

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут**

Кафедра Зварювального виробництва

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
_____ С.В. Драган
«____» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОЗРОБКА ДІЛЬНИЦІ**
ЗВАРЮВАННЯ ВУЗЛІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ
АКУМУЛЯТОРІВ ЗІ СТАЛІ 12Х18Н10Т

Виконав: студентка групи 6121м
_____ Авраменко К.М.
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи:
В.о. зав. кафедри, канд. техн. наук,
професор НУК
(посада, науковий ступінь, вчене звання)
_____ Драган С.В.

Миколаїв, 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____ С.В.Драган
«_____» _____ 2023 р.

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

Студентці Авраменко К.М.
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Дослідження технології та розробка дільниці зварювання вузлів автомобільних теплових акумуляторів зі сталі 12Х18Н10Т

Керівник роботи канд. техн. наук, професор НУК Драган С.В.

Затверджені наказом ректора № _____ від «___» _____ 20__ року

2. Термін подання роботи: 15 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані по роботі: 1. Робочі креслення автомобільного теплового акумулятора. 2. Матеріал виробу – сталь 12Х18Н10Т. 3. Річна програма випуску виробів 5000 шт.

4. Перелік питань, що підлягають розробці (найменування розділів).

1. Аналіз конструкції автомобільних теплових акумуляторів (ТА). Проблеми технології зварювання тонкостінних посудин із хромонікелевої сталі. 2. Дослідження технології зварювання вузлів ТА зі сталі 12Х18Н10Т. 3. Розробка технології виготовлення ТА. 4. Розробка спеціалізованої дільниці складання і зварювання ТА. 5. Розробка заходів щодо охорони праці та охорони навколишнього середовища. 6. Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт при виготовленні автомобільних ТА.

5. Перелік презентаційних матеріалів. 1. Тема, мета та завдання кваліфікаційної роботи. 2. Призначення, принцип роботи та конструкція автомобільних теплових акумуляторів (ТА). 3. Властивості сталі 12Х18Н10Т, оцінка зварюваності. 4. Характеристики технології зварювання. 5. Розрахунок та вибір режимів зварювання. 6, 7. Дослідження температурних полів при зварюванні заправних трубок капсул заповнених ТАМ. 8, Оцінка зварювальних деформацій корпусів ТА. 9, 10. Металографічні дослідження зварних з'єднань. 11. Технологічний процес виготовлення ТА. 12. Розробка

технологічного плану діляниці. 13. Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт. 14. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 6	Драган С.В., в.о. зав. каф.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1. Аналіз конструкції автомобільних теплових акумуляторів (ТА). Проблеми технології зварювання тонкостінних посудин із хромонікелевої сталі.	01.11.2023	
2.	Розділ 2. Дослідження технології зварювання вузлів ТА зі сталі 12X18H10T.	05.11.2023	
3.	Розділ 3. Розробка технології виготовлення ТА.	10.11.2023	
4.	Розділ 4. Розробка спеціалізованої діляниці складання і зварювання ТА.	20.11.2023	
5.	Розділ 5. Розробка заходів щодо охорони праці та охорони навколишнього середовища.	01.12.2023	
6.	Розділ 6. Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт при виготовленні автомобільних ТА.	05.12.2023	
7.	Підготовка доповіді та презентації	12.12.2023	

Студент _____ Авраменко К.М.
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Драган С.В.
(підпис) (ПІБ)

Зміст	стр.
Вступ.....	5
1. Аналіз конструкції автомобільних теплових акумуляторів (ТА).	
Проблеми технології зварювання тонкостінних посудин із хромонікелевої сталі.....	7
1.1. Призначення та конструкція автомобільних ТА.....	7
1.2. Особливості зварювання аустенітних хромонікелевих сталей.....	13
1.3. Проблеми зварювання тонкостінних оболонок, типові технології та організація виробництва	18
1.4. Висновки та постановка завдань кваліфікаційної роботи	26
2. Дослідження технології зварювання вузлів ТА зі сталі 12X18H10T.....	28
2.1. Вибір способів зварювання і зварювальних матеріалів.....	29
2.2. Призначення режимів зварювання вузлів ТА.....	34
2.3. Розрахунок та аналіз температурних полів при зварюванні TIG заправних трубок капсул, заповнених ТАМ.....	38
2.3.1. Розрахунок температур від дії миттєвого плоского джерела теплоти у стрижні.....	41
2.3.2. Розрахунок температур від дії рухомого лінійного джерела теплоти в пластині.....	44
2.4. Розрахунок зварювальних деформацій корпусів ТА.....	51
2.5. Металографічні дослідження зварних з'єднань вузлів ТА.....	55
2.5.1. Дослідження структури та твердості металу зварного з'єднання корпусу.....	55
2.5.2. Дослідження структури металу зварного з'єднання капсули.....	57
Висновки.....	59
3. Розробка технології виготовлення ТА.....	62
3.1. Схема технологічного процесу, послідовність операцій.....	63

3.2. Обладнання для складально-зварювальних робіт.....	69
3.3. Контроль якості зварювання, виправлення дефектів.....	73
Висновки.....	77
4. Розробка спеціалізованої ділянки складання і зварювання ТА.....	78
4.1. Обґрунтування вибору компоновальної схеми ділянки.....	79
4.2. Розрахунок розмірів ділянки.....	81
4.3. Розробка технологічного плану ділянки.....	83
Висновки.....	86
5. Розробка заходів щодо охорони праці та охорони навколишнього середовища.....	87
5.1. Загальні відомості.....	88
5.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	89
5.3. Розрахунок системи штучного освітлення.....	92
5.4. Охорона навколишнього середовища.....	95
Висновки.....	97
6. Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт при виготовленні автомобільних ТА.....	98
Висновки.....	106
Загальні висновки.....	107
Список використаних джерел інформації.....	109

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Авраменко К.М			Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Драган С.В.					5	2
Консультант						НУК		
В.о. зав. каф.		Драган С.В.						

Вступ

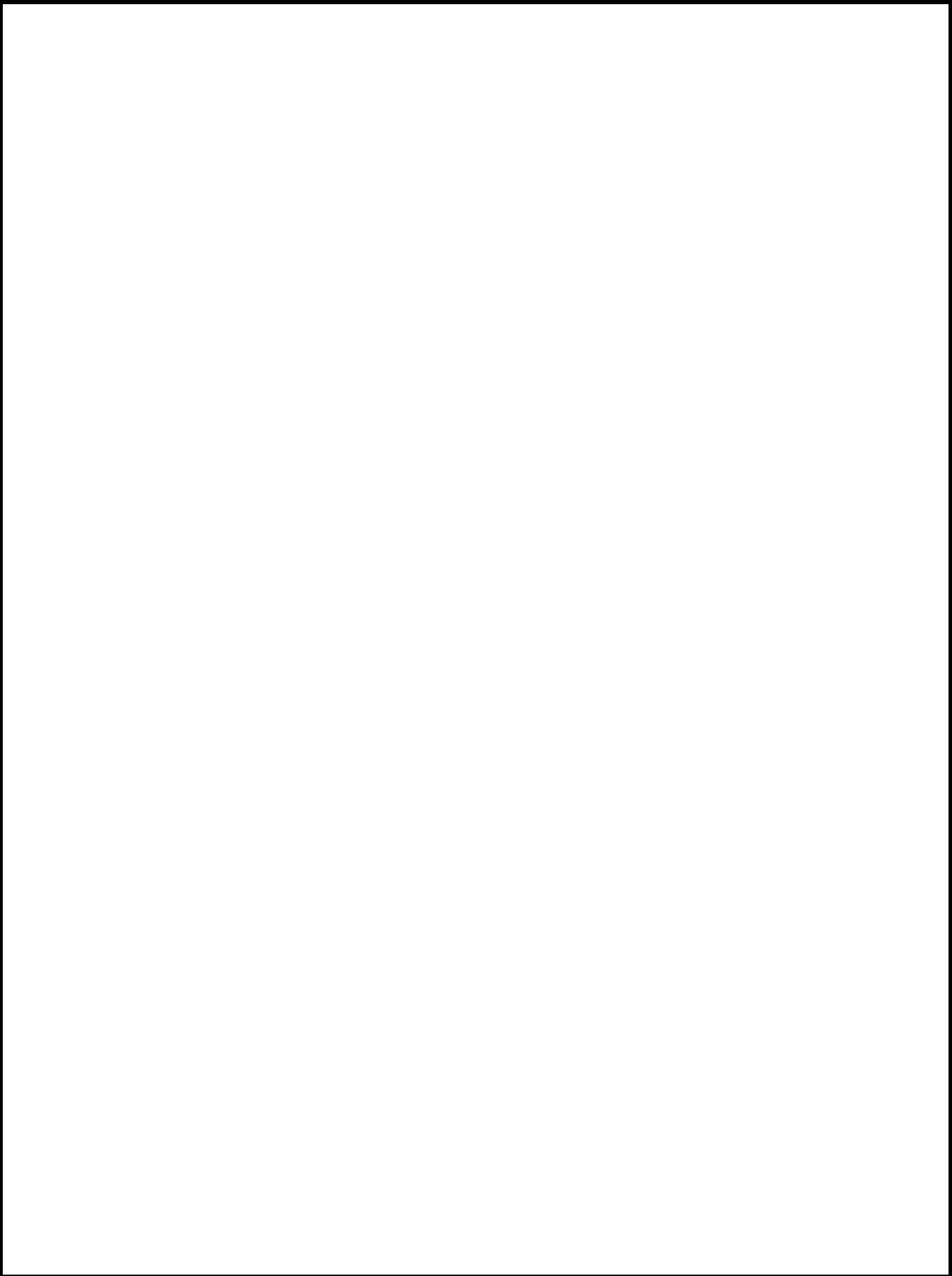
Ресурс роботи автомобільного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) значною мірою визначається умовами його експлуатації та технічного обслуговування. Найбільші навантаження впливають на двигун під час запуску, стабільність якого залежить від температури у блоці циліндрів. Для полегшення запуску ДВЗ та зменшення зношення поршневої групи, а також для зниження витрат палива доцільно підтримувати температурний режим в інтервалі 40 ... 80 °С. Задля цього використовують різні методи та засоби передпускового підігріву двигунів.

Одним із сучасних напрямків є встановлення на автомобільні ДВЗ пристроїв, що забезпечують потрібну температуру двигуна, особливо після тривалої стоянки на відкритих майданчиках у зимовий період року. До числа таких пристроїв належать так звані автомобільні теплові акумулятори (ТА), якими оснащують свої автомобілі відомі європейські концерни.

Розроблено достатньо багато конструкцій ТА, виготовлених з корозійно-стійких сталей, однак через високу їх вартість ними оснащують переважно елітні марки легкових автомобілів та великих вантажних, які призначені для роботи в умовах низьких температур.

В Україні виробництво ТА відсутнє, тому організація їх промислового виготовлення, а разом з тим відновлення вітчизняної автомобільної галузі промисловості, є актуальною проблемою. Виходячи з цього, мета даної магістерської кваліфікаційної роботи – дослідження технології серійного виробництва вузлів ТА зі сталі 12Х18Н10Т та розробка спеціалізованої складально-зварювальної дільниці.

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Авраменко К.М				Аналіз конструкції автомобільних теплових акумуляторів (ТА). Проблеми технології зварювання тонкостінних посудин із хромонікелевої сталі			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Драган С.В.								7	21
Консультант									НУК		
В.о. зав. каф.		Драган С.В.									

1. Аналіз конструкції автомобільних теплових акумуляторів (ТА).

Проблеми технології зварювання тонкостінних посудин із хромонікелевої сталі

1.1. Призначення та конструкція автомобільних ТА

Тепловий акумулятор призначений для полегшення пуску та прискорення прогріву автомобільних ДВЗ при низькій температурі повітря за рахунок тепла охолоджуючої рідини, що знаходиться в акумуляторі тепла. Застосування ТА для пуску двигуна забезпечує (при нормальному функціонуванні основних систем автомобіля):

- гарантований запуск двигуна при температурах до - 35 °С;
- значне зниження витрати палива на прогріві;
- зменшення зносу ДВЗ, а також виключення ймовірності задираки поршнів і вкладишів;
- збільшення ресурсу електричної акумуляторної батареї та стартера;
- суттєве зниження токсичності вихлопних газів;
- повну безпеку пристрою (простота підключення дозволяє змонтувати ТА кожному власнику, що має навичку самостійного обслуговування автомобіля);
- можливість підключення до встановленої сигналізації та дистанційного запуску.

Вперше серійний тепловий акумулятор (ТА) для автомобілів з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) запропонував німецький інженер О. Schatz в кінці 90-х років ХХ ст.

Теплові акумулятори користуються популярністю у власників легкових автомобілів з об'ємом двигуна від 2,5 літра, які щодня експлуатують свій автомобіль взимку.

Принцип роботи ТА заснований на роботі звичайного вакуумного термоса з подвійною металевою колбою. Працює тепловий акумулятор наступним чином: під час зарядки охолоджуюча рідина (ТОСОЛ або АНТИФРІЗ) працюючого автомобільного двигуна потрапляє в герметичну

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порожнину ТА циркуляції теплоносія, омиває капсули з теплоакumuлюючим матеріалом (ТАМ), нагріває їх, розплавляючи ТАМ, і виходить із акумулятора. Тут використовується теплоємність фазового переходу ТАМ з твердого стану в рідкий.

При розрядженні ТА холодний теплоносій потрапляє в герметичну порожнину циркуляції теплоносія, омиває теплоакumuлюючі капсули, відбираючи у них тепло. ТАМ, що міститься в капсулах, віддаючи тепло, кристалізується. Матеріал у капсулах здійснює зворотний фазовий перехід, еквівалентний по вивільненій енергії роботі нагрівача.

Характер теплообміну між ТА та системою охолодження двигуна ілюструє графік (рис. 1.1) [1].

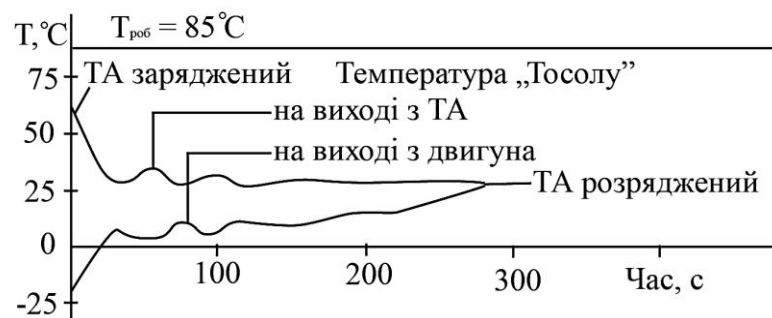


Рисунок 1.1 - Зміна температури на вході та виході ТА при роботі системи охолодження ДВЗ

Конструкції автомобільних теплових акумуляторів достатньо різноманітні, але принципово вони побудовані однаково. Розглянемо, як приклад, одну з конструкцій ТА фазового переходу ТАМ, розробленого у Національному університеті кораблебудування імені Адмірала Макарова (рис. 1.2). Робота даного теплового акумулятора полягає в використанні особливих властивостей ТАМа - луку NaOH зберігати температуру, порядку температури кипіння $T_{\text{кип}} = 90^{\circ}\text{C}$, протягом певного часу [2]. Такий ТА відомий також під назвою “Устройство облегчения пуска двигателя” (УОПД) [3]. При цьому позначення зварних з’єднань відповідатимуть чинному на той час стандарту ГОСТ14771-76.

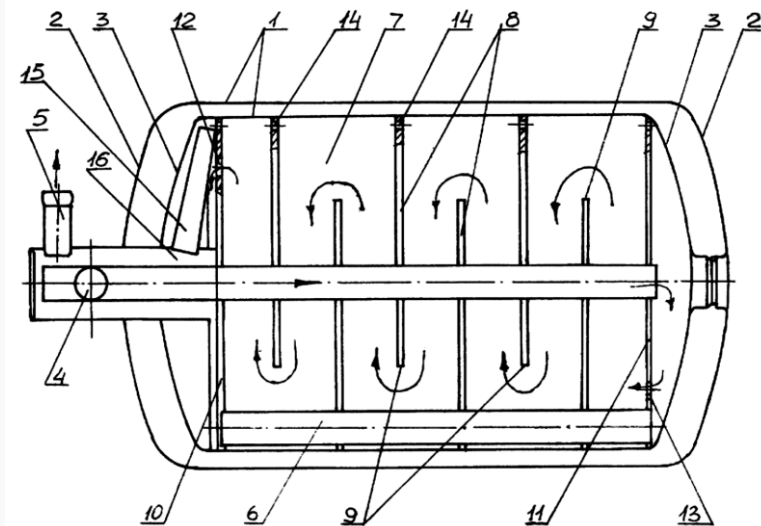


Рисунок 1.2 - Тепловий акумулятор фазового переходу (УОПД): 1 – двостінний корпус; 2,3 – денця; 4,5 – патрубки входу та виходу теплоносія; 6 – капсули; 7 – порожнина циркуляції теплоносія; 8 – поперечні діафрагми; 9 – сегментні зрізи; 10, 11 – поперечні перегородки; 12, 13 – перфорація; 14 – отвори; 15 – похила труба; 16 – порожнина виходу теплоносія.

Габаритні розміри ТА: довжина 278 мм; діаметр 212 мм. Маса заповненого акумулятора 7,5 кг. Акумулятор складається з двостінного циліндричного корпусу з двома денцями сферичної форми, капсул з ТАМ, закріплених у діафрагмах, та арматури для підведення і відведення теплоносія.

Зовнішній та внутрішні корпуси 1 складаються із середньої частини у вигляді обичайок з товщиною стінки 2 мм, зварених кожна одним повздовжнім швом типу С1-ИН; задньої частини - донець 2, 3 сферичної форми товщиною також 2 мм; у передньому денці-кришці 2 є наскрізний отвір. Денця зварені з обичайками кільцевими стиковими швами також типу С1-ИН.

Простінок між внутрішнім і зовнішнім корпусами заповнюється спеціальним вакуумним наповнювачем.

Центральна труба 4 з товщиною стінки 1 мм, встановлена в отвори кришок зовнішнього та внутрішнього корпусів, приварена до них по периметру

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кільцевими швами типу Н1-ИН, і виходить назовні на відстань 50 мм.

Заглушка діаметром 40 мм, з товщиною стінки 1 мм, закріплена на трубі, зовні по периметру кільцевим швом типу У1-ИН.

Патрубки 5 з товщиною стінки 1 мм, призначені для пропускання робочої рідини через ТА, вварені в труби круговими швами типу Т1-ИНп.

Діафрагми 8 розташовані всередині внутрішнього корпусу.

Робоча труба 15 з товщиною стінки 1 мм, встановлена по всій довжині внутрішнього корпусу та призначена для подачі робочої рідини у внутрішній корпус. Вона з'єднана з центральною трубою 10 за допомогою кільцевих швів типу У1-ИН.

Капсула (рис. 1.3) теплового акумулятора являє собою окремий вузол, що складається з наступних деталей і вузлів: корпусу 1 – труба із зовнішнім діаметром 20 мм, довжиною 220 мм, товщиною 0,5 мм; денця 2 діаметром 19 мм, товщиною 0,5 мм, ввареного в корпус капсули круговим швом типу У1-ИН; кришки 3 товщиною 0,5 мм, з наскрізним отвором діаметром 9 мм, привареної до корпусу з боку зворотного денця 2 круговим швом також типу У1-ИН; заправної трубки 4 діаметром 9 мм, товщиною 1 мм, довжиною 20 мм, вставленої в отвір кришки 3 і привареної до неї по периметру кільцевим швом типу Н1-ИН.

Через заправну трубку капсула заправляється лугом 5 і, після опресування кінця заправної трубки, що виходить назовні від кришки, кромки обтиснутої трубки зварюються швом типу У1-ИН. Заповнені лугом NaOH капсули у кількості 60 шт. вставлені в отвори діафрагм.

Конструктивні розміри капсули: $l = 230$ мм; $D = 20$ мм; $d = 9$ мм; $s = 0,5$ мм; $s_1 = 1$ мм; $a = 13$ мм; $b = 4$ мм.

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

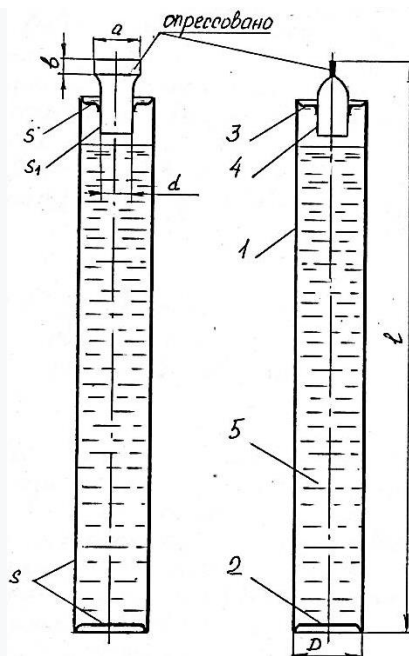


Рисунок 1.3 - Капсула ТА з заправною трубкою: 1- корпус; 2 – деще; 3 – кришка; 4 – заправна трубка; 5 – їдкий натр (NaOH).

Другим прикладом конструкції ТА можуть слугувати акумулятори (рис. 1.4), які випускає Канадська фірма “CENTAUR Thermal System Inc”. Деякі технічні характеристики цих ТА наведені в табл. 1.1 [4].

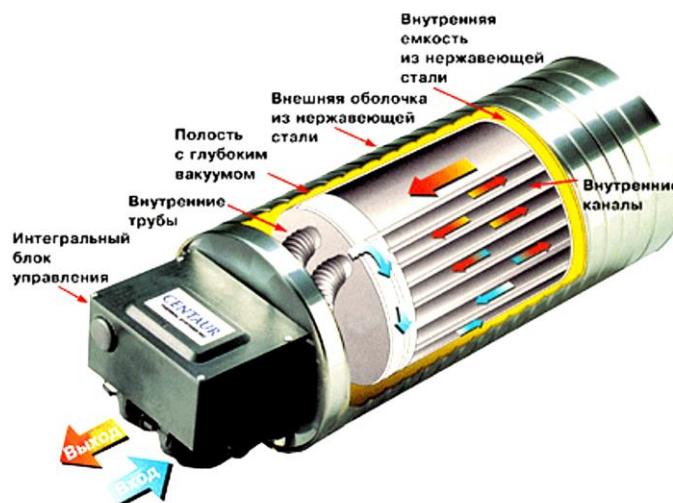


Рисунок 1.4 - Тепловий акумулятор фазового переходу “CENTAUR”.

Конструктивно “Centaur” відрізняється від описаного вище акумулятора УОПД (див. рис. 1.2). В якості ТАМа використовується октогідрат гідроксиду барія. Капсули з ТАМ виготовлені з тонких листів міді. Матриця із капсул вміщена у внутрішній корпус, виготовлений із нержавіючої сталі.

Зовнішній корпус відокремлений від внутрішнього шаром теплоізолятора і вакуумною тепловою ізоляцією.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики ТА ФП "CENTAUR"

Робочий об'єм двигуна, л	1,0 – 1	1,5 – 1,8	до 3,0	більше 3,0
Теплова ємність (при нагріві от -20 до 90 °С), кВт/ч	0,55	0,60	0,91	0,70
Маса (без охолоджувальної рідини), кг	2,4	2,6	3,3	3,8
Маса заповненого, кг	7	7,6	10,8	12,8
Габарити, мм	164×340	164×370	164×513	164×596
Об'єм охолоджувальної рідини, л	4,6	5	7,5	9

1.2. Особливості зварювання аустенітних хромонікелевих сталей

Як основний теплоносіє у ТА використовуються різні матеріали, але для забезпечення працездатності теплового акумулятора необхідно, щоб температура кипіння теплоносія при атмосферному тиску була дещо нижчою за температуру плавлення ТАМ [5].

У розглянутому вище ТА конструкції НУК як теплоносіє використаний їдкий натр (NaOH), що знаходиться в капсулах, тому для їх виготовлення, а також виходячи з умов експлуатації акумулятора, усі його вузли та корпус також виготовлені з високолегованої сталі марки 12Х18Н10Т, яка володіє доброю корозійною стійкістю [6]. З метою зниження витрат на матеріали сталь 12Х18Н10Т була використана також для виготовлення інших деталей, вузлів та корпусу теплового акумулятор.

Корозійностійкі сталі при відповідному легуванні і термообробці мають високу корозійну стійкість при кімнатних і підвищених до 800°С температурах як в атмосферному і газовому середовищі, так і в чистих і водних розчинах кислот і лугів, рідкометалевих середовищах. Характерна відмінність цих сталей - знижений вміст вуглецю, що не перевищує 0,12%, що надає вирішальний

вплив на їх стійкість до міжкристалітної корозії. Корозійна стійкість сталей встановлюється відповідно до [6] за десятибальною шкалою, проте стосовно нержавіючих сталей, в Україні, Німеччині, США та деяких інших країнах користуються п'ятибальною шкалою (табл. 1.2) [7]. Корозійна стійкість сталі 12X18H10T в середовищі їдкого натру (NaOH) концентрації 40, 60 при температурі $t_{\text{кип}} = 90$ та 300°C оцінено 1 та 3 бали відповідно. Таким чином, для робочих температур близько 90°C при концентрації NaOH 40, 60 % сталь 12X18H10T є вельми стійкою до корозії, швидкість корозії не перевищує 0,1 мм на рік.

