

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній рівень)

на тему: Обґрунтування технології виготовлення теплового акумулятора V1500 для твердопаливного котла з дослідженням структурно-фазових перетворень і властивостей металу зварного шва (на замовлення НВП «Теплобак»)

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МПм

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Паробок С.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лазарюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТ
доц., кт.н. Окіпний І.Б.
«___» _____ 2022__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 131 "Прикладна механіка"
(шифр і назва спеціальності)
студенту Паробка Степана Ярославовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Обґрунтування технології виготовлення теплового акумулятора V1500 для твердопаливного котла з дослідженням структурно-фазових перетворень і властивостей металу зварного шва (на замовлення НВП «Теплобак»)

Керівник проекту (роботи) Лазарюк В.В., к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «11» листопада 2022 року №4/7-904

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 22 грудня 2022 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення виробу; технічні умови на виготовлення; базовий технологічний процес виготовлення виробу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Науково-дослідна частина.
Конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.
Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Тепловий акумулятор. Пристрій для обрізки кромки обичайки та денець. Пристрій для зварювання кільцевих швів. Роликовий стенд. План ділянки. Центратор. Розрахунок роликового стенду. Режими зварювання. Аналіз очікуваних структур.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Ткаченко І. Г., доц. каф. МТ</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Клепчик В.М., проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва</i>		

7. Дата видачі завдання «_4_» _жовтня_ 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Паробок С.Я.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Лазарюк В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра, на тему: «Обґрунтування технології виготовлення теплового акумулятора V1500 для твердопаливного котла з дослідженням структурно-фазових перетворень і властивостей металу зварного шва» складається із 5 частин розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 73 - аркуша формату А4 та графічної частини об'ємом 9 аркушів формату А1. Записка складається із таких частин: аналітичний, технологічний, науково-дослідний, конструкторський, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Мета кваліфікаційної роботи – зниження трудомісткості, матеріало- та енергозбереження, покращення експлуатаційних характеристик зварної конструкції корпусу теплоакумулятора.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 17 рисунків, 10 таблиць та додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 25 літературних джерел.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання теплоакумулятора. Запропоновано: технологію автоматичного дугового зварювання корпусу теплоакумулятора; розраховано параметри режиму зварювання; запропоновано раціональне устаткування і пристосування; проведено розрахунки конструкції складально-зварювального устаткування, проведено дослідження та прогнозування структурно-фазових перетворень в результаті термічного впливу процесу зварювання на матеріал виробу та його механічні властивості; розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: КОРПУС ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА, АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНИЙ ДРІТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Аналітична частина	8
1.1 Опис конструкції виробу	8
1.2 Характеристика матеріалу виробу	10
1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції	12
1.3.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів	12
1.3.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні	14
1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу	15
1.3.4 Вимоги до складання зварної конструкції	15
1.3.5 Вимоги до якості виробу	16
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та завдання на проектування	17
2 Технологічна частина	17
2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання	18
2.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів	19
2.3 Розрахунок режимів зварювання	21
2.3.1 Розрахунок режимів зварювання стикових з'єднань	22
2.3.2 Розрахунок режимів зварювання таврових з'єднань	28
2.4 Вибір устаткування для складання корпусу теплоаккумулятора	31
2.5 Вибір зварювального устаткування	34
2.6 Контроль якості зварювання теплоаккумулятора	37
2.7 Технології складання та зварювання теплоаккумулятора	39
2.8 Розрахунок кількості устаткування та виробничих приміщень	40
2.9 Висновки	43
3. Науково-дослідна частина	44
3.1 Вибір розрахункової схеми поширення теплоти при зварюванні	44
3.2 Розрахунок термічного циклу для стикового зварного з'єднання	46
3.3 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу	48
3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання	50

3.5 Висновки	55
4. Конструкторська частина	56
4.1 Розрахунок роликового стенду	56
4.2 Розрахунок валів привідної та холостої роликоопор	60
4.3 Висновки	63
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	64
5.1 Аналіз потенційних шкідливостей на зварювальній ділянці. Заходи щодо їх зниження	64
5.2 Організація служби охорони праці на підприємстві	66
5.3 Перша домедична допомога при ураженні електричним струмом	68
Загальні висновки	71
Перелік посилань	72
Додатки	77

ВСТУП

Удосконалення сучасних технологічних процесів металообробного виробництва проводиться як відгук на потреби користувачів та замовників продукції в частині якості, швидкості та своєчасності поставки виробу за найменшою вартістю на перенасиченому ринку. Тому достатня відтворюваність, гнучкість технології при зміні матеріалу на користь замовника, висока якість та дотримання комплексу властивостей є необхідними чинниками вибору шляху модернізації.

Електричне дугове зварювання оболонкових виробів супроводжується високою трудомісткістю технологічних складально-зварювальних операцій, високою концентрацією зварювальних напружень, складністю виправлення дефектів. Тому застосування маловуглецевих сталей з доброю зварюваністю, прогнозованою структурою та властивостями, зменшення ручної праці, використання адаптивного зварювального обладнання залишаються важливими завданнями технологів. Застосування методів прогнозування, розрахунку здатності до зварювання та властивостей металу після термо-деформаційного впливу зварювального процесу в умовах швидкої зміни конструкцій та виробів є актуальними задачами проектування технологічних процесів.

Модернізація технологічних операцій проводиться не лише із врахуванням мікроструктури та внутрішнього стану виробів, але і через підвищення об'єму виробництва через проведення автоматизації окремих операцій. Такий підхід одночасно дозволяє зменшити трудомісткість виготовлення виробів та покращити ефективність виробництва.

Якість складання циліндричних заготовок дозволяє використовувати способи зварювання які дають вищу якість зварного шва. Механізація зварювально-складальних операцій формування монтажних швів дозволяє також зменшити кількість ручної праці та зменшити час виготовлення виробу. Важливо також для полегшення умов праці зварників дотримуватись вимог охорони праці та безпеки зварювальних робіт, в першу чергу застосовуючи організаційні та попережувальні заходи із більш якісними засобами індивідуального захисту із врахуванням ризиків та шкідливих умов.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Тепловий акумулятор це пристрій - резервуар призначений для зберігання теплоізолюваного теплоакумуючого матеріалу із допоміжним устаткуванням. Теплоаккумулятор надає можливість ефективно використати паливні ресурси та отримати тепло у будинку за найменші витрати. Основними функціями теплоаккумулятора у побутовій системі опалення є акумуляування тепла та його віддача до системи при потребі, а також захист котельного устаткування від закипання та перегрітої води через перемішування з охолодженою [1].

Як правило у побутових системах теплопостачання використовується як теплоносієм вода, що має достатні теплові характеристики. Фазові перетворення пароутворення та конденсації проходять у визначених діапазонах температур та тиску, обмеженими 100 °C та 1 атм. Проте в умовах експлуатації зачасту системи теплопостачання об'єднані з міськими централізованими системами водопостачання із своїми робочими значеннями тиску води у мережі. Також в процесі роботи теплового акумулятора можуть відбуватись пікові короточасні підйоми температури вище 100 °C та тиску до 10 атм.

Різноманіття теплових акумуляторів для роботи систем опалення на ринку України досягло 1140 одиниць із семи країн постачання. Лише в Україні випуском даного виду продукції займається 37 підприємств за даними сайту prom.ua на жовтень 2022 року. Відомий український виробник теплоаккумуляторів НДФ «Теплобак» пропонує широкий модельний ряд буферних ємностей для систем теплопостачання [2]. Моделі теплоаккумуляторів ВТА-4, наприклад, виготовляють в діапазоні об'ємів 200-10000 л із тисками від 3 до 10 атм (10^5 Па). Дана ємність виготовляється із сталі S235JR.

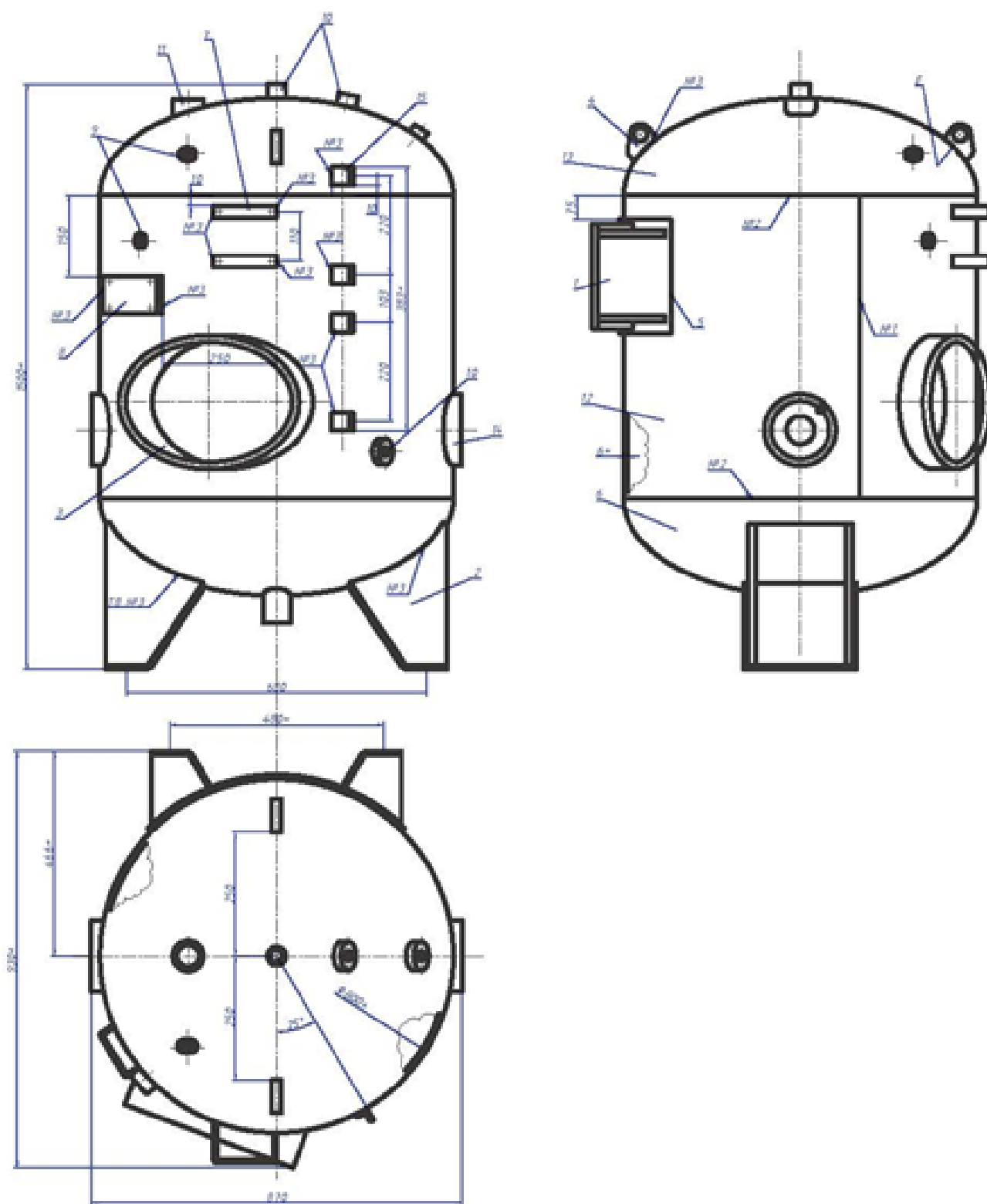


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд теплового акумулятора для твердопалив-ного котла V1500

Перспективною для даного виду продукції є тепловий акумулятор із можливістю теплопостачання не лише побутових споживачів, але і промислових установ. Теплоаккумулятор V1500 габаритними розмірами 1500х930 мм об'ємом 600 л для твердопаливного котла системи теплопостачання лінії сушіння вапнякового борошна представлено на рисунку 1.

Теплоаккумулятор (див. лист ДРМ 21-425.01.00) складається з двох донець і обичайки, які з'єднані зварними швами С18, С19 та Т1. З обох боків приварені сполучні фланці для входу і виходу теплоносія, патрубки запобіжної групи, патрубков зливу, горловина люка, стійки. Люк герметично закриває ємність та необхідний для техогляду та очищення резервуара. Посудина виготовляється із сталі S235JR товщиною 6 мм. Допустима максимальна підтримувана температура теплоносія 120 °С. Ємність проходить гідравлічне випробування під тиском 10 атм.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Матеріалом для виготовлення конструкції посудини теплового акумулятора є нелегована конструкційна сталь марки S235JR. Сталь S235JR, відноситься до групи маловуглецевих сталей [3, 4]. Механічні властивості даної сталі, її хімічний склад, види обробки регламентує європейський стандарт EN 10025-2 [3]. Хімічний склад сталі S235JR подано у таблиці 1.1. Аналогами даного матеріалу є конструкційні сталі звичайної якості Ст2сп, Ст2пс, Ст3сп, Ст3пс. Вибір сталі європейського класу якості обумовлюється обмеженістю ресурсів в Україні та вимогами європейського замовника. Сталь S235JR виробляється як в Україні компанією Метінвест, так і за кордоном чисельними європейськими та азійськими поставниками.

Розглянемо зварюваність сталі S235JR у порівнянні із сталлю Ст3пс. Під зварюваністю розуміємо таку здатність металу утворювати при визначеній технології зварювання нероз'ємні з'єднання з необхідними експлуатаційними властивостями. На зварюваність впливають тип кристалічної решітки, ступінь легування, домішки, фізичні властивості металу.

Для вуглецевих сталей відомо чотири групи зварюваності [5]: добре, задовільно, обмежено та погано зварювані. Сталь S235JR, як і сталь Ст3пс відноситься добре зварюваних сталей. Відомо, що сталь Ст3пс [5] добре зварюється різними способами. Проте сталі з більшим вмістом вуглецю імовірність утворення холодних тріщин може рости при більшій швидкості охолодження, особливо при зварюванні швами малого перерізу. Тому, необхідно ретельно дотримуватись рекомендованих режимів зварювання.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі S235JR за ківшевою пробєю для товщини не більше 40 мм, максимальні значення %, [4]

C	Mn	P	S	N	Cu
≤0.17	≤1.40	≤0.035	≤0.035	≤0.12	≤0.55

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі S235JR при кімнатній температурі, [4]

Номінальна товщина, мм	Мінімальна межа плинності, ReH, МПа	Межа міцності, Rm, МПа
≤16	235	360-510

Хімічний склад сталі S235JR відрізняється від сталі Ст3пс більшою кількістю вуглецю та більшою кількістю марганцю, меншим вмістом сірки та фосфору. Більш високий вміст вуглецю та марганцю підвищує міцність фериту. Проте підвищення марганцю до 1,4 % проти 0,65% у Ст3пс зменшує дещо в'язкість фериту [6]. Позитивом збільшення вмісту марганцю є зниження температури мартенситного перетворення, що звичайно сприяє кращій зварюваності даної сталі. Хімічний склад та механічні властивості сталі Ст3пс наведені в таблицях 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3 Хімічний склад сталі Ст3пс, % [8]

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Cu	N	S	P
Ст3пс	0,14-0,22	0.05-0.15	0.4-0.65	≤0.30	≤0.30	≤0.01	≤0.05	0,04

Таблиця 1.4 Механічні властивості сталі Ст3пс, [7]

Марка сталі	Тимчасовий опір, МПа	Межа течу-чості, МПа	Відносне по-довження, %	Ударна в'язкість, кГм/см ²
Ст3пс	380-470	210-240	21-23	7-10

З метою перевірки імовірності утворення холодних тріщин у сталі S235JR, при максимальному вмісті основних легуючих елементів, розрахуємо еквівалентний вміст вуглецю C_e за рекомендаціями Міжнародного інституту зварювання [9].

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

$$C_e = 0,17 + \frac{1,4}{6} + \frac{0,3}{15} = 0,423 \%$$

Отже, розраховане максимальне значення C_e рівне 0,423 %, що нижче допустимого значення $C_e = 0,425$. Хоча імовірність утворення холодних тріщин не висока, проте це справджується за умови мінімального впливу водню на метал зварного шва. Згідно рекомендацій виробників сталь S235JR зварюється без обмежень, без подальшого термооброблення та без підігрівання [4].

1.3 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

1.3.1 Вимоги матеріалів і напівфабрикатів

При виборі матеріалу для конструкції основним фактором є забезпечення оптимальних експлуатаційних характеристик – міцності та жорсткості, границі текучості, та міцності, ударної в'язкості, корозійної стійкості, наслідки при втраті цілісності, вартість матеріалу, наявність стандартного сортаменту.

Розрахунок, проектування та виготовлення теплоаккумулятора повинні вестися у відповідності до ДНАОП 000 – 1.08 – 94: “Правила, пристрої та умови безпечної експлуатації парових та водонагрівних котлів” [10].

Матеріали, які використовуються для виготовлення та ремонту котлів, теплообмінних апаратів та посудин тиску [10], повинні бути наділені доброю зварюваністю, а також міцністю та пластичними характеристиками, які забезпечують надійну та тривалу роботу в заданих умовах експлуатації.

Серед факторів, що впливають на вибір матеріалу, приймають до уваги ті фактори, які можуть змінюватися в процесі експлуатації та впливати в подальшому на працездатність, такі як характер, знакоперемінність навантаження, тривалість навантаження, температура та середовище, наявність можливих концентраторів, зменшення ресурсу міцнісних та пластичних характеристик, створення різного роду залишкових напружень, зварюваність матеріалу, можливість ремонту, втрата жорсткості конструкції.

