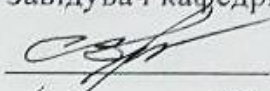


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра зварювального виробництва

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

 С.В. Драган
« 11 » 12 2025

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ЄМНОСТІ ЗІ
СТАЛІ AISI 304 ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЦУКРОВОГО СИРОПУ**

Виконав студент 6121м групи

 Тараскин Д.С.

Керівник роботи

 Бутурля Є.А.

Миколаїв 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Кораблебудівний навчально-науковий інститут

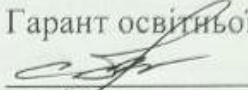
Кафедра зварювального виробництва

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма «Інжиниринг зварювання та споріднених процесів»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 С.В. Драган

« 24 » 10 2025 р.

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

Студенту гр.6121м Тараскину Дмитру Сергійовичу

1. Тема роботи: Розробка технології зварювання ємності зі сталі AISI 304 для зберігання цукрового сиропу

Керівник роботи: Бутурля Євген Андрійович

Затверджені наказом ректора № _____ від « ____ » _____ 2025 року

2. Термін подання роботи: 10.12.25р.

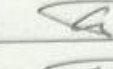
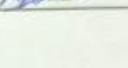
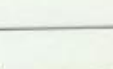
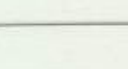
3. Вихідні дані по роботі: Креслення ємності для зберігання цукрового сиропу, основний матеріал нержавіюча сталь AISI-304, річна програма випуску 2500 шт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
Аналіз існуючих технологій та особливості зварювання нержавіючих сталей. Експериментальні дослідження зварюваності сталі AISI- 304. Технологічний процес виробництва ємності. Організація виробництва. Охорона праці. Охорона навколишнього середовища та екологічна безпека. Економічне обґрунтування розробок проєкту МПЛ

5. Перелік презентаційних матеріалів:

Тема, мета, завдання кваліфікаційної роботи. Конструктивна характеристика ємності. Характеристика основного матеріалу, оцінка зварюваності. Зварювальне обладнання та технологічна оснастка. Розробка технологічного процесу. Технологічний план розміщення виробництва. Зведені затрати на технологічну собівартість виготовлення ємності для зберігання цукрового сиропу. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1.	Драган С.В., професор		
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз особливості зварювання нержавіючих сталей	08.11.2025	
2.	Дослідження зварюваності сталі AISI- 304	10.11.2025	
3.	Технологічний процес виробництва ємності	17.11.2025	
4.	Організація виробництва	20.11.2025	
5.	Розробка комплексу заходів з охорони праці та техніки безпеки	26.11.2025	
6.	Проведення економічного обґрунтування запропонованих технічних рішень у проєкті МПЛ	02.12.2025	
7.	Оформлення пояснювальної записки	05.12.2025	
8.	Підготовка презентаційних матеріалів	10.12.2025	

Студент

Керівник роботи

 Тараскин Д.С.

 Бутурля Є.А.

Анотація

У кваліфікаційній роботі присвячено створенню технологічного процесу виробництва ємності, яка призначена для накопичення та фасування цукрового сиропу, виготовленої з нержавіючої (корозійностійкої) сталі..

Сьогодні корозійностійка сталь посідає провідне місце у всіх галузях промисловості — від великого машинобудування й енергетики до електроніки та високоточної механіки. Особливо широке застосування цей матеріал знайшов у харчовій сфері. Це пояснюється тим, що поряд зі склом і деякими полімерними матеріалами, нержавіюча сталь є чи не єдиною сировиною, офіційно затвердженою для виробництва обладнання, що використовується для обробки, зберігання та транспортування харчової продукції. Такий вибір матеріалу зумовлений суворими стандартами щодо гігієни, відсутності токсичності та інших критично важливих параметрів.

Було проведено аналіз структури та механічних характеристик цієї сталі та її зварних з'єднань, а також розроблено технологічний регламент зварювання та виробництва резервуара, включаючи розрахунок економічних показників.

Кінцевим результатом цих досліджень - оптимальний і економічно вигідний варіант, який повністю відповідає вимогам експлуатації конструкції та забезпечує вирішення проблем виникнення гарячих і холодних тріщин у зварних швах, а також мінімізує ризики корозійного пошкодження металу.

Загальний вміст пояснювальної записки складає 111 аркушів та містить _7_розділів.

Ключові слова: AISI304, сталеві резервуари, нержавіюча сталь

Abstract

The qualification work is devoted to the creation of a technological process for the production of a container intended for the accumulation and packaging of sugar syrup, made of stainless (corrosion-resistant) steel..

Today, corrosion-resistant steel occupies a leading position in all branches of industry - from large-scale mechanical engineering and energy to electronics and high-precision mechanics. This material has found particularly wide application in the food industry. This is explained by the fact that, along with glass and some polymeric materials, stainless steel is almost the only raw material officially approved for the production of equipment used for the processing, storage and transportation of food products. This choice of material is due to strict standards for hygiene, lack of toxicity and other critically important parameters.

An analysis of the structure and mechanical characteristics of this steel and its welded joints was carried out, and a technological regulation for welding and manufacturing the tank was developed, including the calculation of economic indicators.

The final result of these studies is an optimal and economically advantageous option that fully meets the requirements for the operation of the structure and provides a solution to the problems of hot and cold cracks in welds, as well as minimizes the risks of corrosion damage to the metal.

The total content of the explanatory note is 111 sheets and contains _7_ sections.

Keywords: AISI304, steel tanks, stainless

Зміст

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ	8
1.1. Характеристика конструкції ємності	8
1.2. Типові технології виготовлення ємностей та типи з'єднань.	11
1.3. Хромопелітєві сталі: склад, структура та властивості	16
1.4. Проблеми зварювання хромопелітєвих сталей.....	21
Висновки та завдання кваліфікаційної роботи.....	36
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ЄМНОСТІ	39
2.1. Технічні вимоги до складання та зварювання ємності.....	39
2.1.1. Технічні вимоги до виробу	39
2.1.2. Вимоги до виконання складання, зварювання та вибір способів зварювання ГОСТ 8713	39
2.1.3. Технічні вимоги до матеріалів	40
2.2. Розрахунок режимів зварювання	41
2.3. Зварювальне обладнання та оснастка	44
2.3.1. Основне зварювальне обладнання	44
2.3.2. Зварювальні матеріали.....	49
2.3.3. Технологічна оснастка	53
2.4. Технологічний процес виготовлення ємності	58
Висновки	63
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTІ СТАЛІ AISI 304	65
3.1. Матеріали та обладнання для дослідження	65
3.2 Стійкість зварних з'єднань проти гарячих тріщин	68
3.3. Дослідження стійкості металу шва проти окрихчування	69
3.4. Характеристика структури сталей AISI304 за діаграмами Шеффлера..	71
3.5. Металографічні дослідження	73
Висновки	75

4. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА.....	77
4.1. Вибір класу підприємства	77
4.2. Компонувальна схема прольоту цеху	77
4.3. Розміщення елементів виробництва.....	79
Висновки	82
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	84
5.1. Санітарно-гігієнічні характеристики зварювального виробництва.....	85
5.2. Розрахунок штучного освітлення ділянки зварювання.....	86
5.3. Повітряне середовище та мікроклімат. Вентиляція	88
5.4. Розрахунок захисного заземлення	90
5.5. Заходи по забезпеченню пожежної безпеки	92
Висновки	94
6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	96
6.1. Принципи охорони навколишнього середовища та фактори забруднення.....	96
6.2. Засоби запобігання атмосферному забрудненню	97
7. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК ПРОЄКТУ МПЛ	100
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	108
Список літератури.....	109

ВСТУП

Тема даної магістерської роботи присвячена ґрунтовному вивченню та створенню технологічного процесу виробництва ємності, яка призначена для накопичення та фасування цукрового сиропу, виготовленої з нержавіючої (корозійностійкої) сталі.

Актуальність застосування нержавіючої сталі

Сьогодні корозійностійка сталь посідає провідне місце у всіх галузях промисловості — від великого машинобудування й енергетики до електроніки та високоточної механіки. Особливо широке застосування цей матеріал знайшов у харчовій сфері. Це пояснюється тим, що поряд зі склом і деякими полімерними матеріалами, нержавіюча сталь є чи не єдиною сировиною, офіційно затвердженою для виробництва обладнання, що використовується для обробки, зберігання та транспортування харчової продукції. Такий вибір матеріалу зумовлений суворими стандартами щодо гігієни, відсутності токсичності та інших критично важливих параметрів.

У межах цієї роботи досліджується марка сталі AISI 304, оскільки вона є найбільш поширеною для виробництва подібних ємностей. Буде проведено аналіз структури та механічних характеристик цієї сталі та її зварних з'єднань, а також розроблено технологічний регламент зварювання та виробництва резервуара, включаючи розрахунок економічних показників.

Мета роботи

Кінцевим результатом цих досліджень є можливість визначити оптимальний і економічно вигідний варіант, який повністю відповідатиме вимогам експлуатації конструкції та забезпечить вирішення проблем виникнення гарячих і холодних тріщин у зварних швах, а також мінімізує ризики корозійного пошкодження металу.

Таким чином, основна магістерської роботи полягає у вивченні, розробці та деталізації технології складання і зварювання, спрямованої на створення високоякісного резервуара для безпечного зберігання цукрового сиропу.

					КР.131.6121м.05.00.07.ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата												
Разраб.		.									Лит.	Лист	Листів			
Перевір.																
											НУК, гр.					
Н. Контр.																
Утв.																

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗВАРЮВАННЯ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ

1.1. Характеристика конструкції ємності



Рис. 1.1. Загальний вигляд ємності

Ємність, яка виготовляється, являє собою конструкцію циліндричної форми, яка призначена для зберігання та розливу сахарного сиропу обсягом 9 м3. Конструкція має корпус, два сервісних люка для обслуговування, один оглядовий люк, патрубок входу продукту, патрубок виходу продукту, патрубок зливу та патрубок промивки, також ємність має чотири опори для

встановлення в горизонтальному положенні . Уся конструкція та комплектуючі виготовляються з нержавіючої сталі.

Корпус складається з листової нержавіючої сталі, товщиною $\delta=6\text{мм}$ і $\delta=8\text{мм}$ та поділений на три частини, які зварюються між собою: обічайка, верхнього та нижнього донця. У свою чергу обічайка складається з двох листів та має три зварних з'єднання. У ємності знаходяться два патрубки ДУ100х2 для входу і виходу продукції, а також два патрубки для миття, дезінфекції ємності та зливу залишків продукту. Зверху ємність має герметичний оглядовий люк, а знизу та з боку герметичні сервісні люки. Також, ззовні ємності доварюються опори та петлі для встановлення.

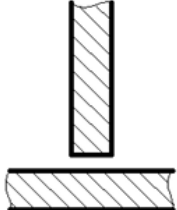
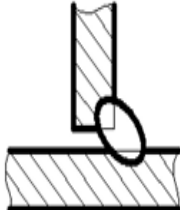
Сама ємність має діаметр $\phi 2000\text{ мм}$, висоту з опорами $L=4500\text{мм}$, сервісні люки мають діаметр $\phi 400\text{мм}$.

Таблиця 1.1. Технологічні характеристики ємності

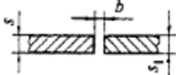
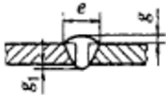
№ п/п	Найменування параметру	Значення
1	Об'єм ємності, м^3	9
2	Висота ємності, мм	4500
3	Висота корпусу (обічайки), мм	2500
4	Висота верхнього донця, мм	500
5	Висота нижнього донця, мм	500
6	Загальна вага, кг (без рідини)	1600

Для типового виготовлення ємностей використовують такі типи та способи з'єднань С2 та Т1. Характеристики цих з'єднань зображені в табл. 1.2. та табл. 1.3.

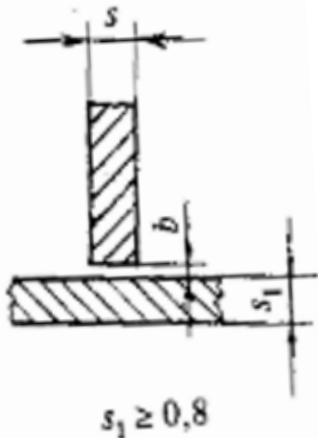
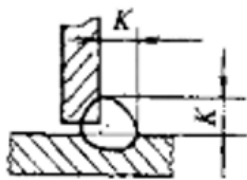
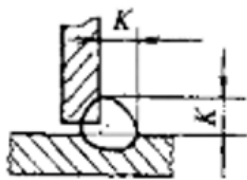
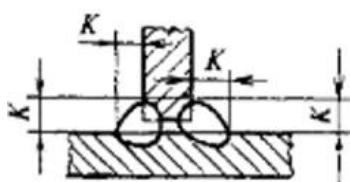
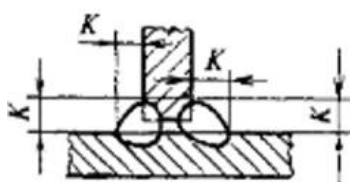
Таблиця 1.2. Стикові з'єднання які використовуються для виготовлення ємності

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромок	Характер виконаного шва	Форма поперечного січення		Межі товщин деталей, мм	Умове позначення
			Підготовлених кромок	Виконаного шва		
стикове	Без скосу кромок	Односторонній			0,8-6	C-2
таврове	Без скосу кромок	Односторонній			2-40	T1

Таблиця 1.2. Конструктивні елементи зварних з'єднань, їх розміри та граничні відхилення по них

Умове позначення	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	S=S ₁	b		e, не більше	g		g ₁				
	підготовлених кромок зварюваних деталей	шва зварного з'єднання			Номінальне	Граничне відхилення		Номінальне	Граничне відхилення	Номінальне	Граничне відхилення			
C2			ІН	0,5-0,9	0	+0,1	6,0	0	±0,1	0	+0,1			
				1,0-1,4		+0,2	7,0		±0,3		+0,5			
				1,5-1,9		+0,3	8,0		±0,5		+1,0			
				2,0-2,8			9,0		±1,0					
				3,0-4,0										
			ІНп, ІІІ, УП	0,8-1,2	1,5	+1,0	1,0	1,5	±0,5	1,0	+1,0			
				1,4-2,0		+1,5	1,5				-0,5			
				2,2-4,0							±1,0			
				4,5-6,0		+2,0								

Продовження таблиці 1.2. Конструктивні елементи зварних з'єднань, їх розміри та граничні відхилення по них

Умовне позначення	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	s	b	
	підготовлених кромок зварюваних деталей	шва зварного з'єднання			Номінальне	Граничне відхилення
T1			ІН п, ІІІ, УП	0,8-3,0	0	+0,5
				3,2-5,5		+1,0
				6,0-20,0		+1,5
				22,0-40,0		+2,0

1.2. Типові технології виготовлення ємностей та типи з'єднань.

Виготовлення ємнісного обладнання, зокрема для зберігання рідин, є технологічно складним процесом. Основні труднощі обумовлені габаритами конструкцій, що вимагає використання або дорогого автоматизованого обладнання, або великих виробничих площ для розміщення механізованих потокових ліній.

Технології виробництва вертикальних і горизонтальних резервуарів можуть відрізнятися, але їхньою основою є збірка ключових вузлів: обичайок (циліндричних секцій), сферичних або еліптичних днищ та приєднувальних патрубків.

Розглянемо деякі типові варіанти технології виготовлення ємностей, подібних до ємності для зберігання цукрового сиропу.

Такі ємності зазвичай складається з обичайок, сферичних днищ і патрубків, для прикладу (рис. 1.2).

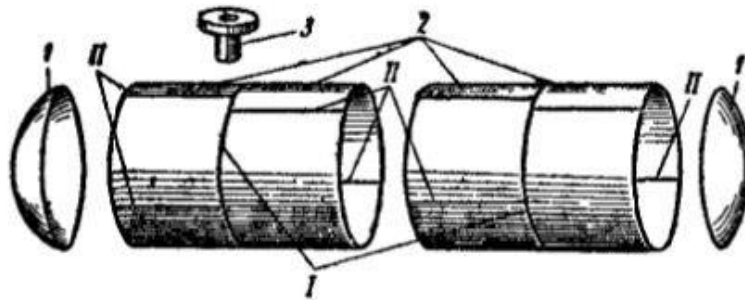


Рисунок 1.2. Вузли ємності:

1-сферичне дно; 2-обичайка; 3-птрубок; I-кільцевий шов; II- подовжній шов

Типова технологія виготовлення таких виробів передбачає послідовне виконання наступних основних операцій:

1. Заготівельні операції: Включають підготовку деталей з листового металопрокату — термічне різання заготовок, штампування днищ, вальцювання, а також механічна обробка крайок для підготовки до зварювання.

2. Зварювання циліндричної частини: Формування обичайок та горловин шляхом виконання поздовжніх швів.

3. Збірка корпусу: З'єднання обичайок між собою та приварювання днищ шляхом виконання кільцевих швів.

4. Комплектувальні роботи: Монтаж люків, горловин, патрубків та опорних елементів на готовий корпус резервуару.

Виготовлення циліндричного корпусу (обичайки) резервуара може здійснюватися за кількома основними технологічними схемами:

1. Виготовлення з цілого листа: Якщо розміри початкової листової заготовки перевищують необхідну розгортку циліндра, обичайку формують з одного цілого листа з одним поздовжнім зварним швом (як показано на рис. 1.3, а).

2. Складання з окремих обичайок: У випадках, коли довжина циліндричної частини перевищує максимальну довжину стандартного листового прокату, корпус збирають із декількох окремих обичайок, з'єднаних поперечними кільцевими швами (рис. 1.3, б).

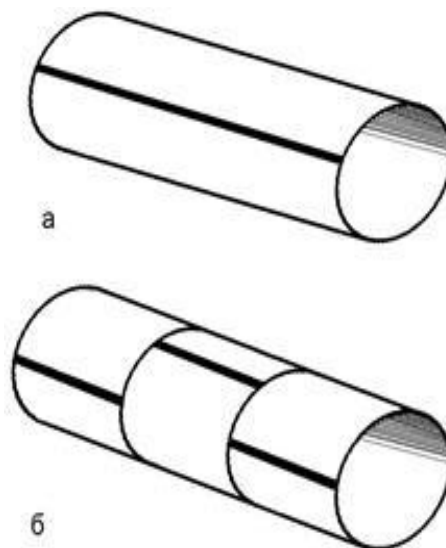


Рисунок. 1.3. Схеми виготовлення циліндричної частини ємностей:

а – з одним поздовжнім швом; *б* – с поздовжніми и кільцевими швами.

Найбільш технологічний варіант для складання та зварювання поперечних (кільцевих) стиків обичайок і донець передбачає використання підкладних кінцевих кілець, виготовлених з того ж матеріалу. Їхня наявність спрощує складання, центрування елементів та гарантує проплавлення кромek без непроварів у корені шва.

Також для з'єднання двох півобичайок використовується схема, за якої дві півобичайки (сформовані з цілого листа або звареної карти) з'єднуються двома поздовжніми швами (рис. 1.4). Цей варіант типовий для товстостінних ємностей.

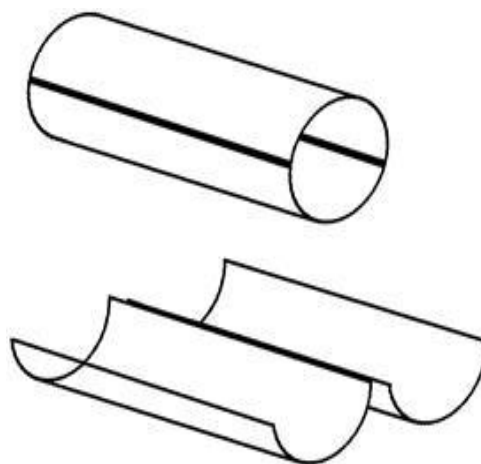


Рисунок 1.4. Циліндрична обичайка с двома поздовжніми швами

Днища формуються методом штампування (Рис. 1.5).. Заготівля для штампування може бути вирізана як з цілого листа (якщо дозволяють розміри), так і з попередньо звареної карти. Після штампування обов'язково проводиться механічна обробка торців для підготовки до зварювання.



Рисунок 1.5. Послідовність операцій при виготовленні донця

Для вварювання патрубків у днища використовують похилі поворотні столи. Це забезпечує зручне положення «у човник», що є оптимальним для формування зварного шва. Зварювання виконується під флюсом або в середовищі захисних газів (рис. 1.6).

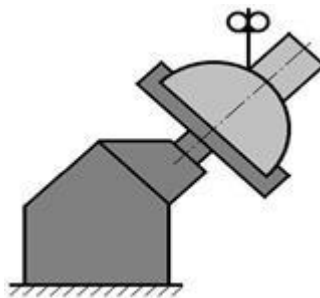


Рисунок 1.6. Схема вварювання елементів ємності в положенні «у човник»

Фінальна збірка зварених та звальцьованих обичайок, днищ і патрубків здійснюється з послідовним виконанням кільцевих швів (використовуючи зворотно-ступінчастий спосіб).

Обов'язковим етапом є контроль якості зварених швів, який включає спеціальні випробування на міцність та щільність.

Складання та зварювання на роликових стендах

Складання та зварювання циліндричної частини виконується на роликовому стенді. Поздовжній стик обичайки збирають на прихватках, використовуючи прості стяжні пристосування.

Для підвищення рівня механізації виробництва роликові стенди можуть бути оснащені візком зі складальною скобою (рис. 1.7). Візок (5) пересувається по рейковому шляху (7), а складальна скоба (1) за допомогою пневмоциліндрів (2, 10, 11) забезпечує необхідне стикування елементів.

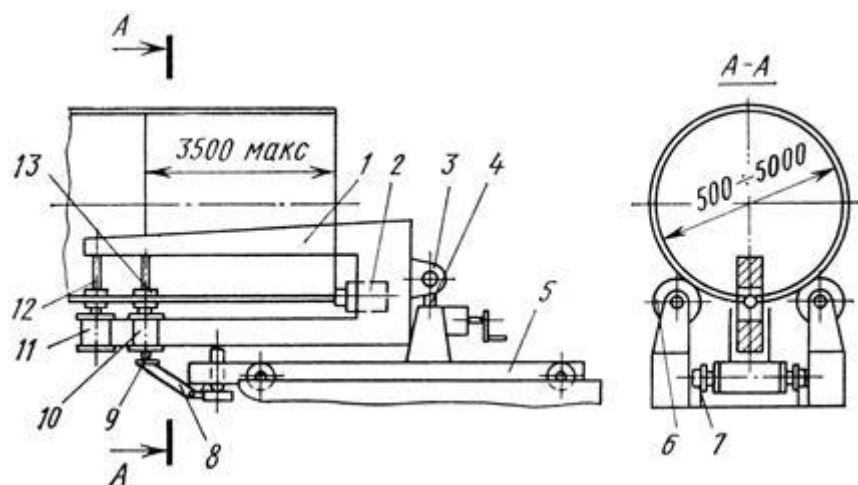


Рисунок 1.7. Скоба для складання кільцевих стиків обичайок:

1 - складальна скоба; 2, 10, 11 - пневмоциліндри; 3 - кронштейн; 4 - опора; 5 - візок; 6 - роликоопора; 7 - рейковий шлях; 8, 9 - елементи пневмоприводу; 12, 13 - регульовані упори

Зварювання поздовжніх та кільцевих стиків ємності із середньою товщиною стінки зазвичай виконується з двох сторін. Для кільцевих швів застосовується флюсоремінна подушка (рис. 1.9). У ній флюс подається з бункера на верхню гілку ремня, який щільно контактує з поверхнею обичайок. Обертання обичайок переміщує ремінь за рахунок сил тертя, забезпечуючи подачу флюсу та його притискання до стику.