Таблиця 1.2 - П'ятибальна шкала корозійної стійкості

Бал	Швидкість корозії, мм/рік	Група стійкості
1	<0,1	дуже стійкі
2	0,1 – 1,0	стійкі
3	1,1 – 3,0	зниженостійкі
4	3,1 - 10	малостійкі
5	>10	нестійкі

Сталь 12X18H10T, (ДСТУ EN 10088-2:2010), має хімічний склад і механічні властивості відповідно до табл. 1.3 [8; 9].

Таблиця 1.3 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

Вміст елементів, % за масою									Механічні якості		
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	S	P	δ_t , МПа	δ_b , МПа	δ , %
0,12	0,8	2,0	17-19	9-11	0,3	0,7	менше 0,02	менше 0,035	285	528	38

Теплофізичні властивості сталі 12Х18Н10Т наведені у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Теплофізичні характеристики сталі 12Х18Н10Т [10].

Температура плавлення $T_{пл}$, °С	1570
Температура втрати пружних властивостей T_0 , °С	780
Коефіцієнт теплопровідності λ , Дж/см·с, °С	0,045
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	17,5
Питома теплоємність c , Дж/г, °С	0,54
Щільність, г/см ³	7,95
Коефіцієнт теплової деформації $\alpha \cdot 10^6 / c\gamma$, см/Дж	4,08
Коефіцієнт температуропровідності a , см ² /с	0,045
Коефіцієнт тепловіддачі α_0 , Дж/см ² ·с, °С	0,0033
Відносна деформація $\epsilon_s \cdot 10^4$	11

Аналогами сталі 12Х18Н10Т є багато закордонних сталей (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Аналоги сталі 12Х18Н10Т у міжнародній практиці [11]

Країна	Марка сталі
Австралія	321
Євросоюз	1.4541, 1.4878, X10CrNiTi18-10, X6CrNiTi18-10KT
КНР	0Cr18Ni10Ti, 0Cr18Ni11Ti, 0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni11Ti, H0Cr20Ni10Ti
США	321, 321H, S32100, S32109
Японія	SUS321

Сталь 12Х18Н10Т та її аналоги задовольняють усім експлуатаційним вимогам до автомобільних теплових акумуляторів, тому використовуються для їх виробництва.

Разом з тим, при виготовленні ТА має бути забезпечена достатня експлуатаційна надійність і зварних з'єднань. Головними проблемами при цьому є забезпечення корозійної стійкості колошовної зони та стійкості металу

швів проти утворення гарячих тріщин. Вказані дефекти залежать від структури металу шва.

Оцінемо зварюваність сталі 12X18H10T шляхом визначення структури металу за допомогою діаграми Шеффлера (рис. 1.5), для чого спочатку розрахуємо еквівалентні значення хрому і нікелю.

$$[Cr] = Cr\% + 1,5 \cdot Si\% + Mo\% + 0,8 \cdot V\% + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Nb\% + W\% + 3,5 \cdot Al\% + 4 Ti\% \quad (1.1)$$

$$[Cr] = 18 + 1,5 \cdot 0,8 + 0,5 \cdot 0,7 = 19,2 \%;$$

$$[Ni] = Ni\% + 0,5 \cdot Mn\% + 0,5 \cdot Cu\% + 30 \cdot C\% + 30 \cdot N\%; \quad (1.2)$$

$$[Ni] = 10 + 0,5 \cdot 2 + 0,5 \cdot 0,3 + 30 \cdot 0,12 = 14,75 \%.$$

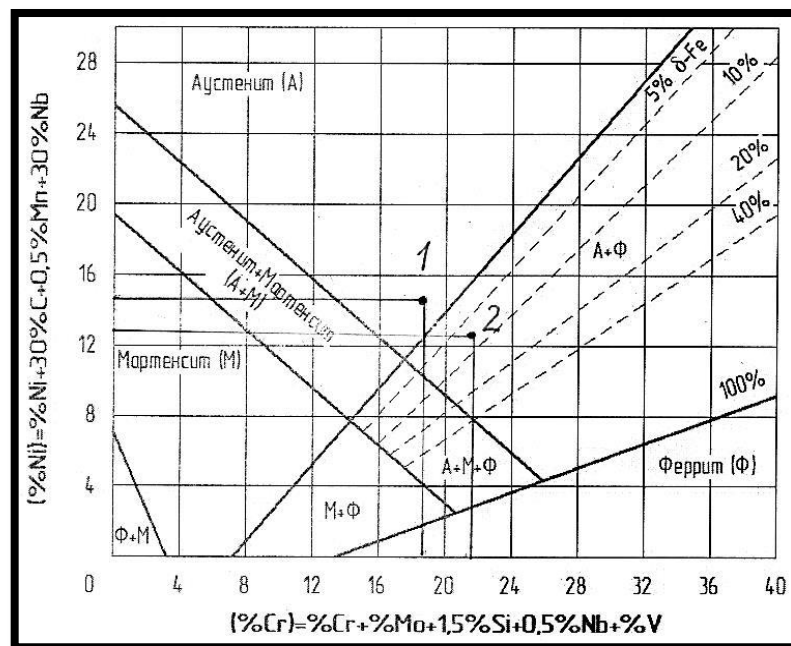


Рисунок 1.5 - Визначення структури сталі 12X18H10T за діаграмою Шеффлера: точка 1 – основний метал; точка 2 – метал шва

Як видно з діаграми (див. точку 1), сталь 12X18H10T має аустенітну структуру металу, яка схильна до утворення гарячих (вище 1250 °С) тріщин.

В цілому, труднощі зварювання сталей аустенітного класу викликані багатокомпонентністю їх легування та різноманітністю умов експлуатації зварних виробів (корозійна стійкість, жаростійкість, жароміцність). При зварюванні хромонікелевих аустенітних сталей наявність однофазної структури значно підвищує схильність зварних з'єднань до утворення гарячих кристалізаційних тріщин, які мають міжкристалічний характер, що

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

спостерігається у вигляді дрібніших мікронадривів та тріщин. Гарячі тріщини можуть виникати і при термообробці чи роботі конструкції при підвищених температурах. Утворення гарячих тріщин найбільш характерно для крупнозернистої структури металу шва, особливо вираженої у багат шарових швах, коли кристали наступного шару продовжують кристали попереднього шару. Концентраційне та термічне переохолодження сприяє розвитку дендритної та мікроскопічної ліквіації. Підвищений переріз і тому мала поверхня стовпчастих кристалів сприяє утворенню міжкристалічних прошарків підвищеної товщини, що й підвищує імовірність утворення гарячих тріщин [12]. Підвищують стійкість металу шва проти гарячих тріщин здрібненням кристалітів, дезорієнтацією структури шва, а також отриманням у металі шва деякої кількості первинного δ -фериту. Це досягається легуванням металу шва феритотвірними елементами – хромом, молібденом та іншими.

Утворення карбідів хрому призводить до збіднення хромом твердого розчину по границях зерен, що різко знижує стійкість зварних з'єднань до міжкристалічної корозії. Ефективними методами підвищення стійкості сталей до міжкристалічної корозії є стабілізуючий відпал при температурі 850 – 900 °C протягом 2 – 3 годин, а також зниженням у сталі вмісту вуглецю та легування її елементами (титан, ніобій), які володіють більшою, ніж хром, спорідненістю до вуглецю.

Нагрівання аустенітних сталей до температури 700 – 800 °C може викликати утворення σ -фази, що призводить до зниження пластичності металу при низьких температурах та границі повзучості при високих температурах. Уникнути утворення σ -фази в аустенітному металі, що працює в інтервалі температур її утворення, практично неможливо. Для усунення σ -фази, що утворилася, потрібен періодичний підігрів до температури 1000 °C протягом 2 – 4 годин.

Характерні для високолегованих хромонікелевих сталей теплофізичні властивості (див. табл. 1.4) обумовлюють особливості їх зварювання. Зокрема, низька теплопровідність сталі сприяє збільшенню зварювальних деформацій

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції, тому зварювання необхідно виконувати з мінімальною погонною енергією [12].

В цілому, аустенітні корозійностійкі тонколистові сталі піддаються зварюванню різними способами дугового та електроконтактного зварювання.

1.3. Проблеми зварювання тонкостінних оболонок, типові технології та організація виробництва

Як відомо [13], раціональна організація технологічного процесу виготовлення зварного виробу визначаються його конкретними характеристиками та умовами реалізації обраної технології. Але вимога економії ручної праці є спільною і тому при виборі варіанту технологічного процесу перевагу слід віддавати процесам, в яких передбачається максимально можливий рівень механізації та автоматизації робіт. При цьому на вибір організаційної форми складально-зварювального виробництва (механізована дільниця або потокова лінія) впливає технологічність зварного виробу, зокрема можливість членування його на складальні одиниці, які дозволяють застосувати для їх виготовлення високопродуктивні методи складання та зварювання.

При проєктуванні механізованого складально-зварювального виробництва звичайно первинну розробку технологічного процесу проводять найбільш детально та у максимально розчленованому вигляді, тобто у припущенні, що кожна операція буде виконуватися на окремому робочому місці, а після її завершення оброблюваний об'єкт передаватиметься на інше робоче місце для виконання наступної операції.

Для обґрунтування вибору ефективної форми організації технологічного процесу виготовлення автомобільних ТА зі сталі 12X18H10T коротко розглянемо проблеми та типові технології зварювання тонкостінних оболонок, що використовується у промисловості.

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови роботи тонкостінних посудин характеризуються, як правило, наявністю статичного внутрішнього тиску, що створюється одно- або багаторазово, короткочасно або тривало, при нормальній або підвищеній температурі.

Спільною для такого типу зварних конструкцій є вимога забезпечити якомога рівномірний розподіл напружень. Це досягається застосуванням стикових з'єднань, плавним сполученням елементів, які стикуються, та забезпеченням надійного проплавлення їх по товщині за умови всемірного виключення дефектів зварювання.

Другою проблемою зварювання тонкостінних посудин є виникнення специфічних видів деформацій, обумовлених малою жорсткістю зварюваних елементів. У результаті теплового розширення та пластичних деформації металу, які супроводжують зварювальний нагрів, оболонки поряд з загальними деформаціями отримують місцеві, які спотворюють геометричну форму посудини [14]. Тонкостінні оболонки заварюють, як правило, за один прохід, тому кутові деформації в них незначні, але часто у процесі зварювання виникають деформації втрати стійкості, що призводить до порушення стабільності дугового процесу і утворенню дефектів зварних швів.

Для запобігання цих негативних явищ для зварювання тонкостінних оболонок вибирають способи з мінімальною погонною енергією, а також використовують технологічну оснастку, яка забезпечує жорстке закріплення деталей, або пристрої, що сприяють додатковому відводу тепла від зони зварювання.

Виходячи з цього, шви тонкостінних посудин, як правило, виконують у середовищі захисних газів. Складання проводять за допомогою затискних пристроїв, які забезпечують надійне притискання зварювальних кромок до підкладки і дозволяють виконувати одностороннє зварювання без попереднього закріплення стику на прихопленнях. При складанні та зварюванні прямолінійних швів на спеціалізованому стенді (рис. 1.6) між крайками поздовжніх швів обичайок рівномірне і щільне притискання крайок до підкладки здійснюється затискними пристроями клавійного типу [15].

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля притискання (300 - 700 Н на 1 см) створюється гідравлічним або пневматичним пристроєм.

На верхній опорі жорсткого каркаса 6 закріплений ложемент з формуючою підкладкою 5. Притиск кромки, що зварюються, здійснюють окремо і послідовно для кожної крайки через набір клавішів 3, укріплених на балках 1. Тиск на клавіші передається пневмошлангами 2. Потрібний для зварювання зазор між крайками забезпечують висувні упори 4; вертикальний хід упорів здійснюється поворотом ексцентрикового валика 7.

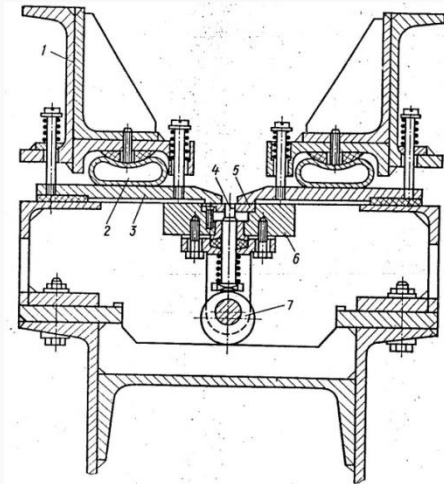


Рисунок 1.6 - Притискний вузол складально-зварювального стану для автоматичного зварювання прямолінійних стиків тонколистових елементів

На станді можна виконувати автоматичне зварювання прямолінійних швів листів та обичайок способами TIG або MIG на знімній формуючій підкладці. Конструкція такого стану принципово придатна для зварювання поздовжніх швів обичайок зовнішнього і внутрішнього корпусів ТА із корозійностійкої сталі.

Кільцеві стики тонкостінних посудин складають і зварюють на знімних підкладках розтискних кілець, однак, треба враховувати, що через підігрів кромки попереду зварювальної дуги вони розширюються і відходять від підкладного кільця в радіальному напрямку, що може призводити до зміщення кромки або утворення будиночка. У тонкостінних посудинах, що працюють під тиском, зміщення кромки в стиковому шві – небезпечний концентратор, і при

виготовленні вживають заходи щодо їх запобігання або усунення. Ефективним є притискання кромок до підкладок роликком, що перекочується поверхнею стику, безпосередньо, перед зварювальною дугою (рис. 1.7) [16]. Зварювання також може виконуватися автоматичним способом у захисних газах.

Притиск не дає можливості крайкам відірватися від поверхні підкладного кільця у місці утворення зварного з'єднання. Таке пристосування може бути встановлене на обладнанні для зварювання кільцевих стикових швів обичайок з денцями корпусів теплових акумуляторів та при виготовленні капсул для зберігання ТАМ. При цьому для зварювання корпусів можна застосувати спосіб зварювання MIG, а для капсул - TIG.

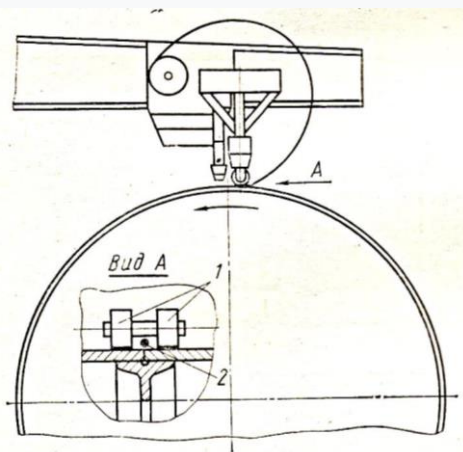


Рисунок 1.7 - Схема автоматичного зварювання кільцевого шва з використанням пристосування для притискання кромок до підкладного кільця:

1 – притискні ролики; 2 - присадний дріт

У крупносерійному виробництві тонкостінних судин для виконання складально-зварювальних операцій застосовують спеціальні установки, де для складання та зварювання поздовжнього стику обичайки необхідно виконувати наступні операції: приймання обичайки, орієнтування стику, притискання його до формуючої знімної підкладки. На установці (рис. 1.8.) складальна та зварювальна операції виконуються в різних позиціях зварного виробу, обумовлених положенням транспортуючого пристрою – планшайбою 1 з кроковим поворотом, на якій закріплені консольні балки 2, 6, 9, зі зварювальними підкладками [16]. Від обичайок, розташованих на похилому

The drawing shows a mechanical assembly. View (a) is a side elevation of a device mounted on a base. It features a large cylindrical component (1) with internal parts (2, 3, 4, 5, 6). A horizontal arrow labeled 'A' points to the left. To the right, a spherical component (9) is shown with internal details (10, 11). Below view (a) are two cross-sectional views, labeled 'b)' and 'b''. View 'b)' shows a cross-section of the spherical component (9) with internal parts (12, 13). View 'b'' shows a cross-section of the spherical component (9) with internal parts (11, 12).

Операція зварювання в такому разі може здійснюватися без участі оператора. Після її закінчення клавiшні притискачі і фіксатор відходять і поворот планшайби 1 переносить зварену обичайку на позицію знімання, де вона підхоплюється пристроєм візка. Стосовно зварювання обичайок корпусів теплових акумуляторів, дана установка потребує переробки для можливості виготовлення обичайок різних розмірів.

Відома інша установка (верстат-автомат), призначена для складання та зварювання обичайки гальмівного балона з днищами (рис. 1.9, а).

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відборткування днища балона має конусну поверхню, що полегшує механізацію складальної операції. Захоплювачі розташовані на валу із кроковим поворотом на 90° . Орієнтування та подача обичайки та двох днищ на позицію I здійснюється оператором, решта операцій виконується автоматично. Захоплювачі 1 затискають обичайку, а пневматичні циліндри з магнітними уловлювачами 2 забезпечують запресування днищ в обичайку (рис. 1.9, б). Зібрана посудина подається на зварювальну позицію II, де вона звільняється від затискання після того, як захоплюється з торців деталями обертача 4 (рис. 1.9, в). Поєднання електродів зварювальних головок 3 з площиною обертання кожної сходинки з'єднання внапусток здійснюється шукачами, що виключають рух головки в осьовому напрямку в момент збігу її зі сходинкою напуску. Зварювання здійснюють за один оборот з деяким заданим перекриттям.

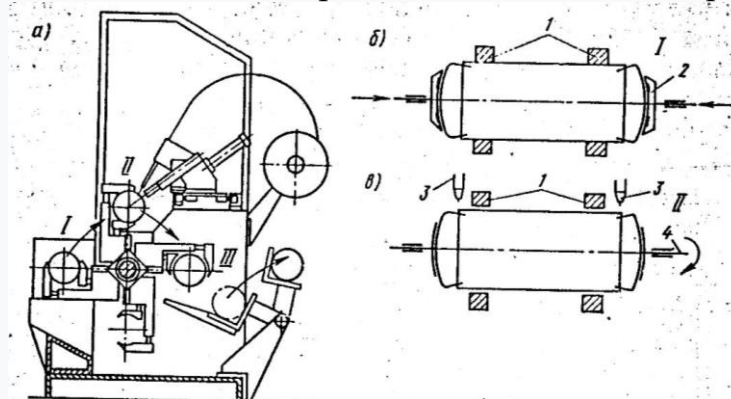


Рисунок 1.9 - Верстат-напівавтомат для складання та зварювання автомобільних та вагонних гальмівних балонів [16]: 1 – захоплювач; 2 – магнітний уловлювач; 3 – зварювальні головки; 4 – обертач

Закінчення зварювання служить сигналом вмикання захоплювача 1, звільнення від обертача 4 і здійснення крокового повороту. Скидання судини досягається розкриттям захоплювача під дією сили тяжіння на позиції III (див. рис. 1.9, а). В цілому, побудова розглянутої установки та технологія зварювання можуть бути використані при розробці установки для зварювання

капсул ТА, але потрібна їй суттєва переробка.

Розглянуті приклади установок для виготовлення тонкостінних посудин та аналіз конструкції автомобільних ТА свідчать про те, що для виготовлення останніх потрібні різні засоби технологічного оснащення, які мають бути розташовані у прольоті складально-зварювального цеху. При цьому форма організації виробництва може бути або як спеціалізована дільниця, або механізована потокова лінія (МПЛ). Основою для вибору потокової форми слугує тип виробництва, а критерієм - мінімальна річна програма випуску зварних виробів.

Рекомендації щодо вибору форми організації виробництва у залежності від типу виробництва викладені в [17].

У цехах одиничного та дрібносерійного виробництва при складанні громіздких та важких виробів слід використовувати форму неперервної потокової роботи з паралельним розташування стаціонарних стендів, на кожному з яких виконується вузлове та загальне складання і зварювання однакових виробів. При цьому бригади складальників та зварювальників почергово переходять від одного стенда до другого у порядку послідовного виконання операцій технологічного процесу.

У цехах серійного виробництва рекомендується форма потокової роботи на прямоточних ПМЛ. Виробничий процес тут організовується на виробничих дільницях, які складаються з робочих місць, розташованих у порядку послідовності виконання технологічного процесу. Виробничі операції не повністю синхронізовані, внаслідок чого на окремих робочих місцях спостерігаються простої.

У цехах крупносерійного та масового виробництва рекомендуються неперервні поточкові лінії з вільним ритмом - виробничі дільниці, що складаються з робочих місць, розташованих у порядку послідовності виконання технологічного процесу. Виробничі операції синхронізовані повністю. Заданий ритм роботи забезпечується конвеєрною подачею комплектів заготовок і деталей до робочих місць через кожен ритм.

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цехах масового виробництва дуже високої продуктивності рекомендуються до застосування автоматичні потокові лінії – найбільш досконалої форми неперервної потокової роботи, при якій виконання робіт на робочих місцях та між операційна передача виробів, що виготовляються, автоматизовані.

Аналіз потреб ринку в автомобільних теплових акумуляторів та досвід, набутий виробниками в останні роки, показав, що річна програма випуску ТА для умов України не перевищує 6000 шт., яка відповідає типу серійного складально-зварювального виробництва. Виготовлення ТА при цьому характеризується такими показниками: тривалість циклу складально-зварювальних робіт на одиницю ТА становить $T = 2,72$ год, число технологічних операцій $n = 7$.

При таких показниках технологічного процесу для вибору потокової форми організації виробництва мінімальна річна програма випуску зварних виробів на МПЛ може бути розрахована за формулою [13]

$$\Pi_{\min} = 0,6 \frac{\Phi_d \cdot n}{T}, \quad (1.3)$$

де 0,6 – коефіцієнт використання устаткування лінії на початковому етапі її експлуатації; n – число робочих місць (позицій) потокової лінії; T – тривалість технологічного процесу; Φ_d – дійсний річний фонд виробничого часу робочого місця (позиції) лінії.

Якщо для виробу-представника реальна виробнича програма задовольняє умові

$$\Pi \geq \Pi_{\min}, \quad (1.4)$$

то виготовлення такого виробу буде доцільно з використанням потокової форми організації виробництва.

Приймаючи двозмінний режим роботи складально-зварювального цеху дійсний річний фонд часу становитиме $\Phi_d = 4100$ год. [13].

Тоді мінімальна річна програма випуску ТА становитиме

$$\Pi_{\min} = \frac{0,6 \cdot 4100 \cdot 7}{2,72} = 6331 \text{ шт.}$$

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки умова (1.4) не виконується, то створення МПЛ у складально-зварювальному цеху наразі не буде ефективним. Виробничі операції на такій МПЛ не будуть повністю синхронізовані, внаслідок чого на окремих робочих місцях спостерігатимуться простой. У такому разі виготовлення ТА слід організувати на спеціалізованій дільниці, розміщеній у прольоті цеху.

1.4. Висновки та постановка завдань кваліфікаційної роботи

На підставі аналізу типових конструкцій автомобільних теплових акумуляторів (ТА), технології та організаційних форм виробництва тонколистових циліндричних виробів можна зробити наступні висновки:

1. Автомобільний ТА, що являє собою тонкостінний посуд, має складну конструкцію і включає чисельні вузли і деталі. Окремі вузли ТА працюють в умовах впливу агресивного середовища.

2. Проблеми зварювання сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т, що використовується при виготовленні ТА, є забезпечення корозійної стійкості та стійкості зварних з'єднань проти гарячих тріщин, а також вибір засобів боротьба з підвищеним деформуванням тонкостінних оболонок корпусів.

3. Виготовлення окремих вузлів, а також складання і зварювання акумулятора в цілому, вимагає застосування спеціалізованого обладнання та засобів технологічного оснащення виробництва.

4. Існуюче обладнання та пристрої для виготовлення тонкостінних посудин високого тиску в цілому придатні для складання і зварювання вузлів ТА, але потребують певної переробки, обумовленою конструкцією вузлів.

5. Показано, що виготовлення вузлів ТА доцільно проводити на спеціалізованій дільниці складально-зварювального цеху.

На підставі викладених висновків, для досягнення мети магістерського дослідження, сформульовані основні завдання кваліфікаційної роботи:

1. Вибрати способи зварювання та зварювальні матеріали.
2. Визначити режими зварювання основних вузлів ТА.

