки кращим вибором буде зварювання в захисному газі. Розроблено технології та устаткування, призначені для зварювання балок.

Обравши цей спосіб виготовлення коробчастих балок ми отримаємо багато переваг, таких як – висока продуктивність, гарна якість, можливість спостереження за процесом горіння дуги, простота механізації й автоматизації, можливість зварювання в різних просторових положеннях, широкий діапазон зміни параметрів режиму зварювання.

2.3 Вибір та розрахунок режимів зварювання

Для одержання якісного зварного з'єднання важливий правильний вибір і точне значення режимів зварювання.

Зварювання проводять у нижньому положенні в один або кілька проходів у залежності від товщини розроблення зварних кромek. Підкладки формують зворотну сторону шва за рахунок канавки в них. Однією з головних умов забезпечення якості при однобічному зварюванні є раціональний підбір режимів зварювання. Розроблення кромek залежить від виду з'єднань.

Для кожного способу зварювання існують оптимальні режими зварювання, а зокрема необхідно вибрати і розрахувати наступні режими: Зварювальний струм $I_{зв}$, А; напруга на дузі $U_{д}$, В; швидкість зварювання - $V_{зв}$, м/ч.

Розрахувати режими механізованого зварювання в середовищі захисних газів стикового з'єднання ГОСТ 14771-76-С10-ІП.

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21



Рисунок 2.7 – Схема стикового з'єднання С10

Таблиця 2.2 Стикове з'єднання його розміри та граничні відхилення (ГОСТ 14771-76-С10)

s=s ₁	b		c		e		g		α, град. (гранич. відхил. ± 2°)
	Номін.	Гранич. відхил.	Номін.	Гранич. відхил.	Номін.	Гранич. відхил.	Номін.	Гранич. відхил.	
10,0	1	± 1	1	± 1	20	± 2	1	+1	50

Стикове з'єднання товщиною зварюваного металу 10 мм, застосовую однобічне зварювання зі скосом однієї кромки типу С10 з підкладкою.

Вибираємо діаметр електродного дроту d_з=1,2мм; щільність струму в електроді приймаємо j=150А/мм².

1. Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_{ел}^2}{4} \cdot j, A \quad (2.1)$$

де d_{ел} - діаметр електроду, j - щільність струму в електродному дроті.

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 150 = 230 A$$

2. Необхідна величина напруги на дузі з умови стабільного горіння:

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{зв}}{d_{ел}} \pm 1, B \quad (2.2)$$

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05 \cdot 230}{1,2} \pm 1 = 30 B$$

3. Швидкість зварювання:

$$V_{зв.} = \frac{A}{I_{св}}; м / ч \quad (2.3)$$

де, А – коефіцієнт що залежить від діаметра електрода $A = 4 \cdot 10^3 A \cdot м / ч$.

$$V_{зв.} = \frac{4 \cdot 10^3}{230} = 18 \text{ м / ч} \approx 0,5 \text{ см / с};$$

4. Теплова погона енергія дуги дорівнює:

$$q_{II} = \frac{I_{св} \cdot U_{д} \cdot \eta_n}{V_{зв}}; \text{Дж / см} \quad (2.4)$$

де, η - ефективний коефіцієнт нагрівання

$$q_n = \frac{230 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,5} = 9660 \text{ Дж / см}$$

5. Площа наплавленого металу визначається по формулі:

$$F_n = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{3600 \cdot V_{зв} \cdot j}; \text{мм}^2 \quad (2.5)$$

де: α_n – коефіцієнт наплавлення; j – щільність металу; $j = 7,8 \text{ г / см}^3$; ψ_n – втрати електродного металу; $\psi_n = 0,09$; α_p – коефіцієнт розплавлення; 23 р./А г

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi_n); \quad (2.6)$$

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{I_{зв}}{d_{ел}}; \text{р / А} \cdot \text{ч} \quad (2.7)$$

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{230}{1,4} = 16,0 \text{ р / А} \cdot \text{ч}$$

$$\alpha_n = 16,0(1 - 0,09) = 14,5 \text{ р / А} \cdot \text{ч}$$

$$F_n = \frac{14,5 \cdot 230}{3600 \cdot 0,5 \cdot 7,8} = 0,23 \text{ см}^2 = 23 \text{ мм}^2;$$

$$F = \frac{10 + 37}{23} = 2;$$

Таблиця 2.3 Режими механізованого зварювання стикового з'єднання в середовищі захисного газу, на підкладці

Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/ч	Погонна енергія дуги
1,2	230	30	18	9660

Розрахунок режиму механізованого зварювання в суміші захисних газів для таврових з'єднань ГОСТ-14771-76-ТЗ-ИП. Діаметр електродного дроту $d_{ел}=1,2\text{мм}$, товщина металу $S=10\text{мм}$, щільність струму в електроді приймаємо $j=150\text{А/мм}^2$.

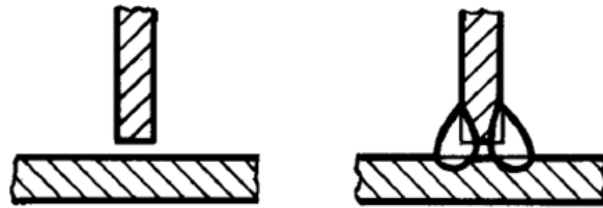


Рисунок 2.8 – Форма поперечного перерізу таврового з'єднання ТЗ

Таблиця 2.4 Таврове з'єднання його розміри та граничні відхилення

s	b	
	Номін.	Гранич. відхил.
6,0-20,0	0	+1,5

1. величину зварювального струму визначаємо за формулою 2.1:

де, $d_{ел}$ – орієнтований діаметр електроду, мм;

j - щільність струму в електроді, А/мм^2 ;

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{4} \cdot 150 = 230 \text{ А}$$

2. Напругу на дузі визначаємо по формулі 2.2:

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot 230}{1,2} \pm 1 = 30 \text{ В}$$

3. Швидкість зварювання визначаємо по формулі 2.3:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_g \cdot j}; \text{ м/ч}$$

де α_n - коефіцієнт наплавки; $\text{г/А} \cdot \text{год}$;

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_{роз}); \quad (2.8)$$

$\psi_{роз}$ - коефіцієнт втрат металу, 0,15;

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{I_{3\phi}}{d_{el}}; \text{гПа} / \text{А} \cdot \text{ч} \quad (2.9)$$

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{230}{2} = 13,3 \text{гПа} / \text{А} \cdot \text{год}$$

$$\alpha_n = 13,3 \cdot (1 - 0,15) = 11,3 \text{гПа} / \text{А} \cdot \text{год}$$

j – щільність металу; $j = 7,8 \text{г} / \text{см}^3$

$$F_B = 2 \left(\frac{k^2}{2} + 1,05k \right) = 35 \text{мм}^2 \quad (2.10)$$

$$V_{3\phi} = \frac{11,3 \cdot 230}{100 \cdot 0,35 \cdot 7,8} = 9,5 \text{м} / \text{год} = 0,26 \text{см} / \text{с}$$

4. Теплова погонна енергія дуги визначається по формулі 2.4:

$$q_n = \frac{230 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,26} = 18576 \text{Дж} / \text{см}$$

Таблиця 2.5 Режим механізованого зварювання в суміші захисних газів для таврового з'єднання ТЗ

Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Погонна енергія дуги
1,2	230	30	9,5	18576

Розрахунок режиму механізованого зварювання в суміші захисних газів для таврових з'єднань ГОСТ-14771-76-Т1-ИП. Діаметр електродного дроту $d_{el}=1,2\text{мм}$, товщина металу $S=10\text{мм}$, щільність струму в електроді приймаємо $j=150\text{А/мм}^2$.



Рисунок 2.9 – Форма поперечного перерізу таврового з'єднання Т1

Таблиця 2.6 Таврове з'єднання його розміри та граничні відхилення

s	b	
	Номін.	Гранич. відхил.
6,0-20,0	0	+1,5

1. Потрібну величину зварювального струму визначаємо за формулою 2.1:

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{4} \cdot 150 = 230 A$$

де, $d_{ел}$ – орієнтований діаметр електроду, мм; j – щільність струму в електроді, А/мм²;

2. Напругу на дузі визначаємо за формулою 2.2:

$$U_{д} = 20 + \frac{0,05 \cdot 230}{1,2} \pm 1 = 30 B$$

3. Швидкість зварювання визначаємо по формулі 2.3:

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi_{роз})$$

де α_n - коефіцієнт наплавки; г/А*год визначаємо по формулі 2.8; $\psi_{роз}$ - коефіцієнт втрат металу, 0,15; j – щільність металу; $j = 7,82 / см^3$

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{I_{зв}}{d_{ел}}; гп / A \cdot ч$$

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{230}{2} = 13,3 гп / A \cdot год$$

$$\alpha_n = 13,3 \cdot (1 - 0,15) = 11,3 гп / A \cdot год$$

$$F_B = \frac{k^2}{2} + 1,05k = 17,7 мм^2$$

$$V_{зв} = \frac{11,3 \cdot 230}{100 \cdot 0,17 \cdot 7,8} = 19,6 м / год = 0,54 см / ч$$

4. Теплова погонна енергія дуги визначається по формулі 2.4:

$$q_n = \frac{230 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,54} = 9660 Дж / см$$

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.7 Режим механізованого зварювання в суміші захисних газів для таврового з'єднання Т1

Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Погонна енергія дуги
1,2	230	30	19,6	9660

Розрахувати режими механізованого зварювання в середовищі захисних газів напускного з'єднання ГОСТ 14771-76-Н1-ІП.