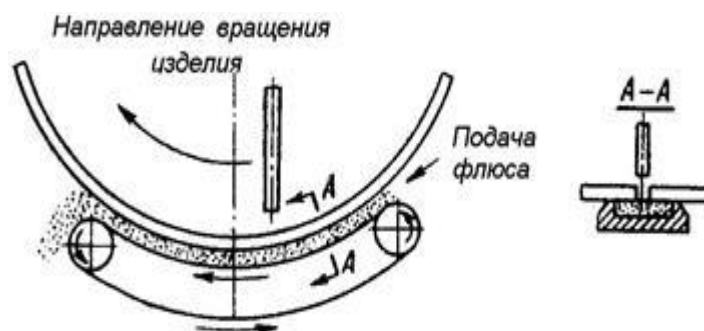


Рисунок 1.9. Флюсоремінна подушка для зварювання кільцевих швів

1.3. Хромонікелеві сталі: склад, структура та властивості

Високолеговані хромонікелеві сталі являють собою найбільш чисельну групу конструкційних матеріалів, які знайшли широке застосування від машинобудування до медицини. Завдяки унікальному поєднанню корозійної стійкості, жаростійкості та жароміцності, ці сплави є основним конструкційним матеріалом для виробів та деталей, що функціонують у агресивних середовищах, при високих напруженнях і температурах, а також в умовах радіаційного впливу.

Вони активно використовуються у виробництві обладнання для харчової, хімічної та нафтохімічної промисловості, а також для виготовлення парових і газових турбін, атомних енергетичних установок, корпусів суден та літальних апаратів.

До аустенітного класу хромонікелевих сталей належать ті сплави, які після високотемпературної обробки мають переважно структуру аустеніту, хоча може бути присутня незначна частка феритної фази. Ці сталі практично не магнітні і не піддаються гартуванню.

Основними легуючими елементами є Хром (Cr) та Нікель (Ni):

- Хром забезпечує корозійну стійкість та необхідну жаростійкість сплаву.
- Нікель гарантує стабільність аустенітної структури, підвищує жароміцність та загальну технологічність сталі.

Більшість хромонікелевих сталей додатково легуються іншими елементами (наприклад, Mo, W, V, Ti, Nb, N та інші) для забезпечення твердорозчинного та дисперсійного зміцнення (за допомогою карбідів або інтерметалідів, як-от $Ni_3(Al, Ti)$), що надає їм додаткових експлуатаційних властивостей.

Легуючі елементи змінюють співвідношення структурних складових сталі. Їх поділяють на дві групи за впливом:

Аустенізатори	C, Co, N, Mn, B, Cu, Ni
Феритизатори	Si, Mo, W, Ti, Al, V, Nb, Cr, Ta, Zr

Для прогнозування очікуваної структури сталей, особливо у зоні зварних з'єднань, використовують діаграми стану, такі як діаграма Шеффлера. Структура визначається через розрахунок еквівалентів нікелю ($Ni_{екв}$) і хрому ($Cr_{екв}$). Слід пам'ятати, що для розрахунку еквівалентів можуть застосовуватися різні рівняння, що вимагає їхнього співставлення.

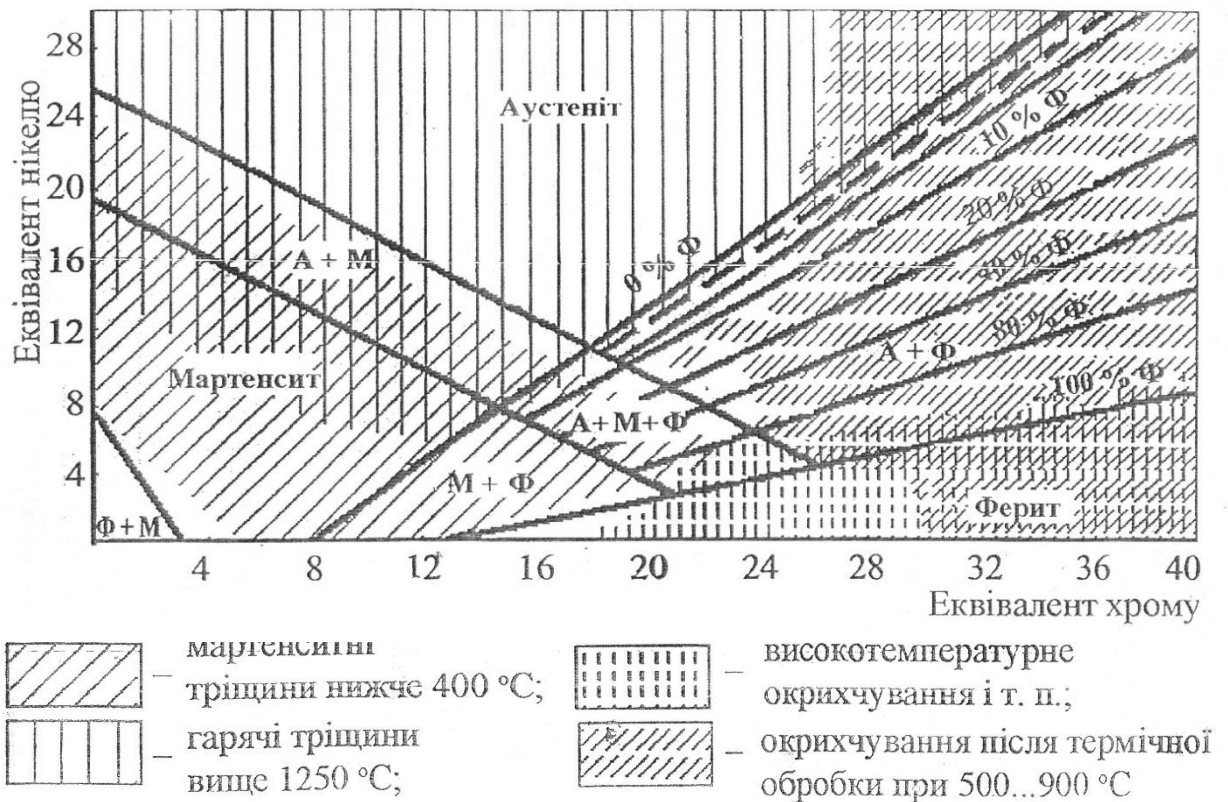


Рис.1.10. Діаграма Шеффлера

$$Ni_{екв} = Ni + 30C + 30N + 10B + 0,5Mn$$

$$Cr_{екв} = Cr + 1,5Si + 2Mo + 5Ti + 2Nb + 2Al + 1,5W + V$$

Залежно від вмісту $Ni_{екв}$ та $Cr_{екв}$ визначають очікувану структуру сталей за допомогою діаграми Мауерера (для катаних сталей) або діаграми Шеффлера (для сталей та зварних з'єднань). Слід відзначити, що для розрахунку структури застосовують різні рівняння. Тому потрібно їх співставлення.

Зважаючи на структуру, сталі поділяються на наступні класи:

Мартенситні сталі — X5, 2X13, 1X17H2, 1X13H3 та інші;

Феритні сталі — 0X13, 0X17M2T, 0X17T та інші;

Мартенситно-феритні сталі — 1X13, 1X12ВНМФ та інші;

Аустенітні — 0X18M10, 0X18H12T, 1X14H18B2БР та інші;

Аустенітно-феритні — 0X20H14C2, 0X16H4БА, 0X21H6M2T, 08X22H6T, 12X21H5T, 03X23H6, 08X18Г8H2T, 08X21H6M2T, 03X22H6M2 тощо.

Кожен клас високолегованих сталей характеризується специфічними проблемами та особливостями при виконанні зварювання, що обумовлено їхньою мікроструктурою.

Феритні сталі за кімнатної температури демонструють низьку ударну в'язкість. Ключовою особливістю високохромистих сталей цього класу є їхня схильність до різкого додаткового окрихчування під впливом термічного циклу зварювання. Нагрівання до температури, що перевищує 950°C, спричиняє інтенсивний ріст зерна. Тому головне завдання при зварюванні феритних сталей полягає в тому, щоб максимально вузька Зона Термічного Впливу (ЗТВ) піддавалася впливу температур вище 950°C протягом якомога коротшого часу.

Високий рівень крихкості зварних з'єднань раніше пов'язували з утворенням у навколошовному металі пересиченого розчину вуглецю С та азоту N, оскільки при нагріванні вище 1150°C відбувається дисоціація карбонітридів хрому. Однак, хромисті сталі 08X17T та 15X25T, леговані Ti до 0,80 та 0,90% для утворення більш стійких карбідів, не мають переваг у зварюваності порівняно з іншими феритними сталями. У цих сплавах не вдається запобігти інтенсивному росту зерна при зварюванні плавленням. Максимальне збільшення розміру зерна (до 1 мм у перетині) слід очікувати у зоні перегріву зварних з'єднань, де температура нагрівання є найвищою і досягає температури солідусу ($T_{\text{сол}}$).

Для металу аустенітних зварних швів характерна дендритна форма кристалізації. Це призводить до формування крупних стовпчастих кристалів і збагачення міждендритних ділянок домішками, які, своєю чергою, утворюють легкоплавкі фази.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист 18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Високі швидкості кристалізації при дуговому зварюванні обумовлюють слабо розвинену зональну та значну мікрохімічну неоднорідність у швах. Це є результатом ізоляції таких елементів, P, S, C, Mo, Si, Ti та інші.

Вплив термодетформаційного циклу зварювання призводить до утворення в різних ділянках ЗТВ структур, які суттєво відрізняються від вихідних структур сталі. Це проявляється у незавершеності поліморфних перетворень на стадії нагрівання та формуванні відпускових структур на стадії охолодження. Структура в ЗТВ також характеризується неоднорідністю внаслідок нерівномірного нагрівання, розвитку субструктури та високотемпературного наклепу, спричиненого міжзеренною та внутрішньою пластичною деформацією.

Аустенітно-феритні (дуплексні) сталі поєднують високі границі плинності та міцності із задовільними показниками пластичності та ударної в'язкості. Вони також мають відмінну корозійну стійкість та добру зварюваність. Ці властивості дозволяють зменшити товщину листа і, відповідно, скоротити питомі витрати металу при виготовленні хімічної апаратури, розрахованої на міцність.

Згідно з діаграмою станів Fe-Cr-Ni сплави, вони мають ключові особливості:

1. Двофазна (Аустеніт + Ферит) структура існує в широкому інтервалі температур: від 20°C до 1350°C.
2. При нагріванні вище 1100 °C аустеніт (γ) перетворюється на δ - ферит, причому інтенсивність $\gamma \rightarrow \delta$ перетворення зростає зі збільшенням температури та тривалості нагріву.
3. При температурі вище 1200°C відбувається повне $\gamma \rightarrow \delta$ перетворення.
4. При наступному охолодженні відбувається зворотне перетворення δ -фериту в аустеніт. Кінцеве співвідношення структурних складових залежить від швидкості охолодження.

5. При ізотермічній витримці в інтервалі 700-800°C можливе утворення крихкої σ -фази.

Аустенітно-феритні сталі поставляються у загартованому стані (з температур 950-1050 °C). Різниця у вмісті Cr та Ni між двома фазами зазвичай становить 2-5%. Ці сталі втрачають в'язкість при нагріванні в інтервалі 450-650 °C. Це явище пов'язане з тим, що крихкість, спричинена виділенням карбідів та σ -фази, посилюється дією так званої 475°C крихкості.

Дуплексні сталі застосовуються при робочих температурах до 300°C (рідко до 350°C), щоб уникнути окрихчування. Наприклад, широко розповсюджена у світі сталь X2XCrNiMoN22-5 (марки Uranus 45N та Nirosta 4462, згідно німецького стандарту Duplex W1/4462) має граничну робочу температуру 300°C, яка широко використовується для внутрішнього корпусу хімовозів.

Співвідношення Аустеніт/Ферит (А/Ф) в дуплексній сталі залежить від термічної обробки:

Температура гартування, °C	1000	1050	1100	1150
Кількість фериту, %	40	45	50	55

Дуплексні сталі мають підвищену схильність до росту зерна в ЗТВ під дією зварювального термічного циклу. Одночасно зі зростанням феритних зерен збільшується загальна кількість фериту. Наступне швидке охолодження фіксує цю структуру. Розміри зерен, кількість фериту та ширина зони перегріву залежать від погонної енергії зварювання, вихідного А/Ф співвідношення та чутливості сталі до перегріву.

Співвідношення структурних складових у початковому стані значною мірою залежить від вмісту Титан (Ti). Кількість Ti також визначає стійкість аустенітної фази проти перетворення у ферит при зварювальному нагріві. Чим вищий вміст Ti, тим чутливіша сталь до перегріву. Внаслідок росту зерна та зменшення кількості аустеніту спостерігається зниження ударної в'язкості навколошовної зони та кута загину зварних з'єднань аустенітно-феритних

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сталей. Менш чутливими до зварювального нагріву є сталі, до складу яких не входить Ti (наприклад, ОЗХ23Н6 та ОЗХ22Н6М2).

Обмеження області застосування дуплексних сталей за температурою експлуатації вимагає суворого регламентування термічного циклу зварювання. Для виявлення впливу σ -тизації та кількості фериту обов'язково досліджується структура та ударна в'язкість зварних з'єднань.

1.4. Проблеми зварювання хромонікелевих сталей

Основні технологічні проблеми, що виникають при зварюванні хромонікелевих сталей, безпосередньо залежать від їхньої мікроструктури. Ці проблеми часто візуально представлені на діаграмах стану, таких як діаграма Шеффлера (див. рис. 1.10)

Окрихчування металу зварних з'єднань

Окрихчування зварних з'єднань хромонікелевих сталей пов'язане головним чином із двома термічними явищами: утворенням σ -фази в інтервалі температур 550-850°C та явищем 475-градусної крихкості (400-550°C). Найбільш схильною до такого окрихчування є феритна фаза.

475-градусна крихкість спостерігається у сталях, які містять понад 5% хрому і мають у структурі більше 15-20% фериту. Чим вищий вміст фериту у сплаві і чим триваліший час сталь перебуває в діапазоні 450-530°C, тим суттєвіше знижується її ударна в'язкість. Окрихчування може виникати як у процесі зварювання, так і під час подальшої термічної обробки. Хоча механізм цього явища залишається недостатньо вивченим, його часто асоціюють з виділенням надлишкових фаз (карбідів або карбонітридів). Негативний вплив 475°C крихкості може бути усунений шляхом нагрівання з'єднання до більш високих температур.

Сігма-фаза (σ -фаза) є щільно упакованою інтерметалідною фазою, хімічний склад якої варіюється залежно від легування сталі. Її різноманітна пластинчаста морфологія виступає як джерело зародження і поширення тріщин, що призводить до крихкого руйнування при звичайних температурах. Найбільш несприятливим є вплив σ -фази на межу міцності сталі при високих

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

температурах, де руйнування відбувається саме вздовж пластин σ -фази. Формування σ -фази відбувається при 600-850°C і є недопустимим через різке падіння ударної в'язкості металу.

Попередження окрихчування металу зварних з'єднань досягається шляхом скорочення часу перебування зварних з'єднань у температурному інтервалі окрихчування (мінімізація "замочування"), а також через регулювання хімічного складу та структури металу (зокрема, обмеження вмісту δ -фази).

Технологічні властивості феритних сталей при зварюванні часто оцінюють за ступенем впливу зварювального нагріву на значення температури переходу наведеношовного металу у крихкий стан ($T_{кр}$). Кількісна оцінка схильності зварних з'єднань до розтріскування може бути виконана методами механіки руйнування — за рівнем напруженого стану та розмірами дефекту.

Під впливом термічного циклу зварювання та інших високотемпературних операцій пластичність феритних сталей з початковою дрібнозернистою структурою різко знижується, і вони набувають дуже високої схильності до крихкого руйнування. Внаслідок зварювального впливу значення $T_{кр}$ для сталей 15X25T та 08X23C2Ю суттєво підвищуються — відповідно до 120 °C та 130°C, що значно перевищує звичайну температуру експлуатації.

Підігрів може мати негативний вплив на пластичність та ударну в'язкість наведеношовного металу з феритною структурою, оскільки він знижує швидкість охолодження і збільшує тривалість нагріву в критичному діапазоні температур, близьких до 475°C.

Натомість, пришвидшене охолодження (без впливу на рівень ударної в'язкості) підвищує пластичність сталі 15X25T зі структурою перегріву. Наприклад, відносне подовження зразків цієї сталі, нагрітих до 1400°C з наступним швидким охолодженням 100°C/с, склало 8% проти 0-2% у випадку повільного охолодження (2 та 10°C/с).. Пришвидшене охолодження найбільш суттєво підвищує пластичність сталі з низьким вмістом домішок

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

впровадження. Наприклад, у сталі типу 01X30, яка вміщає 0,008%С та 0,022%N, після високотемпературного зварювального нагріву та швидкого охолодження $\delta > 25\%$, $a_H > 2,8 \text{ МДж/м}^2$.

У зв'язку з неможливістю подрібнення структури феритних сталей методами термічної обробки, крихкість їхніх зварних з'єднань є незворотною. Термічна обробка, яка застосовується для зварних з'єднань феритного класу, позитивно впливає здебільшого на зниження рівня залишкових напружень. Відпал при 760°C є універсальним режимом для феритних сталей, оскільки при цій температурі відбувається практично повна релаксація залишкових напружень. Цей режим також доцільний для усунення сприйнятливості до міжкристалітної корозії (згідно з ГОСТ 6032-75).

Слід зазначити, що у разі застосування аустенітних електродів та зварювальних дротів метал шва зварних з'єднань зі звичайних та "чистих" за домішками сталей відрізняється високою пластичністю та ударною в'язкістю.

Гарячі тріщини при зварюванні

Гарячими тріщинами (ГТ) називають міжкристалічні руйнування металу зварного шва та зони термічного впливу, які виникають під впливом термодформаційного циклу зварювання у високотемпературному інтервалі. Цей інтервал, де метал має різко знижену пластичність, відомий як Температурний Інтервал Крихкості (ТІК).

Тріщини формуються внаслідок дії розтягувальних напружень, які виникають у зварному з'єднанні. Ці напруження спричинені нерівномірним розподілом температур та пружно-пластичними деформаціями під час кристалізації та охолодження.

Утворення гарячих тріщин зумовлене поєднанням двох факторів:

- Силовий фактор: Діючі напруження, що виникають внаслідок жорсткості вузла та нерівномірного нагріву/охолодження.

- Металургійний фактор: Низька пластичність металу, яка залежить від його хімічного складу, розміру та форми первинних кристалів, структурних складових, а також хімічної та фізичної мікронеоднорідності.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При зварюванні аустенітних сталей розрізняють два види гарячих тріщин:

1. Кристалізаційні тріщини: Утворюються в ТІК під час кристалізації металу.

2. Підсолідусні тріщини: Формуються при температурах, нижчих за температуру реального солідусу.

Схильність аустенітних сталей до ГТ визначається характером їхньої кристалізації, хімічним складом та властивостями металу. Для швів цих сталей типові великі кристаліти, товсті міжкристалітні прошарки та транскристалічний характер росту при багатшаровому зварюванні.

Попередження гарячих тріщин пов'язане з регулюванням силового та металургійного факторів. Ефективним засобом є регулювання структури металу шва. Варенстейном побудовано діаграму, яка показує, що високу схильність до гарячих тріщин має чисто аустенітний метал зі співвідношенням $Cr_{екв}/Ni_{екв} < 1,25$. Високу стійкість проти тріщин має метал шва з $1,45 < Cr_{екв}/Ni_{екв} < 2,0$, але при цьому з'являється небезпека утворення σ -фази.

Утворення гарячих тріщин залежить від ряду чинників:

- Ефективний інтервал кристалізації: Чим він ширший, тим сприятливіші умови для тріщиноутворення.

- Властивості материнської рідини: Чим нижча в'язкість рідини, що залишається на границях кристалітів, тим менша ймовірність тріщин, оскільки вона легше переміщується у міждендритні проміжки.

- Пластичність дендритного каркасу: Чим вищий запас пластичності каркасу в місцях зрощення кристалітів, тим нижча ймовірність виникнення ГТ.

- Силовий фактор, фізична та хімічна мікронеоднорідності, а також характер та протяжність міжзеренних меж.

Підсолідусні тріщини виникають на границях, які вже сформувалися у твердому металі, де спостерігається скупчення дефектів кристалічної будови або неметалічних включень та інтерметалідів. Наявність навіть невеликих концентрацій елементів, що різко знижують температуру солідусу, неминуче призводить до ГТ.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Стійкість швів аустенітних сталей проти ГТ залежить від величини первинних кристалітів. У двофазних швах їхній розмір значно менший, ніж у однофазних. Тому при оцінці впливу легуючого елемента на тріщиноутворення необхідно враховувати його дію на первинну структуру.

Титан (Ti), який часто присутній у хромонікелевих сталях, є сильним феритизатором і ефективно подрібнює первинну структуру швів. Однак слід враховувати, що Ti утворює з нікелем порівняно легкоплавку евтектику.

Методи запобігання ГТ розроблені на основі теорії їхнього утворення. Незалежно від виду тріщин, для їхнього попередження необхідні:

- Зменшення ТІК.
- Підвищення пластичності металу.
- Зниження темпу наростання деформації у ТІК.

Підвищення стійкості швів проти кристалізаційних тріщин досягається:

- Зниженням вмісту елементів і домішок, що утворюють легкоплавкі евтектики (S, P, Si, C, Nb тощо).

- Подрібненням та дезорієнтацією структури металу.

Зменшення величини первинних кристалів можна досягти шляхом:

- Зміни хімічного та фазового складу.
- Зміни характеру кристалізації та форми зварювальної ванни.
- Застосування електромагнітного перемішування, механічної вібрації, ультразвукових коливань.