					КР.131.6121м. 06.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

4. Оцінити розрахунком точність виготовлення корпусів ТА.
5. Виконати металографічні дослідження зварних з'єднань капсул та корпусів ТА.
6. Розробити технологію зварювання вузлів автомобільних ТА нової конструкції.
7. Спроектувати спеціалізовану складально-зварювальну дільницю виготовлення вузлів ТА.
8. Провести економічну оцінку розробленої технології зварювання ТА.

					КР.131.6121м.01.06.01.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Авраменко К.М			Дослідження технології зварювання вузлів ТА зі сталі 12Х18Н10Т	Літ.		Арк.		Аркушів	
Керівник		Драган С.В.						28		34	
Консультант						НУК					
В.о. зав. каф.		Драган С.В.									

2. Дослідження технології зварювання вузлів ТА зі сталі 12X18H10T.

2.1. Вибір способів зварювання і зварювальних матеріалів.

Як було показано у розд.1, сталь 12X18H10T належить до добре зварюваних, але характерною особливістю зварювання цієї сталі є схильність до міжкристалітної корозії. Вона розвивається у зоні термічного впливу за нормальної температури 500-800°C. При перебуванні металу в такому критичному інтервалі температур за межами зерен аустеніту випадають карбіди хрому. Все це може мати небезпечні наслідки - крихке руйнування конструкції в процесі експлуатації.

Щоб досягти стійкості сталі, потрібно виключити або послабити ефект випадання карбідів і стабілізувати властивості сталі в місці зварного шва; цього результату можна досягти правильним вибором способу зварювання та зварювальних матеріалів.

Аустенітні корозійностійкі сталі можна зварювати різними способами, у тому числі дуговими: ручним - електродами з покриттям (ММА), під флюсом (SAW), в інертних газах неплавким (TIG) та плавким (MIG) електродом.

При зварюванні ММА сталі 12X18H10T використовують електроди із захисно-легуючим покриттям основного виду у поєднанні з високолегованим електродним стрижнем. Застосування електродів з покриттям основного виду дозволяє забезпечити формування наплавленого металу необхідного хімічного складу, а також інших властивостей шляхом використання високолегованого електродного дроту та долегування через покриття. Поєднання легування через електродний дріт та покриття дозволяє забезпечити не тільки гарантований хімічний склад у межах паспортних даних, але й деякі інші властивості, призначені для зварювання аустенітних сталей типу 18-8. Титан, що міститься в електродних стрижнях, при зварюванні практично повністю окиснюється. З цієї причини при зварюванні покритими електродами як елемент-стабілізатор використовують ніобій. Коефіцієнт переходу ніобію зі стрижня при зварюванні покритими електродами становить 60-65 % [18].

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Але використання ручного дугового зварювання покритими електродами, як головного способу для елементів ТА, недоцільно через низьку продуктивність процесу, а також тому, що для товщини металу менше 3 мм існує загроза утворення пропалин.

Зварювання високолегованих сталей під флюсом здійснюють із застосуванням або нейтральних по кисню фторидних флюсів, або захисно-легуючих у поєднанні з високолегованим електродним дротом. З металургійної точки зору для зварювання високолегованих сталей найбільш раціональні фторидні флюси типу АНФ-5, які забезпечують гарний захист та металургійну обробку металу зварювальної ванни та дозволяють легувати зварювальну ванну титаном через електродний дріт. При цьому процес зварювання малочутливий до утворення пор у металі шва через водень. Однак фторидні безкисневі флюси мають відносно низькі технологічні властивості. Саме низькі технологічні властивості фторидних флюсів спричиняють широке використання для зварювання високолегованих сталей флюсів на основі оксидів.

Зварювання під флюсом тонкостінних (0,5 - 3 мм) вузлів ТА, що мають велику кривизну та розташованих у різних просторових положеннях, не можливе і тому його не слід передбачати при розробці технології.

Зварювання в захисних газах у порівнянні з розглянутими вище способами має низку істотних переваг:

- можливість використання для з'єднання металів широкого діапазону товщини
- від десятих часток до десятків міліметрів;
- висока, у порівнянні зі зварюванням ММА, продуктивність процесу та стабільність горіння дуги;
- розширені технологічні можливості дуги, пов'язані з відмінністю теплофізичних властивостей захисних газів та застосуванням їх сумішей для зміни теплової ефективності дуги;
- можливість зварювання у різних просторових положеннях;
- мінімальне вигорання легуючих елементів при зварюванні в інертних газах.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При зварюванні TIG-MIG як захисні гази використовують аргон, гелій (рідше), вуглекислий газ або суміші на основі аргону (MIG-зварювання).

Зварювання способом MIG виконують на постійному струмі зворотної полярності, використовуючи режими, що забезпечують струменеве перенесення електродного металу.

Зварювання TIG в основному здійснюють на постійному струмі прямої полярності. У деяких випадках за наявності у сталях значної кількості алюмінію використовують змінний струм для забезпечення катодного руйнування оксидної плівки.

При зварюванні аустенітних сталей для підвищення стабільності горіння дуги і особливо зниження ймовірності утворення пор через водень при зварюванні MIG використовують суміші аргону з киснем або вуглекислим газом (до 10 %).

Застосування дугового зварювання в атмосфері вуглекислого газу дозволяє знизити ймовірність утворення пор у металі шва через водень; при цьому забезпечується відносно високий коефіцієнт переходу елементів, що легко окиснюються. Так, коефіцієнт переходу титану із дроту сягає 50 %. При зварюванні в атмосфері аргону коефіцієнт переходу титану з дроту становить 80-90 %. При зварюванні у вуглекислому газі сталей, що мають високий вміст хрому і низький вміст кремнію, на поверхні шва утворюється тугоплавка оксидна плівка, що важко видаляється. Її присутність ускладнює проведення багатшарового зварювання.

При зварюванні сталей із малим вмістом вуглецю (нижче 0,07-0,08 %) можливе науглецювання наплавленого металу. Перехід вуглецю у зварювальну ванну посилюється за наявності в електродному дроті алюмінію, титану, кремнію. У разі зварювання глибокоаустенітних сталей деяке науглецювання металу зварювальної ванни у поєднанні з окисненням кремнію знижує ймовірність утворення гарячих тріщин. Однак науглецювання може змінити властивості металу шва та, зокрема, знизити корозійні властивості. Крім того, спостерігається підвищене розбризкування електродного металу.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність бризок на поверхні металу знижує корозійну стійкість.

На підставі вищесказаного, найбільш доцільним для виготовлення теплових акумуляторів з корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т, і зокрема для зварювання капсул та їх заправних трубок, буде застосування автоматичного зварювання TIG (141 за [19]) без присадного металу, а для корпусів ТА - зварювання MIG(131 за [19]); для закріплення на прихопленнях деталей вузлів під час складання – ручне TIG (141).

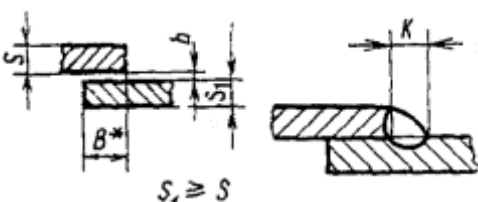
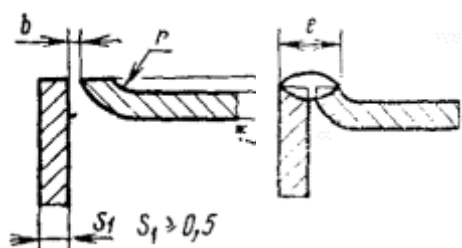
Типи та конструктивні розміри основних зварних з'єднань відповідно до [19] наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Розміри конструктивних елементів швів стикових з'єднань вузлів ТА, мм

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	$s_1 = s_2$	b		e , не більше	g		e_1	
	підготовлених крайок	шва зварного з'єднання			Номін.	Гранич. відхил.		Номін.	Гранич. відхил.	Номін.	Гранич. відхил.
C4			131 (ИП)	1,5 – 2,8	0	1,5	8,0	1,0	+1,0 -0,5	0	+0,5
C5				1,5 – 2,8	0	1,5	8,0	1,0	+1,0 -0,5	'	

Як зварювальні матеріали при цьому вибираємо: для зварювання TIG - аргон 1-го сорту за ДСТУ ГОСТ10157: 2019 [20] та вольфрамові електроди діаметром 1,6 мм та 2 мм марки ЭВТ-15 (торовані), що відрізняються підвищеною стійкістю проти оплавлення та стабільним горінням дуги [21].

Таблиця 2.2 - Розміри конструктивних елементів швів з'єднань внапуск та кутових з'єднань вузлів ТА, мм

Умовне позначення зварного з'єднання	Конструктивні елементи		Спосіб зварювання	s	b		r	e, не більше	B
	підготовлених крайок	шва зварного з'єднання			Номін.	Гранич. відхил.			
H1			141 (ИН)	0,8 – 3,0	0	0,2	-	-	3,0 – 12,0
У1				0,5 – 0,9	0	0,2	s – 2s 2s + 3	-	-

Для зварювання MIG використовуємо суміш: Ar (95 – 98) % + CO₂ (2 -5) % і дріт діаметром 2 мм марки Св-04Х19Н11М3. Хімічний склад дроту відповідно до ГОСТ2246-70 [22] наведений в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Хімічний склад дроту Св-04Х19Н11М3

Марка дроту	Вміст елементів, % мас.						
	Cr	Ni	Mo	C	Mn	S	P
Св-04Х19Н11М3	19	11	2,5	0,04	1,5	0,02	0,025

Використання вибраного дроту має забезпечити при зварюванні двофазну структуру металу шва для забезпечення стійкості проти кристалізаційних тріщин. Перевіримо виконання цієї умови за допомогою діаграми Шеффлера.

Виходячи з хімічного складу металу шва можна розрахувати еквіваленти хрому і нікелю.

Вміст будь-якого хімічного елементу в металі шва $[X]_{\text{ш}}$ можна розрахувати за відомою формулою [23]

$$[X]_{\text{ш}} = \gamma_o[X]_o + \gamma_e[X]_e \pm \Delta[X], \quad (2.1)$$

де $[X]_o$ – вміст елементу в основному металі; $[X]_e$ – вміст елементу в електродному металі; $\Delta[X]$ – зміна вмісту елементу в результаті металургійних процесів при зварюванні; γ_o , γ_e – частка участі основного та електродного металу в металі шва відповідно, які розраховуються як:

$$\gamma_o = \frac{F_o}{F_o + F_e}; \quad \gamma_e = \frac{F_e}{F_o + F_e}. \quad (2.2)$$

Виходячи з конструктивних параметрів швів С4 та С5 (див. табл. 2.1) розраховані значення $\gamma_o = 0,42$; $\gamma_e = 0,58$.

Еквівалентний вміст елементів за формулами (1.1), (1.2):

$$[Cr] = 18,39 + 1,5 \cdot 0,32 + 2,2 + 0,8 \cdot 0,05 + 0,06 + 4 \cdot 0,002 = 21,18 \text{ \%}.$$

$$[Ni] = 10,17 + 0,5 \cdot 1,36 + 30 \cdot 0,05 = 12,35 \text{ \%}.$$

За діаграмою Шеффлера (див. рис. 1.5, точка 2) таким значенням відповідає структура металу шва A_y + близько 8 % Ф.

2.2. Призначення режимів зварювання вузлів ТА

Для зниження ймовірності формування структури перегріву та залишкових зварювальних деформацій зварювання тонкостінних конструкцій з високолегованих сталей зазвичай виконують на режимах, які характеризуються малою величиною погонної енергії. При цьому перевагу віддають швам малого перерізу, які отримують при використанні електродного дроту невеликого діаметру (2-3 мм). Оскільки високолеговані сталі мають підвищений електроопір і знижену електропровідність, то при зварюванні виліт плавкого електрода з високолегованої сталі зменшують в 1,5-2 рази в порівнянні з вильотом електрода з вуглецевої сталі.

Визначимо шляхом вибору або розрахунку параметри режимів для зварювання основних з'єднань вузлів ТА.

Як було вказано вище, зварювання капсул та заправних трубок виконується неплавким вольфрамовим електродом без присадного металу (спосіб 131 за ДСТУ ГОСТ ISO 9692-1-2016 або ИН за ГОСТ 14771-76).

Для автоматичного зварювання вказаних вузлів вибираємо, згідно з рекомендаціями [12, 21], параметри режимів, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Режими зварювання TIG вузлів ТА

Товщина металу, мм	Діаметр електроду, мм	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Швидкість зварювання, м/год	Погонна енергія, Дж/см	Витрата аргону, л/хв
0,5+0,5	1	15	10	11,7	231	4
0,5+1	1	15	10	15	1238	4
1+1	1,6	70	11	14	1269	4
2+2	2,0	120	10	18 - 25	870	5 -7

Зварювання з'єднань внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА пропонується виконувати автоматичним способом плавким електродом в газовій суміші.

Параметри режимів визначимо розрахунком для двох типів зварних стикових з'єднань: 1) С4 – поздовжніх швів обичайок та кільцевих швів, якими приварюються нижні денця до циліндричної частини корпусу (товщина металу $s = 3$ мм) та 2) С5 – зварювання верхніх донець з циліндричною частиною корпусу (товщина металу $s = 3$ мм).

Розрахунок режимів виконуємо за методикою, яка передбачає повне проплавлення металу по товщині за один прохід.

Рекомендована схема розрахунку [21]: $s \rightarrow h \rightarrow I_{зв} \rightarrow d_e \rightarrow j \rightarrow U_d \rightarrow F_n \rightarrow V_{зв} \rightarrow V_{др} \rightarrow q_{п}$.

Як вихідні дані приймається товщина зварюваного металу (стикове з'єднання без скосу крайок).

Необхідну глибину провару примаємо з урахуванням гарантованого проплавлення металу по всій товщині s , тобто

$$h = s + e_1; \quad (2.3)$$

де h підставляється у мм.

$$h = 3 + 0,5 = 3,5 \text{ мм.}$$

Зварювальний струм розраховуємо за формулою:

$$I_{зв} = (80 \dots 100)h, \text{ А} \quad (2.4)$$

$$I_{зв \text{ min}} = 80 \cdot 3,5 = 280 \text{ А;}$$

$$I_{зв \text{ max}} = 100 \cdot 3,5 = 350 \text{ А.}$$

Враховуючи теплофізичні властивості сталі 12Х18Н10Т, зокрема збільшений, у порівнянні з маловуглецевою сталлю, питомий електричний опір

$$\left(\frac{\rho_{12\text{X}2\text{X}18\text{H}1}}{\rho_{08\text{кп}}} = \frac{72,3 \cdot 10^{-8}}{14,2 \cdot 10^{-8}} = 5,1 \right) \text{ та низький коефіцієнт теплопровідності (див. табл.}$$

1.4), силу зварювального струму слід зменшити на 10 ... 20 %. Тоді, діапазон струмів становитиме: $I_{зв} = 225 \dots 280 \text{ А.}$

Приймаємо для подальших розрахунків середнє значення $I_{зв} = 250 \text{ А}$ і вибираємо електродний дріт діаметром $d_e = 2 \text{ мм.}$ Виліт електрода $l = 10 \text{ мм.}$

При цьому густина струму буде

$$j = \frac{4I_{зв}}{\pi d_e^2} \quad (2.5)$$

$$j = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 2^2} = 318,5 \text{ А/мм}^2.$$

При такій густині зварювального струму в аргоні перенос електродного металу має струменевий характер, завдяки чому забезпечується стабільність дугового процесу та висока глибина проплавлення основного металу [24].

Напругу на дузі розраховуємо за формулою

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0,5}} I_{зв} \pm 1, \text{ В} \quad (2.6)$$

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{2^{0,5}} 250 \pm 1 = 28,9 \pm 1 = 27,9 - 29,9 \text{ В.}$$

Приймаємо $U_d = 28 \text{ В.}$

Швидкість зварювання

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{\gamma \cdot F}, \text{ м/год.}, \quad (2.7)$$

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де; α_n - коефіцієнт наплавлення г/А·год; γ – щільність металу, г/см³; F - площа наплавленого металу, см².

Площу наплавлення (см²) за один прохід визначимо з геометрії з'єднань:

- з'єднання С4

$$F_{C4} = 3/4ge + bh + 3/4g_1l_e, \quad (2.8)$$

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

$$F_{C4} = 3/4 \cdot 1,5 \cdot 8 + 1,5 \cdot 3 + 3/4 \cdot 0,5 \cdot 0,2 = 13,6 \text{ мм}^2 = 0,14 \text{ см}^2.$$

- з'єднання С5

$$F_{C5} = 3/4ge + bh \quad (2.9)$$

$$F_{C5} = 3/4 \cdot 1,5 \cdot 8 + 1,5 \cdot 3 = 13,5 \text{ мм}^2 = 0,135 \text{ см}^2.$$

Швидкість зварювання з'єднання С4

$$v_{зв} = \frac{15 \cdot 250}{7,95 \cdot 0,14} = 33,7 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання з'єднання С5

$$v_{зв} = \frac{15 \cdot 250}{7,95 \cdot 0,135} = 34,9 \text{ м/год.}$$

Приймаємо середню швидкість зварювання $v_{зв} = 34 \text{ м/год.} = 0,94 \text{ см/с.}$

Знайдену швидкість порівняємо з середньою рекомендованою для $d_e = 2$ мм, яка зазвичай знаходиться в межах 15...60 м/год. при автоматичному зварюванні, і розраховується за формулою:

$$v_{зв} = \frac{(8...12) \cdot 10^3}{I_{зв}} \quad (2.10)$$

$$v_{зв} = \frac{10 \cdot 10^3}{250} = 40 \text{ м/год.}$$

Умова виконується.

Швидкість подачі дроту розрахуємо за формулою:

$$v_{др} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{зв}}{\gamma \cdot \pi \cdot d_e^2}, \text{ м/год} \quad (2.11)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення електрода, приймаємо $\alpha_p = 16 \text{ г/А·год.}$

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$v_{др} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 250}{7,95 \cdot 3,14 \cdot 2^2} = 160,2 \text{ м/год} \quad (2.12)$$

Приймаємо $v_{др} = 160 \text{ м/год}$.

Погонна енергія зварювання:

$$q_{п} = \frac{I_{зв} \cdot U_{д} \cdot \eta}{v_{зв}}, \text{ Дж/см}, \quad (2.13)$$

де η – ефективний ККД процесу нагріву (для дугового зварювання у захисних газах $\eta = 0,7 \dots 0,75$).

$$q_{п} = \frac{250 \cdot 28 \cdot 0,7}{0,94} = 5213 \text{ Дж/см}.$$

Таким чином, розрахований режим автоматичного зварювання корпусів ТА характеризується параметрами: $d_e = 2 \text{ мм}$; $l = 10 \text{ мм}$; $I_{зв} = 250 \text{ А}$; $U_{д} = 28 \text{ В}$; $v_{зв} = 34 \text{ м/год}$; $v_{др} = 160 \text{ м/год}$; $q_{п} = 5213 \text{ Дж/см}$; витрата аргону, 5 -7 л/хв.

2.3. Розрахунок та аналіз температурних полів при зварюванні TIG заправних трубок капсул, заповнених ТАМ

Зварювання опресованих кромок заправних трубок капсул ТА, заповнених лугом, являє собою певну технологічну проблему, пов'язану з наявністю неподалік від зони зварювання ТАМ. В результаті теплового впливу зварювальної дуги луг може нагрітися до температури кипіння і потрапити в зону зварювання, що унеможливить отримання якісного зварного з'єднання.

Для запобігання цього негативного явища необхідно визначити умови, за яких буде забезпечена безпечна температура нагрівання лугу, тобто розв'язати наступні завдання:

1. Дослідити за допомогою створеної математичної моделі процес розповсюдження тепла під час зварювання заправної трубки.

2. Розрахувати криві температурного поля та визначити температуру заправної трубки на відстані 0,4 ... 0,6 см від зони зварювання без додаткового тепловідводу.

3. Оцінити можливість закипання лугу у момент завершення зварювального процесу.

4. Розробити рекомендації щодо технології зварювання з тепловідведенням від нагрітої зони заправної трубки, при якій буде усунута небезпека кипіння лугу.

Дослідити температурне поле при зварюванні заправної трубки можна двома шляхами: 1) проведенням низки експериментів і створенні за їх результатами регресійних залежностей для оцінки впливу параметрів режиму зварювання та умов відводу тепла на характер розподілу температури і визначення оптимальної технології зварювання і 2) побудовою математичної моделі досліджуваного процесу поширення тепла і визначення параметру оптимізації (температури) з використанням понять та законів теорії теплових процесів при зварюванні, розроблених академіком М.М. Рикаліним.

Перший підхід потребує попереднього планування експерименту з подальшим його проведенням та перевіркою адекватності математичної моделі, що наразі неможливо внаслідок відомих об'єктивних причин, зв'язаних з воєнним станом в Україні, тому для дослідження обрано другий, теоретичний шлях.

У розрахунках теплових процесів при зварюванні широко використовують залежності, отримані шляхом схематизації та спрощення дійсних процесів поширення теплоти [25]:

- джерела теплоти вважають або зосередженими, або розподіленими відповідно до закону;
- форми тіл спрощують;
- теплофізичні коефіцієнти λ , a , $c\gamma$, а приймають незалежними від температури.

Зазначені припущення дозволяють отримати струнку теорію розподілу температури в тілах при нагріванні їх різними джерелами теплоти, що рухаються.

З точки зору схематизації процес поширення теплоти при зварюванні кутових з'єднань опресованих кромek заправних трубок капсул (див. рис. 1.3) має такі особливості:

- короткочасна дія зварювального джерела тепла;
- відносно невелика (11,7 м/год) швидкість руху джерела тепла;
- обмежені розміри та мала товщина стінки заправної трубки;
- спотворена форма заправної трубки поблизу зони зварювання;
- поширення теплоти у початковий період в опресованій частині трубки подібно до пластини - лінійне;
- поширення теплоти в неопресованій частині трубки подібно до стрижню
- плоске.

З урахуванням вказаних особливостей для дослідження температурних полів у заправній трубці виберемо дві розрахункові схеми:

I. У стрижні від дії миттєвого плоского джерела тепла тепловий потік лінійний. Така схема враховує особливості короткочасного впливу зварювального джерела та розповсюдження теплоти в неопресованій частині заправної трубки. При цьому особливостями плоского поширення теплоти в опресованій частині нехтуємо.

II. У пластині від дії лінійного джерела тепла, що рухається, тепловий потік площинний. Ця схема враховує всі особливості поширення теплового потоку в плоскій опресованій частині заправної трубки і дозволяє визначити температури в точках, що цікавлять (на відстані 0,4 см від зони зварювання).

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмежені розміри опресованих кромок можуть бути враховані введенням фіктивних джерел теплоти, що рухаються одночасно з дійсним.

Вихідними даними для розрахунку температурного поля є:

1. Теплофізичні властивості сталі 12Х18Н10Т (див. табл. 1.4).
2. Параметри заправної трубки (див. рис. 1.3): товщина стінки, $\delta = 0,1$ см; довжина трубки $l = 2$ см; зовнішній діаметр, $D = 0,9$ см; внутрішній діаметр, $d = 0,75$ см; довжина опресованої крайки трубки $b = 0,4$ см; товщина опресованої кромки $2\delta_1 = 0,2$ см; ширина опресованої кромки, $a = 1,3$ см. $11,7$ м/год $= 0,325$ см/с; час зварювання, $t_{зв} = 4$ с; ефективний ККД дуги, $\eta = 0,5$.
3. Параметри режиму зварювання заправної трубки (див. табл. 2.1): сила струму, $I_{зв.} = 15$ А; напруга дуги, $U_d = 10$ В; швидкість зварювання, $v_{зв} = 11,7$ м/год.

2.3.1. Розрахунок температур від дії миттєвого плоского джерела теплоти у стрижні

Розрахунок температурного поля в неопресованій частині трубки (схема миттєвого плоского джерела у стрижні, рис. 2.1) передбачає наступні умови: 1) миттєве введення тепла на поверхню кільця площею F , що є поперечним перерізом заправної трубки; 2) лінійне поширення теплоти вздовж заправної трубки; 3) нехтування плоским поширенням тепла в опресованій на 20 % довжини частині трубки.