Для виготовлення корпусу теплового акумулятора, що може перебувати під надлишковим тиском необхідно дотримуватись певних технічних вимог та рекомендацій. Такі умови до сталей визначені “Правилами пристроїв та безпечної експлуатації посудин, які працюють під тиском” [11].

Під час створення посудин, що працюють під тиском, дотримуються певних вимог, а саме: мінімальна кількість зварних з’єднань, зварювання не проводять в небезпечних місцях концентрації напружень, не допускаються стики з неповним проплавленням, розташування з’єднань повинно бути зручним для зварника та для проведення контролю якості, проведення робіт не допускається при мінусовій температурі, зварювання правдиться з врахуванням виробничих інструкцій та можливостей. Особливі вимоги виставляються до посудин, що працюють під тиском, так їх овальність не повинна перевищувати 1%.

Марку сталі обирають з врахуванням її зварюваності та класу конструкції. Для отримання з’єднань з високими механічними характеристиками з міцності чи ударної в’язкості використовують сталі з підвищеним вмістом марганцю. Якість металів повинна відповідати технічних вимогам і, а партії повинні бути сертифіковані заводами – виробниками. Листовий прокат не повинен мати надлишкову хвилястість, тріщини, корозію, дефекти, які можуть зменшити його надійність

[11]. Перераховані міцні і пластичні властивості повинні забезпечити надійну експлуатацію виробів протягом розрахункового терміну служби.

1.3.2 Вимоги до розмірів та якості поверхні

При виготовленні посудин, що працюють під тиском, повинні дотримуватися допуски, передбачені відповідними чи стандартами технічними умовами: граничні відхилення обичайок від форми і номінальних розмірів не повинні перевищувати визначених значень (таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 - Граничні відхилення обичайок від форми і розмірів (ДСТУ 24.03039-80)

Зовнішній діаметр обичайок, мм	Відхилення, мм		
	На діаметр	На незграбність	На перпендикулярність
≤1000	± 5	3	2
1000 - 1500	± 7	4	2
1500 - 2300	± 9	4	3
2300 - 2800	±11	5	3
≥2800	±12	6	3

Овальність обичайок у будь-якому перетині не повинний перевищувати 1%, а для діаметра більш 2000 мм – не більш 20 мм.

Для еліптичних днищ згідно “Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском” відхилення профілю випускної частини не повинний перевищувати:

- для днищ діаметром до 500 мм – 1% від номінального внутрішнього діаметра;
- для днищ діаметром понад 500 мм – 1,25% від номінального внутрішнього діаметра.

Внутрішня поверхня складальних елементів зварної конструкції має бути чистою та зачищеною від бруду, окалини та іржі.

Зварні шви корпусу агрегату повинні зачищатися до одного рівня з його внутрішньою поверхнею з допустимим посиленням не більше як 0,05 мм. Технологічні операції повинні бути доступними до місця зварювання.

1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу

Під час усього терміну експлуатації ЗЗ повинні мати достатню міцність, стійкість та витривалість при заданому необхідному навантаженні та середовищі. Міцність самого металу шва повинна повністю відповідати міцності для основного металу.

При проектуванні технологічного процесу зварювання доцільно вибирати такі матеріали та способи зварювання, щоб утворення тріщин, пористості, непроварів, інших дефектів пришовної зони було мінімальним.

Конструкція корпусу теплоаккумулятора має забезпечити [11]:

- 1) можливість проведення зварювальних робіт згідно до встановлених вимог;
- 2) доступне розташування пристроїв нагрівання та термооброблення;
- 3) доступність засобів контролю якості усіх зварних з'єднань, що передбачено відповідними методиками;
- 4) можливість ремонтних робіт.

З метою забезпечення необхідної глибини проплавлення проводити розробку кромek відповідно до стандартів зварювання та товщини металу.

Конструктивні різні елементи готових зварних з'єднань перевіряють на відповідність вимогам технічної документації. Щоб встановити зварники, зварні з'єднання повинні маркуватися.

1.3.4 Вимоги до складання зварної конструкції

Перед проведенням складання всі деталі перевіряються за необхідними кресленнями, а саме габаритні розміри, кути зрізу, якість підготовки кромek, чистоту поверхні згідно стандартів:

- а) при ручному дуговому зварюванні згідно ГОСТ 5264-80;
- б) при автоматизованому зварюванні під шаром флюсу – ГОСТ 8713-79;
- в) при дуговому зварюванні в захисних газах – ГОСТ 14771-79.

Складання проводять в складальних пристосуваннях та спеціальних стендах. При виготовленні корпусів дотримуються усіх вимог документації. Кромки, шириною не менше як 15 мм, до зварювання чистять від іржі і бруду до металевого блиску. Поверхня кромок не повинна мати жодних подряпин із глибиною більше 0,5 мм.

При складанні потрібно забезпечити паралельність усіх стиків для кромок і постійних зазор між ними [11].

Закріплення кромок проводити за допомогою спеціальних складальних пристосувань.

Підготовлення кромок для зварювання виконується механічним способом або термічним різанням з заключною механічною обробкою. При цьому краї повинні бути оброблені механічно абразивом і не мати значної шорсткості. З метою зменшення імовірності потрапляння водню до зони зварювання кромки ретельно зачищаються від слідів окалини, масла, фарб та інших забруднюючих речовин.

Для прихваток використовують спеціальні присадний матеріал, що передбачені техдокументацією. В подальшому прихватки видаляються.

1.3.5 Вимоги до якості виробу

Якість зварювальних робіт забезпечується наступними вимогами:

- 1) вони проводяться лише відповідними матеріалами;
- 2) без дефектів;
- 3) з точністю складання;
- 4) застосування ультразвукового контролю якості.

Дефекти в ЗТВ та шві не допускаються.

Під час зварювання виробу повинні також перевірятися:

- відповідність матеріалів вимогам НД;
- відповідність якості кромок та складання;
- дотримання техпроцесу зварювання;
- дефекти та раковини на поверхні корпусу за ГОСТ 19903;

- матеріали що виготовлені методами тиску підлягають термообробленню;
- корпус ректора повинен бути міцним. Розриви, протікання та деформації не допускаються;
- тиск руйнування для корпусу теплоаккумулятора повинен бути не менше 5 МПа;
- дефекти можна виправляти лише раз;
- тимчасовий опір на розрив становить не менше, ніж 370 кгс/мм²;
- зовнішні поверхні корпусу теплоаккумулятора фарбуються емаллю червоного кольору згідно ГОСТ 9.132.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу та постановка завдання на проектування

Базовий технологічний процес виготовлення теплового аккумулятора виявляє наступні недоліки:

- а) для зварювання використовується ручне дугове зварювання штучними покритими електродами з низькою продуктивністю;
- б) застосовується нераціональне обладнання за потужністю;
- в) у складальних пристроях, використовуються механічні затискачі та використовується ручна праця.

У даній роботі для зварювання кільцевих швів запропоновано використати напівавтоматичне зварювання у середовищі захисних газів. Для складальних робіт корпусу теплоаккумулятора планується застосувати механізоване складально-зварювальне оснащення. З метою уникнення транспортування виробу пропонується його складання проводити на суміщеній єдиній оснастці. Такі інновації допоможуть знизити час виготовлення конструкції, знизити рівень монотонної ручної праці та підняти рентабельність виробництва. Використання суміщеної складальної і зварювальної оснастки дозволить підвищити точність складання та якість зварних швів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Встановлено, що сталь S235JR є добре зварюваною, маловуглецевою сталлю, та не містить легуючі елементи з високою хімічною активністю. Отже, можемо виключити аналізу способів зварювання електродугове зварювання плавким та неплавким електродами в інертних газах.

Сталь S235JR не відноситься до тугоплавких матеріалів і тому немає необхідності в застосуванні способів зварювання з дорого вартісним устаткуванням та високою щільністю енергії: плазмового, електро-променевого та лазерного.

З точки зору розміщення при зварюванні та товщини зварюваного металу виключаємо з розгляду електрошлакове зварювання, яке дозволяє проводити зварювання лише у вертикальному положенні та застосовується для великої товщини.

Таким чином, для подальшого аналізу залишаються способи ручного дугового зварювання покритими електродами, у вуглекислому газі, під флюсом та газове. Оцінимо можливість їх застосування при зварюванні сталі товщиною від 6 до 10 мм.

Очевидно, що при такій товщині недоцільно застосовувати низькопродуктивне газове зварювання (багатопрхідне зварювання з присадкою).

Оцінка кількості проходів дає уяву також про продуктивність способів зварювання: чим менша кількість проходів (більша потужність дуги), тим вище продуктивність. З цієї точки зору із способів зварювання, що залишилися, під флюсом знаходиться в найкращому положенні, у вуглекислому газі займає середню позицію та ручне дугове зварювання має найменшу продуктивність з цих трьох способів зварювання.

Зварювання у вуглекислому газі також має ряд переваг по відношенню до ручного дугового зварювання. Це відсутність шлакової корки, яку при ручному зварюванні потрібно видаляти; більша можливість механізації та автоматизації процесу; відсутність втрат електродного металу, пов'язаних з огарками.

Ручне дугове зварювання має перевагу перед зварюванням під флюсом з точки зору положення зварювання. При ручному дуговому зварюванні можливі всі просторові положення, в той час як зварювання під флюсом дозволяє вести процес зварювання лише в нижньому або близькому до нижнього положеннях.

Для зварювання обичайок корпусу теплоакумулятора з днищем обираємо автоматичне зварювання в середовищі суміші газів $Ar+CO_2$ по попередньо виконаному шву зварюванням у вуглекислому газі. Для приварювання підкладних кілець до днища обираємо напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі, так як автоматичне зварювання неприйнятне через положення зварювання.

Для коротких прямолінійних та кругових швів приварювання різних патрубків, фланців, листів застосовуємо напівавтоматичне зварювання у вуглекислому газі.

А для прихватів, які виконуються при складанні обираємо мобільне в цьому відношенні ручне дугове зварювання.

2.2 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Для механізованого зварювання в середовищі захисного газу обираємо вуглекислий газ першого сорту (ГОСТ 8050 – 76). Так як вуглекислий газ викликає окислення металу киснем [13], що вивільняється при зварюванні, то дріт повинен містити необхідну кількість розкислюючих елементів, якими є кремній та марганець. Згідно ГОСТ 2246 – 70 обираємо дріт Св – 08Г2С [5].

Зварювальний дріт марки Св – 08Г2С відноситься до низьколегованих зварювальних дротів.

Електроди для ручного дугового зварювання маловуглецевої сталі обираємо з ГОСТ 9467 – 75 з умовним позначенням У – електроди для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей з тимчасовим опором розриву до 600 МПа.

У відповідності з вищевказаним ГОСТом обираємо тип електродів, враховуючи відповідність конструкції – Е42А – для зварювання вуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей із тимчасовим опором розриву до 500 МПа,

коли до металу зварних швів висувають підвищені вимоги з пластичності та ударної в'язкості.

Обираємо покриття електродів. Кислі покриття складаються в основному з окислів заліза та марганцю, кремнезему та феромарганцю. Електроди з кислим покриттям технологічні, однак наявність окислів марганцю робить їх токсичними.

Основні покриття не містять окислів марганцю. Метал шву, що виконаний електродом з основним покриттям має високу пластичність. Цими електродами варять важливіші конструкції.

Целюлозні покриття складаються з целюлози, органічної смоли, феросплавів, тальку та ін. Ці покриття зручні для зварювання в будь – якому просторовому положенні, але дають наплавлений метал зниженої пластичності.

Рутилові покриття мають в своєму складі переважаючу кількість рутилу TiO_2 . Рутилові покриття технологічні, менш шкідливі для дихальних шляхів зварювальника, чим інші.

Враховуючи всі вищеназвані для ручного дугового зварювання електроди обираємо електроди типу E42A УОНІ 13/45 А. Електроди марки УОНІ 13/45 дозволяють проводити зварювання в будь – якому просторовому положенні. Металічний стрижень електродів марки УОНІ 13/45 виготовляється із зварювального дроту марки Св 08 або Св 08А [11]. Електроди марки УОНІ 13/45 мають електродне покриття основного типу. Воно містить карбонат кальцію, карбонат магнію, плавиковий шпат, феросплави та деяку кількість кремнезему. Газовий захист розплавленого металу забезпечується вуглекислим газом та окисом вуглецю, що утворюються внаслідок дисоціації карбонатів.

Метал, наплавлений електродами даного типу з основним покриттям, має гарну стійкість до утворення кристалізаційних тріщин та старіння, високими показниками ударної в'язкості як при позитивних, так і при від'ємних температурах, мінімальним вмістом кисню та азоту. Недоліком даного виду покриттів електродів є підвищена чутливість до пороутворення при зволоженні покриття, подовженні дуги, при наявності окалини, іржі або масла на зварюваних кромках.

З метою отримання зварюваних швів високої якості перед застосуванням зварювальні електроди повинні бути піддані пропалюванню – для видалення вологи з електродного покриття.

Пропалювання електродів необхідно проводити у спеціальних печах для пропалювання електродів. Температура пропалювання електродів марки УОНІ 13/45 А – 320-350 °С, час витримки 1-2 години.

Для захисту зварювальної ванни від окислення для автоматичного зварювання поздовжніх та кільцевих швів обичайки доцільно застосувати суміш газів $Ar+20\% CO_2$, що дозволить знизити розбризкування металу та зекономити до 10% зварювального дроту, знизити силу зварювального струму на режимі струменевого перенесення металу, збільшити глибину проплавлення металу через зростання температури дуги, покращити стабільність горіння дуги, стабільність дуги, покращити умови роботи зварників за рахунок зниження виділення шкідливих домішок [12] .

2.3 Розрахунок режимів зварювання

Форми і розміри шва в основному визначаються режимом зварювання. Режимом зварювання називають сукупність факторів, що визначають умови протікання процесу зварювання [13-15]. До основних елементів режиму при дуговому зварюванні звичайно відносять: струм в амперах (А), рід і полярність струму, діаметр або перетин електрода в міліметрах (мм), напруга на електродах у вольтах (В), швидкість утворення шва - швидкість зварювання в метрах у годину (м/год) чи в сантиметрах у хвилину (см/хвил).

Зміна струму зв'язана з глибиною провару прямою залежністю. З ростом струму глибина провару збільшується, а зі зменшенням струму зменшується. Такий вплив струму на глибину провару обумовлюється зміною тиску, що робиться стовпом дуги на поверхню, і збільшенням або зменшенням погонної енергії зварювання.

Зменшення діаметра електрода при тій же струмі приводить до зменшення рухливості стовпа дуги і, як наслідок, до збільшення глибини провару. Збільшення діаметра електрода приводить до зменшення глибини провару. Особливо чітко помітний вплив діаметра електрода на глибину провару при зварюванні на невеликих струмах. При зростанні струму вплив діаметра електрода згладжується.

Задана глибина провару може бути досягнута при зниженні діаметра електрода при меншому струмі. Однак використання цього явища не завжди можливо, тому що застосування електрода малого діаметра приводить до погіршення формування шва за рахунок зменшення ширини провару й утруднення точного напрямку електрода по шву (при механізованих способах зварювання) через малу його твердість і розігрів електрода (при зварюванні вручну).

При зварюванні вручну покритими електродами напруга змінюється в незначних межах (від 18 В до 22 В) і тому не є елементом режиму, за рахунок якого можна в бажаному напрямку змінювати ширину шва [14].

Вплив швидкості зварювання на глибину провару при дуговому зварюванні носить складний характер. При малих швидкостях зварювання (порядку 10,0-12,0 м/год при зварюванні під флюсом; 1,0-1,5 м/год. при зварюванні вручну) глибина провару за інших рівних умов мінімальна. Це зв'язано з тим, що при вертикальному розташуванні дуги, характерному для цих випадків, знижується інтенсивність витиснення зварювальної ванни з-під основи дуги. При цьому в основі дуги утвориться шар рідкого металу, що перешкоджає проплавленню основного металу. Підвищення швидкості зварювання до деякого значення, що залежить від умов зварювання, приводить до збільшення глибини провару [13].

2.3.1 Розрахунок режимів зварювання стикових з'єднань

Для виконання стикових з'єднань товщиною 6 мм у нижньому положенні на залишених підкладках застосуємо одnobічне зварювання з V-подібним обробленням крайок. Заповнення кореня шва та заповнення оброблення зробимо напівавтоматом у $\text{Ar}+\text{CO}_2$.