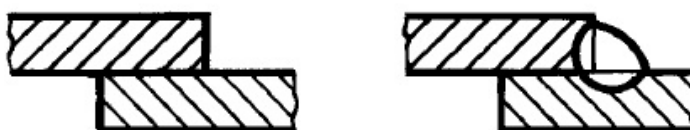


Рисунок 2.10 – Форма поперечного перерізу напускного з'єднання Н1

Таблиця 2.8 Таврове з'єднання його розміри та граничні відхилення

s	b		В
	Номін.	Гранич. відхил.	
5,5-10,0	0	+1,0	8,0-40,0

1. Потрібну величину зварювального струму визначаємо за формулою 2.1: де, d_{el} – орієнтований діаметр електрода, мм; j - щільність струму в електроді, А/мм²;

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2}{4} \cdot 150 = 230 A$$

2. Напругу на дузі визначаємо по формулі 2.2:

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot 230}{1,2} \pm 1 = 30 B$$

3. Швидкість зварювання визначаємо по формулі 2.3:

$$V_{зв} = \frac{11,3 \cdot 230}{100 \cdot 0,24 \cdot 7,8} = 13,8 м / год = 0,38 см / с$$

де α_n - коефіцієнт наплавки; г/А*год; визначаємо по формулі 2.8, $\psi_{роз}$ - коефіцієнт

втрат металу, 0,15; $\alpha_p - \text{гп} / \text{А} \cdot \text{год}$; визначається по формулі 2.9

$$\alpha_p = 7,3 + 0,053 \frac{230}{2} = 13,3 \text{ гп} / \text{А} \cdot \text{год}$$

$$\alpha_n = 13,3 \cdot (1 - 0,15) = 11,3 \text{ гп} / \text{А} \cdot \text{год}$$

j – щільність металу; $j = 7,8 \text{ г} / \text{см}^3$; F_v визначається по формулі 2.10

5. Теплова погонна енергія дуги визначається по формулі 2.4

$$q_n = \frac{230 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,38} = 12710 \text{ Дж} / \text{см}$$

Таблиця 2.9 Режим механізованого зварювання в суміші захисних газів для напускного з'єднання Н1

Діаметр електрода, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Погонна енергія дуги
1,2	230	30	13,8	12710

2.4 Розрахунок термічного циклу

При зварюванні плавленням застосовуються могутні концентровані джерела енергії. Локалізація теплоти в місці з'єднання і подальше її поширення у виробі приведе до різноманітних структурних і деформаційних процесів, що в остаточному підсумку впливає на працездатність і якість зварних з'єднань. Регулюючи потужність джерела, початкову температуру виробу можна в широких межах змінювати властивості зварних з'єднань. Вплив цих параметрів на зварювальні процеси дозволяє оцінити теорія теплових процесів при зварюванні.

Розподіл і зміна температури при зварюванні виробів обчислюються по формулах, отриманим у результаті рішення диференціального рівняння теплопровідності при визначених початкових і крайових умовах:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.11)$$

Найбільше поширення для теплових процесів зварювання одержав спосіб рішення диференціального рівняння (2.13) методом джерел.

Рішення цього рівняння при дії зварювального джерела, що безупинно рухається в напрямку осі x з постійною швидкістю v , буде більш простим у системі координат, що рухається, де початок координат збігається з джерелом. Так, при зварюванні масивних виробів зміна температури в часі в якій-небудь точці тіла можна розрахувати по формулі:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma (4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_x}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right) \quad (2.12)$$

де q – ефективна теплова потужність джерела, для дугового зварювання, $Вт$, $q = I_{зв} \cdot U_0 \cdot \eta$ (η – ефективний ККД нагрівання); v – швидкість переміщення джерела, $см/с$; α – коефіцієнт температуропровідності; $t_2 = t - t_1$ – час поширення теплоти елементарного джерела, введеного в якій-небудь точці O , потужність якого $q = dt_1$ (t_1 час досягнення джерелом точці O з моменту початку руху, t – час досягнення температури T у крапці з координатами x, y, z з початку руху джерела); R – відстань від джерела до розглянутої точки:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2.13)$$

При збільшенні швидкості переміщення зварювального джерела градієнт температури тіла в напрямку зварювання увесь час зменшується. Про це можна судити по витягнутій ізотермі температурного поля в напрямку осі x . При великих швидкостях зварювання можна зневажити поширенням теплоти уздовж напрямку руху джерела, розрахункові формули зміни температури в точках тіла при цьому значно спрощуються. При однопрохідному зварюванні пластин розрахунок температури в часі в якій-небудь точці тіла виконується по формулі:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (2.14)$$

де δ – товщина листів, що зварюються, $см$; λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/см \cdot K$; $c\gamma$ – об'ємна теплоємність, $Дж/см^3 \cdot K$; y_0 – відстань від джерела до розглянутої точки, $см$; b – коефіцієнт температуровіддачі, $b = \frac{2 \cdot \alpha}{c \gamma \cdot \delta}$; α – коефіцієнт теплообміну поверхні пластини з навколишнім середовищем; T_0 – початкова температура виробу.

Зміна максимальних температур у напрямку, перпендикулярному осі переміщення джерела, для однопрохідного зварювання пластин, розраховується по рівнянню:

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c \gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2 y_0} \quad (2.15)$$

При розрахунку розподілу температур у напрямку, перпендикулярному руху джерела, по рівнянню (2.12) доцільно знайти перше значення y_0 вважаючи, що $T_m = T_l = 1350^\circ C$ (температура ліквідусу). Якщо врахувати початкову температуру виробу T_0 то рівняння (2.12) перетвориться в наступний вид:

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c \gamma \cdot v (T_m - T_0)} \quad (2.16)$$

Для визначення структурних складових і механічних характеристик ЗТВ визначається величина тривалості охолодження τ , що знаходять з термічного циклу розрахованих по формулах теорії поширення тепла при зварюванні. Для швидкорухливих джерел при однопрохідному зварюванні листів:

$$\tau = \frac{q^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c \gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (2.17)$$

2.4.1 Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання

Розрахунок термічного циклу стикового з'єднання виконується за наступними вихідними даними, які наведені у таблиці 2.10.

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки y_0 , скористаємося рівнянням (2.19) вважаючи, що $T_m = T_l = 1350^\circ C$ (температура ліквідусу).

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.10 Вихідні дані для розрахунку термічного циклу стикового з'єднання

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Дані
коефіцієнт тепловіддачі,	$\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}$	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, λ	$\text{Вт/см} \cdot \text{К}$	0,4
об'ємна теплоємність, c_v	$\text{Дж/см}^3 \cdot \text{К}$	5,0
температура нагрівання, T_m	$^{\circ}\text{C}$	1350
початкова температура виробу, T_0	$^{\circ}\text{C}$	20
коефіцієнт температуропровідності, α	—	0,08
величина струму дуги, $I_{зв}$	A	230
напруга дуги, U_0	B	30
ефективний коефіцієнт нагрівання, η	—	0,7
ефективна теплова потужність джерела, q	Вт	4830
швидкість зварювання, $V_{зв}$	см/с	0,5
товщина листів, що зварюються, δ	см	1

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot 4830}{2 \cdot 1 \cdot 5,0 \cdot 0,5 \cdot (1350 - 20)} = 0,35 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі для стикового зварювання пластин у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (2.14) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 2.11. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 2.11.

Таблиця 2.11 Нагрів та охолодження стикового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T, $^{\circ}\text{C}$	148	1021	1333	821	612	454	373	298	211	156

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

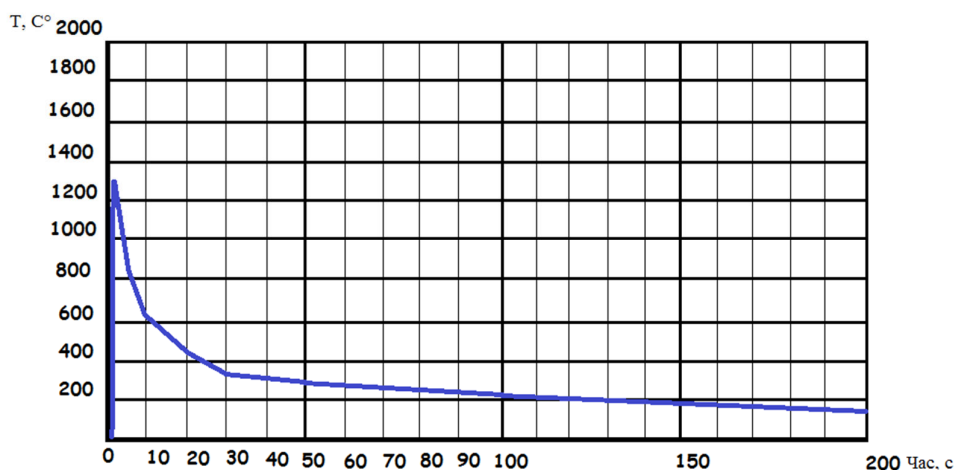


Рисунок 2.11 – Нагрів та охолодження стикового зварного з'єднання

2.4.2 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання ТЗ, виконаного механізованого зварюванням у середовищі захисних газів

Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання при механізованому зварюванні у середовищі захисних газів зробимо по тій же схемі, що і розрахунок стикового з'єднання. Зробимо розрахунок для полиці $\delta = 1,0$ см. Вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 Вихідні дані для розрахунку термічного циклу таврового з'єднання

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Дані
коефіцієнт тепловіддачі,	$\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{K}$	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, λ	$\text{Вт/см} \cdot \text{K}$	0,4
об'ємна теплоємність, c_v	$\text{Дж/см}^3 \cdot \text{K}$	5,0
температура нагрівання, T_m	$^{\circ}\text{C}$	1350
початкова температура виробу, T_0	$^{\circ}\text{C}$	20
коефіцієнт температуропровідності, α	—	0,08
величина струму дуги, $I_{зв}$	A	230
напруга дуги, U_d	V	30
ефективний коефіцієнт нагрівання, η	—	0,7
ефективна теплова потужність джерела, q	Вт	4830
швидкість зварювання, $V_{зв}$	см/с	0,26
товщина листів, що зварюються, δ	см	1

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки ν_0 , скористаємося рівнянням (2.19) вважаючи, що $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$ (температура ліквідусу).

$$\nu_0 = \frac{0,484 \cdot 4830}{2 \cdot 1 \cdot 5,0 \cdot 0,26 \cdot (1350 - 20)} = 0,67 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі для стикового зварювання пластин у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (2.14) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 2.14. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 2.12.