- Створення центрів кристалізації (елементи-модифікатори, металічна крупка) та використання дрібнозернистого основного металу.

Для запобігання утворенню ГТ у металі шва рекомендуються такі заходи:

- підвищення чистоти основного металу і шва відносно шкідливих елементів в першу чергу від сірки (зазвичай її вміст має бути менше 0,03% мас, а іноді сумарний вміст сірки і фосфору не перевищує 0,04% мас);

- зварювання аустенітно-феритним швом;
- подрібнення первинних кристалів будь-яким іншим способом (введення інокуляторів, У.З.К. тощо);

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- при зварюванні чисто аустенітним швом заміна частини нікеля марганцем у співвідношенні 1%Ni на 2%Mn;
- підвищення пластичності металу в ТІК;
- зменшення жорсткості вузла;
- заходи щодо зменшення величини ТІК.

Максимальне підвищення стійкості аустенітних швів проти утворення гарячих тріщин забезпечується при наявності у них феритної складової, але наявність δ -фериту при зварюванні жароміцних сталей, що працюють при температурах 600...800°C може призвести до окрихчування. Тому однією із важливих задач є дослідження впливу кількості δ -фериту на стійкість проти гарячих тріщин та окрихчування, оскільки виробники електродів і зварювальних дротів пропонують матеріали з широкими інтервалами вмісту δ -фериту.

При необхідності зварювання однофазним аустенітним швом частину Ni заміняють Mn (виробники випускають електроди з вмістом Mn від 2% до 7%).

Попередження підсолідусних тріщин досягається:

- Легуванням металу елементами, що знижують дифузійну рухомість атомів або сприяють утворенню високотемпературних дисперсних фаз. Це запобігає формуванню та міграції міжзеренних меж при підсолідусних температурах.

- Зварюванням двофазними швами.
- Скороченням часу перебування металу при високих температурах.
- Підвищенням чистоти основного металу за домішками, атоми яких розміщуються між вузлами кристалічних ґраток.

Прикладання методів, які сприяють подрібненню кристалів та усуненню стовбурової структури, підвищує стійкість швів проти утворення гарячих тріщин. Одним з найбільш ефективних методів є отримання швів, які мають деяку кількість (~2-6%) первинного δ -фериту. Завдяки фериту змінюється схема кристалізації металу шва, зростає розчинність у ньому ліквуючих домішок, досягається подрібнення та дезорієнтація структури. Отримання

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист 26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

аустенітно-феритних швів досягається додатковим їх легуванням через електродним дріт, покриття або керамічний флюс елементами-феритизаторами (Cr, Si, Mo, V, Nb). При зварюванні тільки аустенітним швом частину Ni заміщають Mn. Для запобігання навколошовних гарячих тріщин необхідно підвищення чистоти металу.

Стійкість проти корозії

Стійкість проти корозії (як загальної, так і міжкристалітної) зварних з'єднань аустенітних сталей безпосередньо пов'язана з їхньою мікроструктурою. З огляду на призначення аустенітних сталей, критичне значення має їхня стійкість проти корозії під напруженням (КРН).

Процес КРН є результатом циклічного механоелектрохімічного ефекту в агресивних середовищах. У місцях поверхневих дефектів та ділянках концентрації напружень у зварних з'єднаннях починається утворення мікротріщин. При цьому виникає мікрокорозійна пара:

- Анод: Вершина тріщини.
- Катод: Решта поверхні, захищена оксидною плівкою.

Продукти корозії, накопичуючись на аноді, закупорюють тріщину та спричиняють її розклинення.

Стійкість до КРН визначається зв'язком між руйнуючим напруженням (σ) та часом до руйнування. Напруження $\sigma_{кр}$ є межею тривалої корозійної стійкості матеріалу. Це напруження, вище якого час до руйнування різко скорочується.

Зварні з'єднання аустенітних сталей можуть піддаватися КРН у різноманітних середовищах: водних розчинах хлористих солей, лужних розчинах, окислювальних розчинах HNO_3 та деяких азотнокислих солей, а також у паровій фазі.

Найвищу схильність до КРН мають зварні з'єднання аустенітних хромонікелевих сталей типу 18-10, 17-13-2 та хромонікельмарганцева сталь. На противагу цьому, феритні та аустенітно-феритні корозійностійкі сталі та їхні зварні з'єднання демонструють високу стійкість проти КРН. Крім того,

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

зростання вмісту Нікелю (Ni) в аустенітних сталях також підвищує стійкість до цього типу руйнування.

Міжкристалітна корозія (МКК)

Для хромонікелевих аустенітних сталей, що експлуатуються в агресивних середовищах, життєво важливою є стійкість металу шва проти загальної та, особливо, міжкристалітної корозії (МКК).

Найпоширенішою є карбідна теорія МКК, яка пояснює причини її виникнення. Аустеніт є твердим розчином різних елементів у залізі, але Вуглець (C) не може повністю розчинитися в ньому.

- При вмісті C в сталі понад 0.03% і швидкому охолодженні з високих температур C фіксується у вигляді пересиченого твердого розчину.
- При подальшому нагріванні сталі до критичних температур (500-800°C), надлишковий C виділяється по границях зерен у вигляді складних карбідів Заліза та Хрому.
- Це виділення призводить до зменшення вмісту Хрому в прикордонних зонах зерен до 12% і нижче. Такий вміст стає недостатнім для забезпечення необхідної корозійної стійкості металу.

Через різний вміст Cr у центрі та на границях аустенітних зерен, такий метал, контактуючи з агресивним середовищем (електролітом), перетворюється на систему гальванічних мікропар:

- Катоди: Карбіди та тіло зерна.
- Аноди: Збіднені хромом прикордонні прошарки.

Руйнування анодних прошарків відбувається досить швидко, спричиняючи міжкристалітну корозію.

Ймовірність появи схильності аустенітної сталі до МКК зростає пропорційно тривалості перебування металу в інтервалі критичних температур та підвищенню вмісту C.

Відновлення стійкості (імунізація) можливе після тривалої витримки в критичному інтервалі або відпалу при 850°C, коли хром дифундує з центральних зон у збіднені. Також сталь стає несприйнятливою до МКК після

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист 28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

гартування у воді або на повітрі від температур 1050-1100°C. Це пояснюється тим, що при такому нагріванні карбіди хрому повністю розчиняються в аустеніті, а швидке охолодження їх фіксує.

На основі цієї гіпотези розроблено три основні методи підвищення стійкості аустенітних сталей проти МКК:

- Зменшення вмісту Вуглецю: Зниження вмісту С у металі до 0.02-0.03% (що відповідає межі його розчинності в аустеніті).
- Стабілізація сталей: Введення карбідоутворюючих компонентів (наприклад, Титан, Ніобій, Тантал), які мають вищу спорідненість до С, ніж хром.
- Імунізаційний відпал зварного з'єднання.

При розробці технології зварювання хромонікелевих сталей та виборі зварювальних матеріалів необхідно обов'язково визначити стійкість зварного з'єднання як проти загальної, так і проти міжкристалітної корозії.

Особливості зварювання хромонікелевих аустенітних сталей

Особливості зварювання однорідних сталей

Вибір методу зварювання та зварювального матеріалу визначається необхідністю отримання безобдефектного металу шва, властивості якого мають відповідати умовам експлуатації конструкції.

Через підвищену схильність аустенітних швів до гарячих тріщин, їхню низьку корозійну стійкість та труднощі легування елементами, що легко окиснюються (Al, Ti тощо), часто використовують зварювальні матеріали, які забезпечують відмінний хімічний склад металу шва від зварюваного основного металу.

При зварюванні сталей з великим запасом аустенітності, висока тріщиностійкість досягається за допомогою:

- Додаткового легування швів елементами Mn, Mo, N.
- Обмеження вмісту шкідливих домішок (S до 0.010%, P до 0.01%, Si до 0.2-0.3%).
- Виключення зі складу Ti, Nb, Al.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В окремих випадках застосовується композитний багатошаровий метал шва з різною структурою та складом. У цій схемі 70-80% перерізу шва (так звані "несучі" шари) виконуються матеріалами, які забезпечують аустенітно-феритну структуру та відрізняються за хімічним складом від сталі. Решта шва, звернена до агресивного середовища, виконується матеріалами, що мають близький хімічний склад до зварюваної сталі.

Специфічні фізичні властивості високолегованих аустенітних сталей, які впливають на процес зварювання, включають: знижену температуру плавлення, низьку теплопровідність, а також високі показники електроопору та коефіцієнта лінійного розширення.

У зв'язку з цими особливостями, при дуговому зварюванні корозійностійких сталей зварювальний струм зазвичай знижують на 10-30% порівняно зі зварюванням вуглецевих сталей. При цьому враховують тип з'єднання, форму розділу кромки, якість складання, наявність підкладки та просторове положення шва.

На противагу цьому, при контактноточковому та шовному зварюванні застосовують більш жорсткі режими (нижчі за струмом, але вищі за зусиллям на електродах).

У більшості випадків післязварювальна термообробка не вимагається. Її застосовують лише тоді, коли зварні з'єднання демонструють схильність до міжкристалітної (МКК) або ножової корозії, або якщо вироби призначені для експлуатації в умовах, що можуть спричинити корозійне розтріскування.

Основною термічною обробкою є гартування: нагрів до 1050-1100°C, витримка 1-1.5хв на 1мм товщини листа та подальше охолодження у воді або на повітрі. Це забезпечує отримання однорідного твердого розчину.

Стабілізуючий відпал (нагрів до 850-920 °C, витримка 2-4год та охолодження на повітрі) проводять для запобігання схильності стабілізованих сталей до ножової МКК, якщо вироби експлуатуються при температурі вище 350°C або в середовищах, що викликають корозійне розтріскування. В останньому випадку застосовують повільне охолодження.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Корозія зварних з'єднань може бути рівномірною або зосередженою. До зосередженої корозії відносяться: міжкристалітна, структурно-вибіркова, щілинна, ножова та точкова.

Міжкристалітна корозія (МКК) є найбільш небезпечним видом корозійного руйнування. Для підвищення стійкості зварних з'єднань аустенітних сталей проти МКК застосовують такі способи:

1. Зменшення вмісту Вуглецю (C) до 0.03 у сталі та швах (використання низьковуглецевих сталей і відповідних матеріалів).
2. Стабілізація за допомогою карбідоутворювачів (легування металу шва Ti, Nb чи V).
3. Створення двофазної аустенітно-феритної структури (додаткове легування металу шва елементами-феритизаторами).
4. Застосування високих швидкостей охолодження металу в критичному інтервалі температур 500-800 °C при зварюванні (обмеження струму, використання ниткових валиків, примусове охолодження).
5. Введення гомогенізуючої термообробки (гартування) або стабілізуючого відпалу для стабілізованих сталей.

Хромонікелеві сталі знаходять широке застосування у різних галузях промисловості, у тому числі хімічному машинобудуванні та суднобудуванні. Вище були показані переваги та недоліки однофазних феритних та аустенітних сталей, зокрема схильність феритних сталей до окрихчування внаслідок 475-градусної крихкості та сигматизації при 700-850°C, а також схильність аустенітних сталей до утворення гарячих тріщин.

Кількість аустенітної та феритної фаз у сталях цього класу зазвичай коливається у межах 40-60%, хоча в деяких марках може становити 20-70%.

Встановлено, що чим більший вміст δ -фериту, тим вища схильність до окрихчування і тим менший час витримки необхідний для його настання. Схильність до сигматизації посилюють елементи у такому порядку: Si, Mo, V, Nb, Al, Ti, Cr. Гартування від 1100 °C відновлює первинну пластичність сталі.

Аустенітно-феритні сталі можна зварювати як ручним та механізованим електродуговим зварюванням, так і іншими високотехнологічними методами (електронно-променевим, електрошлаковим, плазмово-дуговим). Пріоритетними є способи зварювання з невисокими погонними енергіями. Техніка та режими зварювання не відрізняються від загальноприйнятих для всього класу нержавіючих сталей.

Підготовка кромок під усі види зварювання має виконуватися механічним способом, щоб виключити утворення зон термічного впливу (ЗТВ), які могли б знизити регламентовані властивості зварних з'єднань.

Зварювальні матеріали підбираються за принципом близького хімічного складу до основного металу.

Шви, виконані вказаними матеріалами, також мають аустенітно-феритну структуру. Кількість феритної фази у швах становить 15-60 % і залежить від зварювальних матеріалів, частки участі основного металу у формуванні шва та коливань хімічного складу в межах марки. Найвищий вміст фериту спостерігається при автоматичному зварюванні під флюсом встик без розділу кромок дротом.

Високий вміст фериту забезпечує швам високу стійкість проти утворення гарячих тріщин. Зміна феритної фази у шві за рахунок легування та термообробки призводить до суттєвого підвищення його механічних властивостей.

Специфічні фізичні властивості аустенітних хромонікелевих сталей, такі як низькі температури плавлення і теплопровідність, а також високий електроопір та температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), обумовлюють особливості їхнього зварювання.

При зварюванні виробів, що працюють в агресивному середовищі, до яких висуваються вимоги стійкості до МКК, шар шва, звернений до агресивного середовища, повинен виконуватися останнім.

Оскільки аустенітно-феритні сталі схильні до окрихчування в інтервалах 450-500°C та 650-800°C, при їх зварюванні особлива увага приділяється

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

суворому дотриманню режимів зварювання та охолодження. При зварюванні металу товщиною 16-20мм рекомендовано обробляти межу швів з основним металом аргонодуговим зварюванням. Місцевий нагрів ділянки крупного зерна ЗТВ до розплавлення, здійснюваний цим способом з малою погонною енергією 4200 Дж/см, призводить при охолодженні до утворення дрібнозернистої феритної структури з аустенітними прошарками по границях зерен. Така структура є більш пластичною, ніж крупнозернистий ферит, отриманий у ЗТВ, та більш корозійностійкою.

При співвідношенні аустенітної та феритної фаз, близькому до одиниці (40-60% δ -фази), шви є стійкими як до МКК, так і до структурно-вибіркової корозії. Це пояснюється тим, що розміри зерен фериту та аустеніту приблизно однакові, а хімічна неоднорідність по Cr та Ni між фазами мінімальна. При зменшенні кількості аустенітної фази до 20% і менше, у металі проявляється схильність до МКК. Відпуск зварних з'єднань при 850 °C запобігає МКК.

Структурно-вибіркова корозія пояснюється різницею електродних потенціалів аустеніту та фериту, а також різницею поверхонь фаз, що контактують з агресивним середовищем. В окислювальних середовищах (наприклад, азотна кислота) корозійна стійкість фаз залежить головним чином від вмісту Cr, а в неокислювальних (розчини сірчаної кислоти) — від вмісту Ni та Mo. За погіршення корозійної стійкості аустенітно-феритного металу завжди відповідає аустенітна фаза.

У зварних з'єднаннях аустенітно-феритних сталей завжди присутні ділянки (шов, ЗТВ, основний метал), які відрізняються за електродним потенціалом, утворюючи багатоелектродну систему. Переважному розчиненню піддається та частина системи, яка має найбільш негативний електродний потенціал (анод) у даному електроліті.

Встановлено негативний вплив Si та V у зварному шві на корозійну стійкість в окиснювальних середовищах. Тому при виборі присадного матеріалу необхідно прагнути не тільки до рівності механічних властивостей

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

і стійкості проти МКК, але й до рівності загальної корозійної стійкості металу всіх ділянок зварного з'єднання.

Слід враховувати вплив карбідоутворюючих елементів (Ti та Nb) на властивості швів, оскільки для забезпечення стійкості проти МКК при вмісті $C > 0.07\%$ необхідна стабілізація.

Слід особливо відзначити дуплексні сталі, леговані Азотом (N). N частково замінює Ni, але його головна перевага — подрібнення структури металу, підвищення стійкості проти росту зерен та окрихчування.

Особливості зварювання різнорідних сталей

При зварюванні різнорідних (гетерогенних) сталей виникає низка специфічних труднощів, пов'язаних з відмінностями у властивостях з'єднуваних металів:

- Зміна структури та структурна неоднорідність: Головна проблема полягає у зміні структури в зоні сплавлення та утворенні різкої структурної неоднорідності.

- Стрибок напружень: Різниця в коефіцієнтах лінійного термічного розширення (КЛТР) призводить до виникнення значних залишкових напружень у зоні сплавлення.

- Нестабільність структури: Виникає при повторному нагріванні вище 350°C .

Через ці фактори різнорідні з'єднання класифікують залежно від робочої температури експлуатації:

До різнорідних з'єднань також відносять зварювання двошарових (біметалевих) сталей.

Двошарові сталі широко застосовуються у якості корозійностійких матеріалів у хімічному та нафтохімічному виробництві.

- Облицювальний (плакуючий) шар виготовляють з високолегованих аустенітних сталей X18H10T, X18H12T, X17H13M2T, X23H28M3Д3T та інші хромисті типу 0X13.

- Основний (несучий) шар виготовляють зі звичайних вуглецевих сталей (типу Вст3) або якісних легованих сталей (наприклад, 10, 15ХМ).
- Облицювальний шар зазвичай розташований всередині корпусної апаратури або труби, контактуючи з агресивним середовищем.

Зварювання двошарових сталей виконують окремо. Основний шар зварюють за звичайною технологією для даної конструкційної сталі. Корозійностійкий шар зварюють за один або декілька проходів, залежно від його товщини.

Для забезпечення мінімального розбавлення аустенітного та неаустенітного металів у перехідній зоні, зварювання виконують із застосуванням заходів, що забезпечують найменше проплавлення підлеглого шару. До таких заходів відносяться:

- Зварювання здвоєним або стрічковим електродом.
- Зварювання "на спуск".
- Використання пемзоподібного флюсу.
- Зварювання постійним струмом прямої полярності.

При зварюванні товстого біметалу, щоб уникнути утворення у перехідній зоні металу зі зниженою пластичністю (наприклад, з мартенситною структурою), застосовується наплавка розподільчого шару. Це може бути виконано:

- Дротом з низьковуглецевого армко-заліза або Св-08 у поєднанні з сильно окиснювальним флюсом.
- Аустенітним дротом Св-10Х16Н25АМ6 або електродами типу ЭА-3М6.

Обладнання з двошарових сталей, як правило, термічно не обробляють. Якщо термообробка необхідна, її виконують з урахуванням забезпечення необхідної корозійної стійкості облицювального шару.

Висновки та завдання кваліфікаційної роботи

За результатами матеріалу, викладеному у даному розділі можна зробити наступні висновки.

1. Аналіз призначення та умови експлуатації ємності показав, що його можна віднести до циліндричних посудин з середньою товщиною стінки, які працюють при незначному надлишковому внутрішньому тиску, але являє собою відповідальну зварну конструкцію.

2. Зварні з'єднання ємності є простими та легко доступними, що забезпечує можливість їх виконання механізованим та автоматичним зварюванням.

3. Розглянуті альтернативні варіанти технологій зварювання та складання ємності показали, що принципова послідовність робіт може бути використана при розробці удосконаленої технології виготовлення ємності для цукрового сиропу.

4. Показана можливість удосконалення конструкції зварних з'єднань резервуару, яка дозволить підвищити продуктивність і якість зварювання та знизити технологічну собівартість складально-зварювальних робіт.

Актуальність матеріалу

Хромонікелеві аустенітні сталі, є оптимальним вибором для виготовлення ємностей у харчовій промисловості (зокрема, для цукрового сиропу). Їхня придатність зумовлена високою корозійною стійкістю, задовільною зварюваністю, гігієнічністю та широким робочим діапазоном температур (від -190 до +600 °C). Корозійна стійкість забезпечується утворенням пасивної плівки оксиду хрому (Cr_2O_3).

2. Ключові виклики зварювання

Основними технологічними викликами при зварюванні сталі AISI 304 є:

- Забезпечення стійкості проти гарячих тріщин (ГТ).
- Запобігання окрихчуванню через утворення крихких фаз (зокрема σ -фази) та контроль вмісту δ -фериту.

- Запобігання міжкристалітній корозії (МКК), оскільки AISI 304 є нестабілізованою сталлю з низьким вмістом вуглецю.

Завдання кваліфікаційної Роботи

На основі отриманих висновків та аналізу проблем формуються конкретні завдання, які мають бути вирішені в рамках подальшої кваліфікаційної роботи для розробки повноцінної технології:

- Розробити технологію автоматичного зварювання елементів ємності з аустенітної сталі AISI304, що забезпечує мінімізацію корозійних дефектів, запобігання гарячим тріщинам та підвищення якості зварних з'єднань.
- Обґрунтувати вибір оптимальних методів зварювання для кільцевих, поздовжніх швів та приварювання патрубків, з урахуванням вимог до корозійної стійкості, структурної цілісності та продуктивності.
- Провести комплексний контроль якості зварних з'єднань, включаючи металографічний аналіз (на оптичному мікроскопі Неофот 21), випробування на ударну в'язкість (на копрах КМ-30, зразки Шарпі/Менаже).
- Сформувати структурну схему механізованого технологічного процесу виготовлення ємності, вибрати зварювальні матеріали, обладнання та допоміжну технологічну оснастку.
- Спроекувати механізовану ділянку складання і зварювання ємностей, основних складально-зварювальних операцій та розробку технологічного плану розміщення обладнання.
- Розробити детальні заходи з охорони праці та техніки безпеки при виконанні зварювальних робіт з нержавіючими сталями.
- Обґрунтувати заходи щодо охорони навколишнього середовища
- Виконати розрахунок собівартості виробництва ємності та економічне обґрунтування запропонованих технологічних рішень і модернізації.

					КР.131.6121м.05.01.07.ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				Лит.	Лист	Листів
Разраб.								Лит.	Лист	Листів
Перевір.										
Н. Контр.					НУК, гр.					
Утв.										

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИРОБНИЦТВА ЄМНОСТІ

2.1. Технічні вимоги до складання та зварювання ємності

2.1.1. Технічні вимоги до виробу

Для виготовлення ємності з нержавіючої сталі були встановлені наступні технологічні умови:

- а) ємність збирається і зварюється за зварювальних стендах;
- б) допускається підгонка деталей перед зварюванням;
- в) відхилення висоти верхнього та нижнього донця на ± 5 мм;
- г) зварювати механізованим зварюванням у захисному газі та автоматичним під флюсом;
- д) частини горловини, люка та опор заздалегідь вирізаються на машині плазмового різання металу та складаються на складально-зварювальному стенді.