Для зварювання першого проходу вибираємо [13] діаметр зварювального електродного дроту $d_e = 1,2$ мм; щільність струму в електроді приймаємо $i=210$ А/мм². Тоді зварювальний струм буде:

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

$$I_{ce} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 210 = 237 \text{ А}$$

Необхідну величину напруги на дузі знаходимо з умови стабільного горіння по формулі:

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{CB}}{d_e^{0,5}} - 1 \quad (2.2)$$

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot 240}{1,2^{0,5}} - 1 = 30 \text{ В}$$

Визначимо швидкість зварювання:

$$V_{CB} = \frac{A}{I_{CB}} \quad (2.3)$$

$$V_{ce} = \frac{4 \cdot 1000}{240 \cdot 36} = 0,44 \text{ см/с} = 15,8 \text{ м/год.}$$

$$A \cdot 10^3 = 4 \text{ м/год}$$

Щоб визначити глибину провару необхідно знати погонну енергію дуги, q_n :

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{CB} \cdot U_d \cdot \eta_n}{V_{CB}} \quad (2.4)$$

$\eta_i = 0,65 \dots 0,7$ для зварювання в захисному газі

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 240 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,44} = 3927 \text{ кал/см}$$

Тоді глибина провару H на прийнятому режимі буде:

$$H = A \sqrt{\frac{q_n}{\psi}} \quad (2.5)$$

$A = 0,0165$ для зварювання у вуглекислому газі;

ψ - коефіцієнт форми провару, обумовлений по формулі:

$$\psi = k_2(19 - 0,01 \cdot I_{CB}) \cdot \frac{d_s \cdot U_d}{I_{CB}} \quad (2.6)$$

k_2 – коефіцієнт залежний від роду струму, його полярності і діаметра електрода. Величину k_2 можна визначити за графіком (рисунок 3 [5]).

$$k_2 = 0,96$$

$$\psi = 0,96(19 - 0,01 \cdot 240) \cdot \frac{1,2 \cdot 31}{250} = 2,3$$

$$H = 0,0165 \sqrt{\frac{3927}{2,3}} = 0,68 \text{ см}$$

Ширину шва визначаємо по формулі:

$$e = H \cdot (1,8 \dots 2,1) = 1,34 \text{ см}$$

Площа наплавленого металу за один прохід:

$$F_{H_1} = \frac{\alpha_n \cdot I_{CC}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{CC}} \quad (2.7)$$

$\alpha_n = 13 \text{ г/(А·год)}$, рисунок 8 [5].

$$F_{H_1} = \frac{13 \cdot 240}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,44} = 0,25 \text{ см}^2$$

Висоту валика g визначимо по формулі:

$$g = \frac{F_{H_1}}{0,73 \cdot e} \quad (2.8)$$

$$g = \frac{0,25}{0,73 \cdot 1,34} = 0,26 \text{ см}$$

Загальна висота валика c визначиться по формулі:

$$c = H + g \quad (2.9)$$

$$c = 0,68 + 0,26 = 0,94 \text{ см}$$

Площа наплавленого металу розподіляється між лицьовою і зворотною сторонами шва у відношенні, рівному:

$$F_{н.лиц.}/F_{н.обр.} \approx 1,3 \quad (2.10)$$

Визначимо площу наплавленого металу з лицьової сторони:

$$F_{н.лиц.} = 1,3 \cdot (F_{н1} - H \cdot b) / (1 + 1,3) = 1,3 \cdot (26 - 5,8 \cdot 0) / 2,3 = 14,6 \text{ мм}^2$$

Визначимо площу наплавленого металу зі зворотної сторони:

$$F_{н.звор.} = F_{н.лиц.} / 1,3 = 14,6 / 1,3 = 11,2 \text{ мм}^2$$

H – глибина провару крайок, що зварюються, мм;

b – величина зазору, мм.

Ширину зворотної сторони валика визначимо, як

$$e' = \frac{e}{\psi} \quad (2.11)$$

$$e' = \frac{1,34}{2,3} = 0,58 \text{ см}$$

Висоту валика g' з зворотної сторони визначимо по формулі:

$$g' = \frac{F_{н.обр}}{0,73 \cdot e'} = \frac{11,2}{0,73 \cdot 0,58} = 2,66 \text{ мм}$$

Визначимо висоту заповнення оброблення наплавленим металом:

$$g'' = \sqrt{\frac{F_{н1} - c \cdot b}{tg \frac{\alpha}{2}}} \quad (2.12)$$

$$g'' = \sqrt{\frac{0,26 - 0,84 \cdot 0}{tg \frac{30}{2}}} = 0,98 \text{ см}$$

Глибина проплавлення притуплення складе: $H' = c - g'' = 0,1 \text{ см}$

Для визначення кількості проходів, необхідних для заповнення оброблення й утворення шва з коефіцієнтом форми валика $\psi_y = 10$ площа оброблення визначиться:

$$F_p = h^2 \cdot tg \frac{\alpha}{2} \quad (2.13)$$

$$F_p = 8^2 \cdot tg \frac{30}{2} = 36,9 \text{ мм}^2$$

h – глибина оброблення.

Ширина шва після остаточної заварки оброблення може бути знайдена по формулі:

$$e_{tp} = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + 2 \cdot (2 \dots 3) \quad (2.14)$$

$$e_{tp} = 2 \cdot 8 \cdot \operatorname{tg} \frac{30}{2} + 2 \cdot 2,5 = 14,2 \text{ мм}$$

Необхідну площу поперечного переріза валика:

$$F_{B.Tp} = 0,73 \frac{e_{tp}^2}{\psi_y} \quad (2.15)$$

$$F_{B.Tp} = 0,73 \frac{14,2^2}{10} = 14,8 \text{ мм}^2$$

Тоді загальна площа наплавленого металу повинна складати

$$F_H = 36,9 + 14,8 = 51,7 \text{ мм}^2$$

Площа поперечного переріза металу, що повинна бути наплавлена другим і наступним проходами, буде складати

$$F'_H = F_H - F_{H1} = 51,7 - 26 = 25,9 \text{ мм}^2$$

При автоматичному зварюванні площа поперечного переріза наплавленого металу за один прохід звичайно складає 70...80 мм², але може досягати і 100 мм². При механізованому зварюванні в $\text{Ar} + \text{CO}_2$ – 30-40 мм² Тому мається можливість заварити оброблення, що залишилося після першого проходу, за один прохід.

Приймаємо для другого проходу $d_s = 1,2$ мм і струм, що допускається, $i = 210$ А/мм². Тоді зварювальний струм буде

$$I_{CB} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot i \quad (2.16)$$

$$I_{CC} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 210 = 240 \text{ А}$$

Швидкість зварювання V_{CB} , необхідну для забезпечення за один прохід необхідної площі наплавленого металу $F'_H = 25,9$ мм², обчислимо по формулі

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{3600 \cdot \gamma \cdot F'_H} \quad (2.17)$$

$\alpha_H = 14$ г/(А год) знаходимо за графіком малюнка 8 [5].

$$V_{CC} = \frac{14 \cdot 240}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,259} = 0,46 \text{ см/с} = 16,6 \text{ м/год.}$$

Необхідну величину напруги на дузі знаходимо з умови стабільного горіння по формулі:

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{CB}}{d_s^{0,5}} \pm 1 \quad (2.18)$$

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot 240}{1,2^{0,5}} \pm 1 = 31 \text{ В}$$

Теплова потужність дуги складе:

$$q = 0,24 \cdot I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta_H \quad (2.19)$$

$$q = 0,24 \cdot 240 \cdot 31 \cdot 0,8 = 1428 \text{ кал/с}$$

Глибина провару стикового з'єднання на даному режимі

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{q}{\psi \cdot V_{CB}}} \quad (2.20)$$

$$H = 0,0156 \sqrt{\frac{1546}{2,6 \cdot 0,48}} = 0,55 \text{ см}$$

$$\psi = k_2 (19 - 0,01 \cdot I_{CB}) \cdot \frac{d_s \cdot U_D}{I_{CB}} = 2,6$$

Ширину шва визначимо по наступній формулі:

$$e = H \cdot \psi = 0,55 \cdot 2,6 = 1,43 \text{ см}$$

що більше, ніж було потрібно $e_{mp} = 1,42 \text{ см}$

Отримані режими і геометричні параметри зварного шва приведені на рисунку 2.1 і в таблиці 2.1.

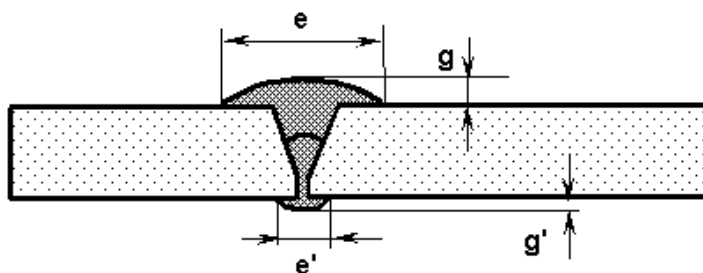


Рисунок 2.1 Геометричні параметри стикового з'єднання з обробленням кромки

Таблиця 2.1 - Режими зварювання стикового з'єднання.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	I _{св} , А	d _з , мм	U _д , В	V _{св} , м/го	F _н , мм ²	лицьова сто- рона			зворотна сто- рона		
						e, мм	g, мм	Ψ _л	e', мм	g', мм	Ψ _{об}
Корінь шва (механізо- вана в Ar+CO ₂)	240	1,2	30	15,8	25,7	--	--	--	5,8	2,66	2,3
Другий прохід (механі- зована в Ar+CO ₂)	240	1,2	31	16,6	25,9	1,43	2,66	2,6	--	--	--

Таким чином, за один прохід напівавтоматом у Ar+CO₂ (при зварюванні кореню шва) і другий прохід напівавтоматом в Ar+CO₂ забезпечується зварювання стикового шва з V-образним обробленням крайок.

2.3.2 Розрахунок режимів зварювання таврових з'єднань

Величину зварювального струму [5, 13] при виконанні швів таврових з'єднань визначають з необхідності одержання задовільного формування. Її знаходять по формулі:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} \cdot i = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 210 = 240 \text{ А}$$

i - щільність струму, приймаємо: $i = 210 \text{ А/мм}^2$

$d_z = 1,2 \text{ мм}$

Напругу на дузі визначаємо по формулі:

$$U_D = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{CB}}{d_y^{0,5}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05 \cdot 240}{1,2^{0,5}} \pm 1 = 31 \text{ В}$$

$$V_{CB} = \frac{A}{I_{CB}}$$

$$V_{CB} = \frac{4 \cdot 1000}{240 \cdot 36} = 0,63 \text{ см/с} = 22,9 \text{ м/год.}$$

$$A \cdot 10^3 = 5,5 \text{ м/год}$$

Площа наплавленого металу $F_{н.тр}$:

$$F_{н.тр} p = k_y \frac{k^2}{2} = 1,5 \frac{3^2}{2} = 6,75 \text{ мм}^2$$

k_y - коефіцієнт враховуючий збільшення F_n за рахунок опуклості шва і зазору. $k_y = 1,5$ для заданого по кресленню катета 3 мм.

Погонна енергія дуги складе

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{CB} \cdot U_D \cdot \eta_n}{V_{CB}} = \frac{0,24 \cdot 240 \cdot 30 \cdot 0,7}{0,63} = 1920 \text{ кал/см}$$

Глибина провару безкосного стикового з'єднання на даному режимі

$$H = 0,0165 \sqrt{\frac{q_n}{\psi}} = 0,0165 \sqrt{\frac{1920}{2,5}} = 3,4 \text{ мм}$$

$$\psi = k_2 (19 - 0,01 \cdot I_{CB}) \cdot \frac{d_y \cdot U_D}{I_{CB}} = 1(19 - 0,01 \cdot 240) \cdot \frac{1,2 \cdot 30}{240} = 2,5$$

$$\text{ширина шва} \quad e = \psi \cdot H = 2,5 \cdot 3,4 = 8,5 \text{ мм}$$

$$\text{висота валика} \quad g = \frac{F_{н.тр} p}{0,73 \cdot e} = \frac{6,75}{0,73 \cdot 8,5} = 1,1 \text{ мм}$$

$$\text{загальна висота стикового шва} \quad c = H + g = 3,4 + 1,1 = 4,5 \text{ мм}$$

Висоту зовнішньої частини кутового шва катетом 3 мм знаходимо по формулі

$$g' = \sqrt{F_H} = \sqrt{6,75} = 2,6 \text{ мм}$$

Глибину провару H' визначимо по наступній формулі:

$$H' = c - g' = 4,5 - 2,6 = 1,9 \text{ мм}$$

Ширину кутового шва знаходимо зі співвідношення геометричних елементів рівнобедреного трикутника, утвореного зовнішньою частиною шва:

$$e = 2 \cdot g' = 2 \cdot 2,6 = 5,2 \text{ мм}$$

розрахуємо коефіцієнт форми кутового шва по формулі

$$\psi = \frac{e}{c} = \frac{5,2}{3,9} = 1,33$$

Оптимальна величина ψ для механізованого зварювання знаходиться в межах 1,3...2,0 і при струмах нижче 250 А наближається до 2, а на струмах більш 250 А лежить у межах від 1,5...1,8. Дане значення можна вважати цілком прийнятним.

Розрахункову висоту шва h_p визначимо по формулі

$$h_p = (k_p + s_b) \sin 45^\circ = (3 + 1,4) \sin 45^\circ = 3,1 \text{ мм}$$

де k_p – катет шва

s_b – глибина проплавлення вертикального елемента $s_b = (0,8 \dots 1,0) H' = 1,4 \text{ мм}$

Результати розрахунку приведені на рисунку 2.2 і в таблиці 2.2.

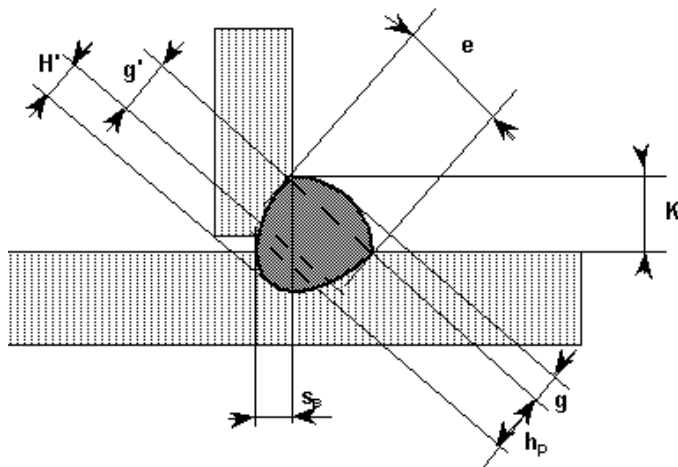


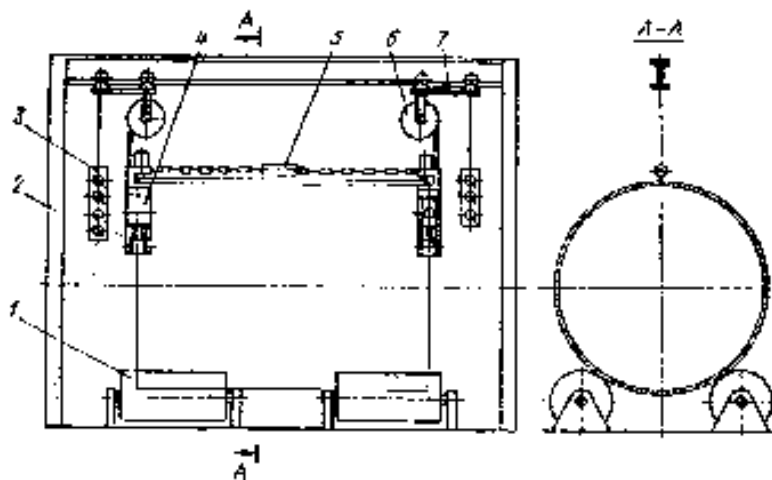
Рисунок 2.2 Геометричні параметри таврового з'єднання

Таблиця 2.2 Режими зварювання таврових з'єднань.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва					
	I _{св} , А	d _з , мм	U _д , В	V _{св} , м/год	F _н , мм ²	H', мм	e, мм	g', мм	s _в , мм	h _р , мм
Тавровий без оброблення	240	1,2	31	22,9	6,75	1,3	5,2	2,6	1,4	3,1

2.4 Вибір устаткування для складання корпусу теплоаккумулятора

Відповідно до існуючої технології подовжній стик обичайки складається вручну. Для підвищення продуктивності і поліпшення умов праці доцільне застосування спеціалізованого складального стенда, що дозволяє: сполучати подовжні кромки обичайки в одній площині з заданим зазором; вирівнювати торцеві кромки обичайки. Виконання перерахованих операцій можливо на установці для складання подовжніх стиків обичайок, зображеної на рисунку 2.3 [12], таблиця 5, Додаток 1.

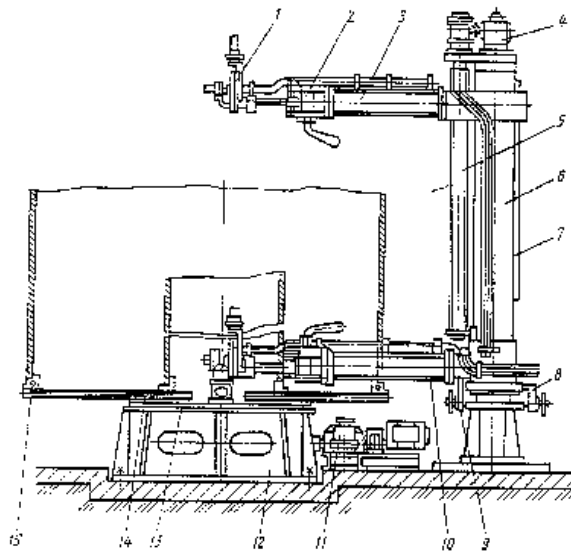


1 – роликова опора; 2 – портална рама; 3 – пульт керування;
4 – гідравлічна стяжка; 5 – гідроциліндр; 6 – підвіска; 7 – візок.