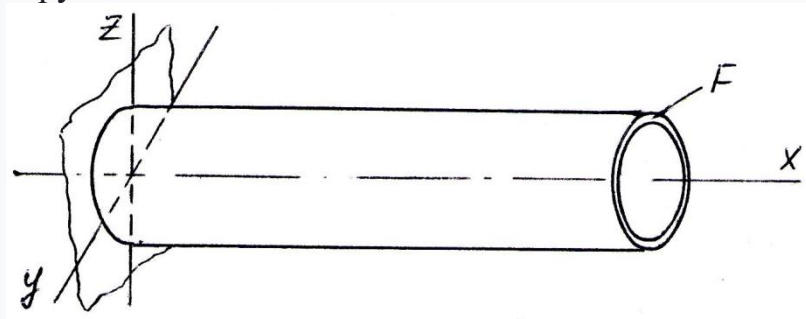


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема миттєвого плоского джерела теплоти

Зростання температури від дії миттєвого плоского джерела у півнескінченному стрижні з урахуванням тепловіддачі описується рівнянням [26]:

$$T(x, t) = \frac{2Q}{F c \gamma (4 \pi a t)^{1/2}} e^{\frac{-x^2}{4 a t} - b_1 t}, \quad (2.14)$$

де Q – кількість введеного тепла; F - площа поперечного перерізу трубки; t - час; x - абсциса; b_1 - коефіцієнт температуро віддачі для стрижня; $a, c \gamma, \alpha$ – теплофізичні характеристики сталі 12Х18Н10Т (див. табл. 1.3).

$$Q = I_{\text{зв}} U_{\text{д}} t \eta. \quad (2.15)$$

$$F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}. \quad (2.16)$$

$$b_1 = \frac{\alpha p}{c \gamma F}, \quad (2.17)$$

де $p = \pi D$ – периметр поперечного перерізу трубки.

Після підстановки величин у рівняння (2.15 - 2.17) отримаємо відповідно:

$$Q = 300 \text{ Дж}; F = 0,194 \text{ см}^2; b_1 = 1,13 \text{ см}^{-1}.$$

Розрахунок температурних полів від дії миттєвого джерела теплоти в стрижні за рівнянням (2.14) був проведений на ПК з використанням програми "Quattro Pro", як частини пакету WordPerfect Office, що працює за принципом обчислення значень та обробки результатів у пронумерованих осередках і дозволяє будувати графіки за табличними значеннями результатів розрахунку [27].

У результаті реалізації програми 1 отримано:

1) таблицю значень температур трубки для фіксованих значень x в інтервалі від 0 ... 2,0 см з кроком 0,02 см у різні моменти часу t ;

2) графіки розподілу температури вздовж заправної трубки (вісь x) у різні періоди часу (рис. 2.2; 2.3).

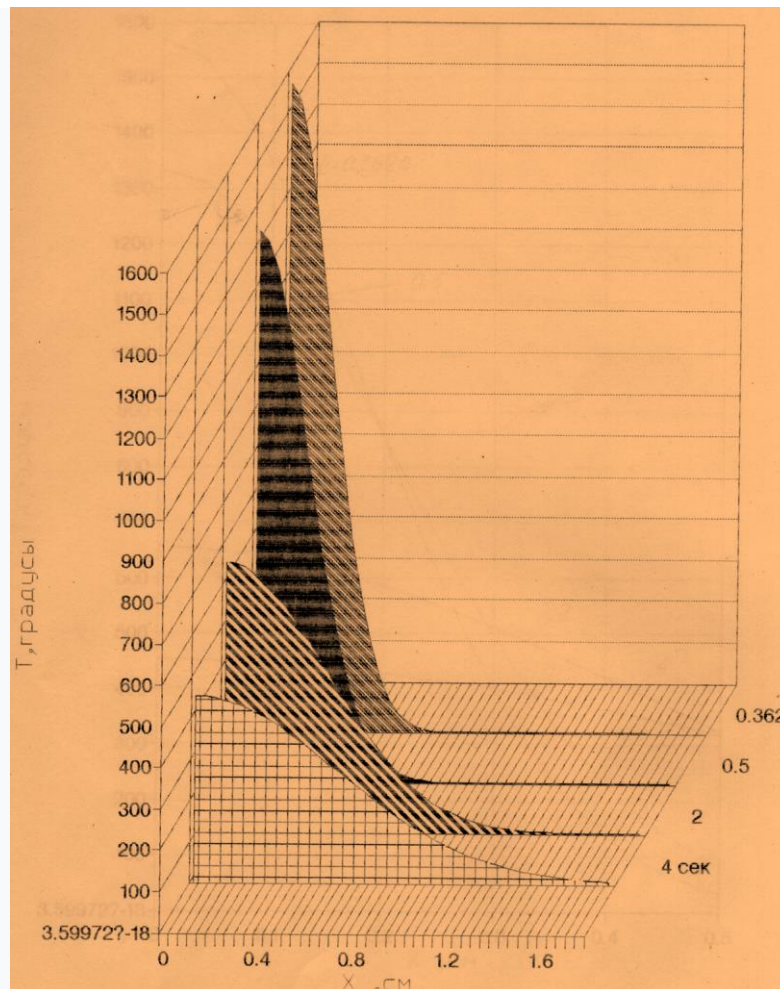


Рисунок 2.2 - Температурне поле у стрижні

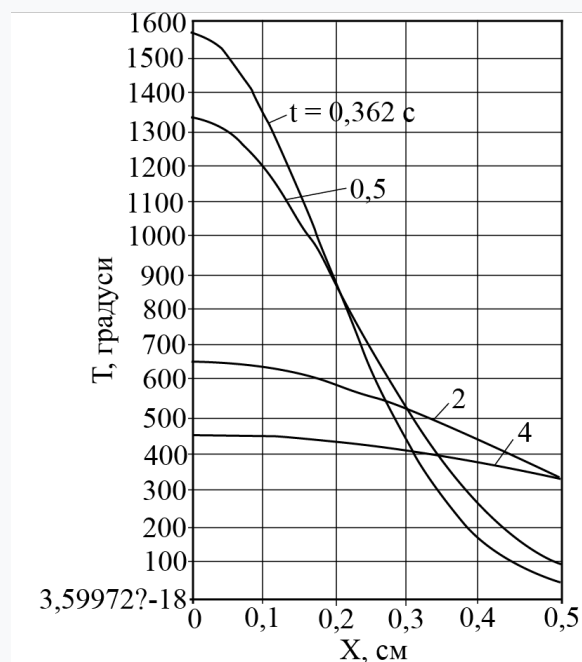


Рисунок 2.3 - Діаграма зміни температури в стрижні при охолодженні

Аналіз температурного поля в неопресованій частині заправної трубки від дії миттєвого плоского джерела тепла дозволяє зробити наступні висновки:

1. При зварюванні в неопресованій частині заправної трубки відбувається лише частковий її прогрів. На відстані 1,5 см від торця трубки температура знижується до $T = 20^{\circ}\text{C}$ вже в момент закінчення процесу зварювання.

2. В кінці процесу зварювання ($t = 4$ с) без штучного охолодження температура заправної трубки на відстані 0,4 см від торця перевищує температуру кипіння лугу ($T_{\text{кип}} = 90^{\circ}\text{C}$) на 273°C , отже, існує ймовірність випаровування лугу та попадання його крапель у зону зварювання.

Основним технологічним заходом, що дозволяє досягти зниження температури трубки в зоні закипання лугу до значень, що не перевищують температуру кипіння, є штучне локальне відведення тепла від зони зварювання.

3. Схема розрахунку лінійного поля від миттєвого плоского джерела в стрижні враховує тепловіддачу з усієї площі поверхні трубки, проте не дозволяє зробити розрахунки за умови локального відведення теплоти з поверхні опресованої заправної трубки.

2.3.2. Розрахунок температур від дії рухомого лінійного джерела теплоти в пластині

Розрахункова схема поширення тепла в пластині під час руху лінійного джерела з постійною швидкістю передбачає наступні умови: 1) рівномірне нагрівання пластини по товщині; 2) урахування тепловіддачі з поверхні, а також тепловідвід у поверхню тепловідвідних притискачів, введенням відповідних коефіцієнтів тепловіддачі α ; 3) більш точно відповідає геометрії тіла в районі опресованих крайок заправної трубки капсули ТА.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Але при цьому вказана схема не придатна для розрахунку температурного поля в неопресованій частині трубки.

Для плоского процесу поширення тепла від лінійного джерела, що рухається зі швидкістю v , у пластині товщиною δ (рис. 2.4) зміна температури розраховується за рівнянням, що описують систему в стані теплонасичення [28]:

температура у будь-якій точці пластини у заданий момент часу

$$T(x, y, t) = \frac{q}{4\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} \int \frac{dt}{t} e^{-\frac{r}{4at} \left(\frac{v^2}{4a} + b_2 \right)}; \quad (2.18)$$

гранична температура

$$T_{\text{гп}}(r, x) = \frac{q}{2\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} K_0 \left(r \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b_2}{a}} \right). \quad (2.19)$$

Тоді, можна записати

$$T(x, y, t) = T_{\text{гп}}(r, x) \psi_2(\rho_2; \tau_2), \quad (2.20)$$

де

$$\rho_2 = r \sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b_2}{a}}; \quad \tau_2 = t \left(\frac{v^2}{4a} + b_2 \right). \quad (2.21)$$

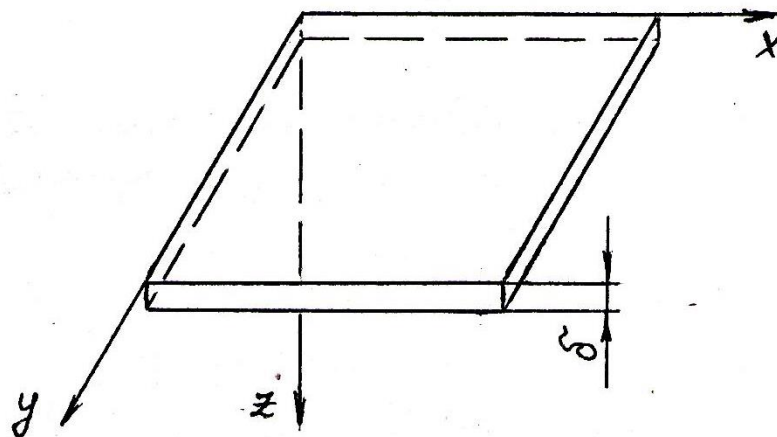


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема джерела тепла, що рухається, у пластині

У формулах (2.18) та (2.20) прийняті такі самі позначення, як у попередньому розрахунку; крім того: b_2 – коефіцієнт температуровіддачі для пластини

$$b_2 = \frac{2\alpha}{c\gamma\delta}; \quad (2.22)$$

$K_0\left(r\sqrt{\frac{v^2}{4a^2} + \frac{b_2}{a}}\right)$ - функція Бесселя другого роду від уявного аргументу,

визначається по таблицях [29].

Для випадку зварювання опресованої крайки заправної трубки (див. рис. 1.3) слід урахувати наступні два фактори: а) зварювання виконується по крайці пластини; б) пластина має обмежені розміри (1,3х0,4х0,2 см), тому існує ймовірність відбиття тепла від її країв.

Перший фактор потребує множення рівняння (2.14) на поправочний коефіцієнт 2, другий – обумовлює введення фіктивних джерел, які рухаються одночасно з реальним [28].

Число фіктивних джерел визначимо за формулою

$$n = \frac{2w}{f} + 1, \quad (2.23)$$

де w - довжина ділянки падіння температури трубки до початкової $T_{\text{п}} = 0$ °С, визначеної приблизно на підставі результатів розрахунків теплових полів від дії плоского джерела в стрижні (див. рис. 2.1), $w = 2,0$ см; f – розрахункова ширина пластини, $f = 1,3$ см.

$$n = \frac{2 \cdot 2}{1,3} + 1 = 4,08.$$

Приймаємо $n = 5$.

Введення фіктивних джерел зробимо відповідно до схеми (рис. 2.5), на якій вказані наступні буквені позначення: т. G – деяка точка пластини, для якої визначається температура; т. O' - точка початку зварювання; x'O'y' - нерухома система координат; xOy – рухома система координат, що зв'язана з реальним джерелом тепла потужністю $q_p = q_1$ та таким, що рухається зі швидкістю зварювання v ; A, B – границі відбиття теплоти; q_1 – діюче джерело теплоти; q_2 - фіктивне джерело, яке введене як результат відбиття q_1 від границі A; q_3 - фіктивне джерело, яке введене для урахування відбиття q_1 від границі B; q_4 - фіктивне джерело, яке врахує відбиття q_2 від границі B; q_5 - фіктивне джерело, яке врахує відбиття q_3 від границі A; q_6 - фіктивне джерело - як результат відбиття q_4 від границі A.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

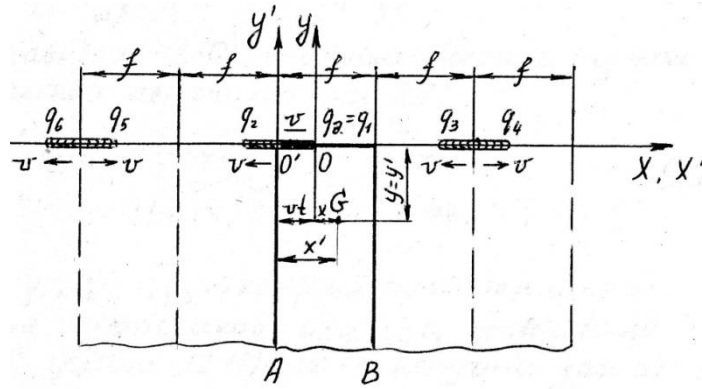


Рисунок 2.5 - Схема введення додаткових джерел для врахування відбиття теплоти від границь тіла

Таким чином, з урахуванням вказаних вище факторів, рівняння (2.19) приймає вигляд

$$T_{\text{пр}}(r, x) = \frac{2q}{2\pi\lambda\delta} e^{-\frac{vx}{2a}} K_0(\rho), \quad (2.24)$$

рівняння (2.20) записується як

$$T(x, y, t) = T_{\text{пр}}\psi_1 + T_{\text{пр}}\psi_2 + T_{\text{пр}}\psi_3 + T_{\text{пр}}\psi_4 + T_{\text{пр}}\psi_5 + T_{\text{пр}}\psi_6, \quad (2.25)$$

де $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_6$ – коефіцієнти тепло насичення джерел $q_1, q_2, \dots, q_6$ відповідно.

Тоді, враховуючи рівняння (2.19), рівняння (2.20) можна перетворити до вигляду, який дозволяє розрахувати температурне поле для плоского процесу поширення теплоти у пластині від дії лінійного джерела, що рухається по її кромці, адекватного заварюванню опресованої частини заправної трубки

$$T_{\text{пр}}(r, x) = \frac{q}{\pi\lambda\delta} \left\{ e^{-\frac{vx_1}{2a}} K_0(\rho_1)\psi_1 + e^{-\frac{vx_2}{2a}} K_0(\rho_2)\psi_2 + e^{-\frac{vx_3}{2a}} K_0(\rho_3)\psi_3 + e^{-\frac{vx_4}{2a}} K_0(\rho_4)\psi_4 + e^{-\frac{vx_5}{2a}} K_0(\rho_5)\psi_5 + e^{-\frac{vx_6}{2a}} K_0(\rho_6)\psi_6 \right\}, \quad (2.26)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_6$ – абсциси певної точки G (див. рис. 2.5) пластини у рухомих системах координат, що зв'язані з реальним та фіктивними джерелами теплоти; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_6$ – безрозмірні критерії відстані до кожного джерела; $\psi_1, \psi_1, \dots, \psi_6$ – коефіцієнти тепло насичення для кожного джерела; q – теплова потужність реального та фіктивних джерел теплоти.

Розрахунок температурних полів за рівнянням (2.26) проводиться фіксуванням координати x у відповідні періоди часу t зварювання, для яких

визначаються значення граничних температур $T_{\text{пр}}$ та коефіцієнтів теплонасичення ψ при різних значеннях координати y .

Для розрахунків, як у попередньому завданні, використана програма 2 "Quattro Pro", яка дозволила позбутися трудомісткої роботи з пошуку значень коефіцієнтів теплонасичення ψ за допомогою номограм, наведених у [28].

Реалізація програми 2 дозволила:

1) отримати результати розрахунку зміни температури у поперечному перерізі пластини ($x' = 0$) для фіксованих значень ординати точки в інтервалі [$y = 0 \dots 0,4$ см] у різні моменти часу t ;

2) побудувати графіки залежності температури в точках по осі y , що співпадає з віссю заправної трубки, від часу t (рис. 2.6).

Аналіз температурних полів в опресованій крайці заправної трубки під час руху вздовж неї лінійного джерела теплоти зі швидкістю v , а також співставлення отриманих результатів з результатами розрахунку полів від дії миттєвого плоского джерела в стрижні, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Характер поширення тепла в стрижні та в пластині якісно розрізняються.

2. Тепловий потік в пластині більш інтенсивний, ніж у стрижні, у початкові моменти часу та менший у кінці процесу зварювання, що пояснюється впливом відбиття тепла від крайок пластини.

3. На відстані $y = 0,4$ см від крайки пластини температура металу перевищує температуру кипіння лугу на $50 \dots 100$ °С, що визначає можливість потрапляння їдкого натру у зону зварювання.

Для зниження небезпечної температури доцільно в нагрітій ділянці опресованої заправної трубки розташувати тепловідвідні, наприклад мідні, притискачі. Вибір міді обґрунтований порівнянням коефіцієнта тепловіддачі при використанні різних матеріалів та режимів тепловідводу (табл. 2.5).

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

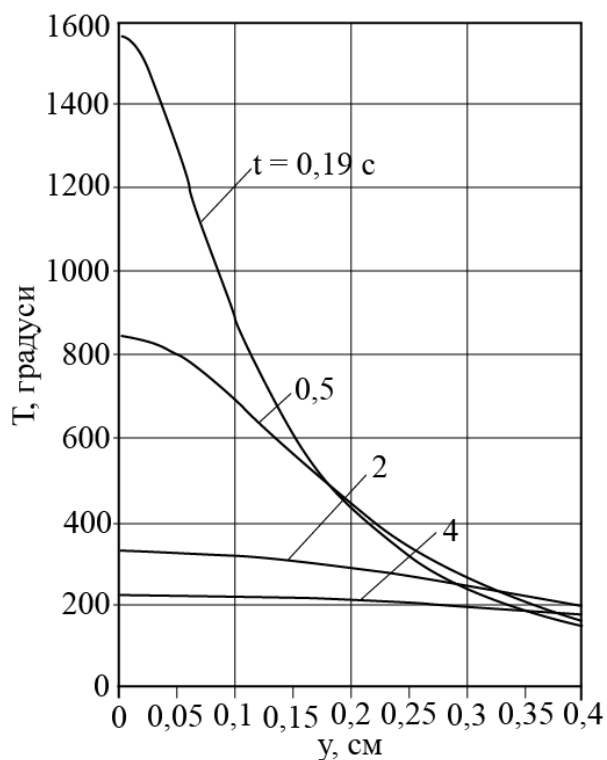


Рисунок 2.6 - Температурні поля в пластині

Таблиця 2.5 - Коефіцієнти тепловіддачі для деяких матеріалів та режимів тепловідведення [28]

Величини, що характеризують поверхню тепловідводу	Тепловідвідний матеріал та режим*						Тепловідвідна сталева не охолоджувана плита		Віддача у повітря
	Мідь		Алюміній		Сталь				
	Поверхня пластини травлена		Шар масти ла	Поверхні травлені	Поверхні знежирені		віддача з одного боку	віддача з двох боків	
	Z = 10 мм	Z = 30 мм	Z = 10 мм	Z = 30 мм	Z = 10 мм	Z = 30 мм			
Контурна поверхня торкання**, % /або тиск, кПА	80 - 90	80 - 90	80 - 90	80 - 90	80 - 90	80 - 90	5	5	-
$\alpha \cdot 10^{-3}$, Дж/ см $\cdot$ с $\cdot$ °C	453 - 536	350 - 412	330 - 412	288 - 412	165 - 206	29- 206	8,2 – 16,5	8,2 – 16,5	1,4 – 3,5

Примітки. *Наведені дані отримані при відстані від осі шва до тепловідвідного притискача (1,5 – 1,8)δ; z – відстань від середини площини до осі каналів з охолоджуваною рідиною; ** поверхня, що включає в себе області з найбільшою кучністю п'ятен торкання 2-х поверхонь – тепло відвідного притискача та зварюваної пластини

При використанні мідних притискачів для зниження температури розраховуємо температурне поле шляхом зміни у розрахунковій програмі коефіцієнта тепловіддачі для сталі у повітря $\alpha = 3,5 \text{ Дж / см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}$ на коефіцієнт тепловіддачі у мідні притискачі $\alpha = 536 \text{ Дж / см} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}$. Результати розрахунку наведені на рис. 2.7 і 2.8.

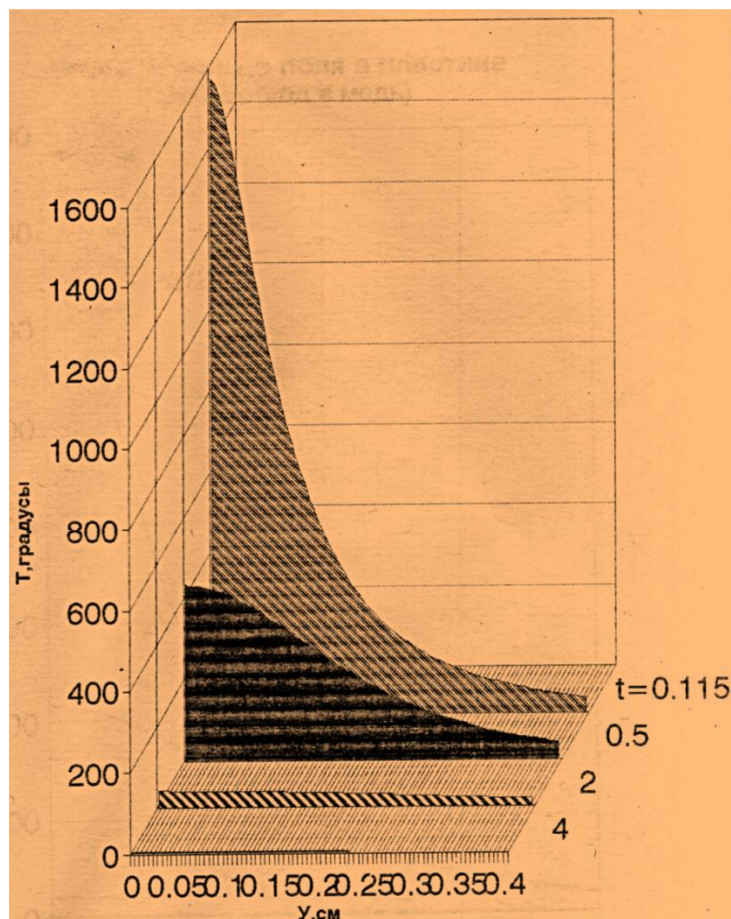


Рисунок 2.7 - Температурні поля в пластині з тепловідводом у мідь

Отримані результати розрахунків послужили підґрунтям для наступних висновків:

1. При зварюванні шву заправної трубки з охолодженням шляхом двобічного відведення тепла у мідні притискачі досягається зниження температури у металі трубки на відстані 0,4 см до $(5 \dots 10) ^\circ\text{C}$.

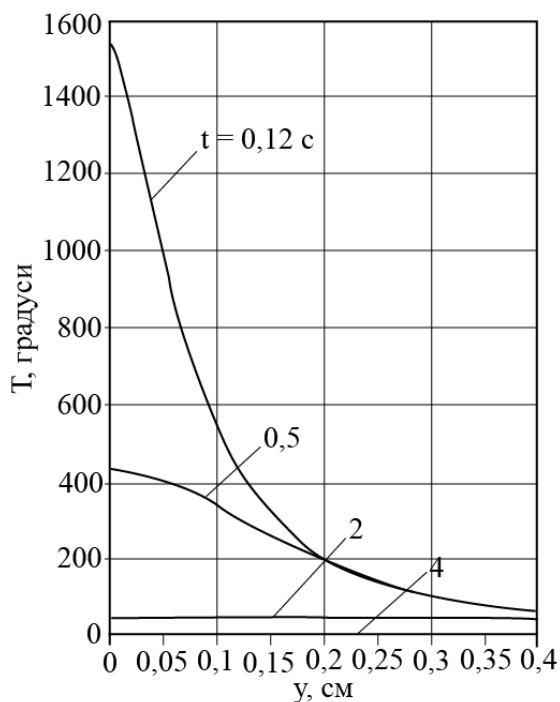


Рисунок 2.8 – Температурні поля в пластині (тепловідвід у мідь)

2. Зварювання трубки з тепловідвідними мідними притискачами не допускає нагрівання ТАМ (лугу) до температури кипіння $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, виключає потрапляння його у зону зварювання і тому така технологія є придатною для використання у виробництві.

2.4. Розрахунок зварювальних деформацій корпусів ТА

Виготовлення корпусів теплових акумуляторів передбачає послідовне виконання складально-зварювальних операцій:

- 1) Складання і автоматичне зварювання MIG обичайок внутрішнього та зовнішнього корпусів.
- 2) Складання і автоматичне зварювання MIG на знімній підкладці кільцевих швів, що з'єднують обичайки з нижніми денцями корпусів.
- 3) Встановлення діафрагм та вузлів насичення внутрішнього корпусу (капсул) і автоматичне зварювання MIG на підкладці, що залишається, кільцевого шва обичайки з верхнім денцем внутрішнього корпусу.
- 4) Ручне зварювання TIG кільцевого шва верхнього денця внутрішнього корпусу з трубкою.