Таблиця 2.14 Нагрів та охолодження таврового з'єднання

Час, с	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T, C°	89	763	1185	1070	807	682	545	387	285

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

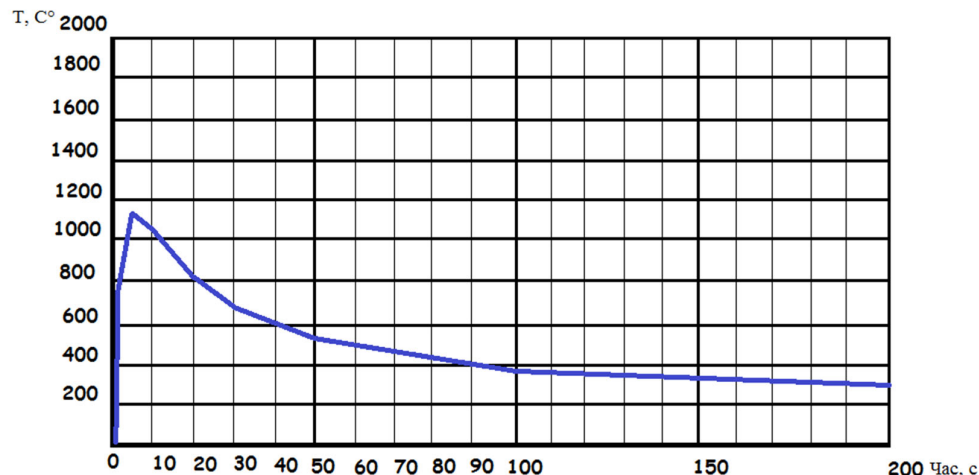


Рисунок 2.11 – Нагрів та охолодження таврового зварного з'єднання ТЗ

2.4.3 Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання Т1, виконаного механізованого зварюванням у середовищі захисних газів

Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання при механізованому зварюванні у середовищі захисних газів зробимо по тій же схемі, що і розрахунок

стикового з'єднання. Зробимо розрахунок для полиці $\delta = 1,0$ см. Вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 Вихідні дані для розрахунку термічного циклу таврового з'єднання

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Дані
коефіцієнт тепловіддачі,	$\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}$	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, λ	$\text{Вт/см} \cdot \text{К}$	0,4
об'ємна теплоємність, c_v	$\text{Дж/см}^3 \cdot \text{К}$	5,0
температура нагрівання, T_m	$^{\circ}\text{C}$	1350
початкова температура виробу, T_0	$^{\circ}\text{C}$	20
коефіцієнт температуропровідності, α	—	0,08
величина струму дуги, $I_{зв}$	A	230
напруга дуги, U_d	B	30
ефективний коефіцієнт нагрівання, η	—	0,7
ефективна теплова потужність джерела, q	Вт	4830
швидкість зварювання, $V_{зв}$	см/с	0,5
товщина листів, що зварюються, δ	см	1

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки v_0 , скористаємося рівнянням (2.19) вважаючи, що $T_m = T_l = 1350^{\circ}\text{C}$ (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot 4830}{2 \cdot 1 \cdot 5,0 \cdot 0,5 \cdot (1350 - 20)} = 0,35 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі для стикового зварювання пластин у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (2.14) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 2.15. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 2.13.

Таблиця 2.15 Нагрів та охолодження таврового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T, $^{\circ}\text{C}$	148	1021	1333	821	612	454	373	298	211	156

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

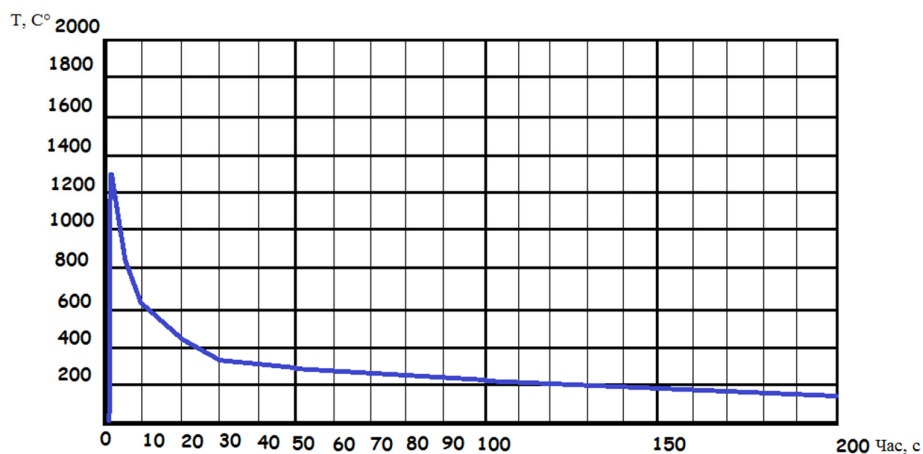


Рисунок 2.13 – Нагрів та охолодження таврового зварного з'єднання Т1

2.4.4 Розрахунок термічного циклу напускного з'єднання, виконаного механізованим зварюванням у середовищі захисних газів

Розрахунок термічного циклу напускного з'єднання при механічному зварюванні у середовищі захисних газів зробимо по тій же схемі, що і розрахунок стикового з'єднання. Вихідні дані для розрахунку наведені у таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 Вихідні дані для розрахунку термічного циклу напускного з'єднання

Найменування величини	Одиниця вимірювання	Дані
коефіцієнт тепловіддачі,	$\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{K}$	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, λ	$\text{Вт/см} \cdot \text{K}$	0,4
об'ємна теплоємність, $c\gamma$	$\text{Дж/см}^3 \cdot \text{K}$	5,0
температура нагрівання, T_m	$^{\circ}\text{C}$	1350
початкова температура виробу, T_0	$^{\circ}\text{C}$	20
коефіцієнт температуропровідності, α	—	0,08
величина струму дуги, $I_{зв}$	A	230
напруга дуги, U_0	B	30
ефективний коефіцієнт нагрівання, η	—	0,7
ефективна теплова потужність джерела, q	$Вт$	4830
швидкість зварювання, $V_{зв}$	см/с	0,38
товщина листів, що зварюються, δ	см	1

Для визначення відстані від джерела до розглянутої точки v_0 , скористаємося рівнянням (2.19) вважаючи, що $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$ (температура ліквідусу).

$$y_0 = \frac{0,484 \cdot 4830}{2 \cdot 1 \cdot 5,0 \cdot 0,38 \cdot (1350 - 20)} = 0,46 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі для стикового зварювання пластин у якій-небудь точці тіла. Розрахунок виконується по формулі (2.14) у табличній формі. Результати приведені в таблиці 2.16. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 2.14.

Таблиця 2.15 Нагрів та охолодження таврового з'єднання

Час, с	0,1	0,3	1,0	5,0	10	20	30	50	100	200
T, C°	27	422	1994	860	659	488	401	317	227	168

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

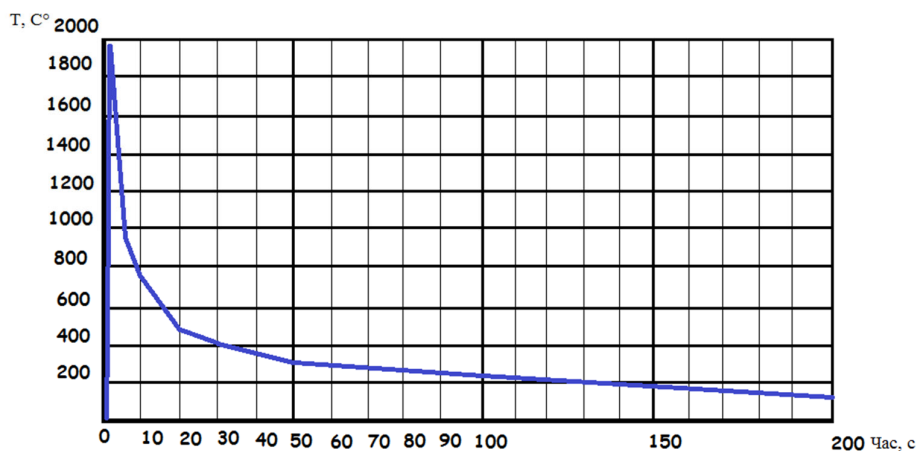


Рисунок 2.14 – Нагрів та охолодження напускного зварного з'єднання

За отриманим значенням будуємо та переносимо криву охолодження на діаграму термкінетичного розпаду аустеніту сталі ВСт3 (рисунок 2.15). Проведені розрахунки дозволяють визначити параметри процесу зварювання, що характеризується нормальним режимом. У таких процесах зварювальний

Temperature, °C

Time, s

σ_{0.2}

σ_B

δ

50%

190HV

200HV

220HV

270HV

335HV

Таврове з'єднання

Стиковий без оброблення

A3

Mn

A

B

M

A+P

Розробляються і знаходять застосування в деяких випадках технологічні процеси зварювання, що характеризуються «підвищеним» режимом. Швидкість зварювання однопрохідних швів на таких режимах збільшується в 1,5-2 рази в порівнянні зі зварюванням на нормальному режимі. Однак прагнення до підвищення продуктивності процесу наштовхується на ряд серйозних перешкод.