2.1.2. Вимоги до виконання складання, зварювання та вибір способів зварювання ГОСТ 8713

Для виготовлення ємності з нержавіючої сталі були встановлені наступні технічні умови для складання та зварювання:

- а) увесь листовий метал, так само як і труби та інші деталі ємності підлягають вхідному контролю;
- б) якість листового металу, труб та інших деталей ємності має бути підтверджена сертифікатами заводів-виробників;
- в) підготовка кромки до зварювання виконується згідно ГОСТ 14771-76;
- г) безпосередньо перед зварюванням кромки на ширині 15-20 мм від стику зачищаються металевою щіткою і знежирюються ацетоном;
- г) зварювання проводиться апаратом для механізованого аргондугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC та зварювальною системою SUBARC на колоні зварювальній колоні СВ-MATIC.
- д) усі зварні з'єднання листової сталі виконуються стиковим з'єднанням С2 відповідно ГОСТ 14771-76 ;

е) усі зварні з'єднання листової сталі з патрубками виконуються тавровим з'єднанням Т6 відповідно ГОСТ 14771-76 ;

є) перед складанням труб необхідно очистити внутрішню поверхню труб від забруднень, а також механічно очистити до металічного блиску кромки та прилеглої до неї внутрішню та зовнішню поверхню труб на ширину не менш 10 мм. Слідую перевірити якість зачистки зовнішньої та внутрішньої поверхонь зварюваних торців .

2.1.3. Технічні вимоги до матеріалів

Для виготовлення ємності з нержавіючої сталі встановлені наступні технічні умови для матеріалів:

а) усі зварювальні матеріали підлягають вхідному контролю;

б) обичайка, люк, верхнє та нижнє донця виготовляються зі сталі AISI321;

в) патрубки для заповнення та зливу продукту виготовляються зі сталі AISI304;

г) якість матеріалів має бути підтверджена сертифікатами заводу-виробника;

г) для зварювання сталі AISI304 використовується присадний дріт ER308LSi та дріт ER321.

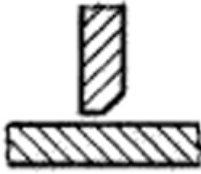
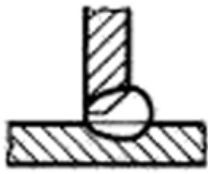
д) механізоване зварювання виконувати в захисному газі Суміші Аргон + Водень (Ar+H₂) та неплавким вольфрамовим електродом WC-20 (сірий).

е) автоматичне зварювання виконувати під флюсом OK Flux 10.92.

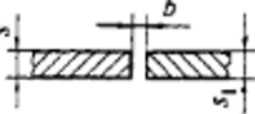
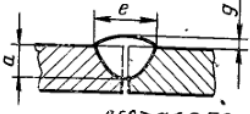
2.2. Розрахунок режимів зварювання

З метою отримання якісного зварного шва, що відповідає вимогам експлуатаційної надійності, використано з'єднання **C47** та **T6** які показані в таблиці 2.1 та таблиці 2.2. Застосування даних типів швів дозволяє оптимізувати витрати зварювальних матеріалів при забезпеченні необхідної глибини проплавлення та механічних властивостей зварного з'єднання.

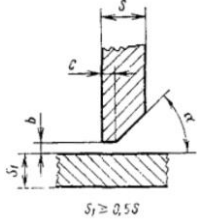
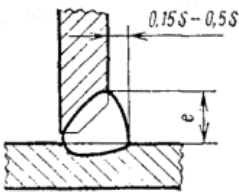
Таблиця 2.1. Стикові з'єднання

Вид з'єднання	Форма підготовлених кромок	Характер виконаного шва	Форма поперечного січення		Межі товщин деталей, мм	Умове позначення
			Підготовлених кромок	Виконаного шва		
стикове	Без скосу кромок	Односторонній			2,0-12,0	C-47
таврове	зі скосом однієї кромки	Односторонній			3-10	T6

Таблиця 2.2. Конструктивні елементи зварних з'єднань, їх розміри та граничні відхилення по них

Умове позначення	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	$S=S_1$	b		e, не більше	g	
	підготовлених кромок зварюваних деталей	шва зварного з'єднання			Номінальне	Граничне відхилення		Номінальне	Граничне відхилення
C47		 $0,6S \geq a \leq 0,7S$	АФ МФ	СВ 5 до 6	0	+1,0	14	2,0	+1,0
				СВ 6 до 8					-1,5

Продовження таблиці 2.2. Конструктивні елементи зварних з'єднань, їх розміри та граничні відхилення по них

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	s	b		c		e		α, град. (гран відх. 2°)
	підготовлених кромок зварюваних деталей	шва зварного з'єднання			Номинальне	Граничне відхилення	Номинальне	Граничне відхилення	Номинальне	Граничне відхилення	
Т6			ІНп	3,0-4,0	0	+1	1	±1,0	+7	±2	55
				4,5-6,0					+10		
				7,0-10,0					+16		

Для стикового з'єднання С47 під флюсом режим зварювання розраховуємо за глибиною проплавлення, за схемою:

$$s \rightarrow h \rightarrow I_{зв} \rightarrow U_d \rightarrow d_e \rightarrow F_n \rightarrow V_{зв} \rightarrow V_{оп}$$

Необхідна глибина провару h , мм

$$h = s \pm (1 \dots 3), \quad (2.9)$$

Зварювальний струм:

$$I_{зв} = \frac{100h}{k_1} \quad (2.10)$$

Напруга на дузі для зварювання під флюсом

$$U_d = 20 + \left(\frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \right) \times I_{зв} \pm 1B, \quad (2.2)$$

де d_e – діаметр електрода, мм.

Діаметр зварювального дроту:

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{I_{зв}}{\pi \cdot j}}, \quad (2.11)$$

де j – густина струму, яка залежить від діаметра дроту.

Напругу на дузі розраховуємо за формулою (2.2)

Площу наплавлення (мм²) за один прохід визначають з геометрії з'єднання. Для з'єднання С2

$$F_H = h \times b + 0,75 \cdot e \cdot g \quad (2.12)$$

де g – висота опуклості зварного шва, e – ширина шва, b – ширина зазору, h – глибина проплавлення.

Швидкість зварювання $V_{зв}$ (см/с) розраховується за формулою

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H I_{зв}}{36 \gamma F_i} \quad (2.3)$$

де α_H - коефіцієнт наплавлення ($\alpha_H = 12$ г/А·год); F_i - площа шару, наплавленого за один прохід (мм²); γ – щільність металу електродного дроту ($\gamma = 7,9$ г/см³).

Продуктивність наплавлення, кг/год

$$G_H = \alpha_H I_{зв} 10^{-3}, \quad (2.8)$$

Розрахуємо режими зварювання за глибиною проплавлення для з'єднання С2 ($s = 6$ мм)

$$h = s + 1 \text{ мм};$$

Зварювальний струм

$$I_{зв} = \frac{100 \times 7}{1,45} = 483 \text{ А}.$$

Діаметр зварювального дроту

$$d_e = 2 \sqrt{\frac{483}{3,14 \times 90}} = 2,62 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_e = 3$ мм.

Напруга на дузі

$$U_d = 20 + \left(\frac{50 \times 10^{-3}}{\sqrt{3}} \right) \times 483 = 34 \pm 1 \text{ В}.$$

Приймаємо $U_d = 34$ В.

Площа наплавленого металу:

$$F_H = 6 \times 1 + 0,75(3 \times 11) = 30,75 \text{ мм}^2.$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{12 \times 483}{36 \times 7,9 \times 0,31} = 0,66 \text{ см/с} = 23,76 \text{ м/год}.$$

Швидкість подачі дроту

$$V_{пд} = \frac{4 \times 14 \times 483}{3,14 \times 1^2 \times 7,9} = 109 \text{ м/год}.$$

Погонна енергія

$$q_{\text{п}} = \frac{483 \times 34 \times 0,85}{0,66} = 21149 \text{ Дж/см.}$$

Продуктивність наплавлення

$$G_{\text{н}} = 12 \times 483 \times 10^{-3} = 5,8 \text{ кг/год.}$$

Результати розрахунків зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Розрахункові режими зварювання

Тип з'єднання ГОСТ 14771-76	Спосіб зварювання	Параметри режимів зварювання						
		$d_{\text{е}}$, мм	$I_{\text{зв}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	$V_{\text{зв}}$, м/год	$V_{\text{пд}}$, м/год	$q_{\text{п}}$, Дж/см	Витрати газу та флюсу, л/хв, кг/год
T6	TIG	3	100	14	10	-	3000	7...9
C47	Автоматична під флюсом	3	483	34	23,76	109	21149	6,38

2.3. Зварювальне обладнання та оснастка

Технологічний процес виготовлення ємності для цукрового сиропу передбачає використання високопродуктивного зварювального обладнання та спеціалізованої оснастки, що забезпечує необхідну якість зварних швів, мінімізацію деформацій та підвищення загальної ефективності виробництва. Комплекс обраних засобів поділяється на зварювальне обладнання (джерела енергії та подачі матеріалів) та технологічну оснастку (пристрої для позиціонування та автоматизації).

2.3.1. Основне зварювальне обладнання

Апарат аргонодугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC

Jasic TIG-315P AC/DC (20299) - це професійний зварювальний інвертор високої потужності для аргонодугового та ручного дугового зварювання. Він розрахований на зварювання широкого спектру матеріалів, в тому числі і алюмінію та подібних йому, з оксидною плівкою на поверхні металу.



Рис. 2.1 Апарат аргонодугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC

Доступні режими зварювання:

- аргонодугове на постійному (TIG DC) і на змінному струмі (TIG AC)
- аргонодугове з пульсацією на постійному струмі (TIG DC Pulse) і на змінному струмі (TIG AC Pulse)
- аргонодугове зі змінним типом хвилі (TIG MIX)
- ручне дугове на постійному (MMA DC) і на змінному струмі (MMA AC)

Переваги апарату TIG-315P AC/DC:

- мультифункціональність (кілька видів зварювання в одному апараті)
- можливість зберегти власні режими зварювання
- керований спосіб підпалювання дуги (ВЧ / Доторком)
- вибір способу дистанційного керування (педаль / блок керування пальника)
- 4 режими роботи обладнання (2Т / 4Т / Повтор / Точками)

- повна комплектація (апарат, пальник, блок охолодження, візок, клема маси).

Одна з переваг Jasic TIG-315P AC/DC (20299) – це наявність у комплекті постачання блоку охолодження пальника та візка з підставкою під балон захисного газу. Купуючи такий повний комплект покупець отримує мобільний зварювальний пост, який легко транспортувати і який повністю готовий до роботи.

Панель керування апаратом Jasic TIG-315P AC/DC (20299) в повній мірі відображає його широкий потенціал і можливості. На два цифрових дисплеї виводяться значення характеристик, доступних для налаштування, та дані щодо доступу до режимів зварювання, записаних у пам'яті апарату. Керування налаштуванням процесу зварювання винесене у циклограми: основну для налаштування аргонодугового зварювання та додаткову для ручного дугового зварювання.

Таблиця 2.2. Характеристики апарату аргонодугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC

Бренд	Jasic
Вид зварювання/різання	MMA TIG
Тип зварювального струму	AC/DC
Напруга мережі живлення	380 В ± 15% (3 фази)
Зварювальний струм TIG (min)	10
Зварювальний струм TIG (max)	315
Діаметр електрода TIG (min)	1.0 мм
Діаметр електрода TIG (max)	4.0 мм
Напруга холостого ходу	76 В
ПВ (40 °С)	30 %
Зварювальний струм (ПВ 100%)	170 А
Споживана потужність (повна)	9 кВт
Споживана потужність (активна)	6.3 кВт
Спосіб збудження дуги	високочастотний

Час продування газом після зварювання	5 - 15 с
ККД	80 %
Клас ізоляції	F
Ступінь захисту	IP23S
Коефіцієнт потужності (cos φ)	0.7

Зварювальна система SUBARC

SUBARC заснований на сучасних технологіях, які надають споживачам найбільш потужне інверторне джерело струму AC/DC для зварювання під флюсом у різних конфігураціях. Ця система ідеально підходить для широкого спектру промислових застосувань, де потрібні довгі, високоякісні шви на важких металоконструкціях. Вона чудово справляється зі зварюванням стикових, кутових та напусткових з'єднань на пластинах товщиною від 2.5 мм.



Рис. 2.2. Зварювальна система SUBARC

Зварювальна система **SUBARC** — це високоефективне рішення, яке забезпечує стабільність параметрів зварювання та значно підвищує продуктивність завдяки автоматизації процесу. Вона є надійним інструментом для великомасштабних зварювальних робіт.



SUBARC поєднується з різними зварювальними головками і додатковим обладнанням, стеженням за швом, відеосистемами і т. п.

Таблиця 2.3. Основні параметри **SUBARC**, які визначають можливості системи

Характеристика	Значення
Процес зварювання	Дугове зварювання під флюсом
Напруга живлення, В	380 × 3ф
Номінальна споживана потужність, кВт	Від 41 до 68
Межі регулювання зварювальної напруги, В	10...50
Напруга холостого ходу, В	не більше 100
Вхідна напруга, Гц	50/60
Діапазон регулювання зварювального струму, А	60–1000
Діапазон діаметрів дроту	від 2.0 мм до 4.0 мм
Діапазон швидкості подачі дроту	від 2.5 до 10.2 м/хвилину
Місткість бункера для флюсу	6.8 кг
Максимальний розмір котушки з дротом	27.2 кг
Вага нетто	55кг для стандартної моделі

2.3.2. Зварювальні матеріали

Зварювальний присадковий пруток ER308LSI

ER308LSI — це зварювальний дріт на хромонікелевій основі, що відзначається високою корозійною стійкістю. Він застосовується для зварювання нержавіючих аустенітних сталей із вмістом хрому (~18%) і нікелю (~9%). Використовується для напівавтоматичного або аргонодугового зварювання на постійному струмі з аргоном як захисним газом.

Температура експлуатації з'єднань — до 350°C, а також можливе використання в кріогенному обладнанні при температурах до -269°C. Не рекомендується застосовувати в середовищах із високим вмістом сірки.

Область застосування: Дріт ER308LSI широко використовується в хімічній, нафтопереробній і харчовій промисловості для монтажу трубопроводів, виробництва резервуарів, а також у машинобудуванні.

Хімічний склад:

- Вуглець: не більше 0,06%
- Кремній (Si): 0,50–1,00%
- Марганець (Mn): 1,00–2,00%
- Хром (Cr): 18,00–20,00%
- Нікель (Ni): 8,00–10,00%
- Молібден (Mo): не більше 0,25%
- Титан (Ti): не більше 0,20%
- Сірка (S): не більше 0,018%
- Фосфор (P): не більше 0,025%
- Мідь (Cu): не більше 0,25%

Технічні характеристики:

- Межа плинності: 390 МПа
- Межа міцності: 600 МПа
- Відносне подовження: 34%

Відповідність стандартам:

- ГОСТ 2246-70 (марка СВ-04Х19Н9)

- AWS A5.9 (марка ER308)
- DIN: 1.4302
- EN ISO 14343-A (марка G19 9L)

Дріт зварювальний нержавіючий ER321

Дріт зварювальний нержавіючий ER321 (діаметр 2мм)- це стійкий до проявів корозії хромонікелевий зварювальний дріт рядного намотування, що застосовується для зварювання конструкцій з нержавіючих сталей, які містять в складі до 18% хрому (Cr) і до 8% нікелю (Ni).

Хімічний склад дроту:

- 18.00 - 20.00% - хром (Cr)
- 8.00 - 10.00 - нікель (Ni)
- 1.00 - 2.00% - марганець (Mn)
- 0.40 - 1.00% - кремній (Si)
- не більше 0.25% - молібден (Mo)
- 0.50 - 1.00% - титан (Ti)
- не більше 0.025% - мідь (Cu)
- не більше 0.08% - вуглець (C)
- не більше 0.015% - сірка (S)
- не більше 0.03% - фосфор (P)

OK Flux 10.92

Для забезпечення високої якості зварних з'єднань обрано агломерований флюс OK Flux 10.92, який спеціально розроблений для автоматичного зварювання нержавіючих сталей аустенітного класу. Цей флюс практично не змінює хімічний склад наплавленого металу (не легує його кремнієм та марганцем), що дозволяє максимально точно переносити легуючі елементи з дроту в шов і забезпечувати високу корозійну стійкість.

Флюс характеризується відмінними зварювально-технологічними властивостями: стабільним горінням дуги, легким відокремленням шлакової

					КР.131.6121м.05.03.07.ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

кірки навіть у вузьку обробку та гладким формуванням валика шва. Завдяки своїй хімічній нейтральності, він ідеально підходить для багатопрохідного зварювання виробів будь-якої товщини, гарантуючи отримання металу шва з високими пластичними характеристиками та стійкістю до міжкристалітної корозії.

Важливою перевагою OK Flux 10.92 є його здатність забезпечувати чистоту металу шва від неметалевих включень, що є критичним для харчових ємностей. Флюс однаково ефективно працює як на постійному, так і на змінному струмі, що дозволяє гнучко підбирати режими зварювання для досягнення оптимальної глибини проплавлення та швидкості процесу. Хімічний склад флюсу OK Flux 10.92 наведено в табл. 3.3.

Таблиця 2.4. Хімічний склад флюсу OK Flux 10.71

Хімічні сполуки	SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂
%	35	30	20	10

Ці компоненти формують шлакову систему, яка забезпечує захист розплавленого металу, стабілізацію дуги та формування шва.

Отже, використання флюсу OK Flux 10.92 є доцільним, бо він є технологічно досконалим, спеціалізованим матеріалом, який дозволяє отримати зварний шов з прогнозованим хімічним складом (завдяки хромокомпенсації) та високими експлуатаційними характеристиками, що відповідають вимогам до виробів із нержавіючої сталі AISI 304.

Захисний газ для механізованого TIG-зварювання нержавіючої сталі товщиною 6 мм

Вибір оптимального захисного газу (або газової суміші) є критично важливим аспектом технологічного процесу TIG (Tungsten Inert Gas) зварювання, який безпосередньо впливає на якість зварного шва, продуктивність процесу та механічні властивості кінцевого виробу. Для зварювання аустенітних нержавіючих сталей значної товщини (наприклад, 6

мм) існує кілька підходів, але найбільш ефективним для механізованого процесу є використання спеціалізованої двокомпонентної суміші.

Традиційно для TIG-зварювання нержавіючої сталі використовують чистий аргон. Однак для підвищення ефективності зварювання товстостінних конструкцій застосовують суміші з додаванням інших газів.

Суміші Аргон + Водень ($Ar+H_2$): Ця суміш є оптимальним рішенням для аустенітних сталей при механізованому зварюванні, поєднуючи переваги аргону та водню для досягнення максимальної якості та продуктивності.

Для механізованого TIG-зварювання нержавіючої сталі товщиною 6 мм рекомендовано використання суміші аргону з додаванням 2–5% водню. Ця рекомендація базується на синергетичному ефекті компонентів суміші:

1. Функція Аргону (основа): Аргон виконує ключову функцію інертного захисту зони зварювання, запобігаючи взаємодії розплавленого металу з атмосферним киснем та азотом. Це критично важливо для збереження високої корозійної стійкості нержавіючої сталі. Він також забезпечує стабільність горіння електричної дуги.
2. Функція Водню (активна добавка): Водень діє як активний елемент, який підвищує енергетичні характеристики зварювальної дуги:
 - Збільшення тепловкладення: Водень має високу теплопровідність і при високій температурі дуги дисоціює на атоми, які рекомбінують на поверхні виробу з виділенням значної кількості тепла. Це підвищує температуру зварювальної ванни та забезпечує більш концентрований і глибокий провар.
 - Покращення формування шва: Підвищена енергія дуги робить зварювальну ванну більш текучою, що сприяє кращому формуванню шва, зменшенню дефектів типу "підріз" та отриманню гладкої, естетично привабливої поверхні шва.
 - Підвищення продуктивності: Завдяки глибшому проплавленню зварювання товщини 6 мм може бути виконане швидше або з

меншою кількістю проходів, що є суттєвою перевагою для механізованого виробництва.

Оптимальна витрата захисного газу залежить від діаметра сопла пальника, сили струму та наявності протягів у робочій зоні. Для TIG-зварювання нержавіючої сталі рекомендований діапазон витрати суміші Ar+H₂ складає 10–15 л/хв. Точне значення коригується експериментально для забезпечення надійного захисту зварювальної ванни та зони навколо шва.

Вольфрамові електроди

- Вольфрамові електроди WC-20 (сірі)
 - Містять 2% оксиду церію і є чудовою, безпечнішою альтернативою торованим електродам.
 - Пропонують хороший запуск дуги, особливо при низьких струмах, що ідеально підходить для зварювання тонких матеріалів.
 - Забезпечують стабільну дугу та чисті зварні шви.

2.3.3. Технологічна оснастка

Роликовий зварювальний обертач NHTR-6000

Зварювальний обертач NHTR-6000 складається з двох секцій: приводної та не приводної. Використовується для обертання заготовок округлого перерізу діаметром 160-4000 мм, вагою до 6000 кг, з постійною швидкістю, для зручності проведення зварювальних робіт, для роботи в комплекті з автоматизованим зварюванням, унаслідок цього, отримання високоякісного зварювального шва. Приводна секція обладнується електродвигуном із синхронізованим керуванням. Обертачі мають безступеневе регулювання швидкості обертання. Керування електродвигунами здійснюється програмованим частотним приводом. Для забезпечення автоматичних процесів передбачена можливість сполучення зі зварювальною апаратурою. Як додаткова опція, приводна та не приводна секції можуть встановлюватися на рейкові візки. Для поліпшення зчеплення з обертовою деталлю на

обертових обертах вантажність до 100 т встановлюються комбіновані ролики, що складаються з одного центрального гумового диска та двох сталевих дисків меншого діаметра. Також передбачена можливість переміщати ролики вздовж станини, залежно від розмірів оброблюваного виробу. Усі обертачі комплектуються пультом дистанційного керування — педаль. Для роботи з трубами різного діаметра є можливість фіксувати роликові опори в декількох положеннях. Швидкість обертання плавно регулюється в діапазоні від 50 до 1500 мм/хв. Приводна секція обладнана двигуном потужністю 0,37 кВт, що працює від мережі 220 В.