5) Складання внутрішнього та зовнішнього корпусів між собою, автоматичне зварювання MIG на підкладці, що залишається, кільцевого шва обичайки з верхнім денцем зовнішнього корпусу.

6) Ручне зварювання TIG кільцевого шва верхнього денця зовнішнього корпусу з трубкою.

При виконанні вказаних операцій внаслідок виникнення залишкових зварювальних деформацій швів великої протяжності (поздовжніх на обичайках та кільцевих від зварювання донець з обичайками) можливі спотворення геометрії оболонок, які ускладнюватимуть складальні роботи та погіршуватимуть товарний вигляд виробу.

Оцінімо розрахунком залишкові деформації оболонок від зварювання поздовжніх та кільцевих швів виконуваних MIG-зварюванням. Тут слід відзначити, що за результатами експлуатації перших партій ТА товщина оболонок була збільшена до 3 мм (див. розд. 3).

А. Деформації корпусів ТА від зварювання поздовжніх швів обичайок

Як відомо [14], характер деформування оболонок конструкцій при зварюванні визначається співвідношенням габаритних розмірів оболонки та її товщиною. Якщо відношення довжини оболонки L до її радіуса R становить $L / 2R < 2$, то оболонка вважається короткою. Поздовжні шви в коротких тонкостінних циліндричних оболонках за рахунок поздовжньої усадкової сили можуть викликати спотворення форми поперечного перерізу, пов'язане з викривленням спочатку прямолінійної твірної в зоні зварювання в результаті втрати стійкості (рис. 2.9).

Поздовжня усадкова сила в цьому випадку, спрямована по радіусу в середину оболонки (див. рис. 2.10, б), штовхає поверхню біля шва всередину. Таку деформацію іноді називають “корсетністю”.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

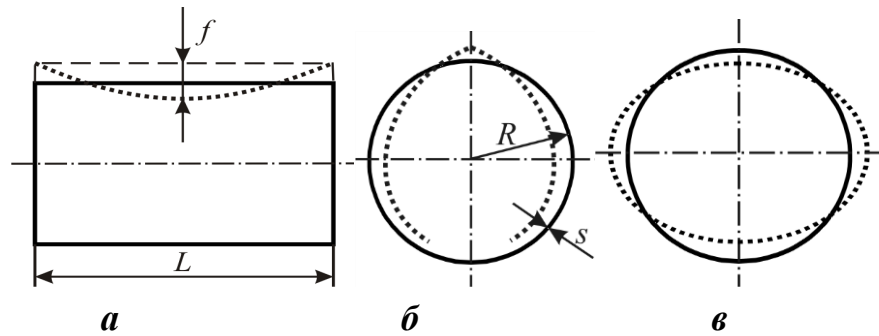


Рисунок 2.9 - Деформації поперечних перерізів тонкостінної короткої циліндричної оболонки: *a* - вигин твірної; *б* – спотворення торцевого перерізу; *в* - спотворення середнього перерізу

Визначимо тип оболонки внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА.

Внутрішній корпус: $L = 192$ мм, $R = 94$ мм

$$\frac{L}{2R} = \frac{192}{2 \cdot 94} = 1,02 < 2;$$

Зовнішній корпус: $L = 218$ мм, $R = 106$ мм

$$\frac{L}{2R} = \frac{218}{2 \cdot 106} = 1,03 < 2;$$

Таким чином, обидві оболонки належать до коротких, і для них розрахуємо очікувані зварювальні деформації.

Величину стрілки прогину вздовж з'єднання при зварюванні у вільному стані розрахуємо за формулою

$$f = \frac{14vR}{sL}, \quad (2.27)$$

де v - відносний об'єм поздовжнього укорочення шва; R - радіус оболонки; s - товщина оболонки.

$$v = -0,335 \frac{\alpha}{c\gamma} q_n, \quad (2.28)$$

$$v = -0,335 \cdot 4,08 \cdot 10^{-6} \cdot 5213 = -7,125 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2.$$

Стрілка прогину осі внутрішнього корпусу

$$f = -\frac{14 \cdot 7,125 \cdot 10^{-3} \cdot 9,4}{0,3 \cdot 19,2} = -162,8 \cdot 10^{-3} \text{ см} = -0,16 \text{ см} = -1,6 \text{ мм}.$$

Стрілка прогину осі зовнішнього корпусу

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f = -\frac{14 \cdot 7,125 \cdot 10^{-3} \cdot 10,6}{0,3 \cdot 21,8} = -161,7 \cdot 10^{-3} \text{ см} = -0,16 \text{ см} = -1,6 \text{ мм.}$$

Б. Деформації корпусів ТА від зварювання кільцевих швів

Кільцеві (поперечні) шви викликають викривлення прямолінійних твірних циліндричної оболонки за рахунок зменшення її периметра в зоні зварювання, пов'язаної з поздовжнім укороченням (рис. 2.10).

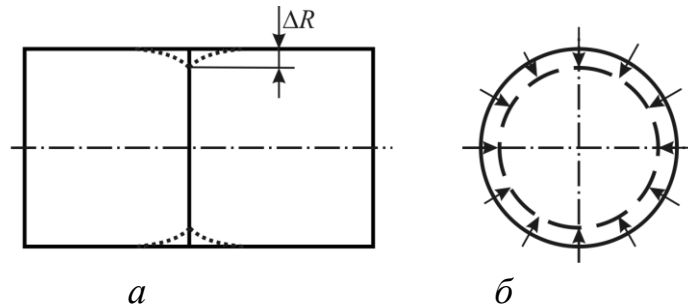


Рисунок 2.10 - Деформації оболонки від зварювання кільцевого шва:

a – викривлення твірної; **б** – зменшення периметра шва внаслідок поздовжнього укорочення;

Величину зменшення радіуса оболонки в зоні шва розрахуємо за формулою

$$\Delta R = -0,64 \frac{v}{s} \sqrt{\frac{R}{s}}. \quad (2.29)$$

Внутрішній корпус:

$$\Delta R = -0,64 \frac{7,125 \cdot 10^{-3}}{0,3} \sqrt{\frac{9,4}{0,3}} = -85,12 \cdot 10^{-3} \text{ см} = -0,09 \text{ см} = -0,9 \text{ мм};$$

зовнішній корпус:

$$\Delta R = -0,64 \frac{7,125 \cdot 10^{-3}}{0,3} \sqrt{\frac{10,6}{0,3}} = -90,43 \cdot 10^{-3} \text{ см} = -0,09 \text{ см} = -0,9 \text{ мм.}$$

В. Оцінка зварювальних деформацій

Розрахунки показали, що деформації внутрішнього та зовнішнього корпусів практично однакові і становлять: $f = 1,6 \text{ мм}$; $\Delta R = 0,9 \text{ мм}$.

За умовами виготовлення, експлуатації та з урахуванням товарного вигляду ТА допустимі деформації складають: для внутрішнього корпусу

$[f] = \pm 1,0 \text{ мм}$, $[\Delta R] = \pm 0,1 \text{ мм}$; для зовнішнього корпусу $[f] = \pm 1,0 \text{ мм}$, $[\Delta R] = \pm 0,5 \text{ мм}$.

Порівняння отриманих розрахунком значень деформацій з допустимими підтверджує необхідність виконання зварювання корпусів ТА в умовах жорсткого закріплення оболонок в затискних пристроях, як це рекомендується на практиці [15].

2.5. Металографічні дослідження зварних з'єднань вузлів ТА

2.5.1. Дослідження структури та твердості металу зварного з'єднання корпусу

З метою перевірки розрахованого режиму автоматичного MIG-зварювання корпусів ТА (див. розд. 2.2) було проведено експериментальне дослідження структури та твердості зварного стикового з'єднання.

Для дослідження були звальцювані зразки трубчастої форми довжиною 250 мм і товщиною 3,0 мм зі сталі 12X18H10T. Зварювання виконували на мідній знімній підкладці при жорсткому закріпленні кромek труби. У дослідях використовували електродний дріт марки Св-04Х19Н11М3 діаметром 2 мм.

Попередню оцінку якості зварювання зразків здійснювали зовнішнім оглядом, відбираючи для металографічних досліджень ділянки з'єднань без напливів, лускатості, підрізів, непровару та інших дефектів на поверхнях шва. Далі у механічний спосіб вирізали із заготовок та виготовляли зразки для вивчення мікроструктури з'єднання, а також для вимірювання твердості металу.

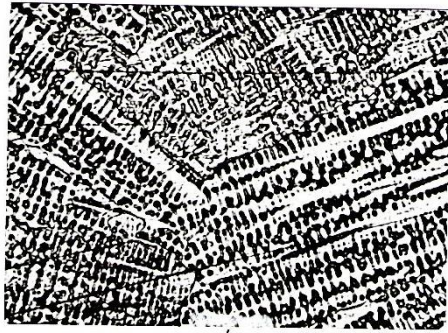
Візуально було встановлено, що вибраний режим зварювання забезпечує повне проплавлення металу по товщині зразка.

Дослідження мікроструктури зварного з'єднання проводили на металографічному мікроскопі Неофот 21. Для фотографування структури металу використовували цифрову фотокамеру SONYDSC-W15, оснащену адаптером, який підключений до тубусу мікроскопа. Мікроструктуру металу досліджували при 100-кратному збільшенні.

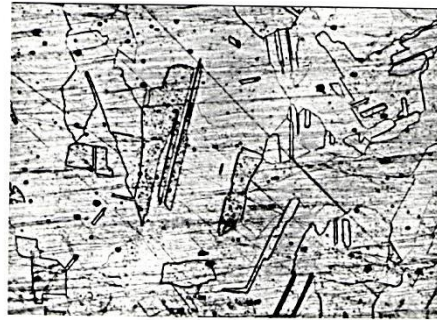
					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При дослідженні мікроструктури зварювального з'єднання оцінювали структуру і визначали величину зерна в усіх зонах. В результаті дослідження встановлено наступне:

- метал зварного шва відрізняється тонкою будовою і дрібнозернистою (величина зерна 8 мкм) двофазною структурою (рис. 2.11, *а*), що складається з аустеніту з деякою часткою фериту, який залягає по границях стовпчастих кристалів;



а



б



в

Рисунок 2.11 - Мікроструктура зон зварного з'єднання, х100:

а – метал шва; *б* – ЗТВ; *в* – основний метал

- метал ЗТВ (рис. 2.11, *б*) розділяється на декілька ділянок: ділянка перегріву, що складається з великих зерен аустеніту (величина зерна 50 - 60 мкм); ділянка високотемпературної пластичної деформації (нагрівання вище 500°C) і ділянка, що піддавалася короткочасному нагріванню до температур менше 400°C, і не зазнавала структурних змін. Величина зерна в ЗТВ відповідає 2 – 3 балам згідно з ГОСТ5639-82 (шкала 3 додатка 2). В межах ЗТВ різка границя між окремими ділянками відсутня;

- основний метал (рис. 2.11, в) має аустенітну структуру, величина зерна 4 – 5 балів.

Вимірювання твердості (HV) проводили на мікротвердомірі ПМТ-3.

Розподіл твердості у поперечному перерізі зварного з'єднання по середині товщини зразка наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Твердість металу зварного з'єднання

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Координата x (відстань від осі шва), мм	-14,3	-12,1	-8,4	-7,0	-4,8	-3,5	0	+4,9	+6,5	+10,5	+13,8
Твердість HV	230	225	247	290	280	220	185	235	240	225	220
Ділянка зварного з'єднання	Осн. метал		ЗТВ			Шов		ЗТВ		Осн. метал	

Твердість металу, як показали виміри, у ЗТВ у зв'язку зі структурними перетвореннями та зміцненням, зумовленим залишковою пластичністю деформацією, перевищує твердість основного металу на 25 ... 30 %, метал шва, навпаки, внаслідок наявності частки фази δ -фериту (близько 5 %), має знижену на 10 % твердість у порівнянні з основним металом.

2.5.2. Дослідження структури металу зварного з'єднання капсули

Дослідження проводили на зразках, які являли собою з'єднання корпусу капсули з денцем зварені TIG на режимі, що відповідає кутовому з'єднанню У1-ИН (ГОСТ 14771-76) товщиною 0,5+0,5 мм (див. табл. 2.4). Для досліджень були вибрані капсули, які експлуатувалися у реальних умовах при випробовуванні дослідної партії ТА. Із зразків були механічним шляхом виготовлені шліфи для проведення макро- та мікроструктурних досліджень, які виконували за методикою, описаною у п. 2.5.1 даної роботи.

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що у процесі експлуатації можливе руйнування капсул, заправлених ТАМ під впливом механічних навантажень у ЗТВ та безпосередньо по шву.

Загальний вигляд зварного з'єднання (рис. 2.12) показує, що руйнування починається у місці сполучення стінки (справа) та денця (зліва) капсули.



Рисунок 2.12 - Макроструктура зварного з'єднання, х 10

Характер тріщин у шві показує, що руйнування відбувалося під дією зусиль, які викликані відривом денця. При цьому повного руйнування шва не спостерігається через достатню в'язкість металу шва.

Присутні в основному металі поперечні тріщини на внутрішній поверхні денця (рис. 2.13) сприяють руйнуванню капсули. Причиною поверхневих тріщин, які досягають 0,3 – 0,4 товщини денця, очевидно є глибока витяжка металу при штампуванні денця.

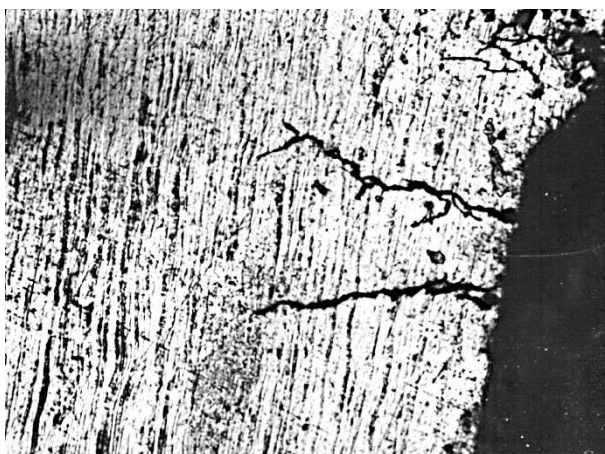


Рисунок 2.13 - Поверхневі тріщини на внутрішній поверхні денця, х200

Підтвердженням цієї гіпотези є наявність таких самих поверхневих тріщин на зовнішній поверхні стінки капсули (рис. 2.14).

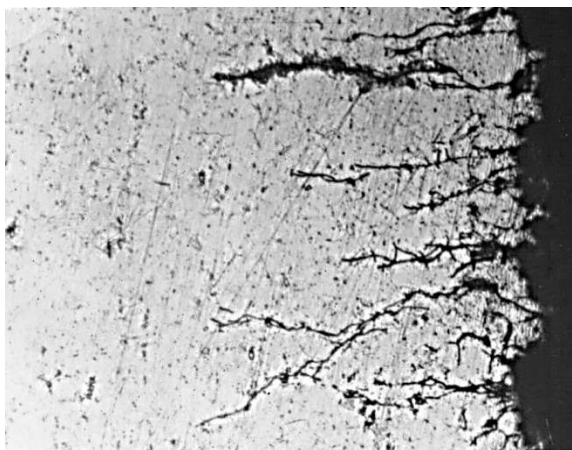


Рисунок 2.14 - Поверхневі тріщини на зовнішній поверхні стінки, x200

В цілому слід відзначити, що місця руйнування капсули розташовані лише на ділянках скупчення поверхневих тріщин, які утворилися на попередніх етапах виготовлення деталей. При цьому корозійних пошкоджень внутрішніх поверхонь капсули не виявлено.

Таким чином, можна стверджувати, що вибрані режими зварювання забезпечують потрібні механічні властивості зварних з'єднань капсул, а надійність експлуатації ТА суттєво залежить від якості підготовки металу під зварювання. Для забезпечення працездатності капсул слід передбачити більш високі вимоги до вхідного контролю якості заготовок.

Висновки

1. Для зварювання вузлів теплового акумулятора зі сталі 12X18H10T вибрано два способи: 1) TIG без присадного металу (141) за ДСТУ EN ISO 9692-1-2016 - для зварювання капсул, заправних трубок з ТАМ та коротких швів дрібних деталей і 2) MIG (131) – для автоматичного зварювання корпусів ТА.

2. Як зварювальні матеріали вибрано: для зварювання TIG – аргон 1-го сорту (ДСТУ ГОСТ10157: 2019) і торовані вольфрамові електроди марки ЭВТ-15 діаметром 1,6 мм та 2 мм; для зварювання MIG - суміш:

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ar (95 – 98)% + CO₂ (2 -5) % і дріт марки Св-04Х19Н11М3 діаметром 2 мм (ГОСТ2246-70).

3. Вибрані параметри режимів зварювання TIG (141) та розраховані для зварювання MIG (131): $l = 10$ мм; $I_{зв} = 250$ А; $U_d = 28$ В; $v_{зв} = 34$ м/год; $v_{др} = 160$ м/год; $q_n = 5213$ Дж/см; витрата аргону, 5 -7 л/хв. Параметри режиму зварювання MIG забезпечують двофазну структуру наплавленого металу: Ау + до 8 % Ф.

4. З метою дослідження температурних полів при зварюванні TIG заправних трубок капсул, заповнених ТАМ, вибрані дві розрахункових схеми: 1) дія миттєвого джерела теплоти в стрижні, що моделює неопресовану частину заправної трубки; 2) дія рухомого лінійного джерела теплоти в пластині, що моделює опресовану частину трубки.

5. Розрахунками математичних моделей вибраних схем встановлено, що схема 1 дозволяє якісно оцінити можливість закипання ТАМ (лугу), який знаходиться в капсулі, з ймовірністю потрапляння його у зону зварювання; схема 2 з достатньою точністю описує процес поширення тепла в опресованій частині трубки і дозволяє визначити засоби попередження потрапляння киплячого ТАМ у зону зварювання.

6. Запропоновано спосіб відведення тепла від нагрітої зони при зварюванні опресованого торця заправної трубки шляхом встановлення затискних мідних притискачів.

7. Розрахунок очікуваних зварювальних деформацій внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА показав, що при автоматичному зварюванні не закріплених поздовжніх та кільцевих швів оболонок прогин осі та зміна радіусу перевищують допустимі значення. Підтверджена необхідність зварювання корпусів в умовах жорсткого закріплення зварюваних крайок.

8. Дослідження зварного зразку, подібного до корпусу ТА, свідчать про те, що автоматичне MIG-зварювання на розрахованому режимі забезпечує потрібну структуру та твердість металу зварного з'єднання.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Металографічні дослідження з'єднання денця з трубкою капсули, виконаного TIG-зварюванням показали, що для забезпечення високої надійності роботи ТА слід посилити вимоги до якості металу заготовок на етапі вхідного контролю.

					КР.131.6121м. 06.02.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Авраменко К.М			Розробка технології виготовлення ТА	Літ.		Арк.	Аркушів		
Керівник		Драган С.В.							62	15	
Консультант						НУК					
В.о. зав. каф.		Драган С.В.									

3. Розробка технології виготовлення ТА

3.1. Схема технологічного процесу, послідовність операцій

На підставі результатів досліджень зварних з'єднань та досвіду виготовлення автомобільних теплових акумуляторів подібних конструкцій [3] розроблена удосконалена конструкція ТА (рис. 3.1), для якої в даній роботі пропонується відповідна технологія. При цьому габаритні розміри акумулятора та матеріал залишені незмінними (див. розд.1.1); збільшена на 1 мм товщина корпусів та спосіб їх зварювання.

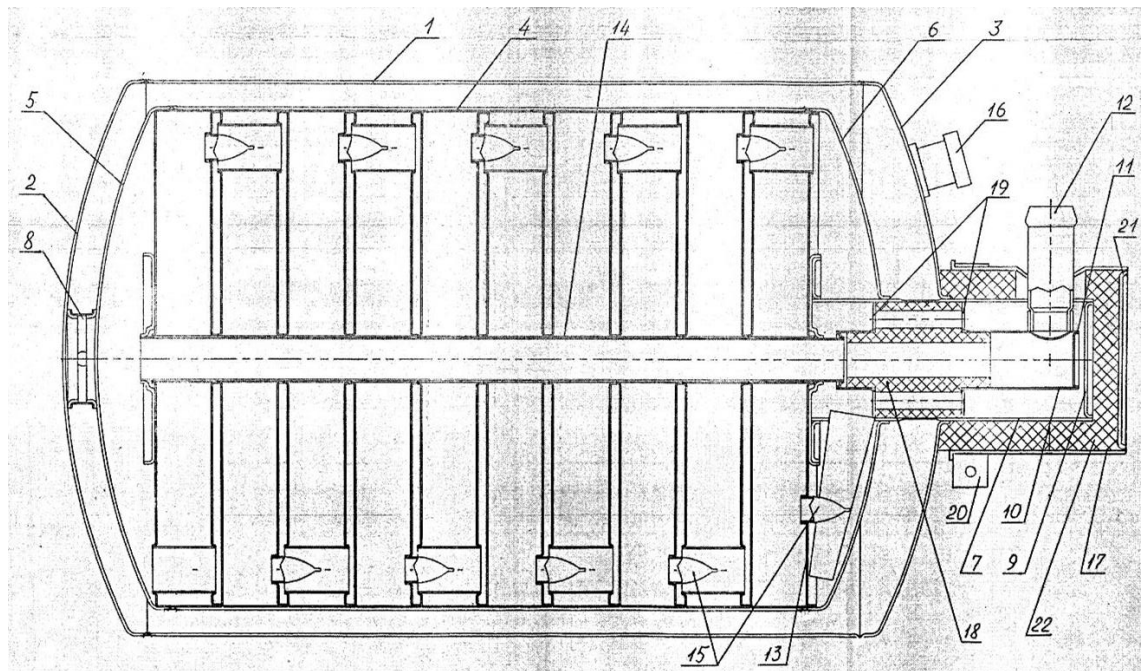


Рисунок 3.1 - Нова конструкція теплового акумулятора

Зовнішній корпус, що складається із середньої частини у вигляді обичайки 1 діаметром 212 мм, довжиною 218 мм з товщиною стінки 3 мм,

звареною повздовжнім швом типу С4-ІП (ГОСТ 14771-76); задньої частини - денця 2 сферичної форми, звареною з обичайкою швом також типу С4-ІП; передньої частини – кришки 2 також сферичної форми з наскрізним отвором діаметром 42 мм. Кришка зварена з обичайкою кільцевим стиковим швом також типу С5-ІП.

Внутрішній корпус складається, аналогічно зовнішньому, також із середньої частини - зварної обичайки 1 (повздовжній шов С4-ІП) діаметром 188 мм, довжиною 192 мм, з товщиною стінки 3 мм; нижнього денця 3 (кільцевий шов С4-ІП); верхньої кришки 3 з отворами діаметром 42 мм. Верхня кришка зварена з обичайкою кільцевим стиковим швом типу С5-ІП.

Решта зварних з'єднань корпусів, арматури та капсул з заправними трубками залишилися незмінними.

Пропонована принципова технологічна послідовність робіт при виготовленні ТА схематично приведена на рис. 3.2.

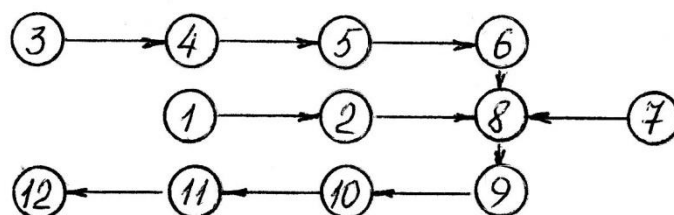


Рисунок 3.2 – Принципова схема послідовності робіт при виготовленні ТА:

1 - складання і зварювання обичайок корпусів; 2 - складання і зварювання обичайок з нижніми денцями; 3 - виготовлення капсул; 4 – заправлення капсул ТАМ; 5 – заварювання заправних трубок капсул; 6 – встановлення капсул у діафрагми; 7 - виготовлення вузлів арматури; 8 – встановлення арматури, зварювання кришок с корпусами; 9 – дороблювальні роботи; 10 – контроль якості зварювання; 11 – вакуумування; 12 – технічний контроль готового виробу.

Відповідно до наведеної схеми розроблений зміст технологічного процесу з визначенням тривалості кожної операції (табл. 3.1).

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз норм часу показав, що операції № 10 та № 29, які зв'язані з використанням хімічних розчинів та створенням вакуумного захисту внутрішнього корпусу ТА, не можуть виконуватися на дільниці складально-зварювального цеху, тому мають бути виключеними з технологічного процесу. Але, разом з тим, вони виконуватимуться паралельно з основним процесом за умови передачі капсул та готових виробів на відповідні робочі місця спеціалізованої складально-зварювальної дільниці. Тоді, розрахункова тривалість технологічного процесу складання і зварювання одного ТА становитиме близько 205,8 хв. $\approx 3,4$ год.