2.5 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу

Розміри, форму і взаємне розташування кристалів металу вивчають металографічними дослідженнями. Дослідження проводяться на спеціальних

мікрошліфах. Для виготовлення мікрошліфів розріз металу робиться в площині, перпендикулярній осі шва.

Потім отримана площа шліфується, полірується до дзеркального стану. Для виявлення структури утворюється рель'єф, який досягається хімічним травленням. При травленні кислота впливає на границі зерна і місця, що мають найбільш дефектну структуру, стануть поглибленнями. Світло, падаючи на такі поглиблення буде розсіюватись, і в цьому місці в полі зору мікроскопа вони будуть здаватися темними, а тіло зерна світлим.

Для дослідження застосовуються зразки сталі ВСт3 (Рис 2.16).

У процесі зварювання, ділянку основного металу, що підлягає нагріванню до температури, при якій відбуваються видимі або невидимі структурні зміни, називають зоною термічного впливу стикового шва на конструкційних сталях.

На прилягаючий до металу шва ділянці основний метал знаходиться у твердому і рідкому стані. На ньому відбувається формування кристалів шва на частково оплавлених зернах основного металу. Цю ділянку називають зоною сплавлення або перехідною зоною. На цій ділянці часто утворюються тріщини, руйнування вломлення при вібраційному навантаженні, крихке руйнування.

На другій ділянці біля шовної зони метал перетерплює алотропні перетворення. При нагріві α - залізо переходить у γ -залізо, причому в результаті перегріву відбувається ріст аустенітного зерна.

При поєднанні перегріву з наступним загартуванням метал на другій ділянці біляшовної зони має гірші властивості.

Наступна третя ділянка одержала назву ділянки перекристалізації (нормалізації). Вона включає метал, що набув у процесі нагрівання цілком аустенітну структуру.

При металографічних дослідженнях з'ясувалося, що в металі шва й біля шовної зони зварного з'єднання - пір, тріщин не утворюється, у металі шва і ділянці перегріву мартенситних складових не виявлено, що свідчить про гарні механічні властивості звареного з'єднання.

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

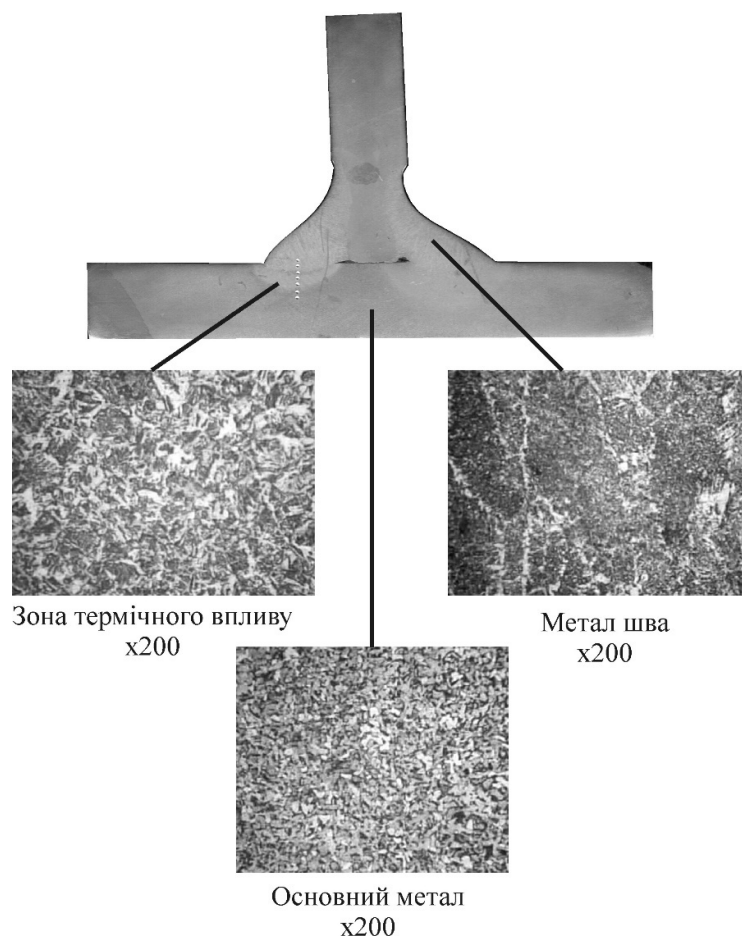


Рисунок 2.16 Макро- та мікроструктура зварного з'єднання ТЗ

2.6 Розрахунок зварювальних деформацій

Розрахунки зварювальних деформацій зварних конструкцій виконують при розробці технологічного процесу з метою вибору найбільш раціонального варіанту який забезпечує можливість виготовлення конструкцію в заданих припусках, визначення необхідності додаткових операцій правлення або обґрунтування інших технологічних заходів, які дозволяють зменшити відхилення форми і розмірів конструкції від заданих.

Остаточні напруження, деформації і переміщення, що утворюються при зварюванні внаслідок нерівномірного нагріву матеріалу конструкції, збільшують трудоемність виготовлення і погіршують експлуатаційні характеристики виробу

Для обґрунтованого призначення конструктивних і технологічних заходів

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

регулювання залишкових деформацій і напружень необхідно перш за все розрахувати їх очікувані величини на стадії проектування і розробки технологічного процесу.

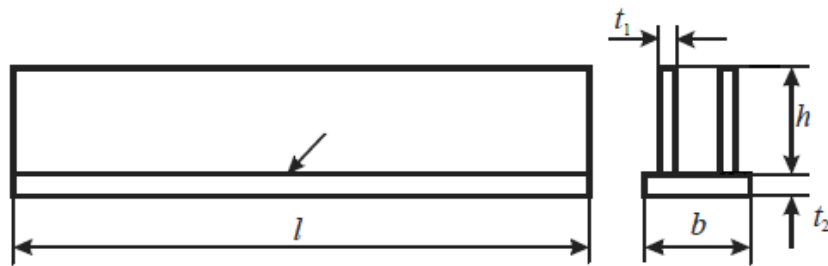


Рисунок 2.17 – Зварна таврова балка

Загальні деформації балки після зварювання – укорочення нейтральної осі та вигин опуклістю вгору. Причиною цього є нерівномірне нагрівання по поперечному перерізу, внаслідок чого виникають пластичні деформації укорочення металу в зоні нагрівання до високої температури. Кількісно ці деформації вимірюються об'ємом поздовжнього укорочення, а їм дія на балку – поздовжньою усадковою силою. Остання і спричиняє укорочення по нейтральній осі. Оскільки лінія дії цієї сили не збігається з нейтральною віссю, виникають момент і деформація вигину.

Для визначення величини загальних деформацій розраховуємо об'єм поздовжнього укорочення одного шва по формулі:

$$V = -0,335 \frac{\alpha}{c\rho} q_n l, \text{ см}^3 \quad (2.18)$$

де, α - коефіцієнт лінійного температурного розширення - $13,25 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$; $c\rho$ - об'ємна теплоємність - $4,1 \text{ Дж}/(\text{см}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; q_n - погонна енергія; l - довжина шва

$$V = -0,335 \frac{-13,25 \cdot 10^{-6}}{4,1} 4370 \cdot 250 = -1,17 \text{ см}^3$$

Визначаємо усадкову силу шва по формулі:

$$P = 21,6 \cdot q_n; \text{ кН} \quad (2.19)$$

$$P = 21,6 \cdot 4370 = 94; \text{ кН}$$

Визначаємо поздовжнє укорочення нейтральної осі по формулі:

$$\Delta l = V/F; \text{ мм} \quad (2.20)$$

де, F – площа поперечного перерізу балки; см^2

$$\Delta l = -1,17/58 = -0,2 \text{ мм}$$

Визначаємо кут повороту кінцевих перерізів балки при її вигині по формулі:

$$\varphi = V \cdot z / I_y \quad (2.21)$$

де, I_y - момент інерції перерізу балки осі y , перпендикулярної до площини вигину; z – відстань від осі шва до осі балки

Визначаємо геометричні характеристики перерізу – положення центру ваги і власний момент інерції відносно осі y . Розрахунок виконаємо у табличній формі (табл. 2.16)

Таблиця 2.16 Геометричні характеристики перерізу

Елемент перерізу балки	Положення центру ваги перерізу елемента z_i , см	Площа перерізу елемента F_i , см^2	Статичний момент перерізу елемента S_i , см^3	Переносний момент інерції перерізу елемента I_{yi} , см^4	Власний момент інерції перерізу елемента I_{0i} , см^4
Стінка	18,5	35	647,5	11978	3572
Полка	1,5	23	34,5	51	1013
Сума		58	682	12029	4585

Визначаємо положення центру ваги перерізу балки відносно осі порівняння:

$$z_0 = \Sigma S / F; \text{ см} \quad (2.22)$$

$$z_0 = 682 / 58 = 11,7 \text{ см}$$

Визначаємо власний момент інерції перерізу балки по формулі:

$$I_y = \Sigma I_{yi} + \Sigma I_{0i} - F \cdot z_0^2; \text{ см}^4 \quad (2.23)$$

$$I_y = 12029 + 4585 - 58 \cdot 11,7^2 = 8668 \text{ см}^4$$

Визначаємо відстань між осями шва та перерізу балки по формулі:

					КР 131.4121ст.02.05.02 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$z = z_0 - t_2; \text{ см} \quad (2.24)$$

де, t_2 - товщина зварювальної поверхні

$$z = 11,7 - 1 = 10,7 \text{ см}$$

Визначаємо кут повороту кінцевих перерізів балки по формулі 2.21

$$\varphi = -1,7 \cdot 10,7 / 8668 = -0,01$$

Стрілка прогину балки:

$$f = \frac{\varphi \cdot l}{8}; \text{ см} \quad (2.25)$$

$$f = \frac{-0,01 \cdot 250}{8} = 0,3 \text{ см}$$

Визначаємо розміри зони пружно-пластичних деформацій. За формулою її площа складає:

$$F_T = \frac{1}{1/F + z^2/I_z + 1200/q_{II}}; \text{ см}^2 \quad (2.26)$$

$$F_T = \frac{1}{1/58 + 10,7^2/8668 + 1200/4370} = 3,4 \text{ см}^2$$

Протяжність від осі шва на всі напрямки елементів поперечного перерізу балки:

$$b_T = F_T/t_1 + 2t_2; \text{ см} \quad (2.27)$$

$$b_T = 3,4/1 + 2 \cdot 1 = 1,13 \text{ см}$$



Рисунок 2.18 – Схема деформування балки після зварювання

У стінці балки напруження підсумовуються внаслідок дії стиску усадковою силою P і вигину моментом $M = P(z_0 - t_2) = 1005,8$. Напруження від дії сили стиску розподілені рівномірно по всьому перерізу балки, від вигину – розтягу вище від нейтральної осі балки і стиску нижче від неї.