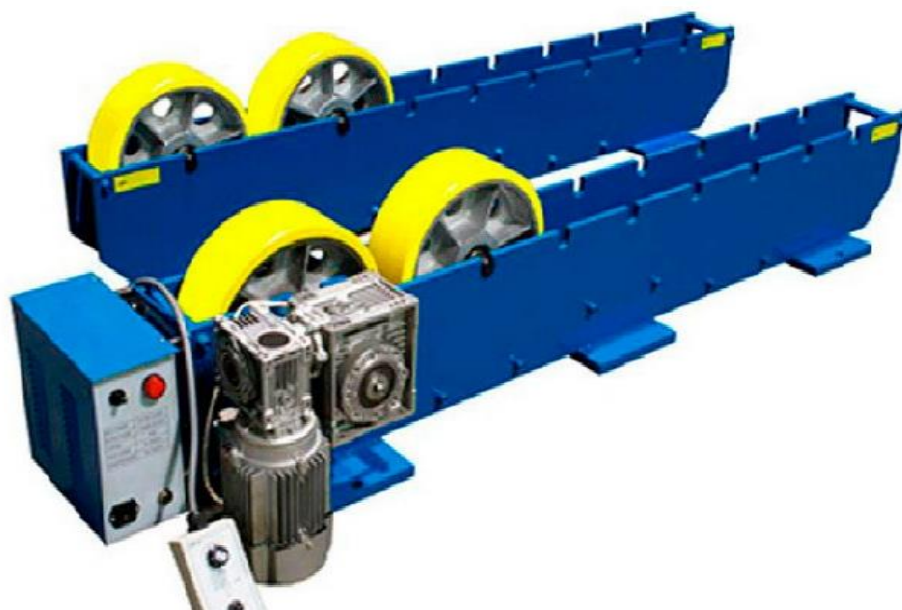


Рис.2.3. Роликовий зварювальний обертач NHTR-6000

Таблиця 2.5. Характеристики роликового зварювального обертача NHTR-6000

Найменування	Значення
Напруга мережі	АС 380В, 50/60Гц
Потужність двигуна	АС 380 В, 370 Вт
Швидкість обертання, мм/хв	50 - 1500
Спосіб керування	Педаль
Діаметр обертової обичайки, мм	160 - 4000
Габарити:	
Довжина	1800 мм

Ширина	700 мм
Висота	350 мм
Вага	200 кг

Зварювальний позиціонер НВJ 100

Зварювальний позиціонер — це механічний пристрій, призначенням якого є встановлення виробу в найзручніше положення для складальних робіт із подальшим зварюванням. Зварювальний позиціонер відрізняється від маніпулятора тим, що обертає виріб зі швидкістю зварювання. Він повертає й утримує виріб у потрібному для зручного зварювання положенні за допомогою затискачів та інших пристосувань.

Зварювальний позиціонер є допоміжним зварювальним обладнанням. Він може бути застосований у разі автоматичного, напівавтоматичної або ручного зварювання, а також є спеціальним зварювальним обладнанням, використовуваним для фіксації позиції заготовки під час зварювання, що включає обертання.

Таблиця 2.6. Характеристики зварювального позиціонера НВJ 100

Модель	Вантажопідйомність, кг	Частота обертання, об/хв	Швидкість нахилу, об/хв	Кут нахилу	Ø план-шайби, мм	Потужність двигуна обертання, кВт	Потужність двигуна нахилу, кВт	Макс. Ексцентриситет, мм	Макс. суміш. центру ваги, мм
НВJ-100	10000	0.05-0.5	0.2	0-135	Ø2000	3	4	200	400



Рис. 2.4. Зварювальний позиціонер HBJ 100

Зварювальний колона СВ-МАТІС

- максимальний діаметр труби (зовнішнє зварювання): 4000 мм
- мінімальний діаметр труби (зовнішнє зварювання): 1200 мм
- мінімальний діаметр труби (внутрішнє зварювання): 2000 мм
- максимальна довжина труби (внутрішнє зварювання): 3000 мм
- максимальні розміри двотавра із горизонтальним полотном: 3000 x 800 мм
- максимальні розміри двотавра з вертикальним полотном: 1600 x 800 мм
- довжина колії: 27 м
- потужність: 125 кВт
- електроживлення: 3х 400 В; 50 Гц
- розміри (L x H): 6675 x 6450 мм
- вага машини **AIR LIQUIDE CB MATIC** : 8500 кг



Рис. 2.5. Зварювальний колона CB-MATIC

Для забезпечення автоматизованого та високоточного зварювання поздовжніх і кільцевих швів на циліндричних заготовках застосовується зварювальна колона (або маніпулятор колонного типу). Обрана модель *Matic* представляє собою стаціонарний пристрій, призначений для точного позиціонування та автоматичного переміщення зварювальної головки.

Конструктивно колона складається з вертикальної стійки та горизонтальної консолі (стріли), що забезпечують рух зварювального пальника по двох взаємно перпендикулярних осях. Робочі параметри такої колони, дозволяють обслуговувати великі ємності, оскільки максимальний робочий виліт консолі та максимальна робоча висота підйому становлять до чотирьох метрів.

Основна функція зварювальної колони полягає у фіксації та переміщенні зварювальної головки (що може бути як напівавтоматичний пальник, так і головка для автоматичного зварювання) з постійною та точно регульованою швидкістю. Моторизований привід забезпечує плавне вертикальне та горизонтальне переміщення, що є критично важливим для отримання

рівномірного та якісного зварного шва, особливо при використанні автоматичних режимів. Таким чином, зварювальна колона Matic є ключовим компонентом для механізації процесу зварювання ємностей.

2.4. Технологічний процес виготовлення ємності

Для виготовлення ємності необхідно розробити відповідний технологічний процес, що охоплює основні етапи складання та зварювання ємності (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 Технологічний процес складання та зварювання ємності:

Найменування операції	Переходи	Технологічні комплекси прийомів	Спосіб виконання робіт*	Устаткування, оснастка, інструмент	Кількість робітників	Трудомісткість операції, год
1. Складання та зварювання обичайки дет. 1	1.1. Подача листів на стенд	Подати листи на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	0,63
	1.2. Зачищення кромки	Знежирення кромки ацетоном	Р	Ацетон		
		Зачищення кромки металевою щіткою	Р	Металева щітка		
	1.3. Складання	Скласти деталь під зварювання	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	1.4. Зварювання деталі	Зварювання деталі	А	Зварювальна система SUBARC		
	1.5. Зачищення кромки	Послідовно зачистити кромки	М	Зачисна переносна машина		
2. Складання та зварювання обичайки дет. 2	2.1. Подача листів на стенд	Подати листи на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	0,63
	2.2. Зачищення кромки	Знежирення кромки	Р	Ацетон		
		Зачищення кромки металевою щіткою	Р	Металева щітка		
	2.3. Складання дет.2	Скласти під зварювання , прихватити	Р	Неплавким електродом		
	2.4. Зварювання деталі 2	Зварювання деталі 2	М	Jasic TIG-315P AC/DC		

	2.5. Зачищення кромок	Послідовно зачистити кромки	М	Зачисна переносна машина		
3. Складання та зварювання обичайки дет.1 та 2	3.1. подача дет. 1 та 2 на стенд	Подати деталі на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	1
	3.2. Зачищення кромок	Знежирення кромки ацетоном	Р	Ацетон		
		Зачищення кромок металевою щіткою	Р	Металева щітка		
	3.3. Складання дет.1 та 2	Скласти під зварювання , прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	3.4. Зварювання деталі 1 та 2	Зварювання деталі 1 та 2	А	Зварювальна система SUBARC		
	3.5. Зачищення кромок	Послідовно зачистити кромки	М	Зачисна переносна машина		
4. Складання та зварювання верхнього донця	4.1. подача дет. 3 та 4 на стенд	Подати дет. 3 та 4 на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	1,32
	4.2. Підготовка кромок	Послідовно знежирити кромки ацетоном	Р	Ацетон		
		Послідовно зачистити металевою щіткою	Р	Металева щітка		
	4.3. Складання дет. 3 та 4	Скласти дет. 3 та 4, прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	4.4. Зварювання дет. 3 та 4	Заварити дет. 3 та 4	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	4.5. Зачистка шва	Зачистити шов	М	Зачисна переносна машина		
5. Складання та зварювання нижнього донця	5.1. подача дет. 3 та 4 на стенд	Подати дет. 3 та 4 на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	1,32
	5.2. Підготовка кромок	Послідовно знежирити кромки ацетоном	Р	Ацетон		
	5.3. Складання дет. 3 та 4	Послідовно зачистити металевою щіткою	Р	Металева щітка		
		Скласти дет. 3 та 4, прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	5.4. Зварювання дет. 3 та 4	Заварити дет. 3 та 4	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	5.5. Зачистка шва	Зачистити шов	М	Зачисна переносна машина		

	5.6 Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	М	Зачисна переносна машинка		
6 Складання та зварювання верхнього донця з горловиною, фланцем та петлями	6.1. Подача донця на стенд	Подати деталі на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	0,54
	6.2. Підготовка донця з горловиною, фланцем та петлями.	Знежирення донця з горловиною, фланцями та петлями	Р	Ацетон		
		Зачистка кромок донця з горловиною, фланцем та петлями	Р	Металева щітка		
	6.3. Складання донця з горловиною, фланцями та петлями	Скласти донце з горловиною, фланцем та петлями, прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	6.4. Зварювання донця з горловиною, фланцем та петлями	Зварити донце з горловиною, фланцем та петлями	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	6.5. Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	М	Зачисна переносна машинка		
7 Складання та зварювання нижнього донця з горловиною та фланцем	7.1. Подача донця на стенд	Подати деталі на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	2	0,49
	7.2. Підготовка донця з горловиною та фланцем	Знежирення донця з горловиною та фланцем	Р	Ацетон		
		Зачистка кромок донця з горловиною, фланцем	Р	Металева щітка		
	7.3. Складання донця з горловиною та фланцем	Скласти донце з горловиною та фланцем, прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	7.4. Зварювання донця з горловиною та фланцем	Зварити донце з горловиною та фланцем	М	Jasic TIG-315P AC/DC		
	7.5. Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	М	Зачисна переносна машинка		
8 Складання обичайки верхнього та нижнього донця	8.1. Подача обичайки верхнього та нижнього донця на складально-зварювальний стенд	Подати деталі на складально-зварювальний стенд	М	Кран-балка	1	1,04
	8.2. Підготовка верхнього та нижнього донця	Знежирення обичайки верхнього та нижнього донця	Р	Ацетон		
		Зачистка обичайки верхнього та нижнього донця	Р	Металева щітка		
	8.3. Складання обичайки верхнього та нижнього донця	Скласти обичайку верхню та нижню донце, прихватити	М	Jasic TIG-315P AC/DC		

9 Зварювання обичайки верхнього та нижнього донця	9.1. Зварювання обичайки верхнього та нижнього донця	Зварити обичайку верхнє та нижнє донце	A	Зварювальна система SUBARC	1	1,32
	9.2. Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	M	Зачисна переносна машинка		
10 Встановленн я опор	10.1. Підготовка опор, бічної горловини та бічного фланця	Знежирення опор, бічної горловини та бічного фланця	P	Ацетон	1	1,28
		Зачистка опор, бічної горловини та бічного фланця	P	Металева щітка		
	10.2. Складання опор, бічної горловини та бічного фланця	Скласти опори, бічну горловину та бічний фланець, прихватити	M	Jasic TIG-315P AC/DC		
11 Встановленн я та зварювання опор, горловини та бічного фланця	11.1. Зварювання опор	Зварити опори	M	Jasic TIG-315P AC/DC	3	0,89
	11.2. Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	M	Зачисна переносна машинка		
	11.3. Підготовка бокової горловини та бокового фланця	Знежирення бокової горловини та бокового фланця	P	Ацетон		
		Зачистка опор, бокової горловини та бокового фланця	P	Металева щітка		
	11.4. Складання бокової горловини та бокового фланця	Скласти бокову горловину та боковий фланець, прихватити	M	Jasic TIG-315P AC/DC		
	11.5. Зварювання бокової горловини та фланця ємності	Зварити бокову горловину та боковий фланець ємності	M	Jasic TIG-315P AC/DC		
	11.6. Зачистка швів	Послідовно зачистити шви	M	Зачисна переносна машинка		
12. Загальний контроль ємності	12.1. Контроль швів	Контроль (візуальний) швів	P	1	0,94	
	12.2. Контроль ємності всіма засобами					
Тривалість технологічного процесу				21 працівник		10,37 год

Згідно з розробленим технологічним процесом, час виготовлення балки становить 10,37 години, при цьому у виробничому процесі беруть участь 21 працівник.

Контроль якості

Пропонується встановити наступний контроль якості виконуваних робіт:

					КР.131.6121м.05.03.07.ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

а) контроль якості усіх робіт проводити на всіх етапах технологічного процесу;

б) для оцінювання якості зварних з'єднань та виявлення зовнішніх дефектів зварювання застосовується зовнішній огляд та капілярний метод контролю;

в) контроль зовнішнього виду та розмірів зварного шва виконується на довжині не менше 100 мм;

г) огляд проводиться візуально з використанням лупи з 10-кратним збільшенням. Розмір зварного шва контролюється за допомогою шаблонів;

г) не допускаються без виправлення наступні дефекти зварювання, виявлені капілярним контролем на 100 мм довжини шва:

- зовнішні раковини та пори, виявлені після зварювання: одиничні — не більше 0,7 мм, чи сумарної величини — не більше 4,0 мм. Відстань між окремими крупними порами, раковинами не менше 10 мм;

- підрізи на зварювальних швах не більше 10% від товщини матеріалу, одиничною або сумарною протяжністю не більше 20%;

- зміщення кромки стикових з'єднань не більше 15% від товщини матеріалу.

- усі зварні з'єднання підлягають 100% візуальному контролю згідно з вимогами ДСТУ EN ISO 17637.

- провести ультразвуковий контроль (УЗК) 15% обсягу зварних швів що є достатнім для статистичної оцінки якості всієї партії

Висновки

1. Обґрунтування та вибір матеріалів та обладнання.
 - a. Обрано раціональний комплекс технологічної оснастки (роликовий обертач NHTR-6000, позиціонер HBJ-100 та зварювальна колона Matic) у поєднанні з високопродуктивним джерелом живлення. Даний комплекс забезпечує повну механізацію та автоматизацію процесу зварювання ємності, дозволяючи виконувати кільцеві та поздовжні шви у найбільш сприятливому положенні.
 - b. Як основні зварювальні матеріали обрано дроти ER308LSi та ER321, які мають понижений вміст вуглецю для запобігання міжкристалітній корозії та підвищений вміст кремнію для покращення технологічних властивостей зварювання.
2. На підставі аналізу властивостей сталі AISI 304 та вимог до виробу, було обґрунтовано та розроблено технологічний процес виготовлення ємності. Розроблено технологічний процесу складання та зварювання ємності.
3. Для реалізації технології обрано високотехнологічне обладнання та зварювальний дріт. Матеріали та обладнання гарантують стабільність процесу та належний хімічний склад металу шва.
4. Розроблено послідовний технологічний процес виготовлення ємності, що включає всі необхідні операції: підготовку матеріалу, складання та фінальне зварювання, забезпечуючи мінімізацію деформацій.
5. Встановлення жорстких критеріїв якості. Для гарантування експлуатаційної надійності ємності було визначено обов'язковий контроль зварних швів. Встановлено чіткі норми бракування, які забезпечують високу якість з'єднань.

					<i>КР.131.6121м.05.02.07.ПЗ</i>	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВАРЮВАНOSTІ СТАЛІ

AISI- 304

3.1. Матеріали та обладнання для дослідження

При виборі матеріалу для виготовлення конструкції ємності необхідно враховувати низку експлуатаційних вимог:

1. Стійкість до корозії: Ємність призначена для тривалого зберігання питної води, що означає постійний контакт металу з рідиною. Отже, матеріал повинен мати високу корозійну стійкість.

2. Температурна стійкість: Оскільки ємність експлуатується у зовнішньому середовищі цілий рік, матеріал повинен витримувати значні перепади зовнішніх температур.

3. Гігієнічні властивості: Вода, що зберігається в ємності, має харчове призначення, тому нержавіюча сталь повинна відповідати високим гігієнічним вимогам.

Виходячи з цих вимог, для виготовлення ємності була обрана та досліджена марка нержавіючої сталі AISI 304.

Хімічний склад цієї сталі, разом із порівняльними марками, такими як 302 (США) та Procron 11 Spec (Словенія), наведено в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Хімічний склад сталей

Марка сталі	Концентрація елементів, % мас									
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	Fe
AISI 304	≤0,08	1,8-2,2	≤1,0	≤0,03	≤0,045	18,0-20,0	8,0-10,5	≤1,0	-	66,0-74,0
AISI 302	0,2	2,0	1,0	0,03	0,04	17,0-19,0	8,0-10,0	-	-	69,7
Procron 11 spec	0,03	0,8	0,84	0,07	0,03	18,62	9,4	0,09	0,44	69,7

Сталь AISI 304 (The American Iron and Steel Institute) — це американська аустенітна сталь з низьким вмістом вуглецю. Вона є прямим аналогом сталі 08X18H10i належить до класу корозійно-стійких жароміцних сталей. Її

скорочена назва, яка відображає основний легуючий склад, — AISI 304 - 18 Cr-8 Ni.

Для зварювання цієї сталі було обрано дві марки дроту діаметром 1.0 - 1.2 мм.

Хімічний склад цих зварювальних дротів наведено в Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Хімічний склад зварювальних дротів ER308Lsi та ER321

Марка дротів	Концентрація елементів, % мас											
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Ti	Nb	Al	Co	Інші
ER308 Lsi	0,017	1,94	0,71	0,007	0,028	19,8	9,55	0,01	0,021	0,0004	0,13	Mo=0.1 V=0,07 Cu=0,14 N=0.075 B=0,0009 Fe - зал.
ER321 min max	0,056	1,51	0,62	0,007	0,02	18,12	8,10	0,72	0,021	-	-	Fe - зал.
	0,056	1,0	0,40	0,007	0,028	18,0	8,0	0,50	-	-	-	Fe - зал.
	0,080	2,0	1,0	0,014	0,029	20,0	10,0	1,0	-	-	-	Fe - зал.

Зрештою, для зварювання ємності був обраний зварювальний дріт ER321, який містить до 1.0% Ti (Титан).

Для оцінки зварюваності та властивостей зварних з'єднань використовувався комплекс лабораторного обладнання.

А. Дослідження стійкості проти гарячих тріщин

- Установка для випробування на ГТ: Спеціалізований стенд (наприклад, типу Метод Варенстрейна), що дозволяє створювати контрольоване розтягувальне навантаження на зразок у процесі кристалізації металу шва, фіксуючи критичні параметри, при яких відбувається утворення тріщин.

Б. Металографічне дослідження будови металів і зварних з'єднань

Металографія дослідження - це комплекс випробувань і аналітичних заходів, спрямований на вивчення макроструктури і мікроструктури металів, дослідження закономірності утворення структури і залежностей впливу

структури на механічні, фізико - механічні, електричні та інші властивості металу.

Металографічні методи дослідження металів і зварних з'єднань дозволяють визначити розміри, форму і взаємне розташування кристалів, а також неметалеві включення, тріщини, раковини, пори, свищі і т. д.

Розрізняють макроскопічний і мікроскопічний методи вивчення будови металів. Макроскопічний метод - дослідження будови металів і зварних з'єднань неозброєним оком або із застосуванням лупи, що дає збільшення в 5-30 разів. Макроаналіз дає можливість виявляти раковини, шлакові включення, порушення суцільності металу, тріщини та інші дефекти будови сплаву, хімічну і структурну неоднорідність.

Мікроскопічний аналіз металів полягає в дослідженні їх структури за допомогою оптичного або електронного мікроскопів, на спеціально підготовлених зразках.

У процесі металографічного дослідження виявляють макро-і мікроскопічні дефекти зварного шва: непровари, тріщини, пори, шлакові включення, а також встановлюють структуру металу.

Зразок для металографічного дослідження вирізають із зварного з'єднання-поперек осі шва. Зразок повинен включати в себе як шов, так і зону термічного впливу.

Тріщини в основному металі шва, шари, що не зварилися, великі шлакові включення, непровар понад норму не допускаються. Непровар не повинен перевищувати при односторонньому зварюванні без підкладного кільця 15% товщини стінки; якщо товщина стінки перевищує 20 мм - не більше 3 мм.

Дослідження і фотографування мікроструктури проводять за допомогою спеціального стаціонарного металографічного мікроскопа. На рисунку 3.1 показаний мікроскоп Neophot 2 представляє собою, інвертований фотомікроскоп відбитого світла, призначеного для металографічної мікроскопії. З комп'ютеризованою системою відтворення результатів.



Рис 3.1 Металографічний мікроскоп Neophot 2

3.2 Стійкість зварних з'єднань проти гарячих тріщин

Основними факторами впливу на стійкість проти гарячих тріщин хромонікелевих сталей є :

- хімічний склад металу шва;
- структура металу шва;
- величина первинних кристалітів;
- коефіцієнт форми шва.

Для визначення стійкості зварних швів проти гарячих тріщин використовують розрахункові методи і експериментальні .

Для розрахунку стійкості хромонікелевого металу проти гарячих тріщин використовували розрахунок критичної швидкості деформації, співвідношення $Cr_{екв}/Ni_{екв}$ та критерій L :

$$V_{кр} = 19 - 42C - 4,11S - 3,3Si + 5,6Mn + 6,7Mo; \quad (3.1)$$

$$Cr_{екв}/Ni_{екв} = (Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti) / (Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu); \quad (3.2)$$

$$L = 299 * C + 8Ni + 142 * Nb - 5,5 * (\delta - Fe) - 10,5. \quad (3.3)$$

Гарячі тріщини не виникають, якщо $V_{кр} \geq 6,0$ мм/хв при розрахунку по рівнянню (2.1); якщо $P+S=0,02...0,03\%$, а $Cr_{екв}/Ni_{екв} > 1,5$ при розрахунку за рівнянням (2.2); якщо $L < 0$.

При розрахунку стійкості металу шва враховували те, що метал шва формувався як основним металом, так і зварювальним дротом, тому його

хімічний склад визначався не лише хімічним складом основного металу і зварювального дроту, а і долею участі в металі шва кожного з них.

Експериментально встановлено, що мінімальна участь зварювального дроту в металі шва була $\gamma_d=0,5$, а доля $\delta\text{-Fe}$ в дроті була біля 10%, в основному металі 2%, тож, найменшу стійкість проти ГТ має метал шва при $\gamma=0,5$. Для металу шва розраховували концентрації елементів по рівнянню (3.1). При цьому для зварювання в аргоні коефіцієнт засвоєння легуючих елементів μ_o і μ_d приймали рівним одиниці. При цьому концентрація елементів в металі шва складає (% мас): 9,25Ni; 1,5Mn; 19,0Cr; 0,5Si; 0,04%C. Підставивши ці значення, отримаємо: $v_{кр}=15,6 \text{ мм/хв} > 6,0 \text{ мм/хв}$, тобто метал шва стійкий до утворення ГТ.

Розрахунок $Cr_{екв} / Ni_{екв}$ за рівнянням (2.3) дає значення 1,75, що перевищує 1,5 і свідчить про стійкість проти ГТ.

Таким чином, при виготовленні ємностей з використанням вибраних матеріалів AISI304 і ER321 загрози утворення ГТ при зварюванні немає.