Таблиця 3.1 - Перелік та тривалість робіт згідно з технологічним процесом виготовлення ТА

№ операції	Найменування операції	Час виконання, хв.
1	Складання обичайки внутрішнього корпусу	3
2	Зварювання обичайки внутрішнього корпусу	1,2
3	Складання обичайки зовнішнього корпусу	3
4	Зварювання обичайки зовнішнього корпусу	1,3
5	Складання нижнього денця з обичайкою внутрішнього корпусу	8
6	Зварювання нижнього денця з обичайкою внутрішнього корпусу	1,3
7	Складання нижнього денця з обичайкою зовнішнього корпусу	8
8	Зварювання нижнього денця з обичайкою зовнішнього корпусу	1,5
9	Виготовлення комплекту капсул для ТАМ	41
10	Заправка капсул	60
11	Збирання капсул у касети, (6 касет по 10 капсул)	3
12	Заварювання заправних трубок	12
13	Напресування капсул і діафрагм у внутрішній корпус	18
14	Складання і зварювання робочих патрубків	17
15	Складання вузла гідроарматури	20
16	Зварювання кришки з центральною трубою	2

17	Зварювання заглушки	4
18	Складання внутрішнього корпусу з переднім денцем-кришкою	8
19	Зварювання внутрішнього корпусу з переднім денцем-кришкою	2,5
20	Зварювання кришки внутрішнього корпусу з центральною трубою	4
21	Складання внутрішнього та зовнішнього корпусів в об'єм	10
22	Зварювання переднього денця-кришки зовнішнього корпусу з циліндричною частиною	10
23	Зварювання зовнішнього корпусу з центральною трубою	7
24	Встановлення захисного кожуху	1
25	Зварювання захисного кожуху з кришкою зовнішнього корпусу	2
26	Зварювання патрубку для вакуумування	2
27	Контроль якості зварювання	10
28	Виправлення дефектів, маркування ТА	5
29	Вакуумування ТА	2160
30	Технічний контроль, здавання ТА ВТК	10
Разом		2425,8

Для ритмічної роботи складально-зварювальної ділянки розрахуємо найбільшу тривалість роботи на робочому місці (за виключенням операцій № 10 та № 29), виходячи з 2-х змінного режиму роботи ділянки, розрахункового (дійсного) фонду часу $\Phi_d = 4100$ год. та річної програми випуску акумуляторів $\Pi = 6000$ шт.

$$t_{\max} = \frac{\Phi_d}{\Pi} \quad (3.1)$$

$$t_{\max} = \frac{4100}{6000} = 0,68 \text{ год.} = 41 \text{ ххв.}$$

Згрупуємо однорідні операції технологічного процесу в комплекси операцій, які можуть бути виконані на одному робочому місці ділянки так,

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що тривалість такого комплексу операцій не перевищуватиме найбільш тривалої операції, розрахованої за формулою (3.1).

Тоді, зміст технологічного процесу відповідатиме табл. 3.2, а його структурна схема – рис. 3.3.

Таблиця 3.2 – Перелік, тривалість комплексів операцій та чисельність виконавців на робочих місцях дільниці

№ комплексу операцій	Найменування операції	Час виконання, хв.	Кількість робочих, чол.
1	Складання та зварювання обичайок внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА	8,5	1
2	Складання та зварювання обичайок внутрішнього та зовнішнього корпусів з нижніми денцями	18,8	1
3	Складання та зварювання комплекту капсул, у т. ч заварювання заправних трубок	41	1
4	Збирання капсул в касети, напресування капсул і діафрагм у внутрішній корпус ТА	33	1
5	Складання і зварювання вузлів гідроарматури	37	2
6	Складання і зварювання внутрішнього корпусу з верхнім денцем-кришкою та з вузлами гідроарматури	20,5	3
7	Складання і зварювання зовнішнього корпусу з верхнім денцем-кришкою та з вузлами гідроарматури	22	3
8	Контроль якості зварювання, виправлення дефектів, маркування, здавання ТА ВТК	25	1
Разом		205,8	13

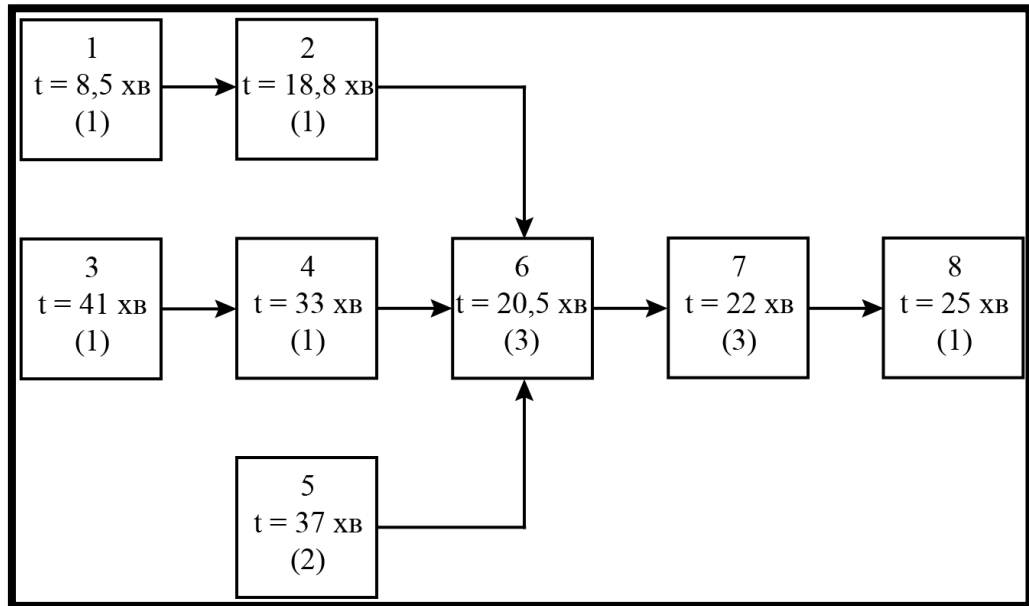


Рисунок 3.3 - Структурна схема технологічного процесу з комплексами операцій: в дужках кількість робочих

Розрахуємо коефіцієнт завантаження кожного робочого місця K_{zi} та середній коефіцієнт завантаження ділянки $K_{з\text{сер}}$:

$$K_{zi} = \frac{t_i}{t_{\max}}; \quad (3.2)$$

$$K_{з\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{t_{\max}}, \quad (3.3)$$

де t_i – тривалість робіт на i -му робочому місці; $t_{\max}$ - тривалість найдовшої операції; n - число робочих місць на ділянці.

Результати розрахунків наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнти завантаження робочих місць ділянки

№ робочого місця	1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт завантаження K_{zi}	0,21	0,46	1,0	0,80	0,90	0,50	0,54	0,61
Середній коефіцієнт завантаження $K_{з\text{сер}}$	0,63							

Аналіз отриманих результатів показує, що при заданій програмі випуску ТА робочі місця дільниці завантажені нерівномірно і середній коефіцієнт завантаження менше встановленого, нормативного для механізованих потокових ліній, $K_{з\text{сер}} = 0,7$ [13]. Тим самим підтверджено попередній висновок (див. розд. 1) про недоцільність організації потокової форми виробництва при заданій річній програмі випуску ТА. При цьому суттєве недовантаження робочого місця № 1 може бути компенсовано виконанням робіт, подібних до запланованих за даним технологічним процесом.

3.2. Обладнання для складально-зварювальних робіт

Реалізація технологічного процесу на робочих місцях складально-зварювальної дільниці може бути здійснена з використанням стандартного зварювального устаткування та спеціалізованої оснастки.

До стандартного устаткування належать наступні джерела живлення та установки для зварювання TIG та MIG:

Джерелами живлення для зварювання TIG оснащені робочі місця, на яких виконуються операції № 3(повністю), №№ 4 - 7 (частково); установками для зварювання MIG оснащені робочі місця, на яких виконуються операції №№ 1,2(повністю), №№ 6,7 (частково).

Для зварювання TIG використовуються інверторні зварювальні апарати Jasіc TIG 180 P II (W153), які забезпечують параметри режимів зварювання (див. табл. 2.4). Технічна характеристика апарата Jasіc TIG 180 P II (W153) наведена в табл. 3.4 [30].

Відмінна риса апаратів цієї серії – більш широкий (порівняно зі стандартною серією) діапазон струму зварювання. Цифрове мікропроцесорне керування апаратом забезпечує три стандартних режими роботи: 1) двотактний та чотиритактний (2T/4T); 2) точковий (SPOT); 3) імпульсний (TIG Pulse). При цьому передбачені наступні стандартні функції джерела:

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця 3.4 Технічна характеристика
зварювального апарата Jasic TIG 180 P II (W153)**

Параметр	Величина
Напруга мережі живлення, В	220±15%, 50/60 Гц
Номинальний зварювальний струм, А	180
Напруга холостого ходу, В	55
Діаметр електрода, мм	1,6-4,0
Товщина зварюваного металу, мм	0,3 - 6
Діапазон регулювання зварювального струму, А:	
TIG	10 – 180
MMA	10 -150
Робоча напруга, В:	
TIG	17
MMA	26
Робочий цикл ПН, %	60
Час спадання струму по закінченню зварювання, с	0,5
ККД, %	85
Коефіцієнт потужності cos φ	0,93
Клас захисту	IP23
Габарити (ДхШхВ), мм	580x334x480
Маса, кг	7,8

- високочастотний підпал дуги при зварюванні TIG DC;
- "гарячий старт", "антизалипання" та "форсаж дуги" при зварюванні MMA;
- налагодження параметрів зварювального процесу (8 для TIG DC і 12 для TIG Pulse).

Охолодження джерела за схемою Isolated Cooling System дозволяє спрямовано знизити температуру в потрібних вузлах, але при цьому зовнішнє повітря не подається до зон з точною електронікою, де небезпечним є осідання пилу та інших забруднень. Завдяки такому поділу потоків повітря збільшується термін служби апарату.

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У конструкції джерела використані IGBT-транзистори, що забезпечують інвертору компактні розміри, високий ККД та надійність. Сенсорна панель керування дозволяє відображати силу струму зварювання на цифровому дисплеї.

До комплекту обладнання, крім джерела живлення, входять: пальник WP-26 (4 м) з комплектом витратних матеріалів та затискач маси з кабелем.

Для автоматичного зварювання MIG вибраний комплекс обладнання X8 MIG WELDER, що складається з інверторного джерела живлення та механізму подачі електродного дроту, об'єднаних спільною системою програмного керування [31]. Установка призначена для зварювання сталей та кольорових металів, наплавлення, включаючи поверхневе зміцнення, та паяння. Можливе також зварювання MMA [31]. Система керування комплексом забезпечує швидкий та точний контроль параметрів зварювальної дуги, їх оптимізацію в режимі постійного або імпульсного струму, завдяки чому досягаються висока якість та продуктивність зварювального процесу не залежно від матеріалу. Зокрема, крім стандартних програм MIG/MAG-зварювання, додатковий набір функцій WISE забезпечує програмне керування краплепереносом, що дозволяє виконувати зварювання тонколистового металу (функція WiseThin+), зварювання у вузьку розробку крайок (функція RGT), зварювання з низьким розбризкуванням у режимі крапельного переносу (функція WiseSteel) та ін.

Інші функціональні блоки комплексу (механізм подачі дроту, система охолодження, панель керування) також забезпечують автоматизацію процесів зварювання та надійність роботи установки.

Так, інноваційний механізм подачі забезпечує оптимальне навантаження на котушку з електродним дротом, панель керування з великим дисплеєм може бути використана як пристрій для зчитування та збирання інформації про стан зварювального процесу, функція цифрових технологічних карт надає можливість позбавитися від паперових технологічних карт та гарантує завдяки автоматичного налагодження високу точність підтримання параметрів режиму зварювання і т. ін.

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики комплексу X8 MIG WELDER забезпечують розрахований режим зварювання MIG (див. розд. 2).

Таблиця 3.5 - Головні технічні характеристики комплексу X8 MIG WELDER (Kemppi) для зварювання MIG/MAG

Параметр	Величина
Джерело живлення X8 Power Source 500	
Напруга трифазної мережі, В	(380 — 460) ±10 %, 50/60 Гц
Зварювальний струм при ПВ %, А: 60 100	500 400
Напруга холостого ходу (зварювання ММА), В	50
Діапазон регулювання зварювального струму MIG, А при 380 В	20— 500
Діапазон регулювання робочої напруги, В	14 - 55
Коефіцієнт потужності cosφ	0,82
ККД	0,89 -0,91
Діапазон робочих температур, °С	-20...+40
Габаритні розміри ДхШхВ, мм	921 x 348 x 795
Маса (без додаткового обладнання), кг	95
Пульт керування	
Стандартний діапазон безпровідного зв'язку, м	15
Тип дисплея	TFT LCD
Размір дисплея, дюйм	5,7
Діапазон робочих температур, °С	-20...+40
Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	200 x 130 x 33
Маса (без додаткового обладнання), кг	0,89
Клас захисту	IP54
X8 Cooler — Охолоджувач	
Номинальная потужність охолодження при 1 л/хв., . кВт	1,4

Номінальна потужність охолодження при 1,6 л/хв., кВт	1,9
Рекомендована охолоджуюча рідина	MPG 4456 (Kemppi mixture)
Діапазон робочих температур, °C	-10...+40
Маса (без додаткового обладнання), кг	15,5
Клас захисту	IP23S
Об'єм резервуару, л	4
X8 Wire Feeder — Механізм подачі дроту	
Тип механізму	4-roll, twin-motor
Зварювальний струм при ПВ%, А:	
40	600
60	530
100	440
Діаметр електродного дроту, мм:	
нержавіюча сталь	0,6 — 2,4
алюміній	0,8 — 2,4
маловуглецева сталь	0,6 — 2,4
порошковий дріт	0,8 — 2,4
Швидкість подачі дроту, м/год.	30 — 1500
Діапазон робочих температур, °C	-20...+40
Маса котушки дроту (макс.), кг	20
Діаметр котушки дроту (макс.), мм	300
Клас захисту	IP23S
Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	640 x 220 x 400
Маса (без додаткового обладнання), кг	11,2

Для виконання складальних операцій пропонується використання спеціалізованих механізованих пристроїв, розроблених на базі установок, описаних у розд.1, шляхом їх модернізації.

3.3. Контроль якості зварювання, виправлення дефектів

У цілому, контроль якості зварювання та зварних з'єднань включає:

- а) перевірку атестації персоналу;
- б) перевірку складально-зварювального, термічного та контрольного обладнання, апаратури, приладів та інструментів;
- в) контроль якості основних матеріалів;
- г) контроль якості зварювальних матеріалів та матеріалів для дефектоскопії;
- д) операційний контроль технології зварювання;
- е) неруйнівний контроль якості зварних з'єднань;

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ж) руйнівний контроль якості зварних з'єднань;

з) контроль виправлення дефектів.

Контроль якості зварювання ТА проводиться у відповідності до вимог Правил пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском ДНАОП 0.00-1.07-94 [32], якими передбачено:

1) Контроль геометричних розмірів та форми поверхні виробу;

2) Наявність, зміст, місця розташування клейм на зварних швах та маркування на готовому посуді;

3) Контроль якості зварних з'єднань має бути проведеним наступними методами: візуальним оглядом, випробовуванням на стійкість проти міжкристалічної корозії, металографічними дослідженнями, стилоскопуванням та ультразвуковою дефектоскопією;

4) Виправлення дефектів.

У процесі виготовлення складальних одиниць та деталей ТА необхідно перевіряти:

- відповідність стану та якості зварювальних складальних одиниць та деталей та зварювальних матеріалів вимогам стандартів;

- відповідність якості підготовки кромки та складання під зварювання вимогам стандартів та проєкту;

- дотримання технологічного процесу зварювання, розробленого відповідно до вимог стандартів та проєкту.

Візуальний контроль

Візуальному і вимірювальному контролю підлягають всі зварні з'єднання ТА та їх елементів з метою виявлення в них таких дефектів:

- 1) тріщин всіх видів і напрямів;
- 2) свищів і пористості зовнішньої поверхні шва;
- 3) підрізів;
- 4) напливів, пропалів, незаплавлених кратерів;
- 5) зміщень і спільного відведення кромки зварювальних елементів понад норми;

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

б) непрямолінійностей з'єднаних елементів;

7) невідповідності форми і розмірів швів вимогам технічної документації.

Перед візуальним контролем поверхня зварного шва і прилеглі ділянки основного металу, в обидва боки від шва, мають бути зачищені.

Візуальний контроль і вимірювання зварних з'єднань повинні проводитись із зовнішнього і внутрішнього боків по всій довжині швів. У разі неможливості контролю зварного з'єднання з двох боків він повинен проводитись у порядку, передбаченому автором проєкту.

Випробування на стійкість проти міжкристалітної корозії

Випробування зварних з'єднань на стійкість проти міжкристалітної корозії має проводитись для капсул ТА згідно з вимогами у технічного проєкту.

Металографічні дослідження

Металографічним дослідженням піддаються стикові зварні з'єднання, що визначають міцність посудин (для складальних одиниць та деталей, що працюють при температурі нижче -40°C , товщиною не більше 20 мм зі сталі 12X18H10T металографічні дослідження стикових зварних швів допускається не проводити).

Стилоскопіювання зварних швів

Стилоскопіювання швів проводиться для встановлення марочної відповідності застосованих зварювальних матеріалів вимогам проєкту та інструкцій зі зварювання. У процесі стилоскопіювання зварних швів деталей із сталі 12X18H10T визначається у металі шва наявність хрому. Стилоскопіювання проводиться в обсязі не менше 50% швів.

При виявленні невідповідності марки використаних присадних матеріалів хоча б на одному із зварних з'єднань стилоскопіювання металу шва повинно бути проведене на всіх зварних з'єднаннях, виконаних даним зварювальником або даним автоматичним способом зварювання.

Дефектні зварні шви, виявлені під час контролю, мають бути видалені, шви знову зварені та піддані стилоскопіюванню.

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Ультразвуковий контроль зварних з'єднань

Ультразвукова дефектоскопія зварних з'єднань повинна проводитись відповідно до ГОСТ 14782 [33]. Спосіб контролю вибирається виходячи з можливостей більш повного і точного виявлення неприпустимих дефектів з урахуванням особливостей фізичних властивостей металу, а також особливостей методики контролю для даного виду зварних з'єднань складальних одиниць.

Обов'язковому контролю ультразвуковим методом підлягають всі зварні з'єднання, доступні для цього контролю в обсязі не менше, ніж 25 %.

Випробування на міцність та герметичність

Випробуванню підлягають посудини на підприємстві-виробнику після виготовлення.

Для посудин, що працюють під вакуумом, розрахунковий тиск приймається рівним 0,1 МПа.

Перед пробним тиском провадиться візуальний огляд посудини. Пробний тиск приймається з урахуванням гідростатичного тиску, що діє на посудину у процесі його експлуатації.

Перед проведенням пневматичного випробування посудина має бути піддана внутрішньому та зовнішньому огляду, а зварні шви корпусу ТА проконтрольовані ультразвуковим методом в обсязі 100 %.

Виправлення дефектів у зварних з'єднаннях

Дефекти, які виявлені в процесі виготовлення, монтажу, ремонту, налагодження, випробування і експлуатації, повинні бути усунені з подальшим контролем виправлених ділянок. Методи та якість усунення дефектів повинні забезпечувати необхідну надійність і безпеку роботи посудини.

Технологія виправлення дефектів і порядок контролю встановлюються технічною документацією, розробленою відповідно до вимог Правил ДНАОП 0.00-1.07-94.

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відхилення від прийнятої технології виправлення дефектів повинні бути узгоджені з її розробником. Видалення дефектів слід проводити механічним способом із забезпеченням плавних переходів у місцях вибірок. Повнота видалення дефектів повинна бути перевірена візуально та методом неруйнівного контролю (капілярною дефектоскопією або травленням).

Виправлення дефектів без зварювання місць їх вибірки допускається в разі збереження мінімально допустимої товщини стінки деталі в місці максимальної глибини вибірки.

Якщо при контролі виправленої ділянки будуть виявлені дефекти, то допускається проводити повторне виправлення в тому ж порядку, що і перше. Виправлення дефектів на одній і тій самій ділянці зварного з'єднання допускається проводити не більше трьох разів. Не вважаються повторно виправленими розрізувані по зварному шву з'єднання з видаленням металу шва і зони термічного впливу.

Висновки

1. Розроблена структурна схема технологічного процесу складання і зварювання удосконаленої конструкції автомобільного теплового акумулятора, яка передбачає виготовлення ТА шляхом послідовно- паралельного виконання 8 комплексних операцій. Планована чисельність робочих складає 13 чол., середній коефіцієнт завантаження робочих місць дорівнює $K_{з.сер.} = 0,63$; тривалість технологічного процесу становить 206 хв. ($\approx 3,4$ год.), що забезпечує умову випуску заданої річної програми ТА в кількості 6000 шт.

2. Для зварювання вузлів ТА вибране сучасне високопродуктивне багатофункціональне устаткування з синергетичною системою керування: для зварювання TIG – зварювальний інвертор Jasic TIG 180 P II (W153); для автоматичного зварювання MIG - комплекс обладнання X8 MIG WELDER.

3. Запропоновані методи контролю якості зварювання, які відповідають вимогам ДНАОП 0.00-1.07-94 “Правила пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском”.

					КР.131.6121м. 06.03.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка спеціалізованої ділянки складання і зварювання ТА	Літ.	Арк.	Аркушів	
Студент	Авраменко К.М								
Керівник	Драган С.В.						78		
Консультант						НУК			
В.о.зав. каф.	Драган С.В.								

4. Розробка спеціалізованої дільниці складання і зварювання ТА

4.1. Обґрунтування вибору компоувальної схеми дільниці

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

При проектуванні прольотів складально-зварювального цеху, прагнуть до забезпечення прямолінійності всіх виробничих зв'язків, до недопущення зворотних переміщень матеріалів, деталей і вузлів.

Розробка технологічного плану починається з вибору компоувальної схеми виробництва, що проектується, в установленні геометричних розмірів прольоту, у розміщенні устаткування та робочих місць згідно з прийнятим у проєкті організаційно-технологічним заходам.

З метою вибору геометричних розмірів прольоту для розміщення спеціалізованої складально-зварювальної дільниці виготовлення ТА скористаємося рекомендаціями стосовно класу підприємства.

У відповідності до серійного виробництва ТА їх виготовлення може бути організовано у прольоті цеху машинобудівного підприємства з поздовжнім напрямком виробничого потоку. Поздовжнє переміщення деталей, складальних одиниць та готових виробів виконується звичайно мостовими кранами, а поперечне – електрокарами або візками по рейкових шляхах. Для такого виробництва згідно з [35] при масі виробів до 25 кг встановлені нормативні параметри прольотів цеху: ширина в осях колон $B = 18$ м; крок колон 12 або 6 м. При цьому довжина прольотів (кратна кроку колон) приймається за даними укрупнених розрахунків.

Як критерій для розрахунків приймемо найбільший випуск продукції з 1 м^2 виробничої площі цеху при дотриманні умов для надійної та безпечної роботи виробничого персоналу. Для виробництва ТА, враховуючи невеликі розміри готових виробів, приймаємо двохрядне розміщення обладнання, робочих місць та місць складування заготовок і готової продукції (рис. 4.1).

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1 - Компонувальна схема дільниці

Для вибраної компоувальної схеми орієнтовно розрахуємо потрібну виробничу площу та довжину дільниці.

При серійному виробництві вантажонапруженість площі становить $\rho_{\text{п}} = 1,0$ т/м² [35]. Тоді виробнича площа $S_{\text{в}}$

$$S_{\text{в}} = \frac{\Pi_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}} \quad (4.1),$$

де $\Pi_{\text{п}}$ - розрахункова річна програма випуску виробів, т.

$$S_{\text{в}} = \frac{45}{1,0} = 45 \text{ м}^2.$$

Довжина дільниці при $B = 18$ м

$$L = \frac{45}{18} = 2,5 \text{ м}.$$

На розрахованій за формулою (6.1) виробничій площі передбачено розміщення місць складування: проміжних – для зберігання заготовок, деталей і півфабрикатів та готової продукції. За рекомендаціями [35] склади потрібні мати площу, яка забезпечує 6-денний запас заготовок і продукції.

Виходячи з ритму роботи дільниці цей запас ТА дорівнює 0,18 т. Приймаємо вантажонапруженість площі складів $\rho_c = 1,0 \text{ т/м}^2$, коефіцієнт, що враховує зону обслуговування складу 0,40. Тоді загальна площа складів становитиме

$$S_c = \frac{0,18}{0,4 \cdot 1} = 0,45 \text{ м}^2.$$

Дільниця обслуговується одним мостовим двобалковим краном вантажопідйомністю 20/5 т та двома монорейковими тельферами вантажопідйомністю $Q = 1 \text{ т}$ (виробник ТОВ Олександрійський завод ПТО) [36].