Визначаємо їх величину за формулою:

$$\sigma = \frac{P_{yc}}{F} + \frac{M_{yc}}{I} = \frac{94}{58} + \frac{1005,8}{8668} = 17 \text{ МПа} \quad (2.28)$$

На нейтральній осі балки $y_0 = 0$, тому

$$\sigma_0 = \frac{P_{yc}}{F} = \frac{-94}{58} = -16 \text{ МПа} \quad (2.29)$$

На верхній крайці стінки:

$$y_1 = h + t_2 - z_0 = 35 + 1 - 11,7 = 24,3 \text{ см} \quad (2.30)$$

Тоді напруження складатимуть:

$$\sigma_1 = -94/58 + (-94(11,7 - 1) \cdot (-24,3))/8668 = -44 \text{ МПа} \quad (2.31)$$

У полиці балки діють напруження стиску, оскільки вона розташована нижче від нейтральної осі балки на відстані:

$$y_1 = z_0 - t_2/2 = 11,7 - 1/2 = 11,2 \text{ см} \quad (2.32)$$

Величина цих напружень:

$$\sigma_2 = -94/58 + (-94(11,7 - 1) \cdot (11,2))/8668 = -29 \text{ МПа} \quad (2.33)$$

Висновки

Виконано розрахунок режимів зварювання, визначений вплив режимів зварювання на якість, і формування зворотної, і лицьової сторони шва, величини зварювального струму, його полярності, і величин зазору в стику, що зварюється.

Дослідження макроструктури швів показало, що зварювальний шов має плавний перехід до основного металу, дефектів (непроварів, шлакових включень, шпарин, та ін.) не виявлено. В цілому зварний шов має задовільний зовнішній вигляд.

					КР 131.4121ст.02.05.03 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологічний процес складання і зварювання балки коробчастого перерізу	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Єчин Б.Л.						
Перевірів		Матвієнко М.В.					44	
Рецензент						ХННІ НУК		
Н. Контр.								
Зав. каф.		Матвієнко М.В.						

3.1. Принципова послідовність складання і зварювання

Складання та зварювання даної балки ведеться за наступною послідовністю:

1. На робоче місце зварника подаються листи за допомогою крана для легкості роботи.
 2. Проводиться зоровий контроль деталей для виявлення наявності іржі.
 3. Закріплюємо нижню полку (1) та намічаємо на ній місця установки діафрагм (3).
 4. Ставимо на намічені місця діафрагми та приварюємо їх.
 5. Під'єднуємо вертикальні листи (8, 9) та підтискаємо їх до діафрагм гідропримиками.
 6. Приварюємо до стінок балки дві планки (11), по одній з кожної сторони.
 7. На отриманий П – подібний профіль підтискаємо і прихоплюємо другий пояс балки.
 8. До планок приварюємо стінку (2).
 9. Варимо стики балки від середини до її кінців.
 10. Проводимо контроль зварних швів зовнішнім оглядом.
- До намічених місць приварюємо упори балки (10, 6, 7)

3.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

При виготовленні конструкцій з вуглецевих сталей до зварених з'єднань пред'являються вимоги рівномірності шва з основним металом і відсутність дефектів. Структура і властивості металу швів і околшовної зони на низьковуглецевих і низьколегованих сталях залежать від використаної електродного дроту, складу і властивостей основного металу і режиму

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

зварювання (термічного циклу зварювання, частки участі основного металу у формуванні шва і форми шва). Для електрошлакового зварювання вуглецевих сталей найчастіше використовують зварювальні дроти марок Св-08, Св-08А, Св-08 ГА, Св-08Г2С, Св-10Г2 (ГОСТ 2246-70). Ці типи дроту застосовуються при зварювальних роботах з низьколегованої і вуглецевої сталлю. Результатом зварювання з використанням цих дротів є чистий і рівний зварювальний шов, а також поліпшені характеристики виробу по міцності, ударної в'язкості і пр. При цьому можливість «залипання» електродів і поріг розбризкування знижуються. Дріт маркування Св08Г2С краще за інших підходить для зварювальних робіт із теплотривкості і низьколегованої сталлю. Це пояснюється двовідсотковим вмістом у ній марганцю і однопроцентним вмістом кремнію. Св08Г2С: призначена для зварювання сталей в CO₂ і суміші газів Ar/80% -CO₂/20% при цьому використовуються всі переваги зварювання в углекислоті і зварювальної суміші (відсутність розбризкування, хороше формування зварювального шва).

Порошковий дріт ПП-АН7 і ПП-АН11. Застосування порошкового дроту на виробництві та будівництві стало новим кроком у техніці та технології зварювання. Її застосування дозволило вирішити проблеми механізації зварювальних та наплавних робіт на монтажі у відкритих цехах та польових умовах, підвищити продуктивність процесів в 2 - 5 разів при високій якості металу швів і з'єднань, знизити трудомісткі і важкі ручні операції з очищення конструкцій від бризок.

Порошковий газозахисний дріт розроблений для напівавтоматичного та автоматичного зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей в середовищі вуглекислого газу та його сумішах з аргоном.

Високий рівень проплавлення, характерний для цього дроту, дозволяє з успіхом використовувати її для виконання кутових, стикових і з'єднань внапуск в один або кілька проходів, як в напівавтоматичному, так і в автоматичному режимах.

До характеристик дроту відносяться - низьке розбризкування; легка

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від'єднання шлакової кірки ; стабільне струменеве перенесення ; висока опірність пористості і шлакові включення . Більшість типів дроту дозволяють здійснювати зварювання у всіх положеннях .

Порошковий дріт ПП-АН7 ГОСТ 26271-84, призначений для зварювання маловуглецевих конструкційних сталей при нижньому положенні швів. Рекомендується для зварювання металу товщиною більше 5 мм. Стабільність горіння дуги висока, перенесення металу дрібнокрапельне, мінімум брызок до основного металу. Провар основного металу малий. Поверхня шва злегка луската.

Розглянувши зварювальні дроти ПП-АН7 і Св-08Г2С, їх переваги та недоліки, робимо висновок що обидва дроти підходять для зварювання конструкції. Кожен з них забезпечує гарну зварюваність, мінімальний розбризг крапель розплавленого металу та добре формування шва. Остаточний вибір зупинимо на зварювальному дроті Св-08Г2С, так як вона економічно вигідна ніж ПП-АН7.

3.3 Вибір зварювального устаткування, його технічні характеристики

Вибір устаткування для зварювання проводиться відповідно до прийнятих методів складання і зварювання балки, з урахуванням складності конструкції балки і необхідності забезпечення високої продуктивності праці і якості робіт.

Для механізованого зварювання в середовищі захисних газів використовується серійне зварювальне устаткування будь-якого типу, що працює на постійному струмі і забезпечує одержання жорсткої чи повільно падаючої вольт амперної характеристики і заданих режимів зварювання. Напівавтомати для зварювання в захисних газах мають ряд позитивних властивостей: надійність в роботі, простота обслуговування, можливість роботи в будь-яких просторових положеннях, - можливість спостереження за дугою, порівняно невисокою вартістю.

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для механізованого зварювання у суміші газів застосовуємо напівавтомат марки КП 015 (рис. 3.1). Малогабаритний напівавтомат з широким діапазоном регулювання зварювальних параметрів, призначений для дугового зварювання плавким електродом на постійному струмі в середовищі захисних газів суцільний або порошковим дротом низьколегованих і легованих сталей, а також корозійностійких (нержавіючих) сталей в середовищі аргону у всіх просторових положеннях.

Позитивні конструктивні особливості:

- відсутність окремого шафи управління та контактора, всього один кабель управління підвищують надійність напівавтомата і знижують експлуатаційні витрати;
- встановлення касети з дротом 5 кг (діаметром 200мм) в захисний ізоляційний кожух, виключає замикання зварювального дроту на корпус механізму, що подає;
- стабілізація швидкості подачі дроту;
- автоматичне керування газовим трактом, зварювальним джерелом і механізмом, що подає за допомогою кнопки на пальнику.



Рисунок 3.1 – Зварювальний напівавтомат марки КП 015

Для навіавтомата марки КП 015, використовуємо випрямляч КІГ-401, характеристики якого зображені в таблиці 3.1

Зварювальний випрямляч КІГ-401 (рис.3.2) призначений для напівавтоматичного дугового зварювання в середовищі захисних газів.