Рисунок 2.3 Стенд для складання подовжнього стику обичайки

Установка складається з порталної рами 2, двох гідравлічних стяжок 4 (рисунок 2.3) для сполучення і з'єднання подовжніх кромки і гідравлічної стяжки 5 для вирівнювання торцевих кромки. Стяжки 4 (рисунок 2.4) за допомогою пружинних підвісок 6 закріплені на візках 7, що пересуваються на рамі 2. На цих же візках закріплені панелі керування 3. Стяжка 5 для вирівнювання торцевих кромки являє собою гідроциліндр із двома ланцюгами, на кінцях яких мають гачки, що зачіпаються за кромки обичайки. Під час складання обичайка знаходиться на роликноопорах 1.

На кінцях консолей закріплені кронштейни 11, що представляють собою паралелограми з головками 12 для установки різаків. На головках розташовані рухливий супорт і копіювальний ролик, що дозволяє регулювати зазор між соплом різаків й обрізує поверхню, а також дозволяє установлювати різаків під потрібним кутом. Наявність двох консолей дає можливість закріпити два різаків і зрізувати одночасно обидва торці обичайки, установленної на східчасті башмаки 3 планшайби 2, положення яких регулюється в залежності від діаметра обрізаємих деталей. Консолі постачаються змінними голівками для кріплення як газових, так і плазмових різаків.



1- поворотний пристрій; 2- планшайба; 3- башмак; 4- привод обертання планшайби; 5- нижня консоль; 6- пружинний фіксатор; 7- поворотна колона; 8- направляюча шпонка; 9- верхня консоль; 10- привод верхньої консолі; 11- кронштейн; 12- головка; 13- ходовий гвинт; 14- станина

Рисунок 2.5 Установка для термічної обрізки торців обичайок

Рухлива частина поворотного пристрою 1 приводиться в обертання від електродвигуна постійного струму через коробку передач, муфту і черв'ячний редуктор. Застосування електродвигуна постійного струму і коробки передач дає мо-

жливість регулювати в широких межах частоту обертання планшайби в залежності від діаметра обичайок, тобто забезпечувати необхідні швидкості газового чи плазмового різання.

2.5 Вибір зварювального устаткування

Автомати для дугового зварювання в середовищі захисних газів забезпечують виконання наступних операцій: запалювання дуги на початку зварювання; подачу електродного дроту в зону дуги; регулювання параметрів дуги; пересування дуги уздовж кромок, що зварюються; напрямком електрода по шву; припинення процесу зварювання з суміщенням операцій заварки кратера і припинення подачі захисного газу через визначений інтервал часу.

Для одержання якісного зварного з'єднання на стиках корпусу теплоаккумулятора необхідно: щоб у процесі зварювання була можливість спостереження за горінням дуги і регулювання її довжини; виконувати коливання зварювального пальника при зміні зазору по довжині.

Наявні автомати (ТС-35, АДСП і ін.) найчастіше не мають можливості змінювати амплітуду і частоту коливань зварювального пальника під час зварювання, тому більш доцільно використовувати спеціалізовані установки.

Зварювальна установка АСТА (автомат для зварювання теплообмінних апаратів) призначена для зварювання подовжніх і кільцевих швів і дозволяє: при еліптичності конструкції підтримувати однакову довжину дуги за рахунок подачі пальника нагору чи вниз; змінювати амплітуду і частоту коливань пальника в процесі зварювання, що дозволяє якісно виконувати зварні шви при зміні зазору по довжині; робити зварювання плавким і неплавким електродом у середовищі аргону і вуглекислого газу.

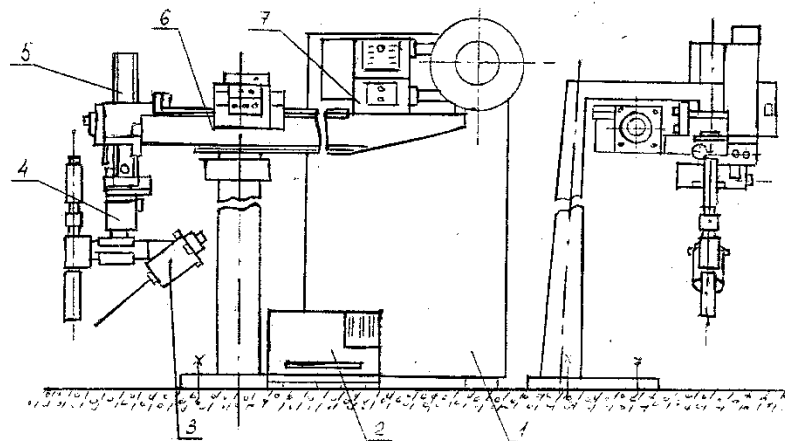
Установка АСТА [19] складається з рами, трьох колон, роликоопор, привода зварювальних головок, шафу керування і переносних пультів керування. На рамі встановлені два ряди роликоопор: приводні опори з електричним приводом і вільно сидячі перекидні опори. При складанні корпусів великого діаметра перекидні опори відкидаються на зовнішню стінку, а при зварюванні малих діаметрів –

на внутрішню. По кінцях рами в поперечному напрямку переміщуються два візки, що несуть на собі колони зі штангами. Штанги мають горизонтальний хід уздовж корпусу посудини. На кожній штанзі встановлена зварювальна головка, подавальний механізм зварювального дроту і касета.

Зварювання подовжного шва обичайки доцільно виконувати після складання, не допускаючи операції транспортування і кантування обичайки. Основною вимогою, пропонованим до зварювального устаткування, у цьому випадку є те, що воно не повинне утрудняти процес зварювання.

Для зварювання подовжного шва обичайки використовується зварювальна головка АД-135 (рисунок 2.6) [19].

Зварювальна головка складається з механізму прямолінійного переміщення 6 із приводом. На кінці механізму кріпиться зварювальна головка 4 із системою пошуку і спостереження за швом 3.



1- шафа керування; 2- блок живлення; 3- система пошуку і система спостереження за швом; 4- зварювальна головка; 5- механізм вертикального переміщення; 6- механізм прямолінійного переміщення; 7- пристрій, що подає

Рисунок 2.6 Зварювальна установка АД-135

На протилежному кінці встановлені подаючий пристрій 7 і касета з дротом. Пальник виконаний з водяним охолодженням корпусу і сопла. Проводи і шланги, які підведені до пальника, вмонтовані в гумовий рукав. Механізм горизонтального

переміщення 6 призначений для напрямку пальника по стику. Механізм вертикального переміщення служить для регулювання величини зазору між виробом і пальником під час зварювання. Датчик 3, що копіює, передає інформацію про відхилення лінії стику через блок керування 1 на механізми горизонтального і вертикального переміщення, а також передає команди на пошук шва. Пальник і датчик кріпляться до механізмів переміщень за допомогою підвіски, конструкція якої дозволяє регулювати положення датчика щодо пальника по трьох координатах:

- уздовж шва – 50-80 мм за рахунок висування внутрішнього стрижня корпусу підвіски з фіксуючим положення стопорним гвинтом;
- поперек шву і по вертикалі (10 мм за рахунок повороту датчика під дією гвинтів у корпусі підвіски).

Для механізованого зварювання плавким електродом, застосуємо зварювальні напівавтомати виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО). Зварювальні напівавтомати КЗЭСО це могутні із широким діапазоном регулювання зварювальних параметрів, призначені для зварювання суцільним дротом маловуглецевої і низьколегованої сталі в захисному середовищі вуглекислого газу, а також легованих і нержавіючих (корозійностійких) сталей у середовищі аргону довгими і переривчастими швами, у всіх просторових положеннях.

З джерел живлення для механізованого зварювання можна рекомендувати зварювальні випрямлячі виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО). КИУ 301, КИУ 501, КИУ 1201 – універсальні зварювальні випрямлячі для комплектації зварювальних напівавтоматів і автоматів для зварювання в середовищі захисних газів і під флюсом, а також для ручного дугового зварювання, різання штучними електродами всіх типів на прямій і зворотній полярності. Каховський завод електрозварювального устаткування випускає пальники для дугового зварювання. Пальники призначені для дугового зварювання в середовищі CO_2 у всіх просторових положеннях сталевим суцільним і порошковим дротом.

2.6 Контроль якості зварювання теплоаккумулятора

Контроль та якість збирання і зварювання корпусу теплоаккумулятора виробляється на основі попереднього та поопераційного контролю [14] якості зварних швів.

Попередній контроль включає: контроль якості основного металу за сертифікатами; атестацію зварювальників; контроль зварювального устаткування, апаратури, інструменту, оснастки; контроль якості зварювальних матеріалів.

Поопераційний контроль включає: контроль якості підготовки кромок під зварювання; контроль якості складання та електроприхватів; контроль виконання технологічного процесу.

Контроль якості виконаних швів включає: зовнішній огляд та вимірювання; рентгенографування в обсязі 50% для кільцевих двохсторонніх швів; для односторонніх кільцевих швів на підкладках, що залишилися, в обсязі 100% – ультразвуковий контроль; гідравлічні випробування проводяться по окремому технологічному процесу. Контроль якості включає в себе перевірку якості підготовки під зварювання; перевірку вузла на відповідність розмірам креслення та формі; контроль якості зварних швів.

Зовнішній огляд деталей, які складаються під зварювання, повинен проводитися по всій довжині зварюваних кромок та поверхонь, що прилягають.

Зовнішній огляд зварюваних деталей повинен проводитися після закінчення складання та повторно безпосередньо перед зварюванням.

Контроль якості складання під зварювання за допомогою вимірів проводиться з метою перевірки: кута розділення кромок; глибини розділення кромок; розміру притуплення кромок; положення вершини розділення; величини зазору між деталями; правильності суміщення поверхонь деталей в стикових з'єднаннях; місце розташування та розмірів прихваток, місце розташування деталей, що кріпляться.

Зовнішній огляд зварних з'єднань проводиться для перевірки якості зачищення зварюваних поверхонь перед накладенням наступних валиків, закопчених

швів та навколошовної зони від шлаку, бризів, копиті, окалини; та виявлення тріщини шві та навколошовній зоні, пропалів, не заварених кратерів, напливів, зсуву зварного шву, свищів, пор, раковин, підрізів, неправильності форми шву, а також шлакових включень на поверхні шву.

Вимірювання зварних швів та з'єднань проводиться для перевірки: ширини шву; форми та висоти посилення шву; катета шву; довжини та кроку переривання шву; глибини та довжини підрізів; зсуву вершини стикового шву; величини неспівпадання поверхонь деталей в стикових з'єднаннях.

Контроль виміром проводиться за допомогою вимірювальних інструментів та шаблонів, які допущені до застосування метрологічною службою заводу.

Не допускається в зварюваних швах наявність окремих пор, розміром більше 10% мінімальної товщини зварюваних деталей, які входять до зварного з'єднання; підрізів основного металу глибиною 0,5...1 мм, довжиною більше 15мм та підрізів більше 1 мм даної довжини.

Ультразвуковому контролю підлягають шви обичайки. Обсяг контролю – 50%. Ультразвуковий контроль призначений для виявлення в зварних швах та навколошовній зоні тріщин, непроварів, несплавлень, пор, шлакових включень, інших дефектів без розшифровки їх характеру, але з визначенням координат, умовних розмірів та кількості виявлених дефектів.

Для проведення ультразвукового контролю використовується дефектоскоп УД-10УА, який призначений для непорушного контролю якості виробів, виготовлених із сталі з малим затуханням ультразвукових хвиль.

Випробування стиснутим повітрям проводять для перевірки герметичності швів корпусу. В теплоаккумулятор нагнітають стиснуте повітря під тиском 50 кПа. Шви покривають пінообразною сумішшю на основі мила. В місцях, де є наскрізні дефекти, утворюються пухирці.

Останньою контрольною операцією при виготовленні корпусу є гідро випробування теплоаккумулятора на міцність та щільність зварних з'єднань. Корпус теплоаккумулятора заповнюється водою та в ньому створюється надмірний тиск 10

атм. Після витримки протягом 5...6 хвилин навколошовну зону обстукують молотком з круглим бойком, та шви оглядають з метою виявлення течії, крапель, запотівань.

2.7 Технології складання та зварювання теплоаккумулятора

Розроблювальна технологія і послідовність операцій повинні забезпечити: підвищення якості готових виробів; зменшення витрат праці і матеріалів; поліпшення умов праці. А також, задовольняти вимоги до зварних з'єднань. Ці вимоги зводяться до того, що зварні з'єднання в залежності від типу й умов роботи конструкції повинні мати достатню міцність і пластичність.

Для стикових з'єднань повинні бути забезпечені повний провар елементів, що з'єднуються, і форма посилення з плавним переходом від основного металу до металу шва. Після зварювання доцільно звернути увагу на виправлення можливих дефектів, шляхом вирізання дефектних ділянок та їх повторним заварюванням, також для зниження залишкових напружень зварного з'єднання, підвищення його працездатності є проведення механічної ударної обробки із зміною поверхневого шару, наприклад дробеструменевою обробкою кульками [25].

Технологічний процес складання і зварювання корпусу теплоаккумулятора приведено на технологічній схемі, рисунок 2.7.

Підготовка та складання обичайок корпусів теплоаккумулятора під зварювання проводиться за кресленням. Тип зварного шву та конструктивні елементи підготовки кромки обираємо за ГОСТ 14771 – 76.

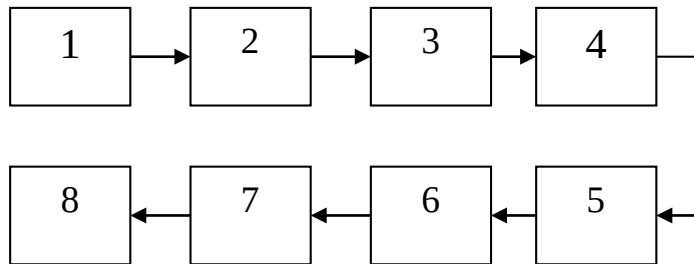
Зварювання поздовжніх швів обичайок корпусів теплоаккумулятора здійснюється на керамічних підкладках в середовищі $Ar+CO_2$.

Порядок складання та зварювання стикового з'єднання корпусу наступний:

- кромки стику обичайки зачистити до металічного блиску з кожного боку та по торцях;
- зібрати стик корпусу шляхом підвальцовки з попереднім натягненням кромки всередину з допомогою центратора;

- виконати електроприхватки зовні не більше 4-х по довжині стику обичайки, розташовуючи їх на 100 – 120 мм від краю стику;
- встановити вхідну та вихідну планки розміром 100×100 мм на кінцях стику, приварити їх ручним дуговим зварюванням з двох боків;
- перед установленням керамічних підкладок на корпус теплоаккумулятора провести підварювання із внутрішньої сторони від кінця корпусу на довжину до 100 мм напівавтоматичним зварюванням в $Ar+CO_2$;
- встановити керамічні підкладки та заварити автоматичним зварюванням у $Ar+CO_2$ з оберненим формуванням шва.

Опис усієї технології складання та послідовності зварювання корпусу теплоаккумулятора приведено у Додатку 2.



1 – складання подовжнього стику обичайки; 2 – зварювання подовжнього шва обичайки; 3 – обрізка торців обичайок; 4 – складання корпусу теплоаккумулятора; 5 – зварювання кільцевих швів корпусу; 6 – установка і зварювання деталей корпусу; 7 – контроль якості і випробування; 8 – виправлення дефектів

Рисунок 2.7 Технологічна схема виготовлення теплоаккумулятора

2.8 Розрахунок кількості устаткування та виробничих приміщень

Розрахунок кількості устаткування проводиться за формулою:

$$N_o = \frac{T_{\text{заг.зв.}}}{\Phi_o * K_{\text{в.н.}}} \text{ шт},$$

$T_{\text{заг.зв.}}$ – загально річний час зварювання;

Φ_o – діючий фонд робочого часу, $\Phi_o = 2036$ год;

$K_{\text{в.н.}}$ – коефіцієнт виконання норм, $K_{\text{в.н.}} = 1,2$.

Кількість устаткування при автоматичному зварюванні в $Ar+CO_2$:

$$N_{o.a} = \frac{T_{заг.зв.а.}}{\Phi_{\partial} * K_{в.н.}},$$

$$T_{заг.зв.а.} = T_{зв.а.} * 100 = 10,0 * 100 = 1000 \text{ годин.}$$

$$N_{o.a} = \frac{1000}{2036 * 1,2} = 0,41 \text{ шт.}$$

Отже, для виконання автоматичного зварювання в $Ag+CO_2$ необхідний один автомат АД-135.

Кількість устаткування для механізованого зварювання в середовищі $Ag+CO_2$ при

$$T_{заг.зв.н/а} = T_{зв.н/а} * 100 = 13,7 * 100 = 1370 \text{ годин становитиме:}$$

$$N_{o.н/a} = \frac{T_{заг.зв.н/a}}{\Phi_{\partial} * K_{в.н.}} = \frac{1370}{2036 * 1,2} = 0,56 \text{ шт}$$

отже для виконання механізованого зварювання в середовищі $Ag+CO_2$ необхідний 1 (один) напівавтомат КП 006.

Збирання та зварювання корпусів теплоаккумулятора проводиться на лінії збирання та зварювання, що складається з наступних ділянок:

- комплектації заготовок;
- автоматичного зварювання стикових швів обичайок;
- зварювання кільцевих зовнішніх швів;
- випробувань корпусів.

Габаритні розміри корпусу теплоаккумулятора 1500×930 мм.

Робоча площа - це сума площ приміщень, призначених для виготовлення продукції, включаючи площі проміжних складів заготівель.