4.2. Розрахунок розмірів дільниці

Відповідно до вибраної схеми розміщення виробництва (див. рис. 4.1) призначимо розміри робочих місць та місць складування, а згідно з нормами технологічного проектування – відстані між обладнанням та елементами будівлі цеху.

Розміри (м) складально-зварювальних установок MIG (разом з джерелами живлення), робочих місць TIG, столів слюсарних (разом з робочою зоною), складів, м:

Виготовлення обичайок $L \times V \times H = 3,8 \times 1,0 \times 1,0$;

Виготовлення корпусів $L \times V \times H = 2,6 \times 1,0 \times 1,7$.

Пости зварювання TIG $L \times V \times H = 1,0 \times 1,0 \times 0,7$.

Столи слюсарні $L \times V \times H = 1,5 \times 1,0 \times 1,2$.

Склади деталей, півфабрикатів (контейнери)

$L \times V \times H = 1,5 \times 1,5 \times 0,6$.

Склад готових виробів

$L \times V \times H = 2,0 \times 2,0 \times 1,0$.

Мінімальні нормативні відстані для малогабаритних виробів, м [37]:

- від колон до бокової сторони обладнання 1,0;
- від колон до тильної сторони обладнання 1,0;

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- між фронтом та тильною стороною обладнання 1,0;
- між місцями складування та обладнанням 1,0;

Ширина проїзду між двох рядів обладнання або робочих місць 3,0.

Ширина проходу для працюючих 1,5.

На підставі визначених розмірів розрахуємо потрібні ширину $B_{\text{техн}}$, довжину прольоту $L_{\text{техн}}$ і висоту $H_{\text{техн}}$ цеху.

Ширину прольоту (див. рис. 4.1) розрахуємо за формулою

$$B_{\text{техн}} = 2(b_1 + b_2) + b_3 + 2b_4 + b_5 + 2b_6 + b_7 + b_8 + b_9 \quad (4.2)$$

$$B_{\text{техн}} = 2(1+1) + 1 + 2 \cdot 1,5 + 1 + 2 \cdot 1 + 3 + 1,5 + 1,5 = 17 \text{ м.}$$

Відповідно до норм технологічного проектування [13] приймаємо ширину $B = 18 \text{ м.}$

Довжину прольоту за технологічними вимогами розрахуємо як

$$L_{\text{техн}} = 2l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8 \quad (4.3)$$

$$L_{\text{техн}} = 2 \cdot 1 + 1 + 2,6 + 1 + 2 + 1 + 1,5 + 0,5 = 11,6 \text{ м.}$$

У відповідності до норм технологічного проектування [13] приймаємо довжину ділянки $L = 12 \text{ м.}$

Висота прольоту цеху обумовлена найбільшою висотою виробничого обладнання ($h_{\text{max}} = 1,8 \text{ м}$) і передбачуваним застосуванням верхнього транспорту (монорейкою з тельфером) (рис. 4.2).

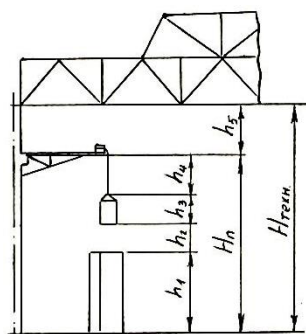


Рисунок 4.2 - Схема визначення висоти прольоту

За технологічними вимогами висота прольоту від підлоги до низу несучих конструкцій розраховується за формулою [38]

$$H_{\text{техн}} = H_{\text{п}} + h_5, \quad (4.4)$$

де $H_{\text{п}}$ - висота підвішування монорейки, $H_{\text{п}} \geq 2,5$ м; h_5 – відстань від монорейки до низу несучих конструкцій, приймаємо з конструктивних міркувань $h_5 = 1,5$ м.

Висоту $H_{\text{п}}$ розрахуємо як

$$H_{\text{п}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (4.5)$$

де h_1 - найбільша висота обладнання, $h_1 \geq 2,3$ м [38], приймаємо $h_1 = 2,3$ м; h_2 – відстань між підняття вантажу та найвищою точкою обладнання, $h_2 = 0,5 - 1$ м [37], приймаємо $h_2 = 1$ м; h_3 – відстань між найнижчою точкою підйомного крюка та нижньою точкою підвішеного вантажу, приймаємо $h_3 = 1$ м; h_4 – відстань між крюком та монорейкою, приймаємо $h_4 = 1$ м.

$$H_{\text{п}} = 2,3 + 1 + 1 + 1 = 5,3 \text{ м.}$$

Тоді

$$H_{\text{техн}} = 5,3 + 1,5 = 6,8 \text{ м.}$$

У відповідності до норм технологічного проектування [38] приймаємо

$$H_{\text{техн.}} = 7,2 \text{ м.}$$

4.3. Розробка технологічного плану дільниці

Технологічний план цеху (дільниці) – це графічне зображення просторового розміщення виробництва з зазначенням на ньому всіх видів цехового обладнання, робочих місць та інших елементів зварювального виробництва.

Головним завданням при розробці технологічного плану в даній роботі є розміщення у прольоті всіх елементів виробництва так, щоб найбільш раціонально реалізувати технологію виготовлення ТА на дільниці.

Технологічне обладнання розташовуємо у прольоті у відповідності до вибраної компоновальної схеми дільниці (див. рис. 4.1), розрахованої площі дільниці та визначених розмірів робочих місць і нормованих відстаней між обладнанням та елементами будівлі цеху.

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операції технологічного процесу закріплені за певними робочими місцями, транспортування заготовок та передача півфабрикатів з одного робочого місця на інше в межах дільниці виконується виконуються наступним чином.

1. Заготовки деталей та елементи гідроарматури подаються на дільницю в контейнерах за допомогою мостового крану і розміщуються у відповідних робочих місцях біля установок або слюсарних столів.

2. Технологічний процес розпочинається одночасно з операцій виготовлення корпусів, капсул та дрібних вузлів гідроарматури.

3. На установці для механізованого складання та автоматичного зварювання виготовляються послідовно обичайки внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА. Водночас виготовляються капсули для ТАМ. Зварені півфабрикати складуються в контейнерах поряд з відповідними робочими місцями. Виконується поопераційний контроль якості зварювання.

4. Контейнери з обичайками внутрішнього та зовнішнього корпусів транспортуються за допомогою тельферу до установок для складання і зварювання нижніх донець обичайками, капсули та вузли гідроарматури – до слюсарного столу, де формується вміст внутрішнього корпусу.

5. На спеціалізованому робочому місці, оснащеному складальним кондуктором та пресом, капсули з ТАМ спочатку збираються в касети, далі напресовуються в діафрагми та внутрішній корпус. Складений вузол ТА передється тельфером до установки для зварювання верхніх донець-кришок з внутрішнім та зовнішнім корпусами та деталями гідроарматури.

6. Контейнер з корпусами ТА мостовим краном транспортується на іншу виробничу дільницю для вакуумування.

7. Готові ТА повертаються на складально-зварювальну дільницю, проходять заключний контроль якості зварювання. У разі виявлення дефектів ТА передається тельфером на стіл, де дефекти виправляють, і виріб знову проходить контроль якості. Готові вироби здають ВТК та складуються в контейнер, який за допомогою мостового крану транспортується на іншу спеціалізовану дільницю для подальших операцій з ТА.

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з описаним технологічним процесом розроблено технологічний план складально-зварювальної ділянки (рис. 4.3).

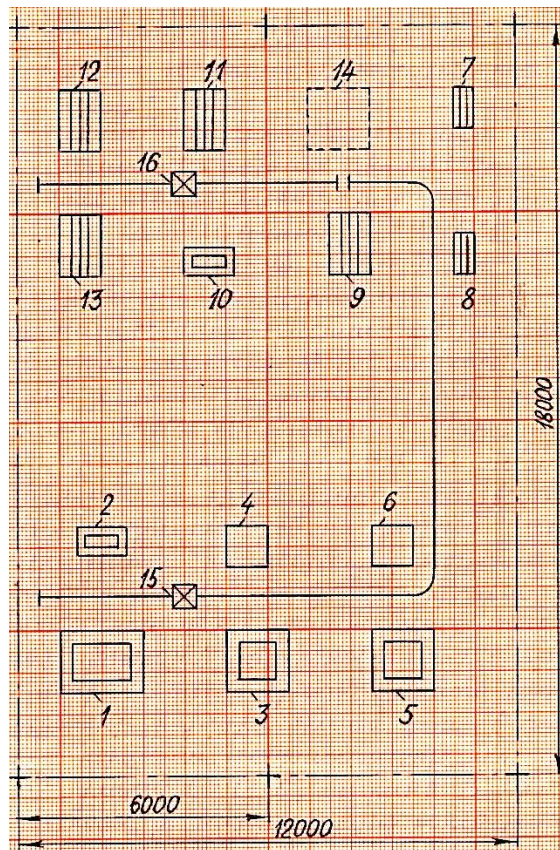


Рисунок 4.3 - Технологічний план ділянки (М 1:100):

1 – установка для складання і автоматичного зварювання обичайок внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА; 2 – установка для складання і автоматичного зварювання обичайок корпусів з нижніми денцями; 3 – установка для складання і зварювання капсул для ТАМ; 4 – робоче місце для збирання капсул в касети; 5 - заварювання заправних трубок, 6 - прес для напресування капсул і діафрагм; 7 – 9; 12, 13 – столи слюсарні; 10 - Установка для складання і автоматичного зварювання корпусів з верхніми денцями; 11 – стіл для контролю якості та здавання ТА ВТК; 14 – склад готової продукції; 15, 16 – монорейка з тельфером.

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Висновки

1. Для розміщення серійного виробництва по виготовленню ТА вибрана компонована схема складально-зварювальної дільниці у прольоті цеху з поздовжнім напрямком виробничого потоку.

2. Розраховані параметри виробництва і узгоджені з нормами технологічного проектування: ширина прольоту $B_{\text{техн.}} = 18$ м, з кроком колон 6 м; довжина дільниці $L = 12$ м; висота від підлоги до низу несучих конструкцій $H_{\text{техн.}} = 7,2$ м. Розроблено відповідний технологічний план дільниці.

					КР.131.6121м. 06.04.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка заходів щодо охорони праці та охорони навколишнього середовища			Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент		Авраменко К.М								87		
Керівник		Драган С.В.						НУК				
Консультант												
В.о. зав. каф.		Драган С.В.										

5. Розробка питань охорони праці та охорони довкілля

5.1. Загальні положення

Під охороною праці розуміють систему законодавчих, соціально-економічних, технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Закон України “Про охорону праці” від 14.10.1992 року визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життів і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю державних органів відносини між власниками підприємств, установ та організацій та встановлює єдиний порядок щодо організації охорони праці.

Питання охорони навколишнього середовища є важливим при організації виробництва. Верховною Радою України у 1991 році прийнято Закон “Про охорону навколишнього та природного середовища”, спрямований на забезпечення вимог екологічної безпеки, охорони навколишнього та природного середовища, що встановлює обов'язки суб'єктів виробничої діяльності щодо своєчасного здійснення природоохоронних заходів. Стаття 50 Закону свідчить: “Екологічна безпека - це такий стан навколишнього природного середовища, у якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки здоров'ю людей”. Спеціальними нормативно-правовими актами – будівельними нормами і санітарно-гігієнічними правилами, технічними стандартами з екологічними характеристиками, екологічними стандартами і нормативами визначаються норми та показники екологічної безпеки, обов'язкові для дотримання при прийнятті та реалізації екологічно значимих рішень. Ці норми встановлюють обов'язок підприємств щодо своєчасного здійснення природоохоронних заходів, спрямованих на зниження та компенсацію негативного впливу виробництва на навколишнє природне середовище, здоров'я та власність людей. Закріплено правило, за яким фінансування природоохоронних заходів здійснюється за рахунок власних коштів підприємств та інших джерел [39].

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Проектування нового виробництва з виготовлення теплових акумуляторів (ТА) на спеціалізованій дільниці, як і будь-якого іншого, вимагає обов'язкового вирішення питань охорони праці.

Реалізація технологічного процесу виготовлення ТА проводиться з використанням переважно зварювальних робіт на стаціонарних робочих місцях, оснащених автоматичними установками аргонодугового зварювання та складальних робіт, що передбачають використання пресів. Все це викликає необхідність аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або іншого різкого раптового погіршення здоров'я. Вплив на людину чинного шкідливого виробничого чинника призводить до захворювання чи зниження працездатності.

До шкідливих виробничих факторів при зварювальних та складальних роботах на ділянці належать:

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- ультрафіолетове, інфрачервоне випромінювання зварювальної дуги;
- електромагнітні поля;
- шум, у тому числі від працюючої при зварюванні вентиляції;
- статичне навантаження на руку зварювальника;
- вібрації від роботи установок та пресів.

Шкідливі речовини, що надходять у повітря робочої зони при зварювальних операціях у вигляді пилу та газів, можуть проникнути в організм людини головним чином через дихальні шляхи, а також через шкіру та з їжею. Ці речовини надають токсичну дію на організм людини, викликаючи порушення нормальної життєдіяльності, болючий стан - отруєння, небезпека якого залежить від тривалості впливу, концентрації (мг/м^3) і виду речовини.

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пил, що утворюється при зварюванні може бути причиною захворювання на пневмоконіоз. Зміст шкідливих речовин повітря робочої зони має перевищувати гранично-допустимих концентрацій (ГДК), наведених в ГОСТ12.1.005-88. У таблицях цього стандарту зазначено понад 700 шкідливих речовин, їх ГДК (мг/м³) та клас небезпеки.

Вплив на працюючих шкідливих речовин у повітрі можна знизити або зовсім виключити вживши таких заходів:

1. Заміна шкідливих речовин виробництва менш шкідливими.
2. Застосування технологічних процесів, що виключають контакт працюючих зі шкідливими речовинами (автоматизація та комплексна механізація, дистанційне керування, автоматичний контроль).
3. Промислова вентиляція.
4. Використання засобів індивідуального захисту органів дихання.

Випромінювання зварювальної дуги при певних інтенсивності та часі впливу можуть виявитися шкідливими і навіть небезпечними для життя. Електромагнітні хвилі в будь-яких дозах викликають головний біль, втому, загальну слабкість. Інфрачервоне випромінювання (з довжиною хвилі понад 900 Нм) може спричинити тепловий опік. Ультрафіолетове випромінювання (з довжиною хвилі 250 - 400 Нм) при систематичному та тривалому впливі викликає значні пошкодження очей та шкіри, при малій інтенсивності - неприємні зорові відчуття. Допустимі рівні впливу електромагнітних полів (ЕМП) на робочих місцях та вимоги до їх контролю встановлює ГОСТ12.1-006-84. Відповідно до цього стандарту напруженості ЕМП не повинні перевищувати гранично допустимі рівні (ГДР). Теплові випромінювання – ультрафіолетове, інфрачервоне – не повинні створювати на постійних робочих місцях інтенсивних теплових опромінь, що перевищують допустимі гігієнічні норми (табл. 5.1).

Для захисту від інфрачервоного випромінювання скорочують час перебування працюючих у зоні дії джерел тепловипромінювання (табл. 5.2).

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 - Допустимі гігієнічні норми

Довжина хвилі, мкм	Допустима інтенсивність теплого опромінення, Вт/м ²
Ультрафіолетове	
0,22 – 0,28	0,001
0,28 – 0,32	0,05
0,32 – 0,4	10
Інфрачервоне	
0,76 – 1,4	100
1,4 – 3	120
3 – 5	150
5	180

Таблиця 5.2 - Час одноразового перебування

Інтенсивність теплого опромінення, Вт/м ²	350	700	1050	1400	1750	2100	2450	2800
Час одноразового перебування, хв.	20	15	12	9	7	5	3,5	2,5

Основними заходами захисту працюючих від ЕМП і теплових випромінювань є:

- 1 – видалення робочих місць від джерел випромінювань;
- 2 – раціональні режими роботи обладнання та обслуговуючого персоналу;
- 3 – застосування захисних екранів;
- 4 – використання засобів індивідуального захисту.

Результатом впливу шуму у поєднанні з вібрацією та іншими шкідливими факторами при роботі зварювальних установок, джерел живлення, пресів можуть стати uszkodження органів слуху, зміна в серцево-судинній системі людини, порушення нервової системи та, як наслідок, дратівливість, безсоння, гіпертонічна хвороба. Допустимі шумові характеристики робочих місць встановлює ДОСІ12.1.003-83. Нормованою характеристикою шуму є рівні

звукового тиску L , дБ, у октавних смугах частот. Захист від шуму здійснюється розробкою раціональних технологічних процесів, застосуванням засобів звукоізоляції та засобів колективного та індивідуального захисту.

Результатом впливу на працюючих вібрації є вібраційна хвороба, що призводить до підвищення стомлюваності та зниження продуктивності праці. ГОСТ12.1.012-78 встановлює класифікацію та гігієнічні норми вібрації, а також вимоги до вібраційних характеристик виробничого обладнання. Віробезпечні умови праці забезпечуються застосуванням віробезпечних машин та засобів віброзахисту, що знижують вплив на працюючих вібрації на шляхах її розповсюдження; технологічних процесів та виробничих умов, які забезпечують норми вібрації на робочих місцях.

Поряд із зазначеним вище, на продуктивність праці та працездатність людини безпосередньо впливає освітленість виробничих приміщень, робочих місць та робочих поверхонь.

Основний документ, що встановлює необхідні норми освітленості робочих поверхонь - будівельні норми та правила СНиП II – 4 – 79. Цих норм повинні слід дотримуватися при проєктуванні освітлення приміщень промислових підприємств, що будуються знову або реконструюються, і споруд різного призначення.

5.3. Розрахунок системи штучного освітлення

Виконаємо розрахунок системи штучного освітлення ділянки виготовлення ТА, розміщених у прольоті складально-зварювального цеху. Завданням проєктування є вибір типу світильників та схеми їх розташування, розрахунок кількості світильників та потрібної потужності електричної освітлювальної установки. Схему ділянки наведено на рис. 5.1.

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

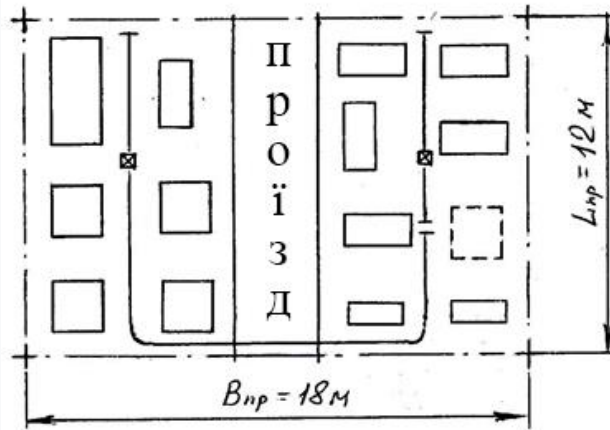


Рисунок 5.1 - Схема ділянки для розрахунку освітлення: $L_{пр}$, $B_{пр}$ – довжина і ширина прольоту відповідно.

Як джерело світла вибираємо лампи розжарювання типу НБ (бізспіральні, газонаповнені). Приймаємо загальну рівномірну систему освітлення. Застосовуємо лампи розжарювання - світильники прямого світла в захищеному виконанні УПМ-15. Для розміщення світильників скористаємося відношеннями (для УПМ-15) [40]:

$$\frac{L}{H_p} = 1,5, \quad (5.1)$$

де L - найбільша відстань між центрами світильників, м; H_p – висота підвісу над робочою поверхнею, м.

$$H_p = H - 0,75, \quad (5.2)$$

де H – проектна висота прольоту від підлоги до несучих конструкцій.

Приймаємо $H = 7,2$ м.

Тоді, згідно з (5.1):

$$L = 1,5(H - 0,75) \quad (5.3)$$

$$L = 1,5(7,2 - 0,75) = 9,68 \text{ м.}$$

Приймемо $L = 9$ м, кількість світильників – $N = 4$ та розмістимо їх у 2 ряди по довжині прольоту (рис. 5.2).

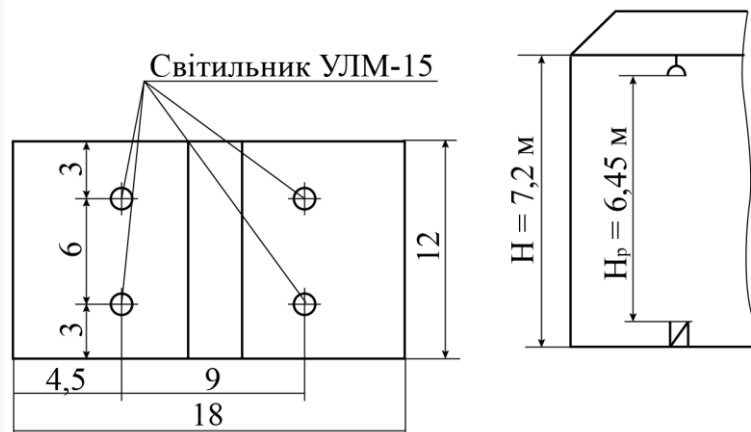


Рисунок 5.2 - Схема розміщення світильників

Відповідно до обраної загальної системи освітлення та джерела світла (лампа розжарювання) мінімальна нормована освітленість дільниці складально-зварювального цеху $E_n = 150$ лк [40].

Розрахуємо світловий потік, що падає на поверхню, від однієї лампи:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot k}{N \cdot \eta}, \quad (5.4)$$

де S - площа освітлювального приміщення (прольоту), $S = L_{\text{пр}} \cdot B_{\text{пр}}$; z - коефіцієнт мінімального освітлення, для ламп розжарювання $z = 1,15$ [40]; k - коефіцієнт запасу, $k = 1,6$ [40]; η - коефіцієнт використання світлового потоку ламп, що залежить від ККД та кривої розподілу сили світла світильника, коефіцієнта відображення стелі $\rho_{\text{п}}$ та стін $\rho_{\text{с}}$, висоти підвісу світильників H_p та показника приміщень i .

$$i = \frac{S}{H_p (L_{\text{пр}} + B_{\text{пр}})} \quad (5.5)$$

$$i = \frac{12 \cdot 18}{6,45(12 + 18)} = 1,12.$$

Згідно з [40] $\eta(\rho_{\text{п}}; \rho_{\text{с}}; i) = \eta(30; 10; 1,1) = 39$.

Тоді

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{150 \cdot 216 \cdot 1,15 \cdot 1,6}{4 \cdot 39} = 382 \text{ ллм}$$

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підбираємо найближчу стандартну лампу розжарювання Б220-230-40, яка має такі параметри: світловий потік $\Phi_{\text{л}}=460$ лм, світлова віддача $\psi=11,5$ лм/Вт, потужність $P_{\text{л}} = 40$ Вт.

Знайдемо відхилення світлового потоку вибраної лампи $\Phi = 460$ лм від розрахункового $\Phi_{\text{л}}=382$ лм:

$$E = \frac{\Phi - \Phi_{\text{л}}}{\Phi} 100\% \quad (5.7)$$

$$E = \left[\frac{460 - 382}{460} \right] \cdot 100 = 16,95\%.$$

Відповідно до норм, відхилення $E = 17 \%$ знаходиться в межах, що допускаються ($-10 \% < [E] < 20 \%$).

Електрична потужність усієї освітлювальної системи

$$P = N \cdot P_{\text{л}} \quad (5.8)$$

$$P = 4 \cdot 40 = 160 \text{ Вт.}$$

Отже, система штучного освітлення має такі параметри:

1. Джерело світла – НБ220-230-40.
2. Система освітлення – загальна рівномірна.
3. Тип освітлення – УПМ-15.
4. Кількість світильників – 4.
5. Потужність освітлювальної системи – 160 Вт.

5.4. Охорона навколишнього середовища

Внаслідок функціонування зварювального виробництва, організованого на ділянці виготовлення ТА, утворюються стічні води та викиди шкідливих речовин. Незабруднені стічні води, використані для охолодження виробничого обладнання – зварювальних установок – не потребують спеціального очищення.

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значне забруднення атмосферного повітря відзначається при зварювальних роботах, що дають найбільше перевищення ГДК шкідливих речовин (гази, пил, окису марганцю). При цьому до 3/4 обсягу цих шкідливих викидів видаляється природно – через вікна та отвори у дахах виробничих будівель. Тільки 1/4 обсягу викидів видаляється за допомогою систем місцевої витяжної вентиляції, що мають пилогазоочисні пристрої: сухі інерційні пиловловлювачі та тканинні фільтри, ефективність роботи яких низька. Ці пилогазоочисні пристрої дозволяють уловлювати великодисперсні тверді частинки, дрібнодисперсний пил та токсичні гази затримуються меншою мірою.