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Технічна характеристика напівавтомата

Технічні характеристики	КП 015
Номинальна напруга живлючої мережі, В	380
Частота струму живлючої мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм при ПВ = 60%, А	315-500
Діапазон регулювання струму, А	50-315; 50-400; 60-500
Діапазон регулювання напруги, В	18-50
Діаметр дроту, мм: -суцільного -порошкового	0,8-1,4
Діапазон регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/г	100-1000
Регулювання швидкості подачі електродного дроту	Плавне
Вага, кг: -механізму подачі дроту -електродного дроту	8 5
Габаритні розміри механізму подачі дроту, мм	470х 166х 280

Ступінчасте перемикання зварювального напруги дозволяє перекривати широкий діапазон зварювальних струмів без застосування складних електронних пристроїв, а спеціальна схема випрямлення - отримати зварювальний струм з дуже малим коефіцієнтом пульсації, що забезпечує чудові зварювальні властивості. По конструкції випрямляч простий і надійний в роботі.



Рисунок 3.2 – Зварювальний випрямляч КІГ-401

Таблиця 3.2 Технічна характеристика випрямляча

Найменування параметра	норма
Номинальна напруга мережі, В	380
Частота струму живлячої мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм, А: ПВ 100% ПВ 60%	315 400
Межі регулювання зварювального струму, А	40-450
Межі регулювання робочої напруги, В	40 ступеней, 16-37
Первинна потужність, кВА	28
Напруга холостого ходу, ВВ	50
Маса, кг	190
Габаритні розміри, мм з колесами без коліс	745 × 520 × 850 745 × 520 × 755

3.4. Методи контролю та випробувань

Виробничий контроль за його положенням у циклі виробництва поділяється на вхідний, операційний та приймальний. Вхідний контроль включає до свого складу контроль вихідних матеріалів, контроль заготовок та пристосувань, контроль устаткування, контроль енергоносіїв, контроль кадрів.

Якість зварювання можливо забезпечити за умови, якщо якість вихідних матеріалів(основного металу, електродів, зварювального дроту, флюсів, захисних газів і т.ін.) задовольняє вимогам до них. Насамперед встановлюють відповідність сертифікатних поданих на всі вихідні матеріали даним, що вимагаються технологічним процесом зварювання конструкції. Далі розглядаються матеріали та додатково перевіряють їх на якість відповідно до нормативної документації.

Основний метал в вигляді литих заготовок перевіряють на наявність пор, усадкових раковин та тріщин. Особливу увагу приділяють зонам, що підлягають зварюванню. Прокат перевіряють на наявність розслоювань та нерівномірність розподілу домішків, особливо сірки за перетином листів або профілю. Останнє виявляють способом Баумана по відбитку шліфу, на якому підвищений вміст сірки буде відображатися більш темним кольором. Можливі й інші

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

випробування, що залежать від марки металу.

Електроди перевіряють на рівномірність товщини покриття, на наявність у ньому тріщин та інших механічних пошкоджень. Виконують випробне зварювання з метою встановити характер плавлення електродного стрижня та покриття, легкості відділення шлаку та якості формування зварного з'єднання (рідинотекучості розплавленого металу, розбризкування та наявність зовнішніх дефектів).

Зварювальний дріт перевіряють на чистоту поверхні, наявності покриттів, небажаних для даного технологічного процесу зварювання. Виконують випробувальне зварювання разом з відповідним флюсом або захисним газом для виявлення якості металів за показниками, вищезгаданими у відношенні до електродів.

Захисні гази перевіряють на наявність шкідливих домішок та вологи. Останнє знаходять за температурою точки роси.

Контроль устаткування. Якщо забезпечити необхідні властивості та високу якість вихідних матеріалів, то вирішальним будуть надійність устаткування та апаратури, а також кваліфікація працівника-оператора. Технічний рівень, надійність та стан устаткування належить підтримати у заданих межах. Необхідно дотримуватися графіку технічного обслуговування устаткування та вимог відповідних інструкцій.

Кваліфікацію операторів необхідно перевіряти на всіх етапах технологічний процесів(заготівки, складання, зварювання, контролю). Для цього треба вести періодичну атестацію та паспортизацію зварників, дефектоскопістів та складальників. Кваліфікацію зварників перевіряють головним чином перед допущенням їх до зварювальних робіт на відповідальних конструкціях. Крім того в процесі виробництва зварники періодично проходять повторні випробування.

Поопераційний контроль включає до себе поточне замірювання швів, зовнішній огляд, контроль послідовності технологічних операцій, контроль

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

параметрів режиму зварювання.

Контроль технології виготовлення включає контроль за підготуванням заготовок, справністю зварювальних пристосувань, складанням вузлів під зварювання, станом зварювальних матеріалів та устаткування, дотримання встановлених режимів зварювання. Деталі, що зварюються перевіряються на відповідність їх загальної форми та розмірів, а також геометрії розробки крайок.

В зварювальних пристосуваннях перевіряють справність затискних пристроїв, відповідність встановлювальних площин, а також флюсових, мідних або вугільних підкладок та тепловідвідних елементів.

Зварювальні матеріали перевіряють на правильність режимів підготовки (наприклад, для електродів контролюють про гартування, сушіння, термін зберігання після сушіння та умови зберігання).

В зварювальних машинах перевіряють справність регулюючих механізмів, наявність приладів, якість та довжину струмоведучих дротів, стан електричних контактів та струмопідвідних мундштуків.

Режими зварювання контролюють в першу чергу з метою дотримання параметрів процесу (струму, напруги та швидкості зварювання), візуальним наглядом за приладами та зовнішнім виглядом зварного шву.

При виготовленні відповідальних конструкцій та при серійному виробництві контроль ведуть шляхом безперервного запису параметрів режиму за допомогою самопишучих приладів. Зовнішнім оглядом перевіряють якість підготовки та складання заготовок під зварювання, якість виконання швів в процесі зварювання та якість готових зварювальних швів. Зовнішнім оглядом перевіряють матеріал, який може бракуватися при наявності вм'ятин, окалини, окислів та ін. Визначають якість підготовки крайок під зварювання та складання деталей: чистоту крайок, відповідність зазорів припустимих значень, правильність розробки. Для цього можливо перевіряти спеціальні шаблони або універсальний інструмент. Нагляд за процесом зварювання дозволяє вчасно запобігти виникненню дефектів.

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Візуально контролюють режим зварювання, газовий захист дуги, правильність положення валиків у багатошарових швах. Часто контролер може перевіряти за допомогою лупи перші шари шву, що дозволяє запобігти виникненню тріщин в шві та околосшовній зоні. Приймальний контроль включає до свого складу фізичні методи контролю з використання фізичних полів (електромагнітні, радіаційні, акустичні та ін.).

Фізичні методи поділяються за взаємодією поля з матеріалом конструкції на:

- Способи засновані на передачі енергії: радіаційні, теплові, електромагнітні, магнітні.
- Способи засновані на русі речовини – методи контролю герметичності
- Способи комбіновані: ультразвукові, магніто порошкові, електричний метод заряджених часток.

Перед тим, як випробувати з'єднання фізичним методом, його перевіряють зовнішнім оглядом. Зовнішній огляд – проста операція, однак може слугувати високоефективним засобом попередження та виявлення дефектів. Насамперед зовнішнім оглядом перевіряють наявність тріщин, підрізів і т. ін.

При огляді також визначають дефекти форми швів, розподілення лузки, характер розподілення підсилення шву розмір меніску.

Тільки після зовнішнього огляду виріб перевіряють фізичними методами контролю. Одним з головних експлуатаційних вимог для званого з'єднання є герметичність. Для виявлення порушення герметичності застосовують багато методів. Одним з таких методів є «керосин на крейду». Спосіб засновано на високій проникності рідини в капіляри-тріщини, пори, т.ін. Дефекти виявляються на вкритому крейдою боці. Цей метод дозволяє визначити крізьні дефекти діаметром (15-20)*10-5мм.

Для виявлення внутрішніх дефектів використовують, наприклад ультразвукові методи контролю, які засновані на дослідженні процесу поширення пружних коливань з частотою 0,5-25МГц. При наявності дефекту

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

акустичне поле змінює свою структуру, приймач реєструє зміну акустичної хвилі або виникнення відбитої. За величиною зміни сигналу можна судити про розмір дефектів. В зварному з'єднанні.

Для аналізу процесу поширення хвиль використовують три методи: тіньовий, дзеркально-тіньовий та луна-метод.

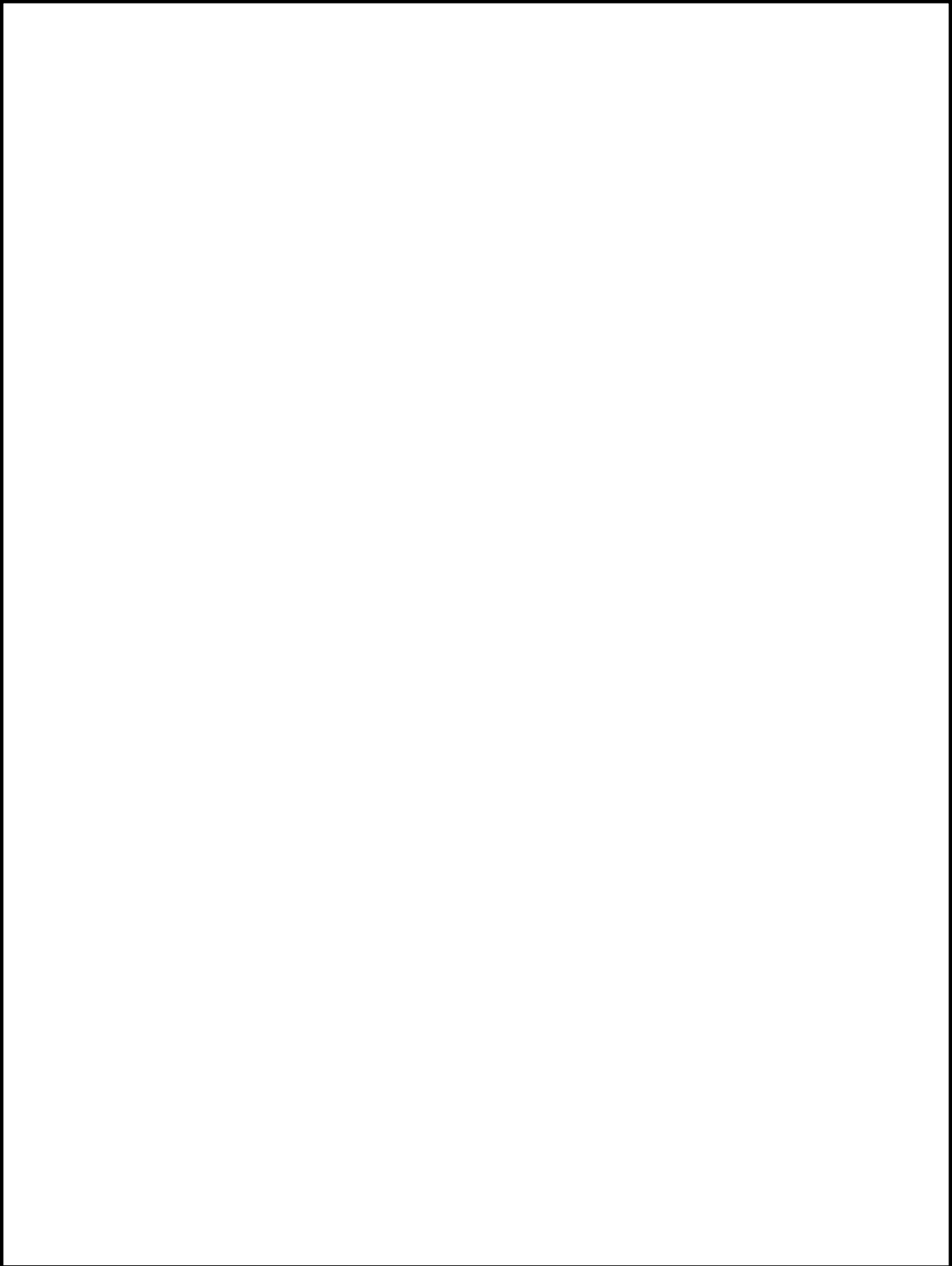
Висновки

Для механізованого зварювання у середовищі захисних газів $\text{Ar}+\text{CO}_2$ обрано зварювальний напівавтомат марки КП 015 та зварювальний випрямляч КІГ-401 для всіх з'єднань конструкції.

Застосовується зварювальний дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм.

Для проведення контролю якості зварних швів обрано ультразвуковий метод контролю.

					КР. 131.4121ст.02.05.03 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



					КР 131.4121ст.02.05.04 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці	Лім.		Арк.	Аркушів		
Розробив		Єчин Б.Л.							55		
Перевірів		Матвієнко М.В.									
Рецензент						ХННІ НУК					
Н. Контр.											
Зав. каф.		Матвієнко М.В.									

4.1 Аналіз потенційно небезпек і шкідливих чинників при складанні та зварюванні цистерни

При виготовленні цистерни існує можливість небезпечних впливів на працівників цеху у зв'язку з наступними факторами:

- поразка електричним струмом;
- поразка променями електричної дуги;
- опіки від крапель розплавленого металу і шлаку при зварюванні і різці;
- отруєння шкідливими газами, що виділяються при зварюванні і при забрудненні пилом і випарами різних речовин.

4.2 Розрахунок природного освітлення

Для усунення випадків травмування працівників внаслідок недостатнього освітлення розрахуємо природне освітлення для виробничого приміщення з боковим одностороннім освітленням.

Приміщення розташоване в IV поясі світлового клімату. Довжина приміщення $A = 16$ м. Глибина приміщення $B = 11$ м. Розрахункова точка А знаходиться від зовнішньої стіни на відстані $l = 10$ м. Робочою поверхнею є стіл висотою $0,8$ м. Відстань від робочої поверхні до верха вікон $h_i = 4,7$ м. Засклення вікон подвійне в дерев'яних плетіннях. Внутрішня обробка приміщення світла (середньозважений коефіцієнт відбиття стелі, стін, підлоги). Будинків, що стоять навпроти і сонцезахисних пристроїв немає. Зорова робота виконується в точці А, середньої точності з найменшим розміром розрізнення від $0,5$ до 1 мм (IV розряд). Визначити розміри вікон, необхідні для виконання роботи IV розряду в точці А (Рисунок 4.1) .

Рішення

Знаходимо нормоване значення КПО для IV розряду зорової роботи і III – світлового пояса. Для бокового освітлення . У зв'язку з тим, що приміщення

знаходиться в IV світловому поясі, визначаємо

$$e_H^{IV} = e_H^{III} \cdot c \cdot m \quad (4.1)$$

де c – коефіцієнт сонячного клімату дорівнює 0,7; m – коефіцієнт світлового клімату, дорівнює 0,9;

$$e_H^{IV} = 1.5 \cdot 0.7 \cdot 0.9 = 0.9\%$$

Визначаємо загальний коефіцієнт світлопропускання τ_0 :

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (4.2)$$

де $\tau_1 = 0.8$ – коефіцієнт світлопропускання матеріалу; $\tau_2 = 0.65$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла в плетіннях світлопрорізу; $\tau_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла в несучих конструкціях; $\tau_4 = 1$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях; $\tau_5 = 1$ – коефіцієнт, що враховує витрати світла в захисній сітці, встановленій під ліхтарями.

$$\tau_0 = 0.8 \cdot 0.65 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0.52$$

$$\frac{b}{h} = \frac{11}{4.7} = 2.34; \frac{a}{b} = \frac{16}{11} = 1.45; \frac{l}{b} = \frac{10}{11} = 0.9$$

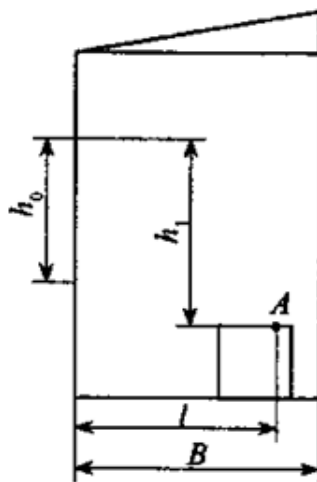


Рисунок 4.1 – План виробничого приміщення

Визначаємо площу вікон S_v м², їхні розміри і число, що дозволять у точці А виконувати роботу IV розряду:

$$S_6 = \frac{S_p \cdot e_H \cdot K_3 \cdot \eta_v \cdot K_6}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_i}, \quad (4.3)$$

де S_n – площа підлоги, $S_n = 16 \cdot 11 = 176 \text{ м}^2$, $K_6 = 1,2$ коефіцієнт запасу; $\eta_v = 9,5$ - світлова характеристика вікна; $K_6 = 1$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будинками, що стоять навпроти; $r_i = 2$ – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення і підстильного шару, що прилягає до будинку.

$$S_b = \frac{176 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 9,5 \cdot 1}{100 \cdot 0,52 \cdot 2} = 17 \text{ м}^2$$

Задаємо висоту вікна $h_v = 4$ м, знайдемо загальну ширину вікон b_v :

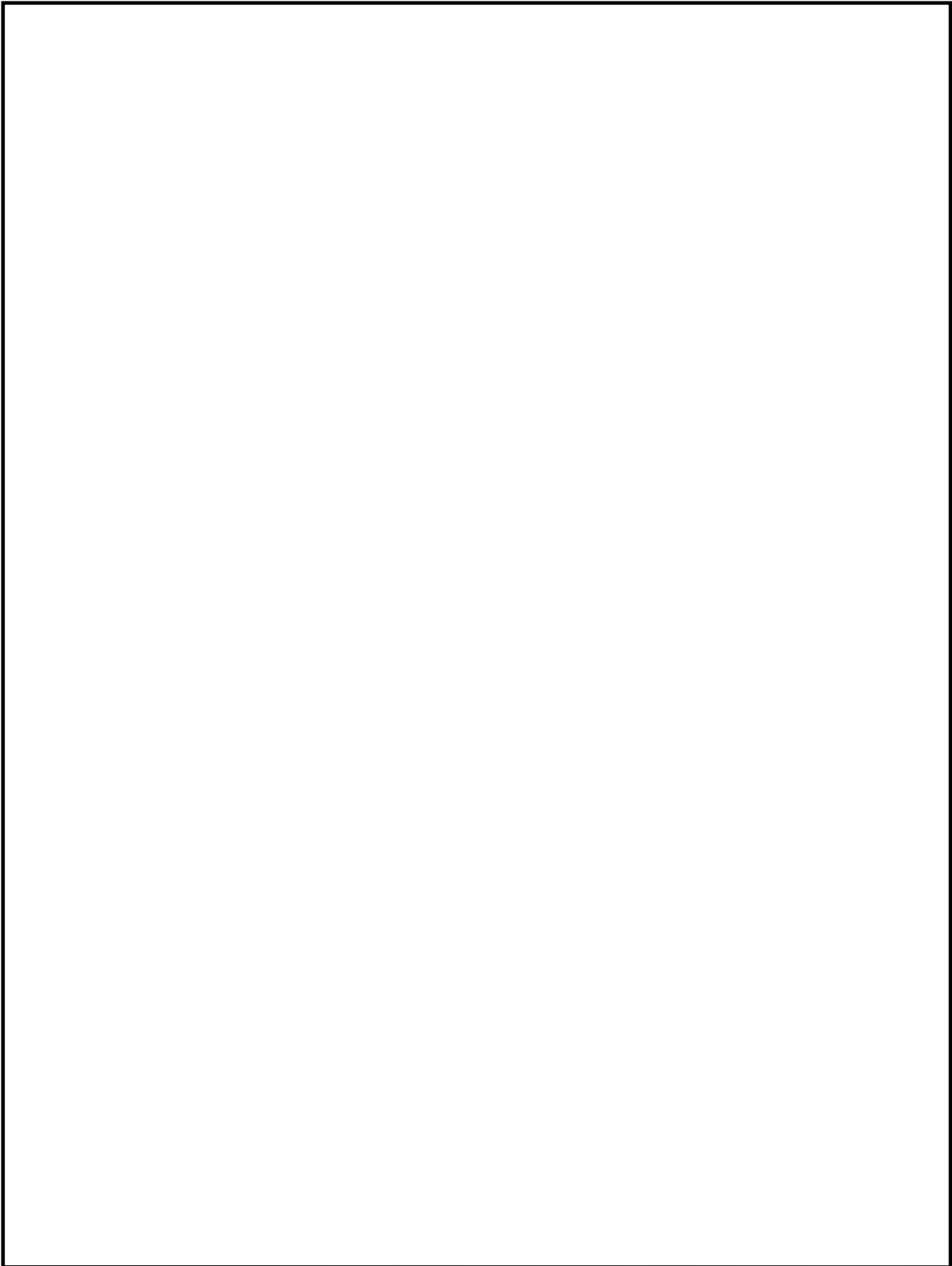
$$b_v = \frac{S_v}{h_v} = \frac{17}{4} = 4,25 \text{ м} \quad (4.4)$$

Приймаємо загальну ширину вікон 4,25 м.