Площу займану площадками для складування заготовок, приймають у 2-4 рази менше площі під устаткування. Розрахунок площі необхідної для розміщення устаткування представлений у таблиці 2.3

Площу займану площадками для складування заготовок приймаємо порядку 110 м^2 .

Тоді загальна площа ділянки

$$S_{заг} = S_{сб} + S_{ск}$$

$S_{заг}$ – загальна площа ділянки, м², $S_{сб}$ – площа займана устаткуванням, м²

$S_{ск}$ – площа займана складськими площадками, м²,

$$S_{заг}=197,8 + 110 = 307,8 \text{ м}^2$$

Таблиця 2.3 Розрахунок площі, займаної технологічним устаткуванням.

Вид технологічного устаткування і оснастки	Площа займана одиницею устаткування, м ²	Кількість устаткування, шт	Загальна займана площа, м ²
Стенд для складання обичайок	13,3	1	13,3
Стенд для складання корпусу посудини	38,5	1	38,5
Зварювальна головка АД-135	12,1	1	12,1
Зварювальний напівавтомат КП 006	1,85	1	1,85
Пристрій для обрізки кромek обичайок та днищ	39,6	1	39,6
Стенд для контролю якості зварних з'єднань	40,0	1	40
Стенд гідровипробувань	51,8	1	51,8
Разом:			197,15

Площу займану площадками для складування заготівок приймаємо порядку 110 м².

Тоді загальна площа ділянки

$$S_{общ} = S_{сб} + S_{ск}$$

$S_{общ}$ – загальна площа ділянки, м²

$S_{сб}$ – площа займана устаткуванням, м²

$S_{ск}$ – площа займана складськими площадками, м²

$$S_{общ}=197,8 + 110 = 307,8 \text{ м}^2$$

Ширина прольоту є стандартної і дорівнює 18 м (кратної 6 м). Довжина прольоту визначається по формулі:

$$l = \frac{S_{\text{общ}}}{B}$$

l – довжина прольоту, м, B – ширина прольоту, м

$$l = 307,8/18 = 17,1\text{м}$$

Приймаємо довжину прольоту 18 м. Тоді загальна площа ділянки вийде:

$$S_{\text{общ}} = 18 \times 18 = 324 \text{ м}^2$$

2.9 Висновки

У технологічному процесі виготовлення теплоаккумулятора запропоновано наступні технічні рішення:

- зварювання стикових з'єднань з обробленням кромek рекомендується проводити автоматичним зварюванням у середовищі $\text{Ar}+\text{CO}_2$ у два проходи. Для кільцевих на підкладних кільцях, подовжніх швів на керамічних підкладках;
- зварювання таврових і кутових з'єднань рекомендується проводитиме механізованим зварюванням у $\text{Ar}+\text{CO}_2$;
- використання автоматичної установки для обрізки торцевих кромek обичайок і днищ що дозволяє механізувати газорізальні операції;
- заміна двостороннього способу зварювання, що вимагає операції стро-гання кореня шва, однобічним зварюванням;
- застосування для зварювання спеціалізованих автоматичних установок АД-135;
- розроблена технологія контролю якості теплоаккумулятора, та методи ви-прав-лення дефектів зварних з'єднань.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір розрахункової схеми поширення теплоти при зварюванні

Застосування автоматичного зварювання дозволяє застосувати зварювальну дугу більшої потужності та підвищити продуктивність процесу. Пропорційне підвищення потужності та швидкості зварювання змінює сильно теплове поле також. Хоча ізотерми витягуються головним чином в довжину, проте зміна швидкості охолодження може призвести до негативних змін мікроструктури зони термічного впливу та погіршення фізико-механічних властивостей основного металу зварного з'єднання. Розрахувавши параметри термічного циклу зварювання можна прогнозувати структуру у зоні термічного впливу та шві. Для розрахунків використаємо положення теорії теплопровідності у твердих тілах для процесів зварювання.

Щоб розрахувати розподіл температури на поверхні зварюваної деталі застосовують розв'язання диференціального рівняння теплопровідності за методом джерел:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.1)$$

Спочатку проводиться схематизація тіл, що зварюються, та джерел тепла процесу зварювання, потім йдуть розрахунки за схемою «тіло та джерело нагрівання», яка найкраще підходить до заданих умов зварювання. Якщо неправильно обрати схему розрахунку, то виникнуть похибки у визначення параметрів термічного циклу.

Схема рухомого точкового джерела на поверхні напівобмеженого тіла є простішою схемою розрахунку і використовується при зварювання та наплавленні на масивне тіло [13]. Джерело нагрівання зварювання при цьому постійно рухається на поверхні по осі x із сталою швидкістю v , і при цьому нульовий початок координат знаходиться у точці розміщення джерела нагрівання. Розрахунки ведуть за формулою:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma (4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v_x}{2a}\right) \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right) \quad (3.2)$$

де q це ефективна теплова потужність (для електродугового джерела нагрівання $q = I_{CB} \cdot U_{Д} \cdot \eta$ (η - ефективний коеф. кор. дії джерела нагрівання);

v - швидкість зварювання, см/с;

α - коефіц. температуропровідності;

$t_2 = t - t_1$ - час поширення теплоти з потужністю $q = dt_1$ (t_1 час з моменту руху, t - час досягнення тем-ри T у певній точці);

R - радіус - вектор від точки до джерела,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \quad (3.3)$$

Використання значно більших значень швидкості зварювання у автоматичних методах дозволяє використати підхід врахування нескінченно великої потужності та швидкості зварювання, виходячи з гіпотези одномоментності потужного та швидкого процесу зварювання. Тоді отримаємо простіші вирази для розрахунку, які не будуть враховувати прогрівання ділянки перед точкою введення тепла. [15]. Така схематизація потужного швидкодіючого джерела тепла у пластині розв'яжеться за формулою:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (3.4)$$

δ - товщина пластини, см;

λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К;

$c\gamma$ - об'ємна теплоємність, Дж/см³ К;

y_0 - відстань від джерела до точки, см;

b - коефіцієнт температурної віддачі, $b = \frac{2 \cdot \alpha}{c\gamma \cdot \delta}$;

α - коефіцієнт теплообміну з поверхні до навколишнього середовища;

T_0 - початкова температура деталі, К.

Зміна максимальних температур поверхні за віссю, що перпендикулярна вісі переміщення джерела нагріву у випадку пластини, (приймаючи що $T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}$), може бути розрахована за формулою 3.5:

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c\gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2y_0} \quad (3.5)$$

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \sqrt{T_m - T_0}} \quad (3.6)$$

Для проведення подальших розрахунків прогнозування структури та експлуатаційних властивостей зварного з'єднання визначимо параметр термічного циклу час охолодження τ для схеми швидкорухомого потужного джерела на пластині [15]:

$$\tau = \frac{q^2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.7)$$

3.2 Розрахунок термічного циклу для стикового зварного з'єднання

З метою отримання надійного зварного шва з необхідними показниками міцності та для покращення доступу до зварювальної ванни при товщині металу більше 5 мм рекомендують проводити підготовку стиків. Розрахунок параметрів термічного циклу за останнім проходом за режимами зварювання розрахованими у попередньому розділі.

Визначимо y_0 , враховуючи, що $T_m = T_{\text{ліквідусу}} = 1350^\circ\text{C}$ (темп. ліквідус).

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \sqrt{T_m - T_0}} = 0,72 \text{ см}$$

Вихідні дані для розрахунку для стикового шва:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см ² с К	0,0019
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,465
об'ємна теплоємність, Дж/см ³ К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,087
величина струму дуги, А	240
напруга на дузі, В	30
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	5208
швидкість зварювання, см/с	0,44
товщина пластин, що зварюються, см	0,6

Вихідні дані для розрахунку для таврового шва:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см ² с К	0,0019
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,465
об'ємна теплоємність, Дж/см ³ К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,087
величина струму дуги, А	240
напруга на дузі, В	31
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,7
ефективна теплова потужність джерела	3326
швидкість зварювання, см/с	0,62
товщина пластин, що зварюються, см	0,6

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c \gamma \cdot \alpha (T_m - T_0)} = 0,33 \text{ см}$$

Проведемо розрахунок для зварювання пластин за виразом (3.4) у табличній формі. Результати розрахунку у таблиці 3.1. Графік на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку нагрівання та охолодження для таврового та стикового зварного з'єднання

Час, с	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Стиковий	20	25	68	162	287	849	1248	1302	1274
Тавровий	270	828	1115	1242	1293	1239	1022	880	783
Час, с	8,0	9,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	100,0	200,0
Стиковий	1127	1082	1041	1003	759	631	549	490	337
Тавровий	614	578	547	521	375	308	267	238	165

Швидкість охолодження та інші параметри термічного циклу найкраще визначати для ділянки перегрівання ЗТВ. Якщо криву охолодження накласти на діаграму анізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту для аналога сталі S235JR, то зможемо провести аналіз та прогнозування структур, що утворюються у процесі остигання та кінцеві структури.

3.3 Аналіз очікуваної структури зони термічного впливу

Структура основного металу, що прилеглий до шва, у процесі зварювання змінюється, оскільки різні ділянки перебувають різний час при різних температурах. Відповідного до термічного циклу охолодження ділянки зони термічного впливу матимуть різні розміри, структуру та механічні властивості [15].

З метою аналізу структурних перетворень в зоні термічного впливу дані термічного циклу представляють на кінетичній діаграмі розпаду переохолодженого аустеніту. Графік термодікінетичних перетворень побудований за даними змін твердості та структури даної марки сталі дозволяє передбачити структуру на ділянці зони термічного впливу за термічним циклом певної точки на поверхні виробу. Термодікінетична діаграма представляється у логарифмічних координатах часу, а також температури. Така діаграма будується в координатах температура - час. Для отримання результату облік часу

під час охолодження аустеніту розпочинають з відліку, коли температура стає менша критичної температури A_{c3} . Вище температури A_{c3} стан аустеніту невірноважений та нестійкий термодинамічно, а нижче температури A_{c3} може відбуватися в залежності від швидкості охолодження перлітне, або бейнітне, або мартенситне перетворення [6, 9, 15].

Діаграма зміни переохолодженого аустеніту для аналога сталі марки S235JR представлено на рисунку 3.2. Накладений на дану діаграму термічний цикл охолодження металу критичних ділянок зони термічного впливу показує зміни структури та дозволяє передбачити механічні властивості ослабленої ділянки перегрівання.

Термічний цикл для зовнішніх та внутрішніх зварних швів розроблюваної технології показує, що структура після зварювання знаходиться у перлітно-феритній зоні діаграми розпаду аустеніту.

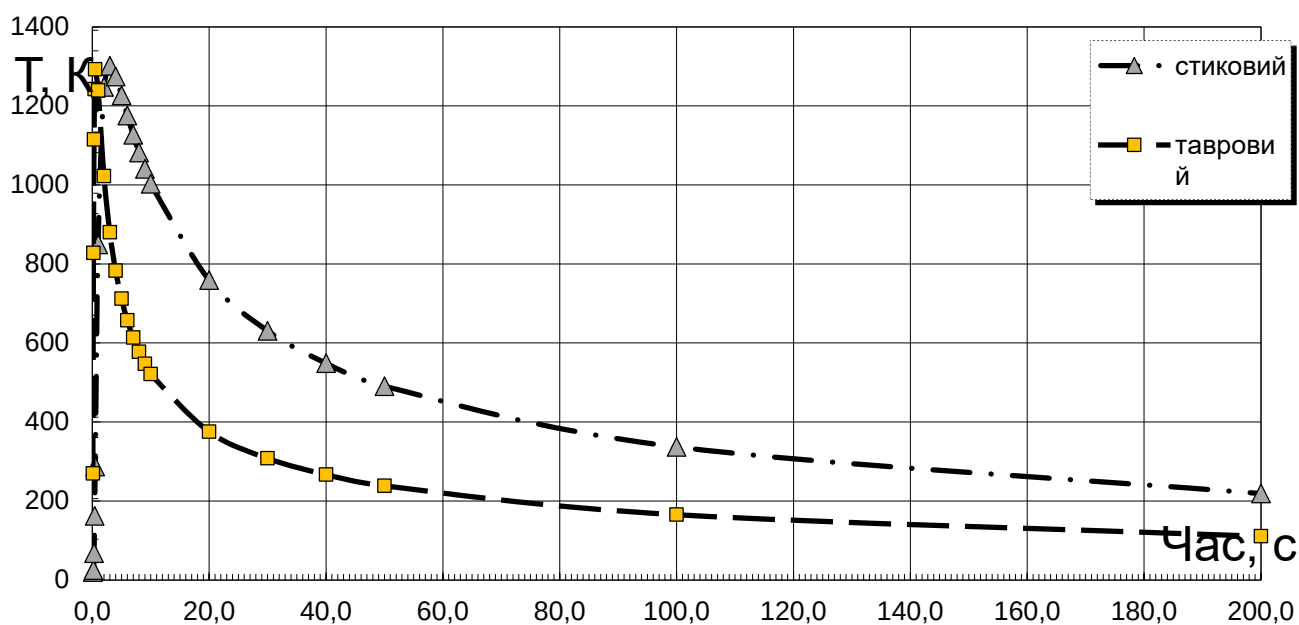


Рисунок 3.1 - Термічний цикл зварювання для стикового та таврового шва

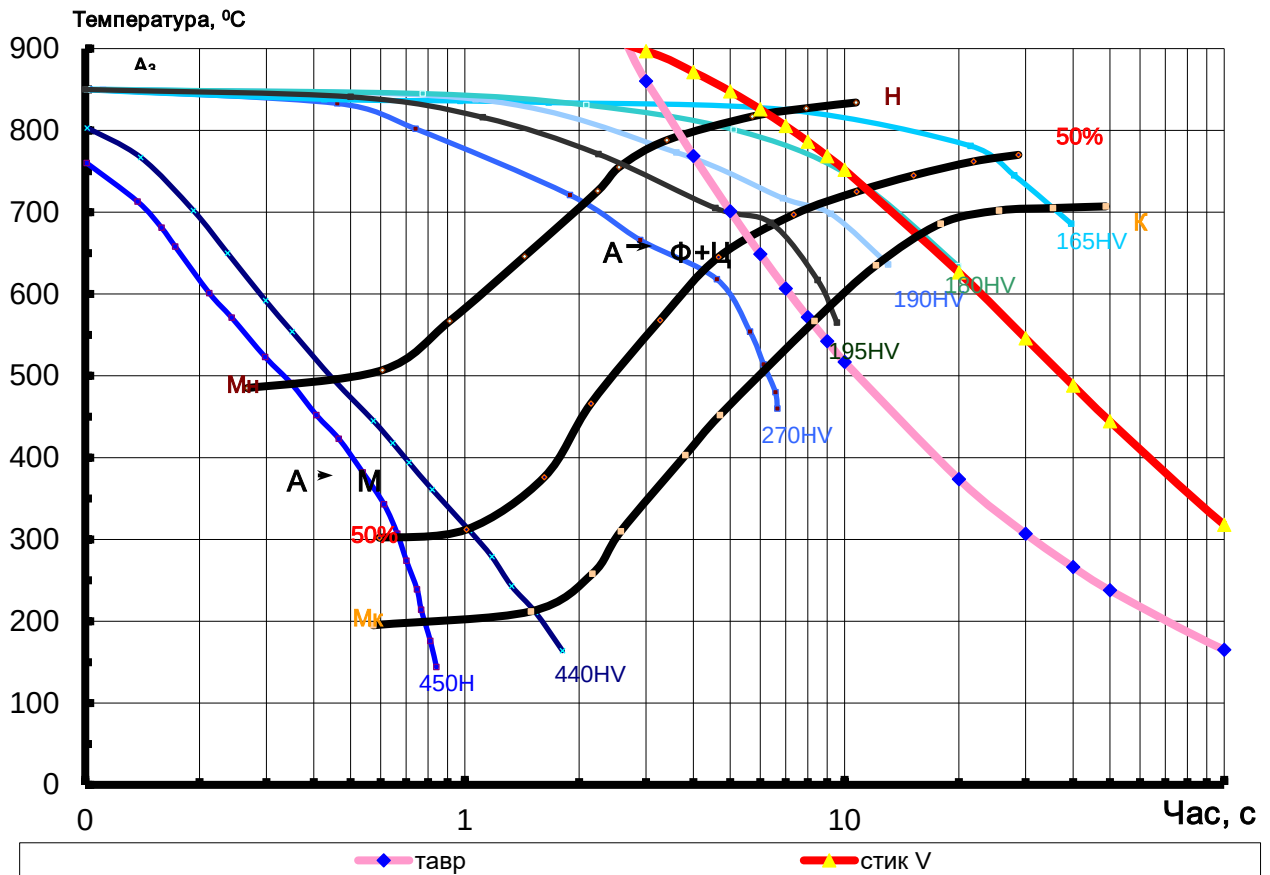


Рисунок 3.2 – Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту для аналога сталі S235JR та термічні цикли для зовнішніх та внутрішніх зварних швів

Перлітна структура має необхідні експлуатаційні фізико-механічні властивості: достатню твердість, необхідну пластичність та міцність. Також ферито-перлітна структура демонструє добру зварюваність та високу стійкість до утворення гарячих тріщин.

3.4 Розрахунок очікуваних структур після зварювання

У Інституті електрозварювання імені Є. О. Патона розроблено спеціальну програму для прогнозування фазового складу ділянок зони термічного впливу вуглецевих сталей. Характеристики $\tau_m, s_m, \tau_f, \tau_f + P, s_f, s_{f+P}$ рахуються залежно від складу за регресійними експериментальними залежностями [21].

$$\ln \tau_M = -2,1 + 15,5 C + 0,96 Mn + 0,84 Si + 0,65 Cr + 0,74 Mo + 0,55 Ni + 0,3 + 4,0 Al + 0,5 W + 0,8 Cu - 0,25 Nb - 13,5 C^2 - 0,8 Si^2; \quad (3.8)$$

$$\ln \tau_M = 1,45$$

$$\ln s_M = 0,56 - 0,41 C + 0,1 Mn + 0,14 Cr - 0,3 Mo + 2,7 Ti - 1,1 Nb + 0,5 Cu + 1,7 C Mo; \quad (3.9)$$

$$\ln s_M = 0,57$$

$$\ln \tau_\phi = 0,66 + 10 C + 1,3 Mn - 0,48 Si + 1,3 Cr + 1,5 Mo + 0,8 Ni - 1,4 W +$$

$$3,5 C Mn - 50 C V - 5,9 C^2 + 0,8 Si^2; \quad (3.10)$$

$$\ln \tau_\phi = 3,99$$

$$\ln s_\phi = 1,23 + 0,17 Mn - 0,34 Si + 0,3 Cr - 0,5 Mo + 0,31 Ni + 0,09 Nb - 0,43 W - 0,3 Cu; \quad (3.11)$$

$$\ln s_\phi = 1,42$$

$$\ln \tau_{\phi+II} = 0,34 + 5,2 C + 1,8 Mn + 0,53 Si + 0,33 Cr + 2,9 Mo + 0,86 Ni + 1,5W + 1Cu - 60 C V - 5,1 C^2 + 0,7 Si^2; \quad (3.12)$$

$$\ln \tau_{\phi+II} = 2,58$$

$$\ln s_{\phi+II} = 0,91 - 0,9 C + 0,09 Mn + 0,08 Cr + 0,34 Mo + 0,15 Ni + 0,85 V + 2,2Ti + 0,43 W; \quad (3.13)$$

$$\ln s_{\phi+II} = 0,84$$

Час охолодження τ розраховується за термічними циклами охолодження в конкретних точках на поверхні виробу. Для схеми швидкорухомого потужного лінійного джерела на поверхні пластини це наступний вираз

$$\tau = \frac{q^2}{4\pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot v^2 \cdot \delta^2} \left[\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (3.14)$$

q – ефективна теплова потужність;

λ – коеф. теплопровідності;

v – швидкість джерела нагрівання;

$c\gamma$ – об'ємна теплоємність;

δ – товщина пластини.

Відсоткове співвідношення для різних складників структури розраховується по наступним формулах:

- загальна к – сть мартенситу:

$$M(\tau) = 100 \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_m}{\lg s_m} \right) \right], \% \quad (3.15)$$

$\Phi(x)$ – інтегральна функція для нормального розподілу;

τ – час для охолодження, щоб утворилось 50% мартенситу;

s_m – постійна, що характеризує швидкість спадання вмісту мартенситу при рості τ .

- загальна к-сть фериту:

$$\Phi(\tau) = \Phi_{\max} \Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_\phi}{\ln s_\phi} \right), \% \quad (3.16)$$

$\Phi_{\max}$ – найбільша к – ість фериту, який утвориться при повільному охолодженні.

$$\Phi_{\max} = 100 \left[\frac{1 - (C - 0,02)}{0,81 - 0,11Mn - 0,05Mo} \right], \% \quad (3.17)$$

- загальна сума фериту і перліту:

$$[\Phi + \Pi](\tau) = 100 \Phi \left(\frac{\ln \tau - \ln \tau_{\phi + \Pi}}{\ln s_{\phi + \Pi}} \right) \% \quad (3.18)$$

- загальна к-ість бейніту:

$$B(\tau) = 100 - M(\tau) - [\Phi + \Pi](\tau), \% \quad (3.19)$$

- загальна к-ість перліту:

$$\Pi(\tau) = [\phi + \Pi](\tau) - \phi(\tau), \% \quad (3.20)$$

В таблиці 3.2 зведено результати розрахунків складників структури для трьох основних зварних швів технології зварювання теплоаккумулятора.

Таблиця 3.2 - Складники структури для стикового та таврового зварних швів

Найменування	Стиковий	Тавровий
Тривалість охолодження, с	38,5	7,91
Кількість мартенситу, %	0	12
Макс. кількість фериту, %	76	76
Кількість фериту, %	30	6
Кількість фериту та перліту, %	91	25
Кількість бейніту, %	9	63
Кількість перліту, %	61	19

Результати розрахунку узгоджуються з експериментальними дослідженнями мікроструктури зварного шва.

Також за емпіричними експериментально – встановленими формулами можна розрахувати орієнтовні значення механічних властивостей різних ділянок зони термічного впливу [21]:

$$HV = M(\tau) \cdot (309 + 494 \cdot C + 622 \cdot C^2 + 17,7 \cdot Mn) + B(\tau) \cdot (234 + 122 \cdot C) + [\Phi + \Pi](\tau) \cdot (98 + 275 \cdot C + 15,4 \cdot Mn); \quad (3.21)$$

$$\sigma_s \text{ (МПа)} = M(\tau) \cdot (798 + 3215 \cdot C) + B(\tau) \cdot (590 + 960 \cdot C + 39,7 \cdot Mn + 200 \cdot V) + [\Phi + \Pi](\tau) \cdot (297 + 1360 \cdot C + 60 \cdot Mn + 140 \cdot V); \quad (3.22)$$

$$\sigma_{0,2} \text{ (МПа)} = M(\tau) * (662 + 1610 * C) + B(\tau) * (500 + 460 * C + 120 * C^2 + 150 * V) + [\Phi + \Pi](\tau) * (187 + 926 * C + 47 * Mn + 90 * V); \quad (3.23)$$

$$\delta (\%) = M(\tau) * (12,2 - 67 * C^2 - 1,5 * Mn + 0,76 * \ln \tau) + B(\tau) * (21,3 - 35,6 * C - 4 * Mn - 5 * V + 1,84 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (36,5 - 127 * C + 153 * C^2 - 1,16 * Mn + 0,66 * \ln \tau); \quad (3.24)$$

$$\psi (\%) = M(\tau) * (48,5 - 158 * C - 116 * C^2 + 0,98 * \ln \tau) + B(\tau) * (53,3 - 132 * C + 103 * C^2 - 5,1 * Mn - 10 * V + 3,4 * \ln \tau) + [\Phi + \Pi](\tau) * (65,4 - 88 * C - 82 * C^2 - 6,7 * Mn + 18 * V + 0,6 * \ln \tau); \quad (3.25)$$

$$KCH \text{ (Дж/м}^2\text{)} = M(\tau) * (1,06 - 2,8 * C + 1,3 * C^2 - 0,081 * Mn + 0,05 * \ln \tau) + B(\tau) * (1,3 - 1,6 * C - 0,08 * Mn) + [\Phi + \Pi](\tau) * (1,47 - 1,8 * C + 0,8 * C^2 - 0,076 * Mn - 0,045 * \ln \tau). \quad (3.26)$$

Отримані розрахункові дані зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 Прогнозовані механічні характеристики зони термічного впливу для прототипу досліджуваної вуглецевої сталі

Найменування	Стиковий	Тавровий
Твердість HV	167	255
Границя міцності, МПа	618	828
Відносне видовження, %	19	15,8

Прогнозовані механічні властивості ЗТВ показують дещо завищені показники міцності у порівнянні з властивостями сталі *S235JR* у стані поставки та показують імовірну відносну поведінку низьколегованих вуглецевих сталей як реакція на термічний цикл зварювання. В цілому розрахунки демонструють достатньо достаній запас міцності перлітної – феритної структури. Проте слід звернути увагу на підвищені значення твердості на 52% за наявності значної кількості мартенситу та бейніту, що може сприяти утворенню холодних тріщин, особливо в умовах занкоперемінних навантажень. Тому доцільно для таврових з'єднань застосувати попереднє підігрівання перед зварюванням з метою зменшення швидкості охолодження, а також застосувати способи зменшення залишкових внутрішніх напружень, наприклад дробоструменеву обробку [25].

3.5 Висновки

На підставі проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз технології зварювання деталей обичайки теплоаккумулятора показав, що для розрахунку температурного поля та аналізу структурно-фазового стану зони термічного впливу доцільно використати схему швидкорухомого потужного лінійного джерела тепла.

2. Розрахунок термічних циклів зварювання зовнішніх та внутрішніх швів дозволяє прогнозувати ферито-перлітну структуру з достатніми міцністними властивостями. Проте для таврових з'єднань доцільно провести обробку з метою зменшення внутрішніх залишкових напружень.

3. Враховуючи, що максимальні значення еквіваленту вуглецю можуть перевищувати критичні рекомендовані значення для даної марки сталі, доцільно проводити ретельний вхідний аналіз партій металу, та у випадку виникнення холодних тріщин застосувати попереднє підігрівання виробів.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок роликового стенду

Для проведення складально-зварювальної операції циліндричного тонкостінного корпусу теплоаккумулятора необхідно застосувати роликові стенди, які збираються з привідних та холостих роликоопор. Розташування роликоопор залежить від потреб підприємства.

У корпусу теплоаккумулятора центр ваги співпадає з його подовжньою віссю. У розроблюваному роликовому стенді можна використати одну привідну роликоопору та одну холосту. Привідна роликоопора має гумові грузошини для хорошого зчеплення та плавного ходу [22]. Роликовий стенд винесений на креслення даної роботи ДРМ 21-425.04.00. Стенд приводиться в рух двома електродвигунами для маршового руху та для зварювання, які переключаються електромагнітною муфтою.

Для привідної роликоопори використовуємо стандартну із вбудованим черв'ячним редуктором, з'єднаним з привідним валом та роликами. Для холостих роликових опор візьмемо перекидні, щоб швидко переналаштовувати стенд на інший типорозмір зварюваних ємностей.

Важливим параметром роликового стенду, що забезпечує його стійкість від перекидання є відстань L між осями холостих та ведучих роликових опор. Знаходимо L знайдемо з формули (4.1), підставивши діаметр зварюваного виробу D (812 мм):

$$L = \sin \frac{\alpha}{2} (D + D_p), \text{ де } D_p - \text{уніфікований діаметр ролику, } D_p = 410 \text{ мм.}$$

(4.1)

Для $\alpha_{\min} = 50^\circ$, $\alpha_{\max} = 120^\circ$:

$$L_{\min} = \sin \frac{\alpha_{\min}}{2} (D_{\min} + D_p) = \sin \frac{50}{2} (812 + 410) = 516 \text{ мм};$$

$$L_{max} = \sin \frac{\alpha_{max}}{2} (D_{max} + D_p) = \sin \frac{120}{2} (812 + 410) = 1058 \text{ мм.}$$

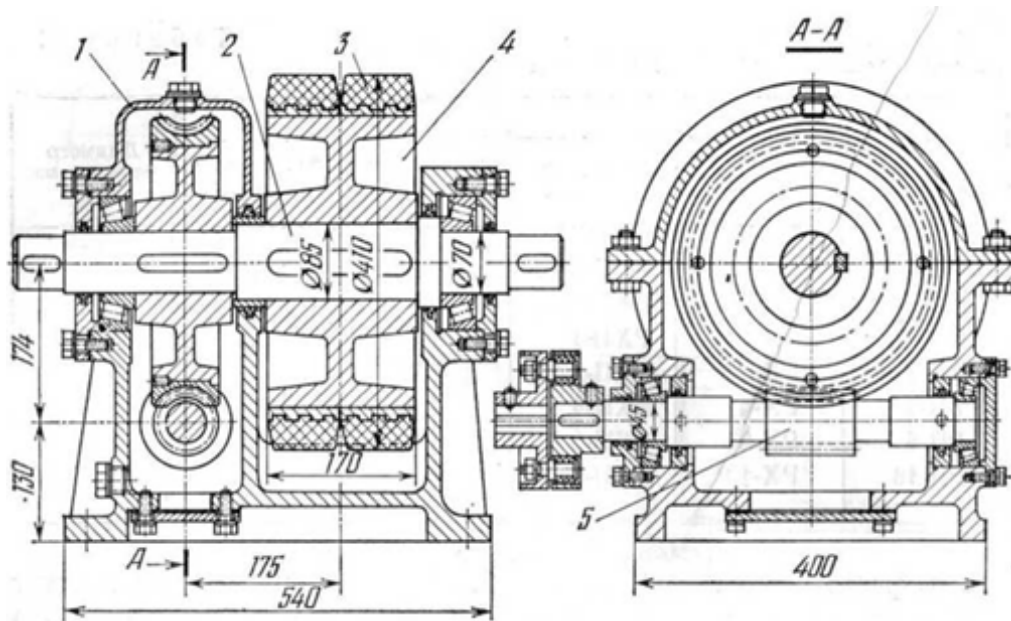


Рисунок 4.1 Привідна роликів опора:

1 – корпус черв'ячного редуктора; 2 – вал приводу; 3 – гумова грузошина;
4 - привідний ролик; 5 – черв'ячна передача

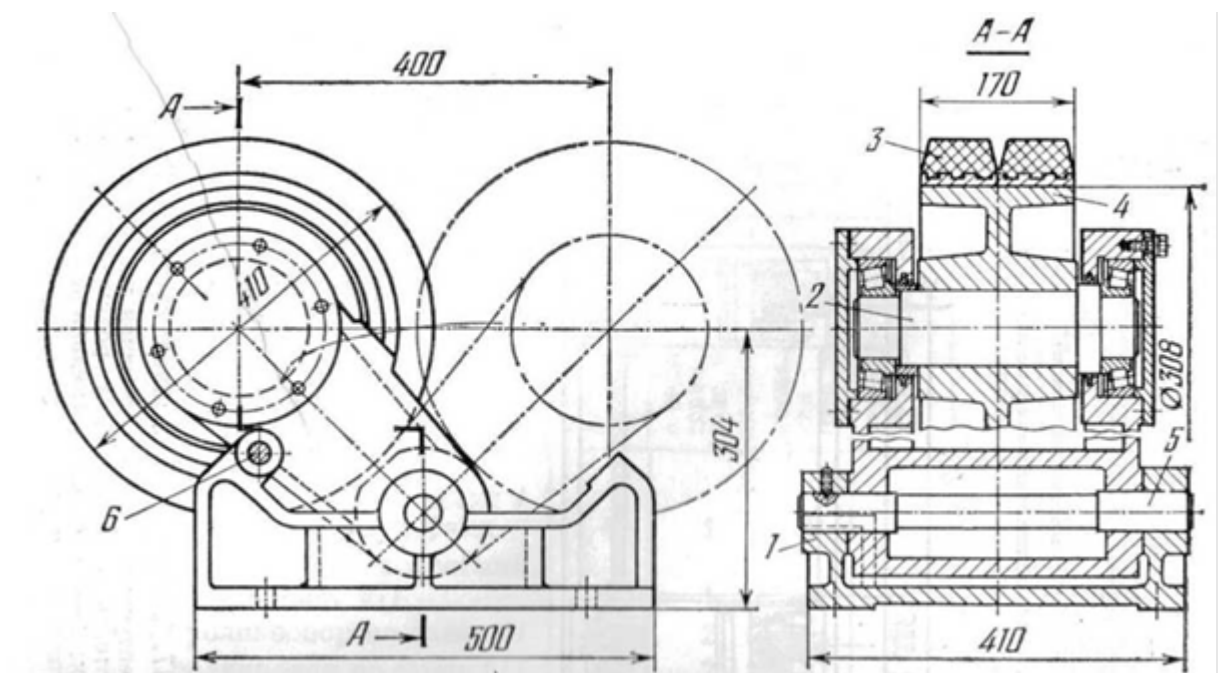


Рисунок 4.1 Холоста перекидна роликів опора

1 – основа; 2 – вісь холостого ролика; 3 – гумова грузошина;
4 – холостий ролик; 5 – шарнірна вісь; 6 – фіксатор

Оскільки холості роликові опори є перекидними, з ходом 400 мм, приймаємо $L = 900$ мм, $L_{max} = 1058$ мм, $L_{min} = 516$ мм.

Визначимо розкид діаметрів для L .

$$D_{max} = \frac{L_{max}}{\sin \frac{\alpha_{min}}{2}} - D_p = \frac{1058}{\sin \frac{50}{2}} - 410 \approx 2093 \text{ мм.} \quad (4.2)$$

$$D_{min} = \frac{L_{min}}{\sin \frac{\alpha_{max}}{2}} - D_p = \frac{516}{\sin \frac{120}{2}} - 410 \approx 186 \text{ мм.}$$

Проведемо статичний силовий аналіз навантажень у роликовому стенді за схемою рисунку 4.3. Зовнішнє навантаження на стенд складається з ваги виробу G та її моменту $M_{кр}$. В статичному стані при $e=0$ сила G створює опорні реакції, що залежать від кута α : $Q=G/2 \times \cos \alpha$.

Якщо врівноважити момент $M_{кр}$ та опір провороту холостих роликових опор, то можна визначити колову силу T_1 на приводних роликах:

$$T_1 = G \frac{e}{R} + T_2, \quad (4.1)$$

R – радіус ємності (406 мм);

G – вага виробу – $G=165$ кгс;

e – ексцентриситет;

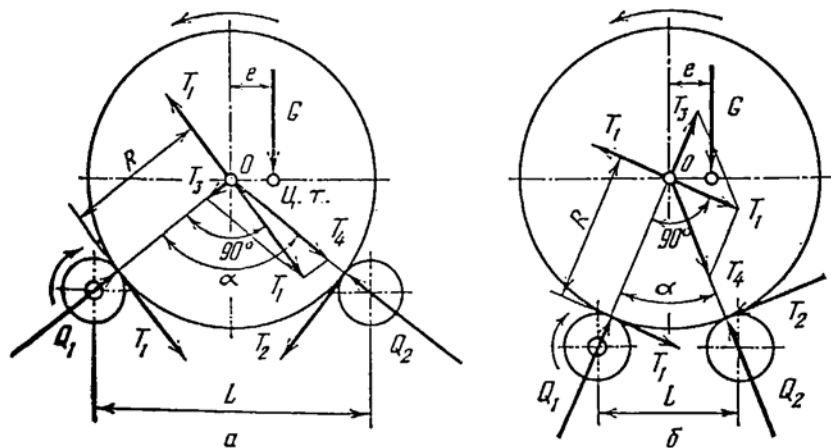


Рисунок 4.3. Навантаження роликового стенду:

a) $\alpha > 90^\circ$; б) $\alpha < 90^\circ$

T_2 – опір провороту холостих роликів.

$$T_2 = Q_2 * \frac{f d_p + 2\mu}{D_p}, \quad (4.2)$$

Q_2 – реакція опору холостої роликової опори під навантаженням:

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{T_1}{\sin \alpha} - \frac{T_2}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (4.3)$$

f – коеф. тертя у підшипниках кочення роликоопорах ($f = 0,02$);

d_p – діаметр ролика в підшипнику, $d_p = 7$ см;

μ – коеф. тертя кочення (для прогумованих роликів $\mu = 0,35$ см)

Після перетворень маємо:

$$T_1 = G * \left(\varepsilon + \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{b * \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \right) \quad (4.4)$$

$$T_2 = G * \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b * \sin \alpha + \cos \alpha - 1}, \quad (4.5)$$

$\varepsilon = e/R$ – дисбаланс, $\varepsilon = 0,02$;

$$b = \frac{D_p}{f d_p + 2\mu} - \text{стала.}$$

Для обичайки корпусу теплоаккумулятора $\alpha = 80^\circ$.

Отже,

$$b = \frac{41}{0,02 * 7 + 2 * 0,3} = 55,4, \quad T_1 = 165 * \left(0,02 + \frac{0,02 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \sin 80 + \cos 80 - 1} \right) = 53,4 \text{ Н;}$$

$$T_2 = 165 * \frac{0,02 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \sin 80 + \cos 80 - 1} = 20,4 \text{ Н,} \quad Q_1 =$$

$$\frac{G}{2 * \cos \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{\varepsilon * \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\varepsilon + \sin \frac{\alpha}{2}}{b * \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right) =$$

$$= \frac{165}{2 * \cos \frac{80}{2}} * (1 - \frac{0,02 * \cos 80}{\sin \frac{80}{2}} + \frac{0,02 + \sin \frac{80}{2}}{55,4 * \cos \frac{80}{2} - \sin \frac{80}{2}}) = 1090 \text{ Н};$$

$$Q_2 = b * (T_1 - G * \varepsilon) = 55,4 * (53,4 - 1650 * 0,02) = 1129 \text{ Н}.$$

Максимальне зусилля на одну опору

$$P_1 = \frac{\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}}{i_p} * k_p; \quad P_2 = \frac{\sqrt{Q_2^2 + T_2^2}}{i_p} * k_p, \quad (4.6)$$

P_1 – навантаження на одну привідну роликову опору;

P_2 – навантаження на одну на холосту роликову опору;

i_p – число роликових опор на ряд приймаємо $i_p = 2$;

K_p – коеф. нерівномірності навантаження $K_p = 1$;

$$P_1 = \frac{\sqrt{1090^2 + 53,4^2}}{2} * 1 = 545 \text{ Н}; \quad P_2 = \frac{\sqrt{1129^2 + 20,4^2}}{2} * 1 = 564,8 \text{ Н}.$$

Для розрахованого навантаження приймаємо для привідної роликової опори стандартну модель РП – 0,5, а для перекидної опори РХП – 0,5 [] із номінальним навантаженням 5,0 кН.

4.2 Розрахунок валів привідної та холостої роликоопор

Визначаємо найбільше навантаження у черв'ячній передачі

$$S = T_1 * \frac{D_p}{D_4} = 53,4 * \frac{41}{28,8} = 76,0 \text{ Н}, \quad (4.7)$$

D_4 – діаметр початкового кола черв'ячного колеса рівен 28,8 см.

На ведучий вал привідно роликової опори діють сили P_1 та S . Визначимо згинаючі моменти в небезпечних перерізах. Побудуємо епюру згинаючих моментів.

$$L = 40 \text{ см}, L_1 = 8 \text{ см}, L_2 = 17,5 \text{ см}, L_3 = 14,5 \text{ см}; h_1 = 17,5 \text{ см}, h_2 = 11 \text{ см}.$$

Найбільший згинаючий момент діє в перерізі III:

$$M_I = 1,36 \text{ кН*см}; M_{II} = 2,57 \text{ кН*см}; M_{III} = 4,47 \text{ кН*см}; M_{IV} = 3,68 \text{ кН*см}.$$

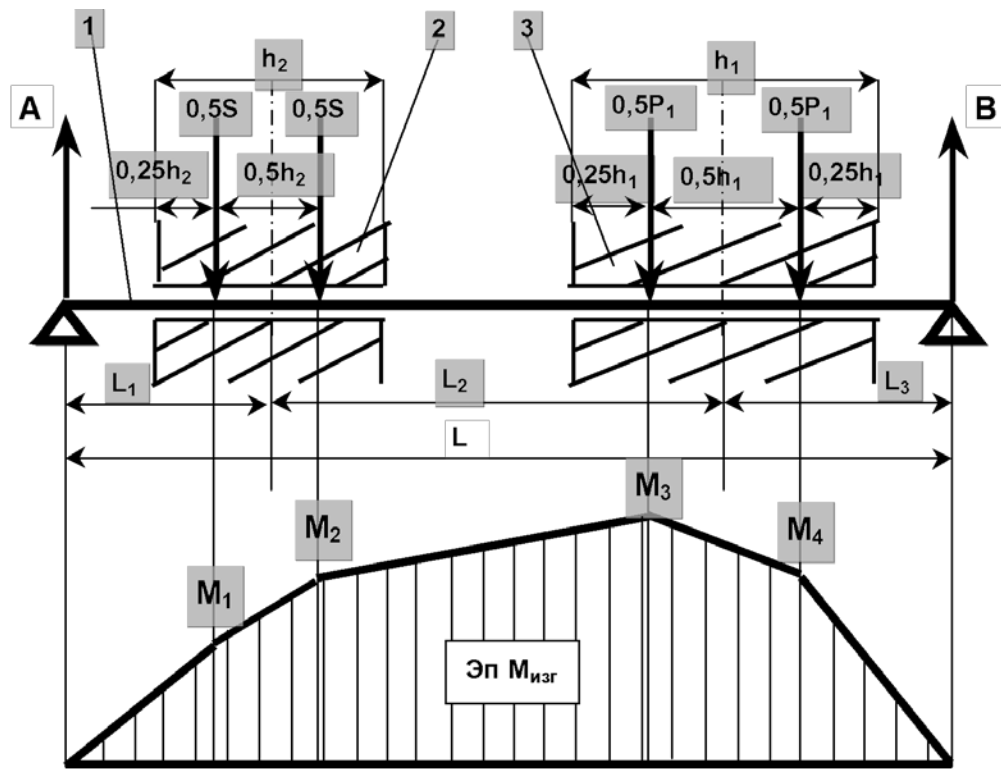


Рисунок 4.4 Епюра згинних моментів привідної роликопори

Отже, обертний момент $M_{об}$ на валу рівний:

$$M_{об} = T_1 * \frac{D_p}{2} + (f \frac{d_b}{2} + \mu) * \sqrt{Q_1^2 + T_1^2} = \quad (4.8)$$

$$= 53,4 * \frac{41}{2} + (0,02 * \frac{7}{2} + 0,3) * \sqrt{1090^2 + 53,4^2} = 1500 \text{ Н*см} = 1,5 \text{ кН*см}$$

d_{ϵ} – діам. валу у підшипниках кочення рівний $d_{\epsilon} = 7 \text{ см}$.

Еквівалентний M_e рівен

$$M_e = \sqrt{M_{изг}^2 + M_{об}^2} = \sqrt{4,47^2 + 1,5^2} = 4,71 \text{ кН*см}.$$

Діаметр валу d_{ϵ} :

$$d_{\epsilon} = \sqrt[3]{\frac{10 * M_e}{[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10 * 4,71}{5,50}} = 20,5 \text{ мм} \quad (4.9)$$

Проте через конструктивні особливості валу з виконаними шпоночними пазами збільшуємо запас міцності, та більші діаметри валів до 85 мм.

Потужність на валу приводної роlikової опори:

$$N_{\epsilon} = \frac{M_{кр} * \Pi_{\mu}}{97500}, \quad (4.10)$$

Π_m – маршова частота обертання валу $\Pi_m = 10$ обертів на хвилину.

$$N_{\epsilon} = \frac{1,5 \cdot 100 \cdot 10}{97500} = 0,02 \text{ кВт.}$$

Отже потужність електродвигуна приводної роlikової опри:

$$N = N_{\epsilon} / \eta_0 = 0,02 / 0,40 = 0,05 \text{ кВт,}$$

де η_0 – ККД механізму, і $\eta_0 = 0,4$.

Умова зчеплення гумованої роlikової опори та виробу

$$K_{зч} = \frac{Q_1^* \varphi}{T_1} \geq 3, \quad (4.13)$$

φ – коеф. зчеплення, $\varphi = 0,35$.

$$K_{зч} = \frac{1090 \cdot 0,35}{53,4} = 7,15 > 3, \text{ тому умова зчеплення виконується.}$$

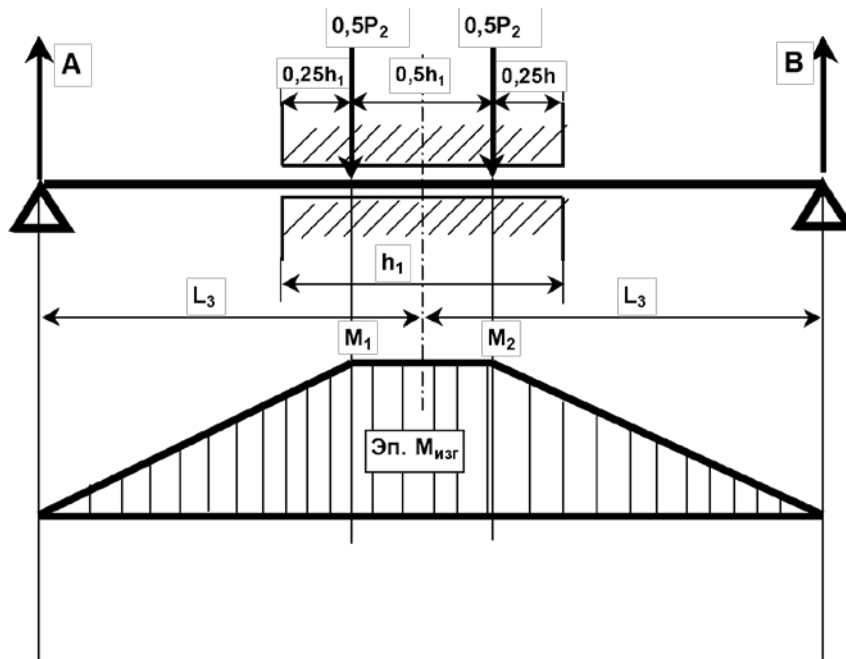


Рисунок 4.5 Епюра згинних моментів холостої роlikової опори

Отже для холостої роlikоопори, $L_3 = 14,5$ см; $h_1 = 17,5$ см.

Найбільший згинаючий момент в перерізі II: $M_{II} = 2,86$ кН*см.

Допустиме напруження згину $[\sigma_{зг}] = 14,0$ кН / см²

Розрахунковий діаметр валу холостої роlikової опори d_{ϵ} :

$$d_{\epsilon} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2,86}{3,14 \cdot 14,0}} = 12,8 \text{ см} \quad (4.11)$$

Приймаючи до уваги конструктивні особливості холостої роlikоопори приймаємо діаметри із запасом міцності до 85 мм.

Висновки.

В результаті розрахунку роlikового стенду отримано:

1. Стандартні моделі приводної роlikової опори РП – 0,5, перекидної холостої роlikової опори РХП – 0,5.
2. Розрахунковий діаметр приводної роlikової опори - 20 мм, холостої - 13 мм, конструктивний для обох - 70мм.
3. Потужність приводного електродвигуна 0,05 кВт, на стенді 1,2 кВт.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних шкідливостей на зварювальній дільниці. Заходи щодо їх зниження

При напіваавтоматичному електродуговому зварюванні у вуглекислому газі слід дотримуватися визначеного комплексу правил охорони праці, які відображаються в технологічному процесі. При проведенні зварювальних робіт можливість небезпечного впливу на зварника у зв'язку з наступними факторами: а) травми різного роду механічного характеру при підготовці важких виробів до зварювання і в процесі зварювання; б) опіки від крапель розплавленого металу і шлаку при зварюванні; в) отруєння шкідливими газами, які виділяються при зварюванні і при забрудненні приміщень пилом; г) ураження електричним струмом при дотиканні людини до струмопровідних частин електричного кола; д) ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри.

Фізичні та хімічні фактори промислової безпеки на зварювальній дільниці: шуми високого рівня, що виникають від працюючого зварювального обладнання; ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання великої інтенсивності; сліпуче світло у видимому спектрі від дуги та пальника; пари розплаву, що містять шкідливі для здоров'я свинець, цинк, кадмій, хром та інші компоненти, що входять до складу сплавів; за відсутності вентиляції ризик ураження зростає; гаряча завись з мікрочастинками розплавленого металу над ванною розплаву; тепла дія пальника або електричної дуги.

Зварювання теплового акумулятора проводиться на зварювальній дільниці, в якому знаходиться багато електропроводів, кабелів, обладнання із струмопровідними частинами, що знаходяться під напругою. Щоб знизити ризик шкоди здоров'ю, необхідно дотримуватися електробезпеки. Основні правила для зварників при цьому наступні: електроосвітлення можна запитувати тільки від струму 12 В; максимальна напруга холостого ходу зварювального апарату – 90 В; до включення обладнання перевіряється заземлення чи підключення до нуля; необхідно перевірити якість дроту – надійна ізоляція має на увазі відсутність тріщин, пропалів; електроживлення здійснюється через розподільний пристрій, оснащений запобіжниками;

довжина дроту понад 10 метрів не допускається; якщо був обрив кабелю або пошкоджена ізоляція, допустиме лише муфтове з'єднання двох шматків.

Щоб зменшити можливість ураження струмом людини в цеху під час зварювання рами слід дотримуватися наступних заходів: а) використовувати лише справні ізольовані провідники, які зв'язані з живленням джерела струму та заземленням корпусів зварювального обладнання; б) проводити роботу в сухому спецодязі та рукавицях; в) застосовувати надійну конструкцію пальника з доброю ізоляцією, яка дає можливість уникнення контакту струмопровідних чатин пальника із зварювальним виробом.

В умовах підприємств з зварювальним обладнанням в повітрі знаходяться аерозолі різного походження, розмірів, форми і концентрації. На зварювальній ділянці – це конденсаційні аерозолі, що утворилися при зварюванні, прибиранні приміщень, переміщенні внутрішнього обладнання.

Для захисту органів дихання, при зварюванні ємностей використовують респіратори великої пилеємності та вентиляційні системи. Робоче місце зварника повинне вентилуватись місцевою витяжною вентиляцією з подачею повітря 40 м³/год на кожного робітника (рис. 1). Якщо деталі, що зварюються, мають велику протяжність швів, можна влаштовувати вентиляційні відсмоктування гнучкими рукавами. Їхнє пересування в процесі зварювання узгоджується з рухом зварювальної дуги по деталі. Вентиляційна витяжка повинна розташовуватися так, щоб газу, що виділяються при зварюванні, проходили осторонь від зварювальника. У процесі роботи в замкнутих обсягах у зону роботи зварювальника необхідно подавати чистий атмосферне повітря за допомогою повітрорудки або забезпечити працюючого шланговим протигазом марки ПШ-2 або ПШ-1 та рятувальним поясом з прикріпленою до нього міцною мотузкою.

Для захисту очей та особи зварювальників від шкідливої дії променистої енергії зварювальної дуги слід застосовувати щиток або маску зі спеціальними світлофільтрами залежно від сили зварювального струму: Е-1 – до 75 А, Е-2 – від 75 до 200 А, Е-3 – від 200 до 400 А, ЕС-100, ЕС-300, ЕС-500. Для захисту світлофільтрів із зовнішнього боку їх закривають безбарвним склом, які в міру забруднення замінюють новими. Допоміжні робітники повинні бути забезпечені окулярами або

масками зі світлофільтрами В-2 або В-3. При зачистці зварювальних швів робітників забезпечують захисними окулярами.

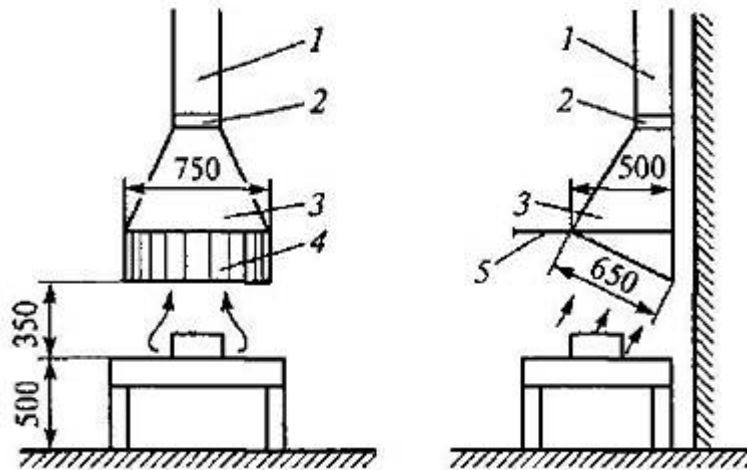


Рисунок 1. Схема витяжної вентиляції газів, що виділяються при зварюванні від зварювального посту: 1 - повітропровід; 2 – шибер; 3 - повітроприймач; 4 - штамповані ґрати; 5 - козирок

Забезпечення засобами індивідуальної безпеки зварників регулюється на законодавчому рівні, згідно наказу №53 Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 24 березня 2008 року.

З метою управління ризиками і менеджменту ризику на зварювальному підприємстві необхідно ідентифікувати суттєві ризики, які значно впливають на цілі підприємства в галузі якості, безпеки праці [23].

5.2 Організація служби охорони праці на підприємстві

Закон України «Про охорону праці» передбачає, що роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці та забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці та несе безпосередню відповідальність за порушення вимог з охорони праці на підприємстві.

На підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується

центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони праці.

На підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають виробничий стаж не менше трьох років і пройшли навчання з охорони праці.

На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Керівники та спеціалісти служби охорони праці за своєю посадою і заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб.

Спеціалісти служби охорони праці мають право [24]:

- видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, одержувати від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці;
- вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли передбачених законодавством медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують вимог нормативно-правових актів з охорони праці;
- зупиняти роботу виробництва, ділянки, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;
- надсилати роботодавцю подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці;
- за поліпшення стану безпеки праці вносити пропозиції про заохочення працівників за ктливну працю.

Припис спеціаліста з охорони праці може скасувати лише роботодавець. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою.

Фінансування охорони праці здійснюється роботодавцем. Фінансування профілактичних заходів з охорони праці, виконання загальнодержавної, галузевих та

регіональних програм поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, інших державних програм, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням, передбачається, поряд з іншими джерелами фінансування, визначеними законодавством, у державному і місцевих бюджетах.

Для підприємств, незалежно від форм власності, або фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, витрати на охорону праці становлять не менше 0,5 відсотка від фонду оплати праці за попередній рік.

На підприємствах, що утримуються за рахунок бюджету, розмір витрат на охорону праці встановлюється у колективному договорі з урахуванням фінансових можливостей підприємства, установи, організації.

Суми витрат з охорони праці, що належать до валових витрат юридичної чи фізичної особи, яка відповідно до законодавства використовує найману працю, визначаються згідно з переліком заходів та засобів з охорони праці, що затверджується Кабінетом Міністрів України.

Роботодавець зобов'язаний інформувати працівників або осіб, уповноважених на здійснення громадського контролю за дотриманням вимог нормативно-правових актів з охорони праці, та Фонд соціального страхування України про стан охорони праці, причину аварій, нещасних випадків і професійних захворювань і про заходи, яких вжито для їх усунення та для забезпечення на підприємстві умов і безпеки праці на рівні нормативних вимог.

Працівникам забезпечується доступ до інформації та документів, що містять результати атестації робочих місць, заплановані роботодавцем профілактичні заходи, результати розслідування, обліку та аналізу нещасних випадків і професійних захворювань і звіти з цих питань, а також до повідомлень, подань та приписів органів державного нагляду за охороною праці.

Органи державного управління охороною праці у встановленому порядку інформують населення України, працівників про реалізацію державної політики з охорони праці, виконання загальнодержавної, галузевих чи регіональних програм з цих питань, про рівень і причини аварійності, виробничого травматизму і професійних захворювань, про виконання своїх рішень щодо охорони життя та здоров'я працівників.

5.3. Перша домедична допомога при ураженні електричним струмом

Працюючи з будь-якою комп'ютерною системою, людина наражає себе на небезпеку бути ураженою електричним струмом. Працюючи з мікросхемами сильних електричних ударів не отримаєш, можуть бути електричні знаки – це сірі або блідо-жовті плями в місці ураження струмом. Вони безболісні та через деякий час зникають. Також можна отримати електричні опіки, які виникають внаслідок нагрівання тканин тіла людини струмом понад 1А під час різних коротких замикань, якщо сильно нагрітий провідник. До таких наслідків може призвести неправильне поводження з технікою, замикання контактів і т.п.

Відповідно «Порядку надання домедичної допомоги постраждалим при ураженні електричним струмом та блискавкою» [24] є ряд встановлених правил надання першої домедичної допомоги потерпілим раженим електричним стркмом.

Якщо ж під час роботи з КС людина отримала сильне ураження електричним струмом в першу чергу потрібно:

- не зволікати;
- звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання;
- швидко відключити від мережі ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина.

Після звільнення потерпілого від дії струму, потрібно відразу надати йому першу домедичну допомогу. Так як при ураженні струмом смерть часто буває клінічною, і не слід зважати на відсутність дихання, пульсу, серцебиття.

Можна виділити три стани людського організму внаслідок дії електроструму і відповідні заходи необхідної допомоги:

- потерпілий при свідомості, йому слід забезпечити повний спокій, 2-3 годинне спостереження і обов'язковий огляд лікаря.
- якщо потерпілий непритомний, але дихає, його потрібно покласти горизонтально, розстебнути комір і пасок, привести до свідомості (дати нюхати нашатирний спирт).
- якщо відсутнє дихання або ускладнене потрібно зробити штучне дихання та непрямий масаж серця. Перед тим як робити штучне дихання необхідно

закинути потерпілому голову, підкласти під шию якийсь предмет так, щоб шия була припіднята, але голова була притиснута до землі. Так кисень потраплятиме в легені потерпілого. При диханні рот в рот здійснюють по два вдихи через кожних 30 натискань на проекцію серця до прощупування пульсу. При неможливості даного способу допустимо використовувати тільки непрямий масаж серця.

Непрямий масаж серця – потрібно робити протягом перших 3 хвилин після того, як зупинилося серце після чого він стає менш ефективним. Потерпілого кладуть на спину на рівній поверхні, той хто надає першу медичну допомогу повинен випрямленими руками в ліктях виконуючи близько ста ритмічних натискань на протязі однієї хвилини на грудну клітку з частотою натискань 5-6 см і натискати потрібно доти доки не розправиться грудна клітка.



Рисунок 4.2 – Непрямий масаж серця

Якщо швидка ще не приїхала, можна самотужки обробити опіки, при цьому накласти сухі марлеві пов'язки. Якщо потерпілий знаходиться у свідомості, йому можна дати знеболюючі та заспокійливі засоби.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для виготовлення теплового акумулятора для твердопаливного котла V1500 рекомендовано використати конструкційну сталь звичайної якості S235JR, яка добре зварюється усіма способами зварювання.

Рекомендовано використати для зварювання стикових з'єднань обичайки рекомендуємо автоматичне зварювання у середовищі суміші газів $Ar+CO_2$ у два проходи. Поздовжній шов виконувати на керамічних підкладках, а кільцевий шов - на підкладних кільцях.

Зварювання таврових і кутових з'єднань рекомендуємо зварювати механізованим зварюванням у $Ar+CO_2$.

Розрахунок термічних циклів зварювання стикових та таврових швів дозволяє прогнозувати ферито-перлітну структуру з достатніми міцністними властивостями.

У технологічному процесі виготовлення теплоакумулятора запропоновані наступні технічні рішення:

- для механізації трудомістких операцій газової різки використати автоматичний пристрій для обрізки торцевих кромek обичайок і днищ;
- застосовувати більш раціональну односторонню обробку кромek;
- зварювання проводити на автоматичних та напіваавтоматичних установках у суміші газів $Ar+CO_2$, що зменшить трудомісткість зварювання, понизить наводнення зварного шва та підвищить довговічність виробу, зменшить витрати електродного дроту;
- запровадити контроль якості теплоакумулятора та виправлення дефектів зварних з'єднань.

Впровадження перерахованих нововведень дозволяє:

- знизити трудомісткість виготовлення виробу;
- підвищити якість виробу;
- скоротити технологічний цикл зварювальних операцій;
- поліпшити умови праці зварників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних теплосилових установок: Навч. посібник / С.В. Панченко, В.Д. Александров, А.П. Фалендиш та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 281 с.
2. Буферні ємності (теплоакумулятори) для твердопаливних котлів з чорної сталі (серія ВТА) [Електронний ресурс] / НВП «Теплобак». – Режим доступу: <https://www.teplobak.com.ua/ua/catalog/vta/>
3. Товстолистовий прокат [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ. – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/uploads/files/library/metinvest-tovstolistoviy-prokat-ua-2020.pdf>
4. Характеристики марки сталі S235JR [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/s235jr>
5. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г.Биковський, І.В. Пінь-ковський. – К.: Техніка, 2002. – 336 с.
6. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. 544 с.
7. Марочник сталей и сплавов [Текст] / Под ред. Зубченко А.С. –М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
8. Характеристики марки сталі Ст3пс [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ. – Режим доступу: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/st3ps>
9. Лившиц Л.С., Хакимов А.Н. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. - М.: Машиностроение, 1989. - 336 с.
10. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1995. - 166 с.
11. Правил експлуатації посудин, що працюють під тиском. Державний нормативний акт з охорони праці. - К., 1998. - 373 с.
12. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – К.:Еко-технологія, 2007. – 192 с.
13. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением: Учеб. для ву-зов [Текст] / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич; [Ред. изд. Т.Е. Черешнева]. - М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.
14. Технология электрической сварки плавлением. – Под ред. Патона Б.Е. – М.: К. – Машгиз, 1962. – 664 с.

15. Теория сварочных процессов [Текст]/ Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
16. Гитлевич А.Д., Етингоф А.А. Механизация и автоматизация сварочно-го производства. – М.: Машиностроение, 1979. – 280 с.
17. Механізація котельно – заготівельного та складально – зварювального виробництва/ Д.Т.Логанов, М.Т. Баранніков, Ю.К. Петропавловський та ін. – М.: Машинобудування, 1989. – 120 с.
18. Ахметов А.Р. Автоматическая сварка корпусов теплообменных аппаратов “Технология судостроения” №1, 1984 – 24-27с.
19. Сварочное оборудование. Каталог-справочник.4 –Киев: “Наукова думка”, 1983. – 450 с.
20. Куркин С.А., Ховов В.М., Рыбачук А.М. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций: Атлас. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
21. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни для студентів напряму 050504 «Зварювання» // Укладачі: О.А. Сливінський, Н.М.Стреленко. - К.: НТУУ «КПІ», – 2012.
22. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / П. И. Севбо - Киев: Наукова думка, 1978. - 400 с
23. Yu.K.Bondarenko, O.V. Kovalchuk Risk identification in fabrication of welded structures in order to introduce risk-management at the enterprise // Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing №3, 2018, pp. 47-57
24. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240с.
25. С.Я. Паробок, О.С. Коваль, Б.Р. Гарасюк, М.О. Козак Застосування дробоструменевої обробки для підвищення працездатності зварних з’єднань з високолегованих аустенітних сталей // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей ХІ міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 202

ДОДАТКИ

Додаток 1 - СПЕЦИФІКАЦІЇ

A.1 Тепловий акумулятор V1500.

A.2 Пристрій для обрізки кромки обичайки та денець.

A.3 Пристрій для зварювання кільцевих швів.

A.4 Роликовий стенд.

Додаток 2

Послідовність технологічного процесу складання та зварювання корпусу теплоакумулятора

[illegible]

77

Послідовність технологічного процесу складання та зварювання корпусу теплоаккумулятора

1. Комплект деталей постачається на зварювальну дільницю. згідно комплектувальної карти зі складу комплектації поштучно. Перевіряється якість виготовлення деталей та вузлів.

2. Зачищаються кромки та ділянки зварювання кільцевих стиків обичайки до металевого блиску. Обичайка складається за допомогою центратора. На обичайці корпусу зачищаються зони зварювання для встановлення фланців для входу і виходу теплоносія, патрубків запобіжної групи, патрубка зливу, горловини люка, стійок.

Складаються днища з фланцями, обжимаються по периметру спряження. Виконуються прихоплення катетом 3 мм довжиною 20 мм при відстані між ними 200 мм.

3. Обичайка корпусу встановлюється вертикально на торець заднього фронту на складальну плиту. Проводиться обрізка кромки обичайки. Зачищаються кромки, за осями складаються обичайка корпусу з спочатку переднім днищем, потім друга обичайка з заднім. Зсув кромки усувається (допустимий зсув – до 0,7мм). Забезпечується зазор під зварювання кільцевого шву 0+2 мм.

4. Виконується прихвоплення обичайки корпусу з переднім та заднім днищем ручним дуговим зварюванням швами довжиною 20 ± 5 мм з відстанню між ними 200 ± 10 мм.

5. Обичайка в складі з днищем встановлюється на роликовий стенд для зварювання кільцевих швів. Заварюється внутрішня частина шва, а потім зовнішня автоматичним зварюванням в $Ag+CO_2$.

При виготовленні обичайки можливо отримання такого дефекту як овальність. Тоді при обертанні такої обичайки нижня точка її торця буде пересуватися по вертикалі. При цьому буде змінюватися виліт електроду, що при

зварюванні в захисному газі, в свою чергу, веде до зміни зварювального струму та відповідно заданої форми шву. Для підтримки постійної величини вилиту застосовуємо копір по висоті. Ролик цього копіру спирається на обичайку поблизу від електроду та пов'язаний з плавким електродом. Таким чином, електрод слідом за роликом повторює зміну в вертикальній площині точки зварювання.

Для зварювання зовнішніх кільцевих швів обичайки корпусу використовуємо роликовий стенд, на котрому встановлюється виріб та глагольний візок із закріпленою на ній зварювальною підвісною головкою. Глагольний візок представляє собою самохідну трьохколісну платформу на якій змонтована необоротна колона. Наявність трьох коліс замість звичайних чотирьох забезпечує теліжці стійке положення на коліях. Ходова частина глагольного візка складається з 2-х привідних коліс, які рухаються по передній рейки колії, та одного холостого, що пересувається по задній рейки. По колоні може пересуватися каретка з висувною горизонтальною штангою, на кінці якої кріпиться зварювальна головка типу АБ. Пересування каретки здійснюється шляхом вантажного ціпка. На каретці закріплений механізм пересування штанги. При русі візка працює сигнальний дзвоник для попередження травматизму працівників.

Збиваються бризки на зварних швах та навколошовній зоні на відстані 20 мм з обох боків зварного шву. Шви зачищаються.

Контролюється якість зварного шву зовнішнім оглядом, заміряються геометричні розміри швів, при потребі проводиться рентгенографування кільцевого шву (50 % довжини).

6. Зачищаються місця зварювання додаткових деталей ємності, вони встановлюються на корпус, прихвачуються ручним дуговим зварюванням швами довжиною 20 ± 5 мм, кроком 150 ± 10 мм при катеті шву 3 мм.

На роликовому стенді проводиться зварювання додаткових деталей з обичайкою корпусу механізованим зварюванням в CO_2 .

Зварні шви зачищаються, зачищається внутрішня поверхня корпусу від бруду, іржі.

Контролюються розміри якості складання та зварювання деталей насичення корпусу.

7. Зборка підключається до отворів листа накладного відстійника для пневмовипробувань. Проводяться пневмовипробування зварних швів тиском 0,05 МПа.

На корпус теплоаккумулятора встановлюється трійник з двома манометрами МТПСД –160–1,0, клас точності 1,6. Перевіряється зовнішнім оглядом наявність технічних заглушок, ступінь затяжки різьбових з'єднань. Корпус теплоаккумулятора підключається до складання для пневмовипробувань шлангом високого тиску. Редуктором складання встановлюється тиск 0,3 кгс/см² (запобігаючий клапан встановлюється під тиском 0,04 МПа).

Проводиться пневмовипробування зварних швів приварки деталей насичення та штуцерів тиском 0,03 МПа.

На корпусі теплоаккумулятора намічаються місця установки накладних листів вантажних вух. Зачищаються окрайки та зони зварювання, листи збираються з підгонкою по корпусу та прихватуються.

Проводиться заключне очищення поверхні корпусу від бруду, іржі.

Складаний корпус здається у відділ контролю.

Проводиться контрольна перевірка розмірів та якості складання та зварювання корпусу.

8. Корпус встановлюється на плиту стенду для гідровипробувань. Підключається зборка з двома манометрами, під'єднується шланг високого тиску системи стенду до штуцера відстійника. Корпус теплоаккумулятора заповнюється водою. Проводяться гідровипробування корпусу та міцність при тиску 10 атм.

Виявлені дефекти видаляються.