3.3. Дослідження стійкості металу шва проти окрихчування

В хромонікелевих сталях виділяють окрихчування при температурі 475°C і його називають 475° -градусною крихкістю і під дією $770\text{--}850^\circ\text{C}$, коли утворюється σ -фаза з щільноупакованою гексагональною кристалічною ґраткою. Ця фаза виникає, у першу чергу, внаслідок перетворення δ -фериту. Цей процес називають сигматизацією. Сіigma-фаза утворюється і в однофазних аустенітних сталях, але більш схильні до сигматизації двофазні сталі $\gamma+\delta\text{Fe}$. Тому при використанні двофазної структури металу шва з метою забезпечення стійкості металу шва проти гарячих тріщин вміст δ -фериту обмежують. Зазвичай кількість фериту знаходиться в інтервалі 3-5% і не більше 10%.

Для визначення стійкості металу шва проти окрихчування проводять термічну обробку з'єднань при температурі 475°C і $800\text{--}950^\circ\text{C}$ з наступним випробуванням на удар. Форма і розміри зразків показані в розділі 2. Застосовують зразки з гострим надрізом (радіус закруглення 0,5 мм).

Відновлення пластичності можна досягти шляхом аустенізації при 1050...1100°C. Після цього ударна в'язкість зразків може перевищувати значення для основного металу (в стані поставлення).

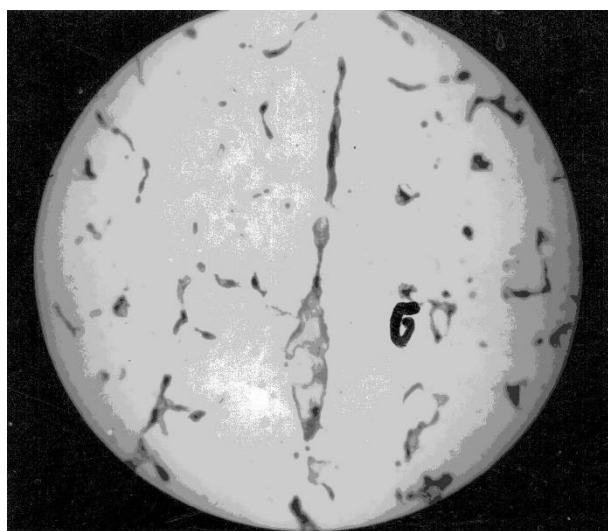
При вмісті фериту до 10% при температурі 475°C метал не окрихчується, але з підвищенням температури і кількості δ -Fe окрихчування металу можливо.

Сталь AISI 304, має 10-12% δ -Fe, є схильність до окрихчування, що вимагає високої швидкості охолодження. Така швидкість передбачена в технології зварювання.

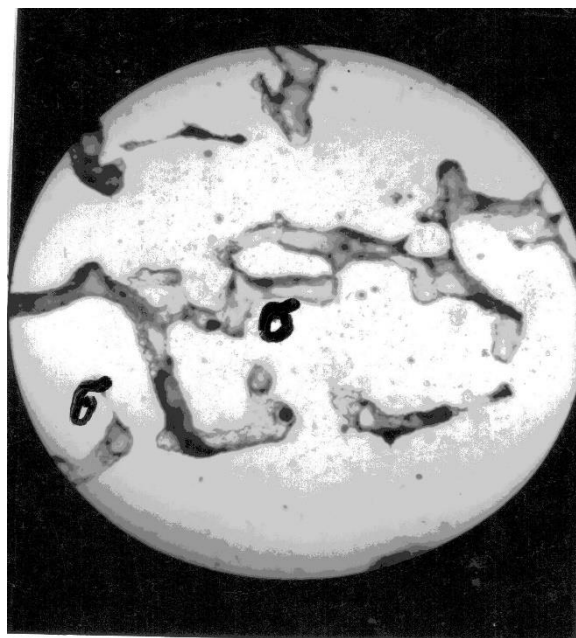
На рис. 3.2 показано мікроструктуру з'єднання сталі AISI304, звареної дротом ER321 при частці δ -Fe біля 10% після витримки при температурі 750°C.

Утворення σ -фази виявляється при травленні в розчині червоної кров'яної солі та їдкого калію ($K_3[Fe(CN)_6] + K(OH)$) в воді. При цьому карбіди забарвлюються в темний колір, а σ -фаза — в блакитний.

При нагріванні зразків до 1100°F з витримкою 1 год і наступним охолодженням у воді σ -фаза відсутня і ударна в'язкість металу відновлюється.



a



б

Рис. 3.2. Мікроструктура металу шва з утворенням σ -фази протягом 100 год (а) і 200 год (б) при температурі 750°C; x1000

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

КР.131.6121м.05.03.07.ПЗ

Лист
70

3.4. Характеристика структури сталей AISI304 за діаграмами

Шеффлера

Легуючі елементи поділяються в нержавіючих сталях на аустенізатори (стабілізують γ -фазу) та феритизатори (стабілізують δ -ферит). Роль цих фаз видно з діаграми Шеффлера, де заштриховано області структур сталей, схильних до утворення гарячих тріщин, холодних тріщин (мартенситні), окрихчування при температурі 470°C та при сигматизації. Під рис. 2.6. записані рівняння для визначення еквіваленту $Ni_{екв}$ та $Cr_{екв}$. До елементів аустенізаторів, крім Ni, входять C, Mn, Co, N, B і Cu, до елементів-феритизаторів, крім Cr, входять всі інші елементи, які не записані, як аустенізатори.

В табл. 3.2 наведено хімічний склад сталей, AISI304, зварювальних дротів ER321 і ER308Lsi та відповідні значення $Ni_{екв}$ та $Cr_{екв}$ для діаграми Шеффлера.

Для діаграми Шеффлера, еквіваленти нікеля і хрома визначають за рівняннями:

$$Ni_{екв} = \%Ni + 30*\%C + 0,5*\%Mn; \quad (3.4)$$

$$Cr_{екв} = \%Cr + \%Mo + 1,5*\%Si + 0,5*\%Nb. \quad (3.5)$$

Для діаграми Де Лонга використовуються також формули (3.4) і (3.5).

Для WRC1992-діаграми використовують формули:

$$Ni_{екв} = \%Ni + 35*\%C + 20*\%N + 0,25*\%Cu; \quad (3.6)$$

$$Cr_{екв} = \%Cr + \%Mo + 0,7*\%Nb. \quad (3.7)$$

Рівняння (3.4) і (3.5) використовують для широко застосованих хромонікелевих сталей.

Таблиця 3.3. Хімічний склад хромонікелевих сталей і металу шва значення $Ni_{екв}$ та $Cr_{екв}$.

№ п/п	Марка сталі	Концентрація елементів, % мас															
		C	Ni	Mn	Co	N	Cu	B	Cr	Mo	Ti	$Ni_{екв}$	Nb	Si	Al	V	$Cr_{екв}$
1	AISI304	0,08	9,5	2	-	-	1	-	19	-	-	-	-	0,8	-	-	-
2	ER321	0,06	9	1,5	-	-	-	-	19	-	0,72	-	0,02	0,7	-	-	-
3	ER308Lsi	0,02	9,55	1,94	0,13	0,08	0,14	0	19,8	0,1	0,01	-	0,02	0,62	0	0,07	-

№ п/ п	Марка сталі	Концентрація елементів, % мас															
		C	Ni	Mn	Co	N	Cu	B	Cr	Mo	Ti	Ni _{екв}	Nb	Si	Al	V	Cr _{екв}
По діаграмі Шеффлера																	
1	AISI304	2,4	9,5	1					19	-		12,9	0	1,2	-	-	20,2
2	ER321	1,68	9	0,75					19	-		11,43	0,01	1,06	-	-	20,06
3	ER308Lsi	0,6	9,55	0,97					19,8	0,1		11,12	0,01	0,93			20,74

В табл. 3.3 не включали вміст сірки і фосфору. У хромонікелевих сталях Сірка (S) є надзвичайно шкідливим елементом. Складники, такі як сульфід нікелю (NiS), а особливо евтектика нікель-сульфід нікелю, мають низьку температуру плавлення і негативно впливають на стійкість швів проти гарячих тріщин (ГТ).

На діаграмах (Рис. 3.3) досліджувані сталі та дріт позначені кружечками з цифрами відповідно до їхнього порядкового номера в Таблиці:

- 1 - Сталь AISI 304 (Основний метал).
- 2 - Зварювальний дріт ER321.
- 3 - Зварювальний дріт ER308Lsi.

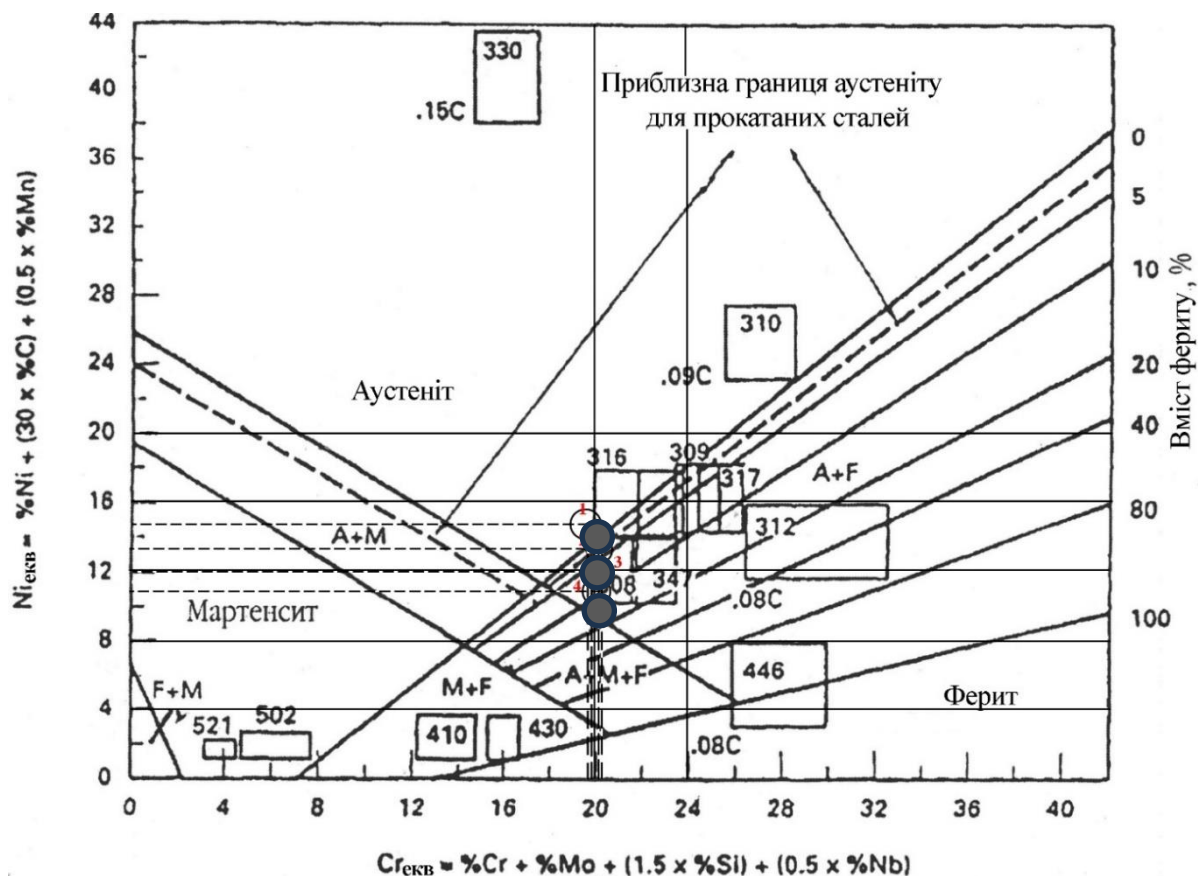


Рис. 3.3. Діаграма Шеффлера для визначення структури зварного шва

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

КР.131.6121м.05.03.07.ПЗ

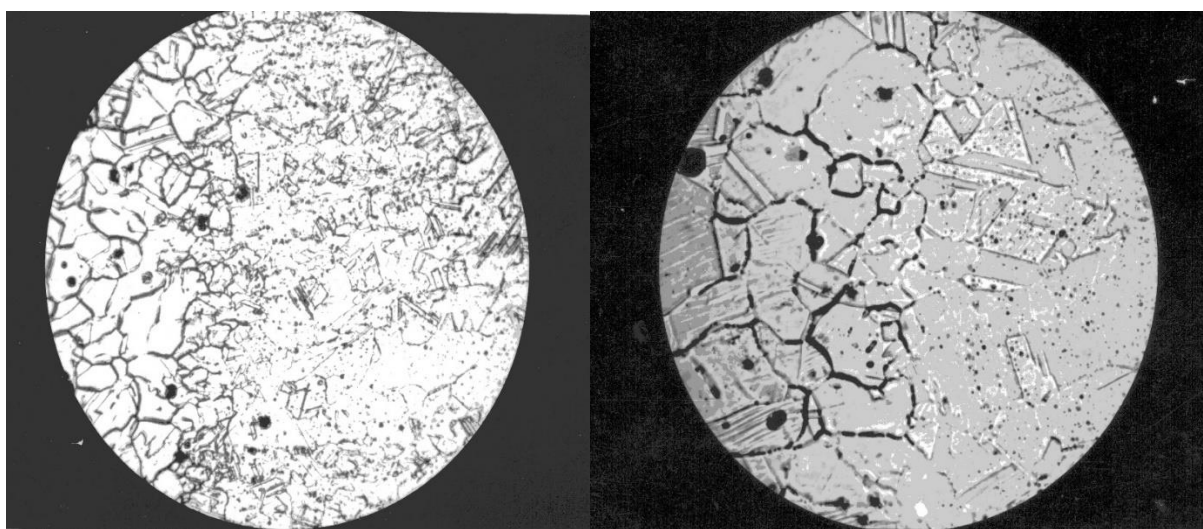
Діаграма Шеффлера використовується для визначення структури зварного шва. З неї видно, що:

1. Досліджувані сталі знаходяться в області, де розташовано багато хромонікелевих сталей США.
2. Сталь AISI304 знаходиться в аустенітно-феритній області.
3. Зварювальний дріт ER308Lsi (точка 4) має найбільшу очікувану частку фериту (близько 10%).

Примітка: Штрихова лінія на діаграмі показує границю між аустенітом і феритом для гарячекатаних сталей. При високих швидкостях охолодження (характерних для зварювання) область аустеніту дещо розширюється.

На Рис. 3.4 показана мікроструктура зварного з'єднання дротом ER321 у зоні сплавлення сталі AISI 304 після зварювання та подальшого нагрівання:

- (а) Нагрівання при 1100 °С протягом 1 год
- (б) Нагрівання при 1200 °С протягом 1 год



а

б

Рис. 3.4. Мікроструктура зварного з'єднання дротом ER321

3.5. Металографічні дослідження

Металографічний аналіз структури металу зварного з'єднання проводився за допомогою оптичного мікроскопа Неофот 21.

Підготовка та Полірування Шліфів

Процес підготовки шліфів включав наступні етапи:

1. Шліфування: Проводилося на абразивному папері.
2. Полірування: Використовувалися алмазні пасти з розмірами зерна 20/14, 7/5, 2/1 мкм.

Для великих шліфів додатково застосовувалося електролітичне полірування в електроліті такого складу:

- 20% сірчаної кислоти (H_2SO_4).
- 60% ортофосфорної кислоти (H_3PO_4).
- 5-7% хромового ангідриду (CrO_3) та вода.

Ефективним для електролітичного полірування і травлення також є електроліт, що складається з 450 мл ортофосфорної кислоти H_3PO_4 та 103 г хромового ангідриду CrO_3

Для хімічного травлення використовувалися різні реактиви:

1. Загальне травлення: Розчин, що містить 1 г хлорного заліза (FeCl_3), 10 мл соляної кислоти (HCl) та 10 мл перекису водню (H_2O_2).
2. Розчин для травлення: 500 мл соляної кислоти, 25 мл сірчаної кислоти та 100 г мідного купоросу (CuSO_4).
3. Розчин Васильєва (для шліфів 20X10X2 мм): 10 г хлорного заліза, 30 мл соляної кислоти і 120 мл спирту.

Для оцінки мікротвердості окремих складових структури використовувався мікротвердомір ПМТ-3.

Для оцінки стійкості зварних з'єднань проти міжкристалітної корозії (відповідно до стандартних випробувань) підготовлені шліфи кип'ятили у 55%-вому розчині азотної кислоти (HNO_3).

Висновки

За результатами проведених експериментальних досліджень зварюваності аустенітної хромонікелевої сталі AISI-304, а також на підставі теоретичних розрахунків та аналізу обраного обладнання, було встановлено наступне:

1. Стійкість проти гарячих тріщин

- Проведені розрахунки та металографічні дослідження підтвердили, що обрані зварювальні матеріали забезпечують формування металу шва з необхідною кількістю δ -фериту (дельта-фериту).
- Контрольований вміст δ -фериту в структурі зварного шва гарантує високу стійкість зварних з'єднань сталі AISI-304 проти утворення гарячих тріщин, що є ключовою проблемою при зварюванні аустенітних сталей.

2. Ризик окрихчування та структурні перетворення

- Розрахунок структури сталей за діаграмами Шеффлера підтвердив, що зварювальні дроти ER308LSi та ER321 формують двофазну структуру шва.

3. Розрахункові дослідження підтвердили задовільну зварюваність сталі AISI-304 за умови застосування обраних зварювальних матеріалів та автоматизованого обладнання.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.									Лит.	Лист	Листів
Перевір.											
									НУК, гр.		
Н. Контр.											
Утв.											

4. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

4.1. Вибір класу підприємства

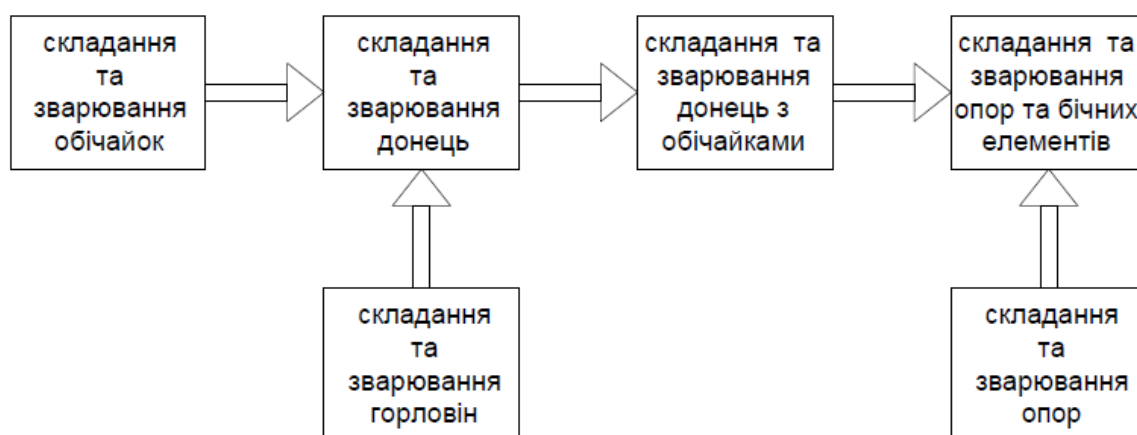
При проектуванні зварювального виробництва, як одного з головних видів у судновому корпусобудуванні, слід враховувати основні показники, що характеризують клас суднобудівного підприємства. При цьому одним із показників є габарити секцій, що визначають розміри прольотів складально-зварювального цеху.

Враховуючи габаритні розміри зварної конструкції, яка виготовляється, наше виробництво за своїми параметрами належить до V класу суднобудівних підприємств.

Отримане у першому наближенні значення площі цеху та встановлене для даного класу підприємства значення ширини прольоту дозволяє орієнтовно знайти довжину та ширину цеху, що надасть можливість розпочати розробку креслення технологічного плану.

Для V класу суднобудівних підприємств передбачена ширина прольоту 30 м, а крок колон становить 12 м. Ширина проїзду – 3м. Висота прольоту згідно з нормами проектування: до відмітки головки підкранової рейки – 11,45 м; до низу несучих конструкцій – 14,4 м.

4.2. Компонувальна схема прольоту цеху



Для обраного варіанту необхідно здійснити розміщення всіх елементів виробництва в межах прольоту цеху. Згідно з розробленим технологічним процесом, у прольоті мають бути розміщені: зварювальні апарати та

автомати, стенди для складання та зварювання, місця під ручні операції (зачистка, розмітка), мостові крани, а також зони для тимчасового зберігання деталей, вузлів і готових конструкцій. Усі робочі місця, обладнання та складські позиції повинні бути інтегровані у виробничу зону відповідно до логіки техпроцесу.

Рациональне розміщення в цеху запропонованого виробничого процесу та всіх головних елементів виробництва, необхідних для здійснення цього процесу, передбачає розробку технологічного плану та розрізів цеху, що проектується або підлягає реконструкції, з обґрунтуванням вибору головних його характеристик.

Виходячи з викладених принципів, пропонується компоновальна схема розміщення обладнання, робочих місць та складських приміщень (рис. 4.1), що забезпечує дотримання послідовності технологічного процесу та рациональне використання площі цеху.



Рис. 4.1 Компоновальна схема розміщення обладнання, робочих місць та складських приміщень: 1 – складально-зварювальний стенд обічайок; 2 – складально-зварювальний стенд донець; 3 – складально-зварювальний стенд обічайок с донцами; 4 – складально-зварювальний стенд опор та бокових елементів, контроль; 5 – складально-зварювальний стенд горловин; 6 – складально-зварювальний стенд опор; 7 – склад заготовок обічайок; 8 – склад готових заготовок обічайок; 9 – склад готових обічайок; 10 – склад деталей

донець; 11 – склад готових донець; 12 – склад готових донець з фланцями; 13 – склад готових ємностей без опор та бокових елементів; 14 – склад деталей горловин; 15 – склад готових горловин; 16 – склад деталей опор; 17 – склад готових опор; 18 – склад готових ємностей.

4.3. Розміщення елементів виробництва

У зоні складської площі, розташованій поблизу робочих місць, передбачається розташування основних елементів для складання ємності: частин обічайок, готових частин обічайок, деталей донець, готових донець, готових ємностей без опор та бокових елементів.