На основі проведеного розрахунку встановлюємо, що для освітлення даного виробничого приміщення необхідно встановити 2 вікна висотою 4 м та шириною 2 м.

Висновки

Виконано розрахунок природного освітлення цеху, за результатами якого виражається доцільність встановлення двох вікон з шириною 2 м і висотою 4 м кожне.



					КР 131.4121ст.02.05.05 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок собівартості виготовленні балки коробчастого перерізу	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Єчин Б.Л.						
Перевірів		Матвієнко М.В.					59	
Рецензент						ХННІ НУК		
Н. Контр.								
Зав. каф.		Матвієнко М.В.						

У даному розділі розрахована калькуляційна собівартість виготовлення стропувальної балки. При розрахунку враховувалися тільки зварювальні роботи, для річної програми 5000 шт.

Розрахунок виконується для річного випуску балки в кількості 5000 шт.

Вихідні дані розрахунку:

1.Річний обсяг продукції, м.п.	60000
2. Ціна дроту, грн. за кг	68
3. Витрати Ag + CO ₂ на 1 м.п., л	1,00
4. Витрати дроту на 1 м.п., кг	0,45
5. Ціна 1 л. Ag + CO ₂ , грн.	0,29
6. Витрата електроенергії на 1м.п. с.д. кВт / год	3,7
7. Ціна 1 кВт / год, грн.	6,6
8. Трудомісткість на 1м.п. н / а н.-ч.	0,23
9. Розряд робіт	3
10. Годинна тарифна ставка, грн.	75
11. Рівень додаткових витрат,%	16
12. Норма амортизації,%	15
13. Норма витрат на поточному ремонт обладнання,%	5
14. Вартість зварювального устаткування, грн.	81351

Розрахунок витрат на електроенергію наведено в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Витрати на електроенергію

Найменування	Е.О. вимірювання	Витрата на річну програму	Річна програма в п.м.	Витрати на 1 п.м.	Ціна 1 кВт/ч, грн.	Витрати на електроенергію, грн.
Електроенергія	кВт/ч	222000	60000	3,7	6,6	1465200

Розрахунок витрат на основну заробітну плату наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Витрати на ОЗП

Найменування	Вартість 1 п.м.	Річна програма п.м.	Трудовісткість на річну програму, н-ч	Годинна тарифна ставка, грн.	Сума витрат на ОЗП, грн.
Зварювання напіваавтоматом	0,23	60000	13800	75	1035000

Розрахунок витрат на зварювальні матеріали наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Витрати на зварювальні матеріали

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Витрата на 1 п.м.	Річна програма, п.м.	Ціна одиниці, грн.	Витрата на річну програму, кг; л	Витрати на матеріали, грн.
Дріт	кг	0,45	60000	68	27000	1836000
Ar+CO ₂	л	1,00	60000	0,29	60000	17400

Розрахунок витрат на додаткову заробітну плату (ДЗП) наведено в таблиці 5.4. Розрахунок відрахувань від ЗП наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 Витрати на ДЗП

Сума витрат ОЗП, грн.	Рівень витрат на ДЗП, %	Сума витрат на ДЗП, грн.
1035000	16%	165600

Таблиця 5.5 Відрахування від З.П.

Сума витрат на ОЗП и ДЗП, грн.	Рівень відрахувань від ЗП,%	Сума відрахувань від ЗП, грн.
1200600	37,5%	450225

Розрахунок витрат на амортизацію зварювального обладнання наведені в таблиці 5.6. Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання наведені в таблиці 5.7. Розрахункові показники собівартості зварювальних робіт при виготовленні балки показані в таблиці 5.8.

Таблиця 5.6 Витрати на амортизацію зварювального устаткування

Найменування устаткування	Початкова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Сума витрат на амортизацію, грн.
Зварювальний напівавтомат з джерелом живлення	81351	15	12202,65

Таблиця 5.7 Витрати на поточний ремонт обладнання

Найменування устаткування	вартість обладнання, грн.	Норма витрат на поточний ремонт, %	Сума витрат на поточний ремонт обладнання, грн.
Зварювальний напівавтомат з джерелом живлення	81351	5	4067,55

Таблиця 5.8 Розрахункові показники собівартості зварювальних робіт при виготовленні балки

Показники	Витрати, грн.
Витрати на матеріали, грн.	1853400
Витрати на електроенергію, грн.	1465200
Витрати на ОЗП, грн.	1035000
Витрати на ДЗП, грн.	165600
Відчислення від ЗП, грн.	450225
Витрати на потоковий ремонт, грн.	4067,55
Амортизаційні відрахування, грн.	12202,65
Загальна собівартість зварювальних робіт, грн.	4985695,2

Висновки

Виконано розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт при виготовленні зварної балки. Вартість матеріалів і вартість робіт по складанню і розмітці не враховувалася.

Собівартість виготовлення 5000 балок становить 4985695,2 грн, а однієї балки 997,14 грн.

Загальні висновки

В проєкті розглядається балка коробчастого перерізу, яка призначена для установки пролітних будівель мостів. Також відноситься до області підйомно-транспортного обладнання і може бути використана переважно для установки металевих прогонових будов на опори мостів.

Було розглянуто вузли балки, а саме: стикові, таврові та напускні з'єднання. При виготовленні конструкції використовується сталь ВСт.3сп, дріт Св-08Г2С та захисне середовище $Ar + CO$.

Застосовано технологію складання балок шляхом послідовного приєднання деталей зварюванням з допомогою пневмо- та гідроприжимів, допоміжна робота виконується електродами УОНІ 13/45.

Способом зварювання для всіх видів з'єднань, було обрано механізоване зварювання в суміші захисних газів.

Виконано розрахунок режимів зварювання, визначений вплив режимів зварювання на якість і формування шва, величини зварювального струму, його полярності, і величин зазору в стику, що зварюється.

Дослідження макро- та мікроструктури швів показало, що зварювальний шов має плавний перехід до основного металу, дефектів (непроварів, шлакових включень, шпарин, та ін.) не виявлено. В цілому зварний шов має задовільний зовнішній вигляд.

Для механізованого зварювання у середовищі захисних газів $Ar+CO_2$ обрано зварювальний напівавтомат марки КП 015 та зварювальний випрямляч КІГ-401 для всіх з'єднань конструкції. Застосовується зварювальний дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм. Для проведення контролю якості зварних швів обрано ультразвуковий метод контролю.

Виконано розрахунок природного освітлення цеху, за результатами якого виражається доцільність встановлення двох вікон з шириною 2 м і висотою 4 м кожне.

					КР 131.4121ст.02.05 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконано розрахунок собівартості виконання зварювальних робіт при виготовленні зварної балки коробчастого перерізу. Вартість матеріалів і вартість робіт по складанню й розмітці не враховувалася. Собівартість виготовлення 5000 балок становить 4985695,2 грн, а однієї балки 997,14 грн.

					КР 131.4121ст.02.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Список літератури та використаних джерел

1. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа. – 2021. –400 с.
2. Чертов А.І. Технологічне супроводження виготовлення зварних металоконструкцій: навч. посіб. / А.І. Чертов, І.М.Чертов. – К. – НТУУ «КПІ», 2015. – 340 с.
3. Царинник О.Ю. Металеві конструкції. Спецкурс: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2004. – 304 с.
4. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Белов І.Д., Володимирський В.О. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. - Видання 2-е, перероблене і доповнене / Під загальною редакцією О.О. Нілова та О.В. Шимановського. - К.: Видавництво «Сталь», 2010. — 869 с.
5. Махненко В.І. Напруження та деформації при зварюванні : навчальний посібник / В.І. Махненко, Г.В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький, А.В. Лабарткава.- Миколаїв: Видавництво НУК, 2011.-240с.
6. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.
7. Щедролоєв О.В. Основи охорони праці. Лабораторний практикум / О.В. Щедролоєв, Л.Л. Моїсеєнко, Ю.К. Яглицький. – Херсон:Айлант, 2005. – 84.
8. Економіка підприємства: навч. посіб. / С. М. Рогач та ін. 2-ге вид. К. : «ЦП «КОМПРИНТ», 2018. 392 с.
9. Економіка підприємства: підручник / за заг. ред. Л. Г. Ліпич. Луцьк : Вежа-Друк, 2021. 768 с.
10. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. Л. Л. Ковальської та проф. І. В. Кривов'язюка. К. : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 700 с.

					КР 131.4121ст.02.05 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