Знешкодження газоподібних викидів, видалення токсичних продуктів, що містяться в пилу, можливе за схемою, наведеною на рис. 5.3.

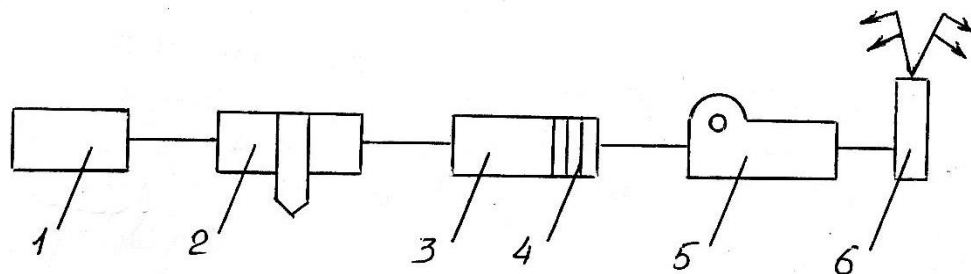


Рисунок 5.3 – Схема очищення викидів: 1 – відсмоктувач газів; 2 – циклон; 3 – промивна башта; 4 – система зрошення; 5 – витяжний вентилятор; 6 – вихлопна труба

Дія цієї системи здійснюється наступним чином. Аерозолі, що утворюються, витягуються відсмоктувачем 1 і направляються в циклон 2 для грубого очищення. Потім вони надходять у промивну вежу 3, що має систему зрошення 4, де очищаються від дрібнодисперсного пилу і витяжним вентилятором 5 викидаються через вихлопну трубу 6.

Для уловлювання високодисперсних аерозолів з ефективністю очистки до 0,99 з частинками 0,05 - 0,5 мкм у вентиляційних системах необхідно використовувати фільтруючі матеріали типу ФП, при цьому доцільно застосовувати волоконні передфільтри, які повинні вловлювати частинки більше 1 мкм. Очищення витяжного вентиляційного повітря від газо- та пилоподібних домішок варто проводити в абсорберах.

Висновки

1. Описані шкідливі фактори, що впливають на здоров'я робітників при зварюванні вузлів ТА на спеціалізованій дільниці.

2. Розрахована система штучного освітлення, яка забезпечує охорону праці на дільниці. Система характеризується наступними параметрами: тип освітлення – УПМ-15; джерела світла – НБ220-230-40; кількість світильників – 4; потужність системи – 160 Вт.

3. Визначено основні фактори, що призводять до забруднення навколишнього природного середовища під час виробництва ТА на ПМЛ. Найбільш суттєвими є викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря, тому були рекомендовані основні заходи щодо запобігання попаданню газів, аерозолів, пилу в атмосферу.

					КР.131.6121м. 06.05.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					КР.131.6121м. 06.06.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Авраменко К.М			Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт при виготовленні автомобільних ТА	Літ.	Арк.		Аркушів		
Керівник		Драган С.В.						98			
Консультант						НУК					
В.о. зав. каф.		Драган С.В.									

6. Розрахунок технологічної собівартості складально-зварювальних робіт при виготовленні автомобільних ТА

Величину технологічної собівартості річної програми випуску автомобільних ТА розрахуємо за формулою [13]:

$$C_T = C_M + C_{з.п} + C_e + C_{об} \quad (6.1)$$

де C_M – витрати на зварювальні та допоміжні матеріали; $C_{з.п}$ – витрати на заробітну плату з відрахуваннями; C_e – витрати на технологічну електроенергію; $C_{об}$ – витрати на амортизаційні відрахування, поточне обслуговування та ремонт зварювального устаткування.

Для розрахунку технологічної собівартості річної програми випуску ТА задамося наступними вихідними даними:

Річна програма випуску виробів, шт. (т) 6000 (45).

Довжина швів на одному виробі, виконуваних:

зварюванням MIG, м 5,06;

зварюванням TIG, м 2,26.

Вартість устаткування, грн.:

зварювальний апарат Jasic TIG 180 P II (W153), 5 шт., 5x9275;

комплекс обладнання X8 MIG WELDER , 2шт. 2x398640

Ціна зварювальних матеріалів:

зварювальний дріт Св-04Х19Н11М3, діаметр 2 мм 288 грн/кг.

вольфрамовий електрод ЭВТ-15, діаметр 1,6 мм 60 грн/кг.

вольфрамовий електрод ЭВТ-15, діаметр 2 мм 59,85 грн/кг.

Газова суміш (95 – 98) % Ar + (2 -5) % CO₂ 93,75 грн/л.

Електроенергія для технологічних потреб 4,2 грн/кВт-год.

Середня трудомісткість складальних робіт 2,03 н- год.

Середня трудомісткість зварювальних робіт 1,40 н-год.

Середня годинна тарифна ставка складальника 115 грн/год.

Середня годинна тарифна ставка зварювальника 105 грн/год.

Розрахунки витрат будемо виконувати на 1 виріб та на річну програму.

Витрати на зварювальні матеріали розраховуємо за формулою

$$C_m = \sum_i H_i \cdot \Pi_i, \quad (6.2)$$

де H_i – норма витрат i -го матеріалу, кг/м; Π_i – вартість одиниці i -го матеріалу з урахуванням транспортно-заготівельних затрат, грн./кг.

Норма витрат на один метр шва:

$$H_i = G \cdot K, \quad (6.3)$$

де G – маса металу, наплавленого на 1 метр зварного шва; K – коефіцієнт переходу від маси наплавленого металу до витрати зварювальних матеріалів (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Значення коефіцієнту переходу від маси наплавленого металу до витрат зварювальних матеріалів

Спосіб зварювання	Зварювальний матеріал		
	Дріт	W-електрод	Газ
Автоматичне MIG у газовій суміші Ar + CO ₂	1,02	-	0,8 від витрат електродного дроту
TIG	-	0,04	50 л/м

Маса наплавленого металу на 1 метр зварного шва, виконуваного у нижньому положенні, розраховується як

$$G = 100F \cdot \gamma, \quad (6.4)$$

де F – площа поперечного перерізу шва, см² (див. розд. 2); γ – щільність металу, г/см³.

Витрату захисної газової суміші приймаємо відповідно до розрахованого режиму зварювання (розд. 2)

Витрати на заробітну плату розраховуємо як суму повних затрат на заробітну плату основних виробничих робочих, що беруть участь у виконанні технологічного процесу

$$C_{з.н} = \sum_{i=1}^n C_{з.н.i}, \quad (6.5)$$

де $C_{з.п.i}$ - повні витрати на заробітну плату [основну, додаткову та єдиний соціальний внесок (ЄСВ)] робочих при виконанні i -ої операції; n - число операцій технологічного процесу.

Повні витрати на заробітну плату робочих при виконанні i -ої операції розрахуємо за формулою

$$C_{з.п.i} = [(1,1 \dots 1,15) T_p \cdot \Gamma_{ст}] \cdot 1,22, \quad (6.6)$$

де T_p – трудомісткість виконання операції складання або зварювання, н-год.; $\Gamma_{ст}$ – середня годинна тарифна ставка, грн./год.

Трудомісткість складальних та зварювальних операцій розрахуємо для виготовлення головних складальних одиниць ТА - внутрішнього та зовнішнього корпусів та капсул для ТАМ, скориставшись формулами, наведеними в [13]:

Складання обичайок корпусів

$$T = [0,0077(s - 6) + 0,31] \cdot 1,1, \quad (6.7)$$

де s товщина обичайки, мм; 1,1 – коефіцієнт, що враховує довжину обичайки, яка менше 1 м.

Складання нижнього денця з обичайкою або з трубкою капсули

$$T = [0,016(s - 6) + 0,37] \kappa, \quad (6.8)$$

де $\kappa = 1,4$ – коефіцієнт, що враховує сферичну форму денця корпусу; $\kappa = 1$ – для плоского денця капсули.

Складання верхнього денця з обичайкою або з трубкою капсули

$$T = [0,016(s - 6) + 0,37] \kappa \cdot \kappa_1, \quad (6.9)$$

де $\kappa = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує встановлення підкладної формуючої підкладки при виготовленні корпусів.

Трудомісткість зварювання 1 м шва розраховуємо за формулою

$$T_{шк} = T_o K_{заг}, \quad (6.10)$$

де T_o - основний час – час горіння дуги та наплавлення металу; $K_{заг}$ – загальний коефіцієнт, що враховує допоміжний та підготовчо-заклучний час,

					КР.131.6121м. 06.06.ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{заг}} = 1,25.$$

Основний час при однопрохідному зварюванні

$$T_o = \frac{1}{v_{\text{зв}}}, \quad (6.11)$$

де $v_{\text{зв}}$ - швидкість зварювання (див. розд.2).

Результати розрахунку трудомісткості складально-зварювальних робіт наведені в табл.3.1.

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо як

$$C_e = W \cdot \text{Ц}_e, \quad (6.12)$$

де W - повні витрати електроенергії одним зварювальним постом, кВт-год.; Ц_e – вартість 1 кВт-год. електроенергії, грн.

Витрати електроенергії на 1 пог. м шва

$$W = \frac{U_d \cdot I_z}{\eta \cdot 1000} \cdot \tau + W_0 (\tau_1 - \tau), \quad (6.13)$$

де U_d - напруга дуги, В; I_z - зварювальний струм, А; η - ККД зварювального поста, приймаємо $\eta = 0,65$; W_0 – потужність, що витрачається джерелом живлення під час холостого ходу, приймаємо $W_0 = 2,5$ кВт; τ – час горіння дуги (основний час); $\tau_1 = \frac{\tau}{K_n}$ - повний (оперативний) час зварювання з урахуванням коефіцієнту K_n використання зварювального поста, орієнтовно для зварювання у цехових умовах приймаємо $K_n = 0,5$.

Загальні витрати на амортизаційні відрахування та поточний ремонт зварювального обладнання розраховуємо за формулою

$$C_{\text{об}} = \sum_i (C_{ai} + C_{pi}), \quad (6.14)$$

де C_{ai} та C_{pi} - амортизаційні відрахування та витрати на поточний ремонт i -го виду обладнання відповідно.

$$C_{ai} = \frac{\sum_i \text{Ц}_i \cdot H_{ai}}{100}, \quad (6.15)$$

$$C_{pi} = \frac{\sum_i \text{Ц}_i \cdot H_{pi}}{100}, \quad (6.16)$$

					КР.131.6121м. 06.06.ПЗ	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_i , H_{ai} , H_{pi} – вартість, норма амортизаційних відрахувань та норма витрат на поточний ремонт i -го виду обладнання відповідно (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Норми амортизаційних відрахувань та затрат на поточний ремонт обладнання

Група обладнання	Норма відрахувань у % до балансової вартості	
	амортизаційних H_a	на поточний ремонт H_p
Джерела живлення для зварювання TIG	12,5...16,7	10...20
Установки для зварювання MIG	11,0...16,7	

Розрахунок витрат на зварювальні матеріали

1.1. Електродний дріт та неплавкі електроди

Зварювальний дріт Св-04Х19Н11М3:

витрати на один метр шва

$$H_{\text{св-04X19H11M3}} = 100 \cdot 0,13 \cdot 7,95 \cdot 1,02 = 105 \text{ г} = 0,1 \text{ кг.}$$

Витрати на зварювальний дріт Св-04Х19Н11М3 на 1 виріб

$$C_{\text{св-04X19H11}} = 0,1 \cdot 5,06 \cdot 288 = 145,73 \text{ грн.}$$

Неплавкий електрод ЭВТ-15 з урахуванням втрат на розрізання, заточку та недопалки (до 30 %) при товщині зварюваного металу до 3 мм [34]

$$H_{\text{ЭВТ-15}} = 0,043 \text{ кг/м.}$$

Витрати на неплавкий електрод ЭВТ-15 на 1 виріб

$$C_{\text{ЭВТ-15}} = 0,043 \cdot 2,26 \cdot 60 = 5,83 \text{ грн.}$$

1.2. Захисний газ

Витрати газової суміші Ar + CO₂ на 1 м шва, приймаємо, з урахуванням попередньої та після зварювальної продувки, у середньому [34]

$$H_{\text{газ}} = 40 \text{ л/м.}$$

Витрати на газову суміш на 1 виріб

$$C_{\text{газ}} = 40 \cdot 5,06 \cdot 93,75 = 18974,40 \text{ грн.}$$

Витрати на аргон на 1 виріб

$$C_{\text{Ar}} = 4 \cdot 2,26 \cdot 90 = 813,60 \text{ грн.}$$

В цілому, витрати на зварювальні матеріали

$$C_m = 145,73 + 5,83 + 18974,40 + 813,60 = 19939,56 \text{ грн.}$$

2. Витрати на заробітну плату

Повні витрати на заробітну плату робочих основних професій на 1 виріб:
складальники

$$C_{з.п.ск} = 1,15 \cdot 2,03 \cdot 115 \cdot 1,22 = 327,53 \text{ грн.}$$

зварювальники

$$C_{з.п.зв} = 1,15 \cdot 1,40 \cdot 105 \cdot 1,22 = 206,24 \text{ грн.}$$

В цілому, витрати на заробітну плату

$$C_{зп} = 327,53 + 206,24 = 533,77 \text{ грн.}$$

3. Витрати на технологічну електроенергію

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо як суму витрат на MIG та TIG-зварювання з урахуванням відповідних витрат енергії

Витрати електроенергії на 1 пог. м шва при MIG-зварюванні

$$W_{MIG} = \frac{28 \cdot 250}{0,65 \cdot 1000} \cdot 0,03 + 2,5(0,05 - 0,03) = 0,37 \text{ кВт;-- год.}$$

витрати електроенергії на 1 пог. м шва при зварюванні TIG (у середньому)

$$W_{TIG} = \frac{10 \cdot 30}{0,5 \cdot 1000} \cdot 0,08 + 2,5(0,13 - 0,08) = 0,17 \text{ кВт;.- год.}$$

Витрати на технологічну електроенергію при зварюванні MIG на 1 виріб

$$C_{MIG} = 0,37 \cdot 4,2 \cdot 2,80 = 4,35 \text{ грн;}$$

Витрати на технологічну електроенергію при зварюванні TIG на 1 виріб

$$C_{TIG} = 0,17 \cdot 4,2 \cdot 2,25 = 1,61 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на електроенергію для зварювання на 1 виріб

$$C_e = 4,35 + 1,61 = 5,96 \text{ грн.}$$

4. Розрахунок витрат по обладнанню

4.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань по обладнанню на 1 виріб:

зварювальний апарат Jasіc TIG 180 P II (W153), 5 шт.

					КР.131.6121м. 06.06.ПЗ	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{TIGa} = \frac{5 \times 9275 \cdot 15}{100 \cdot 6000} = 1,16 \text{ грн},$$

комплекс обладнання X8 MIG WELDER , 2 шт

$$C_{MIGa} = \frac{2 \times 398640 \cdot 16}{100 \cdot 6000} = 21,26 \text{ грн};$$

Загальні амортизаційні відрахування по обладнанню

$$C_a = 1,16 + 21,26 = 22,42 \text{ грн.}$$

4.2. Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання на 1 виріб:

зварювальний апарат Jasic TIG 180 P II (W153), 5 шт.

$$1. \quad C_{TIGp} = \frac{5 \times 9275 \cdot 15}{100 \cdot 6000} = 1,16 \text{ грн},$$

комплекс обладнання X8 MIG WELDER , 2 шт

$$C_{MIGp} = \frac{2 \times 398640 \cdot 16}{100 \cdot 6000} = 21,26 \text{ грн};$$

Загальні витрати на ремонт обладнання

$$C_p = 1,16 + 21,26 = 22,42 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків статей витрат та технологічної собівартості складально-зварювальних робіт зведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 - Зведені витрати на
собівартість складання і зварювання ТА

Найменування статей витрат	Значення показника, грн.	
	на одиницю продукції	на річну програму
Річна програма випуску виробів	-	6000
Зварювальні матеріали	19939,56	119637360
Заробітна плата	533,77	3202620
Електроенергія	5,96	35760
Амортизаційні відрахування по обладнанню	22,42	134520
Витрати на поточний ремонт обладнання	22,42	134520
Технологічна собівартість робіт	20524,13	123144780

Висновок

Економічні розрахунки показали що собівартість складально-зварювальних робіт одиниці автомобільного теплового акумулятора за розробленою технологією зварювання складає 20524,13 грн., річної програми – 123144780 грн. Переважна частка технологічної собівартості (близько 97 %) припадає на зварювальні матеріали, зокрема на захисну газову суміш $Ar + CO_2$.

					КР.131.6121м. 06.06.ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

1. Розроблена технологічний процес складання і зварювання удосконаленої конструкції автомобільного теплового акумулятора зі сталі 12X18H10T. Тривалість технологічного процесу становить близько 3,4 год., що забезпечує випуск річної програми ТА в кількості 6000 шт. Для зварювання вузлів ТА вибрано два способи: MIG – для автоматичного зварювання корпусів акумулятора, TIG без присадного металу - для зварювання капсул з ТАМ і коротких швів гідроарматури.

2. Як зварювальні матеріали рекомендовано: для автоматичного зварювання MIG - дріт марки Св-04Х19Н11М3 діаметром 2 мм та газову суміш: Ar (95 – 98) % + (2 -5) % CO₂; для зварювання TIG – аргон та торовані вольфрамові електроди марки ЭВТ-15 діаметром 1,6 мм та 2 мм.

3. Вибрані та розраховані параметри режимів зварювання забезпечують двофазну структуру наплавленого металу: аустеніт + 8 % фериту, стійку проти гарячих тріщин. Для зварювання на визначених режимах вибрано сучасне синергетичне устаткування: зварювання MIG пропонується виконувати за допомогою комплексу обладнання X8 MIG WELDER, зварювання TIG - інвертором Jasic TIG 180 P II (W153).

4. Виконано теоретичне дослідження температурних полів при зварюванні TIG заправних трубок капсул, заповнених ТАМ, і встановлено, що для запобігання потрапляння киплячого лужного розчину у зону зварювання слід забезпечити відвід тепла від опресованого торця заправної трубки шляхом встановлення затискних мідних притискачів.

5 Розрахунком очікуваних зварювальних деформацій внутрішнього та зовнішнього корпусів ТА підтверджена необхідність зварювання корпусів в умовах жорсткого закріплення зварюваних крайок.

6. На зразку, подібному до корпусу ТА, експериментально підтверджено, що автоматичне MIG-зварювання на розрахованому режимі забезпечує потрібну структуру та твердість металу зварного з'єднання.

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Металографічні дослідження з'єднання денця з трубкою капсули, виконаного TIG-зварюванням показали, що для забезпечення високої надійності роботи ТА слід посилити вимоги до заготовок на етапі вхідного контролю якості металу.

7. Запропоновані методи контролю якості зварювання, які відповідають вимогам ДНАОП 0.00-1.07-94 “Правила пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском”.

8. Для розміщення серійного виробництва по виготовленню ТА вибрана компонована схема складально-зварювальної дільниці у прольоті цеху з поздовжнім напрямком виробничого потоку. Технологічний план дільниці передбачає розміщення виробництва у прольоті з параметрами: ширина прольоту $B_{\text{техн}} = 18$ м; довжина дільниці $L = 12$ м; висота від підлоги до низу несучих конструкцій $H_{\text{техн}} = 7,2$ м.

9. Економічні розрахунки показали, що собівартість складально-зварювальних робіт одиниці автомобільного теплового акумулятора за розробленою технологією зварювання складає 20524,13 грн., річної програми – 123144780 грн. Переважна частка технологічної собівартості (близько 97 %) припадає на зварювальні матеріали.

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел інформації

1. Левенберг В. Д. Аккумуляирование тепла. / В.Д. Левенберг, М.Р. Ткач, В.А. Гольстрем. – К.: Техника, 1991. - С. 49–74.
2. [http:// www.findpatent.ru/patent/214/21-40046.html](http://www.findpatent.ru/patent/214/21-40046.html).
3. <https://tech.wikireading.ru/13662>.
4. <https://os1.ru/article/7058-termos-dlya-motora>.
5. Мозговой А.Г. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты. / А.Г. Мозговой, Э.Э. Шпильрайн, М.А. Дибиров и др. - М.: ИВТАН АН СССР, 1990. № 2 (82). - 105 с.
6. ДСТУ EN 10088-2:2010 Сталі нержавкі. Частина 2. Лист і стрічка з корозійнотривких сталей загальної призначеності. Технічні умови постачання (EN 10088-2:2005, IDT). Чинний від 2012-01-01.
7. Каховский Н.И. Электродуговая сварка сталей. Справочник. / Н.И. Каховский, В.Г. Фартушный, К.А. Ющенко – К.: Наукова думка, 1975. – 480 с.
8. Технология сборочно-сварочных процессов в судостроении: Учеб. пособие / Квасницкий В.Ф., Ермолаев Г.В., Драган С.В. и др.: Под ред. Квасницкого В.Ф. – Николаев: НКИ, 1990.
9. Общетеchnический справочник. / Под ред. Скороходова Е.А. – М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
10. <https://westa.kiev.ua/ua/standarty/marki-stali/stal-12x18h10t>.
11. <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-12h18n10t>.
12. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением. / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.- 432 с.
13. Драган С.В. Технологія зварювання суднових корпусних конструкцій (проекування і організація): навчальн. посібник. / С.В. Драган, Ж.Г. Голобородько, І.В. Сімутенков; під заг. ред. С.В. Драгана. – Миколаїв: НУК, 2017. – 328 с.

14. Напруження та деформації при зварюванні і паянні: підручник / Л.М. Лобанов, Г. В. Єрмолаєв, В.В. Квасницький та ін.; за заг. ред. Л.М. Лобанова. – Миколаїв: НУК, 2016. – 248 с.

15. Куркин С.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учеб. для вузов. / С.А. Куркин, Г.А. Николаев. – М.: Высшая школа, 1991.- 398 с.

16. Куркин С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. Атлас. / С.А. Куркин, В.М. Ховов, А.М. Рыбачук - М.: Машиностроение, 1989, - 328 с.

17. Красовский А.И. Основы проектирования сварочных цехов. Учебник. – 4-е изд., перераб. / А.И. Красовский - М.: Машиностроение, 1980. – 319 с.

18. <http://www.avers-steel.ru/artcl/svarka.html>.

19. ДСТУ EN ISO 9692-1:2016 (ГОСТ 14771-76) Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 1. Ручне дугове зварювання, зварювання в захисному газі, газове зварювання.

20. ДСТУ ГОСТ10157: 2019 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия (ГОСТ 10157-2016, IDT).

21. ОСТ5.9126-83. Сварка в судостроении и судоремонте.

22. ГОСТ 2246-70. Дріт сталевий зварювальний. Технічні умови.

23. Голобородько Ж.Г. Основы технологии дугового зварювання суднових конструкцій: навч. посібник / Ж.Г. Голобородько, С.В. Драган, В.В. Квасницький; під заг. ред. С.В. Драгана. – Миколаїв : НУК, 2013. – 380 с.

24. <https://build.novosibdom.ru/book/export/html/296>.

25. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. / Н.Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

26. Теория сварочных процессов / Под ред. Фролова В.В. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

27. <https://studbooks.net/2278673/informatika/quattro>.

					КР.131.6121м. 06.00.ПЗ	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Казимиров А.А. Расчёт температурных полей в пластинах при электросварке плавлением / А.А. Казимиров, А.Я. Недосека, Л.И. Лобанов, И.С. Радченко. – К.: Наукова думка, 1968.

29. Лебедев Ю.М. Расчёты тепловых процессов при сварке: Методические указания к выполнению курсовой работы. / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.М. Самохин. – Николаев: НКИ, 1991.

30. <https://vior.com.ua/tig-180-p-ii-w153-312.html>.

31. https://kempfi.in.ua/ru/catalog/visokie_technologii/223.htm.

32. ДНАОП 0.00-1.07-94 Правила пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском.

33. ГОСТ 14782-86 Контроль неруйнівний. З'єднання зварні. Методи ультразвукові.

34. Энциклопедия по машиностроению XXL. В 40 томах. Том III-4.Технология сварки,пайки и резки / Ред. Совет К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1994. - 2015. – 536 с.

35. Ковтунов А.И. Проектирование сварочных цехов : практикум / А.И. Ковтунов, Д.И. Плахотный. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 55 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/64/1/Kovtunov%201-56-14%20-%20eui-Z.pdf>.

36. <https://pto-zavod.com/ua/p9884571-kran-mostovoj-elektricheskij.html>.

37. Красовский А.И. Основы проектирования сварочных цехов: Учебник для вузов по специальности “Оборудование и технология сварочного производства”. - 4-е изд., перераб. / А.И. Красовский. – М.: Машиностроение, 1980. – 319 с.

38. Кулагина М.А. Основы технологического проектирования сборочно-сварочных цехов. / М.А. Кулагина, Н.А. Киселева. – Л.: Судостроение, 1977.- 215 с.