Таблиця 4.1. Розміщення елементів виробництва

№ складу	Розташування	Площа частин обічайки	Маса деталей	Допустиме навантаження на 1 м ²	Кількість	Площа складу S
7	Частини обічайок зберігаються на видатковому майданчику лежачі одна біля одної	2,5 м ²	0,45 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 24 деталі обічайок	24х2,5=60м ²
8	Частини обічайок зберігаються на видатковому майданчику лежачі одна біля одної	2,5 м ²	0,45 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 24 деталі обічайок	24х2,5=60м ²
9	Готові обічайки зберігаються на видатковому майданчику лежачі одна біля одної	5 м ²	0,9 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 12 обічайок	12х5=60м ²

10	Частини донець зберігаються на видатковому майданчику лежачі по 4 деталі в стопці	3,14 м ²	0,32 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 48 деталі обічайок	48м ²
11	Готові донеця зберігаються на видатковому майданчику лежачі по 2 деталі в стопці	3,14 м ²	0,32 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 24 донця	48м ²
12	Готові донеця з горловинами та фланцями зберігаються на видатковому майданчику лежачі по 2 деталі в стопці	3,14 м ²	0,37 т	0,28 т/м ²	На 12 ємностей потрібно 24 донця	48м ²
13	Готові ємності без опор та бокових елементів зберігаються на видатковому майданчику лежачі одна біля одної	8 м ²	1,3 т	0,16 < 0,28 т /м ²	На 12 ємностей потрібно 8	96м ²
14	Деталі для горловин зберігаються в контейнері 3х2м		1,26 т	0,23 < 0,28 т /м ²	На 12 ємностей потрібно 6х12= 72 деталі	6 м ²
15	Готові горловин зберігаються в контейнері 3х2м		1,26 т		На 12 ємностей потрібно 3х12= 36 горловин	6м ²

16	Деталі опор зберігаються в контейнері 3х3м		2,4 т	0,277 < 0,28 т /м ²	На 12 ємностей потрібно 4х2х12= 96 деталей	9 м ²
17	Готові опори зберігаються в контейнері 3х3м		2,4 т	0,277 < 0,28 т /м ²	На 12 ємностей потрібно 4х12= 48 деталей	9м ²
18	Готові ємності зберігаються на видатковому майданчику лежачі одна біля одної	9 м ²	1,6 т	0,17 < 0,28 т /м ²	На 12 ємностей потрібно 9	108м ²

Висновки

1. Згідно з характеристиками габаритів конструкції та обсягом виробництва, проєктоване підприємство віднесено до V класу суднобудівних підприємств. Визначено рекомендовані габарити прольоту цеху шириною 30м та кроком колон 12 м.

2. Розроблено компоувальну схему та технічний план прольоту цеху з урахуванням раціонального розміщення складальних і зварювальних стендів, устаткування, зон зберігання деталей та готової продукції.

3. Під час планування виробництва враховано правила ергономіки та безпеки праці, забезпечено доступність елементів конструкції та зручність виконання технологічних операцій на всіх етапах.

					КР.131.6121м.05.04.07.ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				Лит.	Лист	Листів
Разраб.										
Перевір.										
								НУК, гр.		
Н. Контр.										
Утв.										

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, соціально-гігієнічних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини.

Розвиток економіки країни передбачає постійне прискорення темпів **розвитку** промисловості, яка вимагає широкої механізації та автоматизації виробничих процесів, впровадження нової техніки і технологій. При цьому питанням охорони праці приділяється значна увага, оскільки від цього залежить економічна ефективність промислового виробництва і соціальна стабільність суспільства.

Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності ураження або хвороби працюючих з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній виробничій роботі.

Основним законодавчим актом з охорони праці є Закон України "Про охорону праці", прийнятий Верховною Радою від 14.10.1992 року. Він визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. А стандарт **ГОСТ 12.0.003-74** поширюється на небезпечні та шкідливі виробничі фактори, встановлює їх класифікацію і містить особливості розробки стандартів на вимоги і норми за видами небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Охорона здоров'я працюючих, забезпечення безпеки умов роботи, лікування професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну з головних турбот держави. За кожною людиною закріплено право на охорону здоров'я. Це право забезпечувати розвитком техніки безпеки, виробничою санітарією, безкоштовною медичною допомогою, заходами з оздоровлення, попередження і зниження професійних захворювань.

У наш час впроваджується багато нових складальних пристроїв і механізмів. У зв'язку з цим зростає роль охорони роботи, яка повинна не тільки забезпечувати безпеку роботи людини, а й покращувати її умови.

У даному розділі розглядаються такі питання, як:

- аналіз технологічного процесу з точки зору наявності або можливої появи небезпечних або шкідливих факторів, а також їх вплив на працівників при зварюванні;
- заходи з техніки безпеки та виробничої санітарії, спрямовані на зниження або усунення небезпечних або шкідливих факторів;
- заходи протипожежної профілактики;
- екологічна безпека;
- надзвичайні ситуації.

5.1. Санітарно-гігієнічні характеристики зварювального виробництва

Потужне ультразвукове або світлове випромінювання зварювальної дуги при впливі на очі працівника може привести до запальної хвороби очного яблука (електроофтальмія), при тривалому впливі - до ураження клітковини ока (кон'юнктивіт). Інфрачервоні короткохвильові промені можуть викликати хронічне захворювання - помутніння кришталіка ока (катаракта). Шкідлива дія проміней зварювальної дуги на органи зору впливають у радіусі до 10 метрів.

Шкіру захищають звичайною робочою одежею, лице та частину шиї - щитком або шоломом зварювальника. Очі захищаються спеціальними темними стеклами - світлофільтрами, які вставляють у щиток або шолом. Ці стекла зовсім не пропускають ультрафіолетове проміння, а інфрачервоне пропускають у межах від 0,1 до 4%, що не завдає шкоди зору зварювальника.

При захворюванні очей внаслідок світлової радіації, необхідно негайно звернутися до лікаря, а при неможливості отримання швидкої медичної допомоги слід робити примочку очей слабим розчином питної соди.

Окрім опіків промінням електричної дуги, зварювальник може отримати

опіки бризками розплавленого металу. Задля уникнення таких опіків необхідно одягати робочу одягу з щільної брезентової матерії. Одяга не повинна мати складок. Брюки треба носити тільки на випуск, щоби вони закривали взуття. Задля уникнення пропалювання спецодежі бризками розплавленого металу, тканина просочується спеціальними складовими, які підвищують її вогнестійкість.

При виконанні зварювальних робіт у разі вигорання легуючих елементів підвищується загазованість робочого місця. Для уникнення цього необхідно встановлювати пристрої витяжної вентиляції у зоні дихання зварювальника. Викидати повітря необхідно за межі робочих зон. Для видалення газів та пилю застосовується як місцева вентиляція робочого місця, так і припливно-витяжна вентиляція усього приміщення. Припливне повітря повинно подаватися розсіяно у робочу зону приміщень, а також у місця, де витяжна вентиляція відбувається за допомогою місцевих відсмоктувачей. Швидкість руху повітря на робочих місцях повинна бути не більше 0,3 м/с.

Для знежирення металу та зварювальних матеріалів від масляних забруднень не слід застосовувати трихлоретилен, діхлоретан та інші хлорованих вуглеводнів, оскільки при поєднанні їх з озоном, який присутній у атмосфері при дуговому зварюванні напівавтоматом, може утворюватися задушливий газ (фосген).

5.2. Розрахунок штучного освітлення ділянки зварювання

Освітлення виробничих приміщень один з основних факторів зовнішнього виробничого середовища, що впливає на людину в процесі роботи. Безпечною і високопродуктивною робота може бути тільки за умови гарного освітлення робочих місць.

Недостатнє і нерівномірне освітлення робочих місць приводить до пера-напруги зору, перевтомі організму, появі надмірної нервової дратівливості, ослабленню уваги.

Негативно впливає на зір не тільки недостатнє освітлення, а і дуже яскраве освітлення. Перевищення норм яскравості веде до зниження функції зору, викликає роздратування і біль в очах, головні болі.

Проведемо розрахунок загального освітлення приміщення лабораторії. Довжина $A = 8$ м, ширина $B = 6$ м, висота $H = 4$ м. Висота робочої поверхні $h_p = 1$ м.

Для освітлення приймаємо світильники типу УПМ-15. Мінімальне освітлення лампи накаливання по нормах $E_{\min} = 100$ лк. Коефіцієнт відображення стелі $p_{\pi} = 70\%$, стін $p_c = 50\%$, робочої поверхні $p_p = 10\%$. Напруга в мережі 220 В.

Розрахунок.

Відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_o = H - h_p \dots \dots \dots (5.1)$$

$$H_o = 4 - 1 = 3 \text{ (м)}.$$

Відстань від стелі до світильника:

$$h_c = 0.2 \times H_o \quad (5.2)$$

$$h_c = 0.2 \times 3 = 0.6 \text{ (м)}.$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею:

$$H = H_o - h_c \quad (5.3)$$

$$h = 3 - 0.6 = 2.4 \text{ (м)}.$$

Висота підвішування світильника над сталлю:

$$H_n = h + h_p \quad (5.4)$$

$$H_n = 2.4 + 1 + 3.4 \text{ (м)}$$

(величина знаходиться в межах норми). Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення:

$$L / h = 1 / 5$$

Тоді відстань між центрами світильників:

$$L = 1.5 \times H_p \quad (5.5)$$

$$L = 1.5 \times 2.4 = 3.6 \text{ (м)}.$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = S / L^2 \quad (5.6)$$

$$N = 8 \times 6 / 3.6^2 = 3.7$$

Приймаємо число світильників рівне 4. Індекс приміщення:

$$i = A \times B / h \times (A + B) \quad (5.7)$$

$$i = 8 \times 6 / 2.4 \times (6 + 8) = 1.4.$$

При $i = 1.4$, $p_n=70\%$, $p_c=50\%$, $p_p=10\%$ для світильника типу УПМ-15 коефіцієнт використання світлового потоку $n=0.4$.

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi = E_{min} \times S \times K_z \times Z / N \times n \quad (5.8)$$

$$\Phi = 100 \times 48 \times 1.5 \times 1.15 / 3.7 \times 0.4 = 5594 \text{ (лк)};$$

де $K_z = 1.5$; $Z = 1.15$ для ламп накаливання.

По знайденому світловому потоці вибираємо лампу потужністю 200Вт, що має світловий потік 8300 лм, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість:

$$E_\phi = E_n \times \Phi_l / \Phi_p \dots \dots \dots (5.9)$$

$$E_\phi = 100 \times 8300 / 5594 = 148 \text{ лк.}$$

Загальна потужність освітлювальної установки:

$$P_z = P_l \times N = 200 \times 4 = 800 \text{ Вт.}$$

5.3. Повітряне середовище та мікроклімат. Вентиляція

Норми виробничого мікроклімата встановлені системою стандартів безпеки праці ГОСТ 12.1.005-88 “Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони”. У цих нормах окремо нормується кожен з компонентів мікроклімату у робочій зоні виробничого приміщення: температура, відносна вологість, швидкість повітря у залежності від можливості людини до акліматизації у різну пору року, характера одєжі, інтенсивності виробничої роботи та характеру тепловиділень у робочому приміщенні.

Шкідливими основними речовинами, які виділяються при зварюванні, є: окис вуглецю, хром, марганець та фтористі сполуки. У таблиці 5.1. представлені класи небезпечних речовин, які виділяються при зварюванні.

Таблиця 5.1. Класи небезпечних речовин, які виділяються при зварюванні

Речовина	ГДК, мг/м ³	Клас безпеки	Агрегатний стан
Марганець	0,05	1	аерозолі
Хром	0,1	1	аерозолі
Фтористі сполуки	0,5	2	аерозолі
Окис вуглецю	20	4	пари або газ

Згідно ГОСТ 12.1.005-88 гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничих приміщень не повинна перевищувати величин, вказаних у таблиці 7.1.

У зварювальних приміщеннях на стаціонарних робочих постах, а також, де це можливо, на нестаціонарних постах слід встановлювати місцеві відсмоктувачі.

Швидкість руху повітря, яка утворюється місцевими відсмоктувачами у джерелах виділення шкідливих речовин, повинна відповідати нормам, які приведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Швидкість руху повітря, яка утворюється місцевими відсмоктувачами у джерелах виділення шкідливих речовин

Процес	V, м/с
Зварювання ручне	>0,5
Зварювання у захисних газах	<0,3

Кількість шкідливих речовин, локалізованих місцевими відсмоктувачами повітря складає для витяжних шаф не більш, ніж 90%, а для місцевих відсмоктувачів інших видів не більше 75%. Решта кількості шкідливих речовин (10-20%) повинна розбавлятися до ГДК за допомогою загальнообмінної вентиляції.

У нашому випадку робоче місце зварювальника по ГДК, відноситься до 2 класу небезпеки.

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища на зварювальній ділянці передбачено влаштування загальнообмінної механічної вентиляції згідно ГОСТ 12.4.021–75 «Система стандартів безпеки 99 праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги », а також пристрої системи водяного або парового опалення відповідно до СНіП 2.04.05–91 «Будівельні норми. Опалення, вентиляція і кондиціонування», враховувалися вимоги згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно–гігієнічні вимоги до повітря робочої зони » і СП 245–71« Санітарні норми проектування промислових підприємств », що забезпечує оптимальні параметри, які вказані в табл. 5.3.

Таблиця 5.3. Метеорологічні умови в приміщенні дільниці

Період року	Категорія робіт	Температура	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний і перехідний	Середньої тяжкості	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	Середньої тяжкості	20-23	40-60	0,1-0,4

5.4. Розрахунок захисного заземлення

У зварювального обладнання система заземлення складається з заземлювачів-металевих предметів, поглиблених в землю, заземлюючих провідників і заземлюючої магістралі. З'єднання заземлювачів з елементами електропристроїв повинно бути надійно закріплено за допомогою зварювання. В якості матеріалу для виконання заземлювачів застосовують сталь. У нашому випадку – труби діаметром 100 мм, які з'єднані між собою, за допомогою смужової сталі. Для того, щоб зменшити коливання питомого опору ґрунту заземлювачі забивають в землю так, щоб їх верх знаходився на відстані 0,7-0,8

					КР.131.6121м.05.05.07.ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

м від рівня землі. Тим самим досягаються більш вологі і непромерзаючі шари ґрунту.

Смугову сталь для з'єднання заземлювачів приймаємо перетином 60х10 мм.

Обладнання працює під напругою 380 вольт. Визначаємо для нашого випадку за нормами допустимого опору заземлювачів 4 Ом та питомий опір ґрунту (суглинок) становить $\rho_t = 10^4$ Ом.

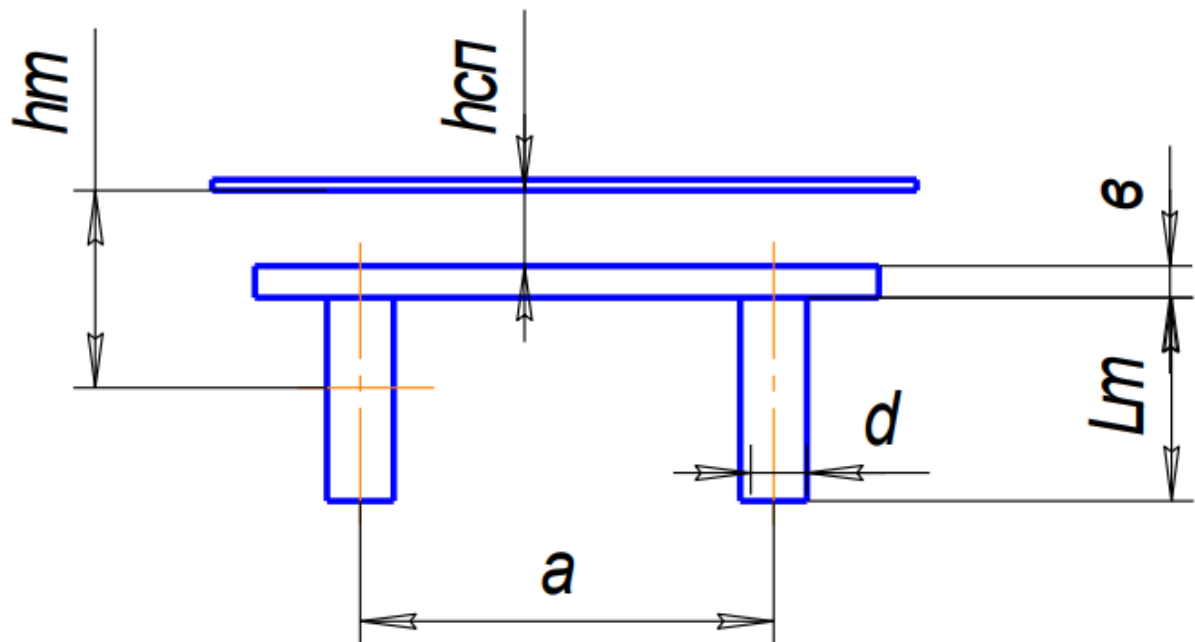


Рис.5.1. Схема заземлення ($hm = 2,5$ м; $h_{сп} = 0,8$ м; $Lm = 3,5$ м; $d = 0,1$ м; $a = 9,8$ м).

З огляду на можливість промерзання ґрунту взимку і просихання влітку, визначаємо розрахункове значення P_3 і P_n (Ом·см) при використанні трубчастих заземлювачів і сталевих смуг. Коефіцієнти K_3 і K_n беремо для відповідної кліматичної зони.

$$P_3 = \rho_t \times K_3 = 1 \times 10^4 \times 1,9 = 1,9 \times 10^4.$$

$$P_n = \rho_n \times K_n = 1 \times 10^4 \times 4,5 = 4,5 \times 10^4.$$

Визначаємо величину опору розтікання струму від однієї забитої в землю труби відповідно до викладеного в

$$R_3 = \frac{P_3}{2 \times \pi \times Lm} \left(\ln \frac{2 \times Lm}{d} + 0,5 \times \ln \frac{4 \times Hm + Lm}{4 \times Hm - Lm} \right),$$

де L_m -довжина електрода, см;

d -діаметр електрода, см;

H_m -глибина закладення, см.

Підставляємо значення в формулу і отримуємо:

$$R_{\Sigma} = \frac{1,9 \times 10^4}{2 \times 3,14 \times 350} \left(\ln \frac{2 \times 350}{10} + 0,5 \times \ln \frac{4 \times 250 + 350}{4 \times 250 - 350} \right).$$

Визначаємо потрібне число заземлювачів (шт.) відповідно до викладеного в:

$$n = \frac{P_{\Sigma}}{r_{\Sigma}} = \frac{37}{4} = 9,2,$$

де r_{Σ} -допустимий опір, Ом.

Приймаємо кількість труб $n = 9$ шт.

Визначаємо опір сполучної смуги (Ом):

$$R_n = \frac{P_n}{2 \times \pi \times L_n} \times \ln \frac{2 \times L_n^2}{h_{\Sigma} \times \hat{a}} = \frac{4,5 \times 10^4}{2 \times 3,14 \times 7600} \times \ln \frac{2 \times 7600^2}{80 \times 6} = 11,2.$$

Результуючий опір системи заземлення визначається за формулою:

$$R_c = \frac{R_{\Sigma} \times R_n}{R_{\Sigma} \times \eta_{\Sigma} + R_n \times \eta_n \times N}$$

де η_{Σ} -коефіцієнт використання електродів, $\eta = 0,76$;

-коефіцієнт використання смуги, $\eta_n = 0,82$.

Тоді з урахуванням всіх значень отримуємо:

Перевірка: $R_c < r_{\Sigma}$

$R_c = 3,7 \text{ Ом} < r_{\Sigma} = 4 \text{ Ом}$.

Таким чином, розраховано необхідну кількість електродів, при загальному опорі захисного заземлення, що не перевищує допустимого за нормами значення.

5.5. Заходи по забезпеченню пожежної безпеки

Для виключення можливості загорянь, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, необхідно проводити інструктаж і перевірку знань правил пожежної безпеки, відповідно до НПАОП 28.52-1.15-60 "Правила з техніки

безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах”, НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки України” та НПАОП 0.00-4.12-05 “Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці”.

Площа ділянки складає 48 м². Виходячи з цього, згідно НАПБ.03.001-2004 “Типові норми причетності вогнегасників” вибирається 2 порошкових вогнегасника ємністю 8 літрів.

На ділянці розташований пожежний щит. До складу щита входить:

- вогнегасник ВВК — 2 шт.;
- ящик і піском — 1 шт.;
- покривало розміром 2х2 м — 1 шт.;
- крюк — 1 шт.;
- лопата — 1 шт.;
- лом — 1 шт.;
- сокира — 1 шт.

Висновки

1. Правове та організаційне забезпечення. Визначено, що охорона праці є пріоритетною системою заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності працівників. Вся діяльність ґрунтується на ключовому законодавчому акті — Законі України "Про охорону праці", а також стандартах.

2. Визначення та мінімізація шкідливих факторів. Проведено аналіз технологічного процесу зварювання, який виявив основні небезпечні та шкідливі фактори:

- Випромінювання дуги: для захисту органів зору та шкіри передбачено використання спеціальних світлофільтрів та захисного одягу.

- Хімічне забруднення: Підвищена загазованість через виділення шкідливих речовин (таких як оксид вуглецю, сполуки хрому та марганцю), які відносяться до 1, 2 та 4 класів небезпеки.

3. Забезпечення санітарно-гігієнічних умов.

- Вентиляція. Для підтримки Гранично Допустимої Концентрації шкідливих речовин застосовується як місцева витяжна вентиляція (особливо в зоні дихання зварювальника), так і загальнообмінна механічна вентиляція.

- Мікроклімат. Параметри повітряного середовища (температура, вологість, швидкість руху повітря) на ділянці відповідають нормам.

4. Електробезпека та освітлення.

- Електробезпека. Проведено розрахунок захисного заземлення з використанням трубчастих заземлювачів.

- Освітлення. Розрахунок штучного освітлення підтвердив, що фактична освітленість 148 лк перевищує мінімальну норму 100 лк, що є необхідною умовою для безпечної та високопродуктивної роботи.

5. Пожежна профілактика. Розроблено заходи для забезпечення пожежної безпеки, включаючи інструктаж, перевірку знань та оснащення ділянки необхідною кількістю порошкових вогнегасників та повним комплектом інвентарю на пожежному щиті.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	.						Лит.	Лист
Перевір.								Листів
Н. Контр.							НУК, гр.	
Утв.								

6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

6.1. Принципи охорони навколишнього середовища та фактори забруднення

Охорона навколишнього середовища (ОНС) — це комплексна система державних, адміністративних, правових, економічних, політичних і громадських заходів, що мають на меті:

- Раціональне використання та відтворення природних ресурсів.
- Збереження особливо цінних та унікальних природних комплексів.
- Забезпечення екологічної безпеки для нинішнього та майбутніх поколінь.

Необхідність ОНС закріплена на найвищому рівні, зокрема в Основному Законі України, який передбачає заходи для охорони, науково обґрунтованого використання землі, надр, водних ресурсів, флори і фауни, а також збереження чистоти повітря і води.

З інтенсивним розвитком виробництва та промислової діяльності, спрямованої на задоволення потреб людини, зростає рівень забруднення основних компонентів біосфери: повітря, ґрунту, вод світового океану. Тому розв'язання питань екологічної безпеки набуває особливої актуальності.

Внаслідок промислової діяльності в Україні спостерігаються значні негативні зміни:

- Скорочення площі зелених насаджень.
- Підкислення ґрунту і води.
- Забруднення водойм, ґрунтів та повітря промисловими відходами, включаючи високотоксичні речовини.
- Збільшення концентрації вуглекислого газу (CO₂) в атмосфері через масове спалювання мінерального палива, що може призвести до глобальної зміни клімату (парниковий ефект).

Повітря є критично важливим елементом, оскільки його якість безпосередньо впливає на здоров'я людини, тваринний і рослинний світ.

					КР.131.6121м.05.06.07.ПЗ	Лист
						96
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Під час зварювального процесу основними джерелами забруднення повітря в робочій зоні є:

1. Газові викиди: Утворення токсичних газів, зокрема чадного газу (CO) та фтористого водню (HF). Утворення CO та HF є найбільш поширеними при використанні деяких видів електродів і флюсів.
2. Аерозолі та пил: Випаровування та конденсація легуючих хімічних елементів (наприклад, Cr, Ni, Mn) та оксидів, що утворюють високодисперсний пил (зварювальні аерозолі). Ці речовини, крім забруднення довкілля, створюють ризик для органів дихання працівників.
3. Випаровування допоміжних матеріалів: Випаровування речовин, що використовуються для обробки зразків (наприклад, реагенти для травлення).

6.2. Засоби запобігання атмосферному забрудненню

Для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення безпеки праці застосовуються спеціальні системи очищення повітря.

Для запобігання забрудненню атмосфери аерозолями та пилом використовують промислові витяжки та припливно-витяжні вентиляційні системи.

Очищення повітря від домішок здійснюється за двома напрямками:

1. Захист працівників: Очищення зовнішнього повітря при подачі (припливі) його у виробниче приміщення.
2. Захист довкілля: Очищення забрудненого повітря при видаленні (витяжці) його з приміщення.

Комплекс систем вентиляції включає: вентилятори, шумоглушники, повітряні фільтри, електричні/водяні повітрянагрівачі, а також регулюючі та повітророзподільні пристрої.

Вентиляційне Обладнання

					КР.131.6121м.05.06.07.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

- Вентилятори — механічні пристрої, що переміщують повітря по повітропроводах. Вони класифікуються за конструкцією: каналні (круглі та прямокутні), дахові, осьові (аксіальні), відцентрові (радіальні) та тангенціальні (діаметральні).

Заходи Зниження Шуму

- Шумоглушники є ключовим елементом для зниження аеродинамічного шуму. Вони бувають пластинчасті та трубчасті.
- Конструктивно вони містять розвинені поверхні, облицьовані звукопоглинальним матеріалом (наприклад, мінеральна вата або скловолокно).
- Установку шумоглушника (зазвичай між вентилятором і магістральним повітропроводом) обов'язково підтверджують акустичним розрахунком.

Повітряні фільтри слугують для очищення як припливного, так і витяжного повітря. Класифікація фільтрів залежить від необхідного ступеня очищення (чим менші частинки пилу захоплює фільтр, тим вищий його клас).

Згідно з міжнародною класифікацією, фільтри поділяються на:

- Грубе очищення: Класи G1 – G4 (чотири класи).
- Тонке очищення: Класи F5 – F9 (п'ять класів).
- Особливо тонке очищення (HEPA-фільтри): Класи H10 – H14 (чотири класи).
- Ультра-тонке очищення (ULPA-фільтри): Класи U15 – U17 (три класи).

Важливими експлуатаційними параметрами фільтрів є їхня пилоємність та аеродинамічний опір .

Разраб.									Лит.		Листів	
Перевір.												
									НУК, гр.			
Н. Контр.												
Утв.												

7. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК ПРОЄКТУ МПЛ

Економічне обґрунтування є невід'ємною частиною проєкту, оскільки дає змогу оцінити доцільність вибору обладнання, режимів зварювання, витратних матеріалів та організації виробничого процесу. У цій роботі ефективність запропонованих технологічних рішень визначається шляхом обчислення технологічної собівартості складання та зварювання ємності. При цьому вартість основного металу не враховується, оскільки сама конструкція залишається незмінною. Для визначення економічного ефекту виконано розрахунок витрат на зварювальні матеріали, електроенергію, оплату праці та експлуатацію обладнання. Вихідні дані для розрахунків технологічної собівартості складання і зварювання конструкції наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Вихідні дані для розрахунків технологічної собівартості складання і зварювання конструкції

Найменування показника	Розмірність	Величина
Річний обсяг продукції	шт.	1890
Ціна 1 кг зварювального присадочного прутка ER308LSI	грн	305
Ціна 1 кг зварювального флюсу ESAB OK Flux 10.92	грн	224
Ціна 1 м³ газової суміші Аргон + Водень (Ar+2-5%H ₂)	грн	250
Ціна 1 кг зварювального дроту ER321	грн	372
Ціна неплавкого вольфрамового електрода WC-20 (сірий)	грн/шт.	150
Ціна 1 кВт·год електроенергії	грн	9,56
Тарифна ставка оплати праці складальника, Тст	грн/год	138
Тарифна ставка оплати праці зварювальника, Тст	грн/год	120
Тарифна ставка оплати праці контролера, Тст	грн/год	93
Ціна апарата аргонодугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC	грн	99900
Ціна зварювального позиціонера серії HBJ-100	грн	151452
Ціна зварювальної системи SUBARC	грн	250000
Ціна зварювального обертача NHTR-6000	грн	150000

Технологічна собівартість C_T складається з затрат на зварювальні матеріали C_M , на електроенергію C_e , на оплату праці $C_{пр}$, амортизаційні відрахування C_a та відрахування на поточний ремонт обладнання C_p , тобто:

$$C_T = C_M + C_e + C_{пр} + C_a + C_p \quad (7.1)$$

Затрати на кожний з матеріалів C_{Mi} визначаються за формулою:

$$C_{Mi} = \Pi_{Mi} \times \Pi_{Mi} \quad (7.2)$$

де Π_{Mi} — витрати i -го матеріалу; Π_{Mi} — ціна 1 кг даного матеріалу.

Витрати на дріт та флюс, кг, розраховуються за формулою:

$$G_{Mi} = G_H \times k, \quad (7.3)$$

де k — коефіцієнт переходу від маси наплавленого металу до витрати матеріалів для зварювання. $k = 2$ (дріт), $k = 2$ (флюс).

Витрати газу, m^3 , розраховуються за формулою:

$$H_{г.заг} = 0,8 \times G_{др} \quad (7.4)$$

Вага наплавленого металу, кг розраховується за формулою:

$$G_H = \gamma \times F_H \times l_{шв} \quad (7.5)$$

Необхідна кількість кожного з матеріалів Π_{Mi} визначається згідно з ДСТУ 3159-95.

Загальні затрати на матеріали розраховується за формулою:

$$C_M = \Sigma C_{Mi}. \quad (7.6)$$

Вартість електроенергії розраховується за формулою:

$$C_e = W \times C_e, \quad (7.7)$$

де W — повні витрати електроенергії одним зварювальним постом, кВт×год; C_e — ціна 1 кВт×год електроенергії.

$$W = \frac{U_d \times I_{зв}}{\eta \times 1000} \times \tau + \omega_0 (\tau_1 - \tau), \quad (7.8)$$

де U_d — напруга дуги; η — ККД джерела живлення ($\eta = 0,6 \dots 0,8$ — для зварювання постійним струмом); ω_0 — потужність, що витрачається джерелом живлення під час холостого ходу ($\omega_0 = 2 \dots 3$ кВт для постійного струму); τ — час горіння дуги, год.; $\tau_1 = \frac{\tau}{K_n}$ — час зварювання з урахуванням коефіцієнту K_n

використання зварювального поста (для зварювання у цехових умовах $K_{\text{п}} = 0,5 \dots 0,8$).

Повні затрати на основну заробітну плату виконання визначаються трудомісткістю виконання роботи, середньою годинною тарифною ставкою робітника відповідної професії з урахуванням доплатної зарплати та єдиного соціального внеску і розраховуються за формулою:

$$C_{\text{зп}} = [(1,1 \dots 1,5) \times T_{\text{р}} \times \Gamma_{\text{ст}}] \times 1,22, \quad (7.9)$$

де $T_{\text{р}}$ – трудомісткість виконання (складання, зварювання, зачищення тощо) зварного виробу, н-год; $\Gamma_{\text{ст}}$ – середня годинна тарифна ставка робітника відповідної професії, грн./год.

Трудомісткість складання для поздовжніх стикових швів розраховується за формулою:

$$T_{\text{р ск}} = 0,0077 \times s + 0,11 \quad (7.10)$$

Трудомісткість складання для кільцевих стикових швів розраховується за формулою:

$$T_{\text{р ск}} = 0,011 \times s + 0,18, \quad (7.11)$$

де s – товщина металу, мм.

Трудомісткість зварювання розраховується за формулою:

$$T_{\text{р.зв}} = l_{\text{шв}} \times T_{\text{о}} \times K_{\text{д}} \times K_{\text{п-з}} \times K, \quad (7.12)$$

де $T_{\text{о}}$ – основний час – це час горіння дуги та наплавлення металу на 1м шва, год; $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує додатковий час; $K_{\text{п-з}}$ – коефіцієнт, що враховує підготовчо-заклучний час; K – коефіцієнт обслуговування робочого місця; m – кількість проходів при зварюванні.

Для автоматичного зварювання:

$$T_{\text{о}} = \frac{m}{V}, \quad (7.13)$$

де m – число проходів.

					КР.131.6121м.05.07.07.ПЗ	Лист
						102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для механізованого зварювання в газовій суміші:

$$T_o = \frac{F_1 \gamma}{I_{зв1} \times \alpha_n} + \frac{F_n \gamma}{I_{звn} \times \alpha_n}, \quad (7.14)$$

де γ – густина металу шва, г/см³ ($\gamma = 7,9$ г/см³); α_n – коефіцієнт наплавлення, г/(А × год); F_1 – площа поперечного перерізу зварного шва для першого проходу, см²; F_n – площа поперечного перерізу шва для наступних проходів, см².

Амортизаційні відрахування від кожного виду обладнання C_{ai} та відрахування на поточний ремонт C_{pi} визначаються за наступними формулами:

$$C_{ai} = \frac{\sum B_i \times H_{ai}}{100} \quad (7.15)$$

$$C_{pi} = \frac{\sum B_i \times H_p}{100}, \quad (7.16)$$

де B_i , H_{ai} , H_p – вартість, норма амортизаційних відрахувань та норма витрат на поточний ремонт обладнання.

Річна сума амортизаційних відрахувань $C_{p.ai}$ розраховується за формулою:

$$C_{p.ai} = \frac{C_{ai}}{7 \text{ років}} \quad (7.17)$$

Річна сума відрахування на поточний ремонт $C_{p.pi}$ розраховується за формулою:

$$C_{p.pi} = \frac{C_{pi}}{7 \text{ років}} \quad (7.18)$$

Технологічну собівартість складання і зварювання конструкції розраховуємо за вищезазначеними формулами.

Стикові з'єднання, виконані автоматичним зварюванням під флюсом

$$l_{шв1} = 8,4 \text{ м}; F_n = 30 \text{ мм}^2$$

					КР.131.6121м.05.07.07.ПЗ	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Витрати матеріалів та ресурсів на стикові з'єднання розраховано за формулами 7.3, 7.5, 7.8. Результати розрахунків наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Витрати матеріалів та ресурсів на стикові з'єднання

G_н, кг	G_{др}, кг	G_{фл}, кг	W, кВт×год
2	2,04	2,2	0,8

Собівартість виконання стикових з'єднань для одного виробу розраховано за формулами 7.2, 7.7, 7.9 – 7.14. Результати розрахунків наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3. Собівартість виконання стикових з'єднань для одного виробу

C_{др}, грн	C_{фл}, грн	C_е, грн	C_{ск}, грн	C_{зв}, грн	C_к, грн
758,9	308	7,65	74	80,5	17,5

Таврові з'єднання, виконані автоматичним зварюванням під флюсом
 $l_{шв} = 0,824 \text{ м}$

Витрати матеріалів та ресурсів на таврові з'єднання (автоматичне зварювання під флюсом) розраховано за формулами 7.3, 7.5, 7.8. Результати розрахунків наведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.4. Витрати матеріалів та ресурсів на таврові з'єднання (автоматичне зварювання під флюсом)

G_н, кг	G_{др}, кг	G_{фл}, кг	W, кВт×год
0,027	0,028	0,03	0,25

Собівартість виконання таврових з'єднань (автоматичне зварювання під флюсом) для одного виробу розраховано за формулами 7.2, 7.7, 7.9, 7.12 – 7.14. Результати розрахунків наведено в табл. 7.5.

Таблиця 7.5. Собівартість виконання таврових з'єднань (автоматичне зварювання під флюсом) для одного виробу

С _{др} , грн	С _{фл} , грн	С _е , грн	С _{ск} , грн	С _{зв} , грн	С _к , грн
10	3,9	2,4	9,3	7,9	4

Таврові з'єднання, виконані механізованим зварюванням в газовій суміші
 $l_{шв} = 1,7 \text{ м}$

Витрати матеріалів та ресурсів на таврові з'єднання (механізованим зварюванням в газовій суміші) розраховано за формулами 7.3, 7.4, 7.5, 7.8. Результати розрахунків наведено в табл. 7.6.

Таблиця 7.6. Витрати матеріалів та ресурсів на таврові з'єднання (механізованим зварюванням в газовій суміші)

G _п , кг	G _{др} , кг	H _г , м ³	W, кВт×год
0,056	0,057	0,046	0,3

Собівартість виконання таврових з'єднань (механізованим зварюванням в газовій суміші) для одного виробу розраховано за формулами 7.2, 7.7, 7.9, 7.12 – 7.14. Результати розрахунків наведено в табл. 7.7.

Таблиця 7.7. Собівартість виконання таврових з'єднань (механізованим зварюванням в газовій суміші) для одного виробу

С _{др} , грн	С _г , грн	С _е , грн	С _{ск} , грн	С _{зв} , грн	С _к , грн
20,8	13,9	2,87	30	1	1

Для подальшого розрахунку технологічної собівартості необхідно також включити витрати, пов'язані з експлуатацією основного обладнання. Зокрема, слід урахувати амортизаційні відрахування та витрати на поточний ремонт. Як приклад, у роботі наведено розрахунок амортизаційних відрахувань і витрат на поточний ремонт апарата аргонодугового зварювання Jasic TIG-315P AC/DC, виконаний згідно з формулами 7.15 – 7.18.

Витрати на амортизацію обладнання:

$$C_{a.Jasic} = \frac{99000 \times 14}{100} = 13860 \text{ грн}$$

Річна сума амортизації:

$$C_{a.p.Jasic} = \frac{13860}{7} = 1980 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$C_{p.Jasic} = \frac{99000 \times 15}{100} = 14850 \text{ грн}$$

Річна сума ремонту:

$$C_{p.p.Jasic} = \frac{14850}{7} = 2121 \text{ грн}$$

Аналогічні розрахунки виконано для всього обладнання, задіяного у зварюванні конструкції. У підсумку річні амортизаційні відрахування становлять 1714 грн, а витрати на поточний ремонт — 1821 грн.

Річна програма — 2500 шт.

Амортизація на 1 виріб:

$$\frac{10424,8}{2500} = 4,17 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт на 1 виріб:

$$\frac{11138}{2500} = 4,46 \text{ грн.}$$

Технологічна собівартість 1 виробу (за формулою 7.1):

$$C_T = 1115,5 + 12,9 + 255,2 + 4,17 + 4,46 = 1392 \text{ грн}$$

Технологічна собівартість виготовлення конструкцій за рік:

$$C_{p.T} = 1392 \times 2500 = 3480000 \text{ грн.}$$

Зведені затрати на технологічну собівартість складання та зварювання конструкції наведено в табл. 7.8.

Таблиця 7.8. Зведені затрати на технологічну собівартість складання та зварювання конструкції

Найменування статей затрат	Загальна сума, грн
Зварювальні матеріали	2788750
Електроенергія	638000
Заробітна плата	32250
Амортизаційні відрахування по обладнанню	10425
Витрати на поточний ремонт обладнання	11138
Технологічна собівартість	3480000

Висновок

Технологічна собівартість випуску ємностей у кількості 2500 одиниць дорівнює 3480000 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексне дослідження технології виготовлення зварної ємності та визначено основні проблеми зварювання. На основі виконаних розрахунків, експериментальних досліджень та проектних рішень встановлено:

Стандартні зварні з'єднання С2 та Т1, доцільно замінити на С47 та Т6 для більш якісного зварного з'єднання

Сталь AISI 304 є оптимальною для харчової промисловості завдяки високій корозійній стійкості та здатності працювати в широкому температурному діапазоні.

Обґрунтовано застосування зварювальних матеріалів **ER308LSi, ER321**, а також використання зварювального флюсу ESAB OK Flux 10.92, та газової суміші Аргон + Водень (Ar+2-5%H₂).

Розроблено технологічний процес складання та розраховані режими зварювання з використанням роликового обертача NHTR-6000, позиціонера HBJ-100 та зварювальної системи SUBARC на зварювальній колоні Matic.

Результати металографічного аналізу мікроскопом Неофот 21 та випробувань на ударну в'язкість (копра КМ-30) підтвердили високу стійкість проти гарячих тріщин та експлуатаційну надійність розробленої технології, обраних режимів зварювання та матеріалів

Розроблено компоновальну схему цеху шириною 30м та кроком колон 12м що відповідає V класу підприємств та враховує вимоги ергономіки, раціональне розміщення обладнання та потоковість виробничих операцій.

Розроблено комплекс заходів з охорони праці, електробезпеки та пожежної профілактики. Розрахунки вентиляції, освітлення та заземлення підтвердили відповідність умов праці чинним нормативним вимогам.

Доведено економічну ефективність. Розрахункова технологічна собівартість випуску партії становить 3480000грн. що підтверджує економічну доцільність упровадження запропонованої технології.

					КР.131.6121м.05.07.07.ПЗ	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список літератури

1. Технологія електричного зварювання металів і сплавів плавленням / за ред. акад. Б. Є. Патона. – Москва: Машинобудування, 1974. – 768 с.
2. Гарячі тріщини при зварюванні жароміцних сплавів / М. Х. Шоркебров, А.А.Єрохін, Т.А.Чернишова та ін. – Москва: Машинобудування, 1973. – 224 с.
3. Квасницький В. В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання : навч. посіб. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 184 с.
4. Квасницький В. В. Теорія процесів зварювання : навч. посіб. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 184 с.
5. Каховський М.І. Зварювання нержавіючих сталей. – Київ: Техніка, 1968. – 312 с.
6. СНіП II-A.9–71. Будівельні норми і правила.
7. ГОСТ 12.1.005–88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.
8. ГОСТ 14771–76. Дугове зварювання в захисному газі. Зварні з'єднання. Основні типи, конструктивні елементи та розміри.
9. СТО Газпром 2-2.2-136–2007. Інструкція з технологій зварювання під час будівництва та ремонту промислових і магістральних газопроводів. Частина 1.
10. Медовар Б. І. Зварювання жароміцних аустенітних сталей і сплавів. – Москва : Машинобудування, 1966. – 432 с.
11. Костін О.М. Зварювальні матеріали : навч. посіб. – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
12. Lipodaev V. N. Corrosion of High-Alloyed Steel Welded Joints in Superaggressive Media. – Kyiv : Paton Electric Welding Institute, 1997. – Vol. 7, Part 3. – P. 1–145.

13. Методичні вказівки до розділу “Охорона праці та безпека в галузі” дипломного проєкту для студентів спеціальності 8.092301 “Технологія та устаткування зварювання” / А.В.Нестеров. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 36 с.
14. Виробництво резервуарів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://biznesprost.com/otkryt-biznes/proizvodstvo-rezervuarov.ua>
15. Вісник Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2252>
16. Metinvest Holding. Марки сталей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s>
17. Єгоров Г. В., Єрмолаєв Г. В., Квасницький В. В., Квасницький В. Ф. Основи технології зварювання низьколегованих високоміцних сталей. – Миколаїв : НУК, 2014. – 136 с.
18. Куркін С. А., Ховов В. М., Рибачук А. М. Технологія, механізація та автоматизація виробництва зварних конструкцій. Атлас. – Москва : Машинобудування, 1989. – 328 с.
19. ГОСТ 10704–91. Труби сталеві електрозварні прямошовні. Сортамент.
20. Ніколаєв Г. А., Куркін С. А., Винокуров В. А. Зварні конструкції. Технологія виготовлення, автоматизація виробництва та проєктування. – Москва : Вища школа, 1991. – 345 с.
21. Голобородько Ж.Г., Драган С.В., Квасницький В.В. Основи технології дугового зварювання суднових конструкцій : навч. посіб. / за заг. ред. С.В.Драгана. – Миколаїв: НУК, 2013. – 380 с.
22. Акулов А. І., Бельчук Г. А., Дем’янцевич В. П. Технологія та обладнання зварювання плавленням : підручник. – Москва: Машинобудування, 1977. – 342 с.
23. Розрахунки в дипломних проєктах з технології та обладнання зварювального виробництва: навч. посіб. / С.В.Драган, Г.В.Єрмолаєв, В.Ф.Квасницький та ін. ; за ред. В.Ф.Квасницького. – Миколаїв : НКІ, 1989. – 89 с.

					КР.131.6121м.05.00.07.ПЗ	Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

24. Стандарт Міністерства промислової політики України. СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталеві зварні. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.09.2009.
25. Драган С. В. Джерела живлення для зварювання плавленням. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 342 с.
26. ДСТУ 2593–94. Обертачі зварювальні горизонтальні двостоякові. Типи, основні параметри та розміри.
27. Гітлевич А. Д., Етінгоф Л. А. Механізація та автоматизація зварювального виробництва. – Москва: Машинобудування, 1979. – 280 с.
28. ДСТУ 2456–94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки.
29. Левченко О. Г., Полукаров О. І. Охорона праці у зварювальному виробництві : навч. посіб. – Київ: Основа, 2014. – 352 с.
30. ДСН 3.3.6.042–99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : затв. постановою МОЗ України № 42 від 01.12.1999.
31. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін.; за ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – Київ: Основа, 2006. – 448 с.
32. Драган С. В., Голобородько Ж. Г., Сімутенков І. В. Технологія зварювання суднових корпусних конструкцій (проєктування і організація) : навч. посіб. – Миколаїв: НУК, 2017. – 323 с.
33. ДСТУ 3159–95. Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання.