МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему **«Розробка технології ремонту ковша фронтального навантажувача ТО-18Б зварюванням»**

Виконав: студент групи Маш-42сп

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Кучак Олег Володимирович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович
(Прізвище та ініціали)

Львів-Дубляни 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

Освітній ступінь «Бакалавр»
Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
Машинобудування
(назва кафедри)

_____
(підпис)
професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(прізвище та ініціали)

“____” _____20__року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

_____Кучаку Олегу Володимировичу_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка технології ремонту ковша фронтального навантажувача ТО-18Б зварюванням»

Керівник роботи _____к.т.н., доцент Швець Олексій Петрович_____
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЛНУП від 25 лютого 2025 року №123/к-с

2. Строк подання студентом роботи до“___”_____20__ року

3. Вихідні дані до робот: довідкова література, характеристики конструкційних та зварювальних матеріалів, робочі креслення ковшів навантажувачів, каталоги зварювальних апаратів та зварювальної оснастки, методики розробки технологічних процесів, типові технологічні процеси електродугового зварювання, методики розрахунку режимів зварювання, інструкції з охорони праці, довідкові дані з нормування праці та методики визначення затрат на виробництво.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
4.1. Аналіз стану питання в теорії і практиці; 4.2. Конструктивна частина; 4.3. Технологічна частина; 4.4. Охорона праці; 4.5. Техніко-економічна оцінка ефективності проектної технології.

5. Перелік графічного матеріалу:
Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації в середовищі PowerPoint обсягом 10-12 листів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Швець О.П. доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М. доц. каф. фізики та інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання "____" _____20__ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Аналіз стану питання в теорії і практиці	21.03.25	
2	Конструктивна частина	04.04.25	
3	Технологічна частина	25.04.25	
4	Охорона праці	02.05.25	
5	Техніко-економічна оцінка ефективності проектної технології	16.05.25	
6	Оформлення пояснювальної записки	30.05.25	
7	Оформлення графічної частини	16.06.25	

Студент _____ Кучак О. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Швець О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.791

Кучак О. В. «Розробка технології ремонту ковша фронтального навантажувача ТО-18Б зварюванням». /Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького, 2025. 62 с.

Проведено аналіз конструкцій ковшів фронтальних навантажувачів, умов їх роботи та можливі дефекти. Проаналізовано існуючі технології ремонту робочого обладнання дорожньої та іншої спецтехніки. Запропоновано технологію ремонтного зварювання під час виправлення тріщин у зварних швах, днищі та боковинах ковша фронтального навантажувача ТО-18. Розроблено рекомендації з підготовки тріщин до заварювання. Розраховано необхідні параметри технологічного процесу механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу. Розглянуто питання охорони праці під час виконання зварювальних робіт. Визначено техніко-економічні показники ефективності виконання запропонованого технологічного процесу ремонтного зварювання.

Табл. 14; рис. 21; бібліогр. джерел 23.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ	7
1.1	Опис об’єкта ремонту	7
1.2	Аналіз можливих несправностей ковшів фронтальних навантажувачів	9
1.3	Аналіз існуючої технології ремонтного зварювання ковшів	11
	Висновки за розділом	16
2	КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	17
2.1	Опис конструкції ковша навантажувача ТО-18	17
2.2	Характеристика матеріалу виробу	18
2.3	Аналіз основних видів дефектиів ковша навантажувача	21
	Висновки за розділом	22
3	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23
3.1	Підготовка дефектів і пошкоджень ковша до ремонту зварюванням	23
3.2	Технологічні особливості заварювання тріщин	27
3.3	Зміст технологічного процесу ремонту ковша зварюванням	30
3.4	Обґрунтування вибору способу ремонтного зварювання	32
3.5	Опис проектного технологічного процесу ремонту ковша навантажувача зварюванням	34
3.6	Розрахунок режимів та розмірів шва під час механізованого електродугового зварювання	39
	Висновки за розділом	45
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	56
4.1	Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт	46
4.2	Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків	48
4.3	Рекомендації щодо покращення безпеки праці	50
	Висновки за розділом	50
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ	

ПРОЕКТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ 51
5.1 Вихідні дані для виконання економічної оцінки пропонованих технічних рішень 51
5.2 Розрахунок фонду часу роботи устаткування 54
5.3 Розрахунок штучного часу 54
5.4 Собівартість пропонованої технології 56
Висновки за розділом 58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 59
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК 60

ВСТУП

В даний час в Україні стрімко розвивається будівництво дорожніх магістралей. Це призводить до збільшення навантажень на дорожньо-будівельну техніку та посилює знос її елементів. Як показує практика, приблизно 75% запасних частин дорожньо-будівельної техніки, які були вибраковані під час проведення капітального ремонту, можуть бути повторно використані за умови проведення їхнього ремонту.

Постачання новими запасними частинами передбачає витрату істотно вищі, ніж витрати на ремонт зношених деталей машин. У зв'язку з цим актуальним стає збільшення ступеня вторинного використання зношених деталей, які можуть бути застосовані в техніці та агрегатах замість нових запасних частин.

Як показує статистика дефектів деталей будівельної техніки, на зменшення товщини припадає близько 52% всіх вибракованих деталей, порушення геометрії і форми – 13 %, на тріщини та злами - близько 9%.

При прокладанні доріг використовується спеціалізована будівельна техніка, серед якої широке застосування отримали фронтальні навантажувачі, які дозволяють виконувати вантажно-розвантажувальні роботи дрібнокускових та сипучих матеріалів. Також за допомогою універсального ковша є можливість формування поверхонь, складання сміття, засипання траншей.

Інтенсивна експлуатація призводить до прискореного зносу ковша, підтримка працездатності якого після закінчення середньої тривалість експлуатації можлива тільки завдяки постійній ремонтного зварювання та наплавлення. У ході експлуатації спостерігається нерівномірне зношування елементів ковша. Тому виправданим є відновлення зношених елементів ковша, що дозволяє отримати суттєву економію в порівнянні із заміною цих елементів або всього ковша. На підставі вищевикладеного слід визнати актуальність теми кваліфікаційної роботи..

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ І ПРАКТИЦІ

1.1 Опис об’єкта ремонту

Фронтальні навантажувачі – це вид спеціальної техніки, оснащеної одним ковшем, який розміщують спереду машини. Їх призначення полягає у виконанні різноманітних завдань, таких як захоплення, переміщення та навантаження вантажів у транспортні засоби, майданчики чи інше обладнання.

Цей тип навантажувача можна застосовувати для таких технологічних операцій, як:

- транспортування різних матеріалів та вантажів;
- завантаження вантажів у транспортні засоби;
- виконання робіт з розробки ґрунту (аналогічно до роботи бульдозера чи екскаватора), копання котлованів, формування майданчиків, а також виконання кар'єрних операцій.

Т-156Б-09-03

JCB 455 ZX

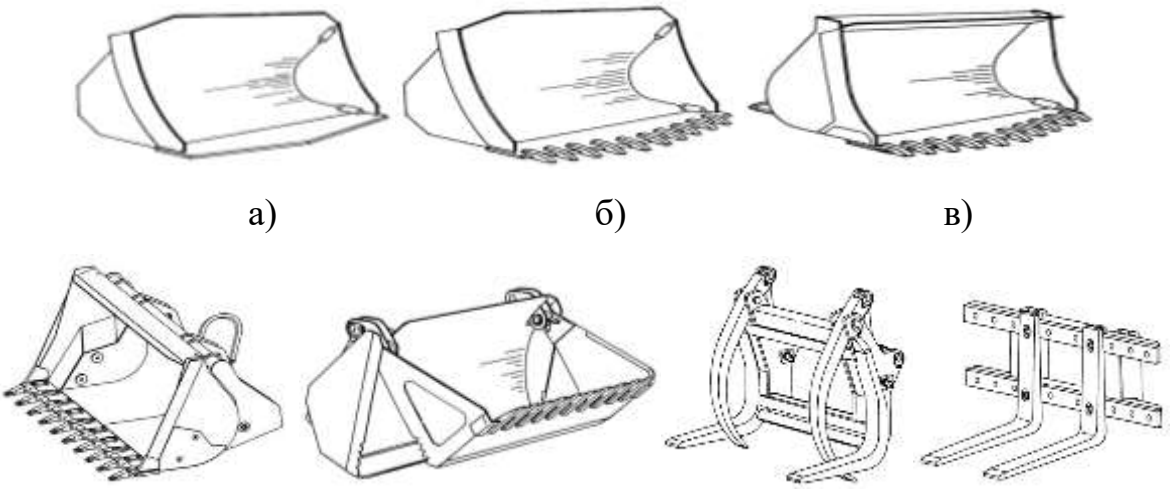
ТО-18

LiuGong 835H

Рисунок 1.1 – Фронтальні навантажувачі

Вітчизняні та світові виробники пропонують різні типи фронтальних навантажувачів. Для стандартних завдань рекомендуються моделі з вантажопідйомністю від 1,8 до 8 тон. Для роботи з важкими вантажами вибрають навантажувачі з вантажопідйомністю від 26 до 30 тон.

В залежності від сфери застосування фронтального навантажувача на ньому встановлюється різноманітне навісне обладнання. Основним робочим органом є ковші об'ємом від 1,8 до 8 м^3. Також на замовлення клієнтів виробники можуть комплектувати навантажувачі різноманітними захватами та іншим спеціальним навісним обладнанням [23].



а) б) в)

г) д) е) є)

Рисунок 1.2 – Робоче обладнання фронтального навантажувача
а – ківш для каміння; б – ківш для каміння із зубами; в – ківш зривний;
г – ківш для високого завантаження; д – ківш двощелепний
(багатоопераційний); е – захват; є – вила

Деякі моделі фронтальних навантажувачів, які можуть працювати з різноманітним обладнанням оснащуються швидкороз'ємнеим з'єднання. Це пристрій, встановлений на стрілі навантажувача та призначене для закріплення і швидкої заміни робочого обладнання. Пристрій швидкороз'ємного з'єднання представляє собою зварну раму, обладнану зачепами для кріплення робочого обладнання та два установочні шворні, що

переміщуються гідроциліндрами. З стрілою навантажувача він з’єднаний шарнірно за допомогою шкворневих з'єднань. Керування швидкороз'ємним з'єднанням здійснюється з кабіни оператора.

1.2 Аналіз можливих несправностей ковшів фронтальних навантажувачів

Робочий орган спеціальної техніки піддається значному ударному та абразивному впливу, які викликані фізичним контактом із сипкими матеріалами, ґрунтом та сколами гірських порід. Це може викликати різноманітні дефекти:

- зміну форми з’єднувальних елементів та/або технологічних отворів;
- деформацію стінок ковша як у внутрішній так і в зовнішній його частині;
- відхилення від заводської геометрії, коли фронтальна або бічна сторона ковша зміщується від його центральної осі.

Рисунок 1.3 – Несправності ковшів навантажувачів

При виявленні будь-якого з дефектів необхідний ремонт ковша навантажувача, а саме потрібно виконати футерування (покрити зношені поверхні захисним шаром), заварити тріщини, замінити днище, усунути дефекти вух, відновити початкову форму. Ремонтні роботи мають виконуватися професійними майстрами з використанням фрезерних, розточувальних та інших верстатів, пресів та зварювального обладнання. Після закінчення робіт при потребі виконується абразивне зачищення, шліфування та фарбування відремонтованих елементів.

При контакті з твердим або промерзлим ґрунтом, фрикційними матеріалами, осколками твердих порід ножі, зуби та пальці ковшів швидко стираються та викривляються. Це призводить до погіршення якості виконуваних робіт і критичного порушення структури ріжучої кромки робочого органу, а також знижує продуктивність спецтехніки.

Своєчасне проведення аналізу пошкоджень дозволяє повернути функціональність навантажувача та мінімізує фінансові втрати від простою техніки. При легких або середніх несправностях можливе повне відновлення вихідної геометрії елементів без їх заміни шляхом правки чи наплавлення. За наявності серйозних дефектів слід замінювати ножі, зуби або пальці.

Капітальний ремонт ковша проводять у тому випадку, якщо [13]:

- поломка може стати загрозою безпеці машиніста під час виконання поставлених завдань;
- несправність переростає у велику проблему із ймовірністю втрати працездатності техніки;
- пошкодження не піддається базовому відновленню.

Капітальний ремонт включає не тільки виконання модернізаційних робіт комплексного типу, а й повну заміну зношених комплектуючих. Такий вид ремонту виконується лише у спеціалізованих СТО. Щоб уникнути витратного та екстреного капітального ремонту, потрібно вчасно звертати увагу на дрібні несправності та виконувати поточний та середній ремонти.

1.3 Аналіз існуючої технології ремонтного зварювання ковшів

Базова технологія ремонтного зварювання ковша фронтального навантажувача передбачає послідовне виконання операцій згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.4. Основними операціями технологічного процесу ремонту тріщини в ковші є зачистка тріщини від бруду та фарби, візуальна оцінка тріщини, розробка тріщини, заплавлення розроблених кромок та контроль якості.

Під час виконання першої операції (зачистка тріщини) необхідно зачистити основний метал на ширину 20...25 мм із застосуванням металевої щітки або шліфувальної машинки 323].

Далі слід візуально виявити наявність тріщини, її довжину та розташування в конструкції, відзначити кінці тріщини. При необхідності положення кінців тріщини може бути визначено із застосуванням методів неруйнівного контролю (проникні розчини, травлення, магнітна дефектоскопія).

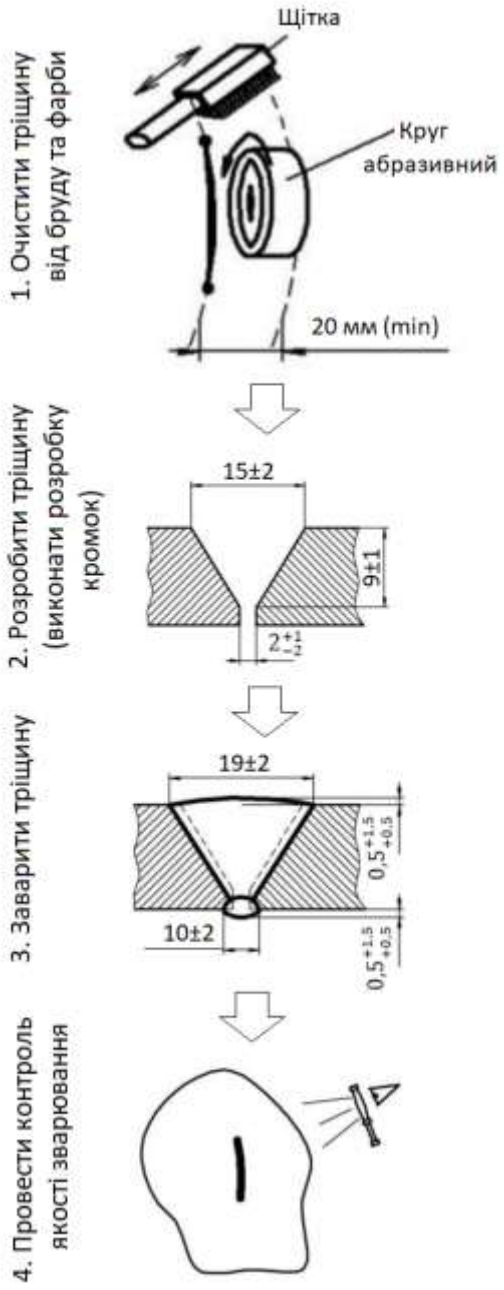


Рисунок 1.4 – Операції існуючого технологічного процесу ремонтного зварювання

Під час оцінки ремонтопридатності тріщин слід виміряти довжину тріщини та її положення [17]:

- якщо довжина тріщини становить понад 100 мм, та тріщина розташована паралельно зварному шву, то відстань між тріщиною і зварним швом має бути менше 100 мм;

- якщо довжина тріщини становить менше 100 мм, і тріщина розташована паралельно зварному шву, то відстань між тріщиною і зварним швом має бути не менше 20 мм (але не менше товщини основного металу);

- не допускається перетин тріщиною зварного шва.

Після визначення положення кінців тріщини слід виконати наскрізні отвори, діаметр яких повинен становити 7 мм. При цьому центр отвору повинен знаходитись на відстані половини діаметра свердла від кінця тріщини. Для засвердлювання кінців тріщини застосовується електричні дрилі або свердлильний верстат на магнітній підставці МС-36, який показаний на рис. 1.5.

а) б)

Рисунок 1.5 – Устаткування для підготовки тріщин під заварювання

а - кутова шліфувальна машина ІЕ-2106; б - свердлильний верстат на магнітній на підставі МС-36

Другу операцію (розробку кромок) виконують по всій довжині тріщини. Обробка кромок проводиться під зварний шов С17, С18 або С23 згідно ДСТУ ISO 5817:2016. Зону обробки тріщини очищають від мастила, окалини, бруду зі всіх сторін на ширину 20...25 мм. Вибір дефектного місця здійснюють з використанням стругача К-3000 (рис. 1.6,а) та ручної кромкофрезерувальної машини ЕКФ-300 (рис. 1.6,б).

а) б)

Рисунок 1.6 – Устаткування для обробки тріщини

а - пальник для повітряно-дугового стругання; б - кромкофрезерувальна машина ЕКФ-300

Третю операцію (заварювання) виконують методом ручного дугового зварювання. Для зварювання застосовують електроди ДСК-50, матеріал якого близький до матеріалу, з якого виготовляють ковші спецтехніки. Хімічний склад матеріалу електрода представлений у таблиці 1.1, а механічні властивості наплавленого ним металу – в таблиці 1.2 [3].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад металу шва, наплавленого електродами ДСК-50

Марка електрода	C	Mn	Si	Ni	S	P
ДСК-50	до 0,1	0,8...1,0	0,4...0,55	-	до 0,03	до 0,03

Таблиця 1.2 – Механічні властивості металу шва, наплавленого електродамиДСК-50

Марка електрода	Межа текучості	Межа міцності	Відносне видовження	Ударна в'язкість KCV	
	σ_T, Н/мм^2	σ_B, Н/мм^2	δ, %	+20°С, Дж/см^2	-40°С, Дж/см^2
ДСК-50	430	510	20	196	137

Прокалювання електродів виконують відповідно до зазначених на упаковці режимами. Після прокалювання електродів їх слід негайно помістити в резервну піч, розігріту до 80...100 °С. Електроди, які використовуються для зварювання, виймаються з печі безпосередньо перед зварюванням. Якщо протягом зміни не були використані всі електроди, то залишок електродів слід ще раз прокалити. При цьому загальна кількість прокалок електрода до його використання не повинна перевищувати трьох, інакше електроди вважаються непридатними для зварювання.

Для зварювання можна застосовувати випрямляч зварювальний ВД-252 (рис. 1.7).

Рисунок 1.7 – Випрямляч зварювальний ВД-252

З метою уникнення перегріву основного металу заповнення кромок (формування шва) проводять валиками за кілька проходів. При заповненні слід виконати плавний перехід від основного до наплавленого металу. Тріщина має бути повністю заварена, переривання процесу ремонтного зварювання неприпустимо. Отвір в кінці тріщини не заплавляють. Після Заварювання тріщини слід зачистити шов врівень з основним металом.

Четверту операцію (контроль якості зварювання) виконують шляхом проведення візуально-вимірювального контролю (відповідно до РД 03-606-03).

Під час візуально-вимірювального контролю виконують перевірку зварних швів на відповідність форми та розмірів, відсутність недопустимих дефектів на їх поверхні. Об’єм візуально-вимірювального контролю – 100%. Під час ультразвукового контролю перевіряється відсутність недопустимих дефектів у зварному шві та навколошовній зоні. Об'єм ультразвукового контролю – 30% [10].

Не допускаються такі виявлені при візуально-вимірювальному контролі дефекти, як тріщини всіх видів та напрямків, непровари в корені шва та неповне проплавлення, пропали, несплавлення, поверхневі пори розміром понад 2,0 мм, підрізи глибиною понад 2,0 мм, зменшення катета кутового шва, увігнутість кореня шва понад 1,5 мм, напливи.

Для проведення візуально-вимірювального контролю застосовується обладнання, яке входить до комплекту, представленого на рис. 1.8.

Рисунок 1.8 – Устаткування для проведення візуально-вимірювального контролю

До складу ккомплекту контрольно-вимірювальних приладів входять: універсальний шаблон зварювальника УШЗ-3, штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 з глибиноміром, лінійка металева Л-300 (300 мм), лупи оглядові 4х та 7х,

лупа оглядова з підсвіткою 3,5 х, вимірювальна лупа ЛІЗ-10х, рулетка, інструкція РД 03-606-03, косинець металевий, набори щупів та радіус шаблонів, ліхтарик, маркер по металу, футляр для зберігання.

Аналіз базової технології зварювання із застосуванням ручного дугової зварювання штучними покритими електродами дозволив визначити її недоліки. Насамперед, слід зазначити малу продуктивність виконання зварювальних робіт. В даний час ресурс підвищення швидкості зварювання та наплавлення штучними електродами за рахунок призначення оптимальних режимів та зварювальних матеріалів повністю вичерпаний. Другим недоліком слід визнати роботу зварювальника у важких умовах, що призводять до виникнення професійних захворювань та змушують збільшувати витрати забезпечення безпеки персоналу. Третім недолік слід визнати низьку стабільність якості зварювання, яке в значній мірі залежить від професіоналізму та кондиції зварювальника. Четвертим недоліком слід визнати підвищену витрату електродного матеріалу на угар та розбризкування, а також на недогарки. Необхідність зміни електродів не тільки призводить до збільшення витрати зварювальних матеріалів, але й знижує продуктивність та якість зварювальних робіт.

Через численні недоліки ручного дугового зварювання штучними електродами дану технологію скрізь, де це можливо, замінюють більш продуктивними та перспективними методами зварювання.

Висновки за розділом

Значну кількість дефектів робочих органів спеціальної техніки, зокрема ковшів навантажувачі, ремонтують з використанням електродугового зварювання. Здебільшого в існуючих технологіях для цього застосовують ручне зварювання, яке є низькопродуктивним. Тому технологічний процес ремонтного зварювання потребує удосконалення.

2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкції ковша навантажувача ТО-18

Основним видом навісного обладнання навантажувача є універсальний ківш. Кріплення ковша на навантажувач здійснюється за допомоги пальців, які фіксують його на стрілі передньої піврами навантажувача. Сам ківш, представлений на рис. 2.1, є зварною металевою конструкцією та містить бічні стінки з ріжучими кромками, передню ріжучу частину та задню стінку. Кріплення ковша до стріла відбувається через вуха, які розташовані на задній стінці (днищі) [23].

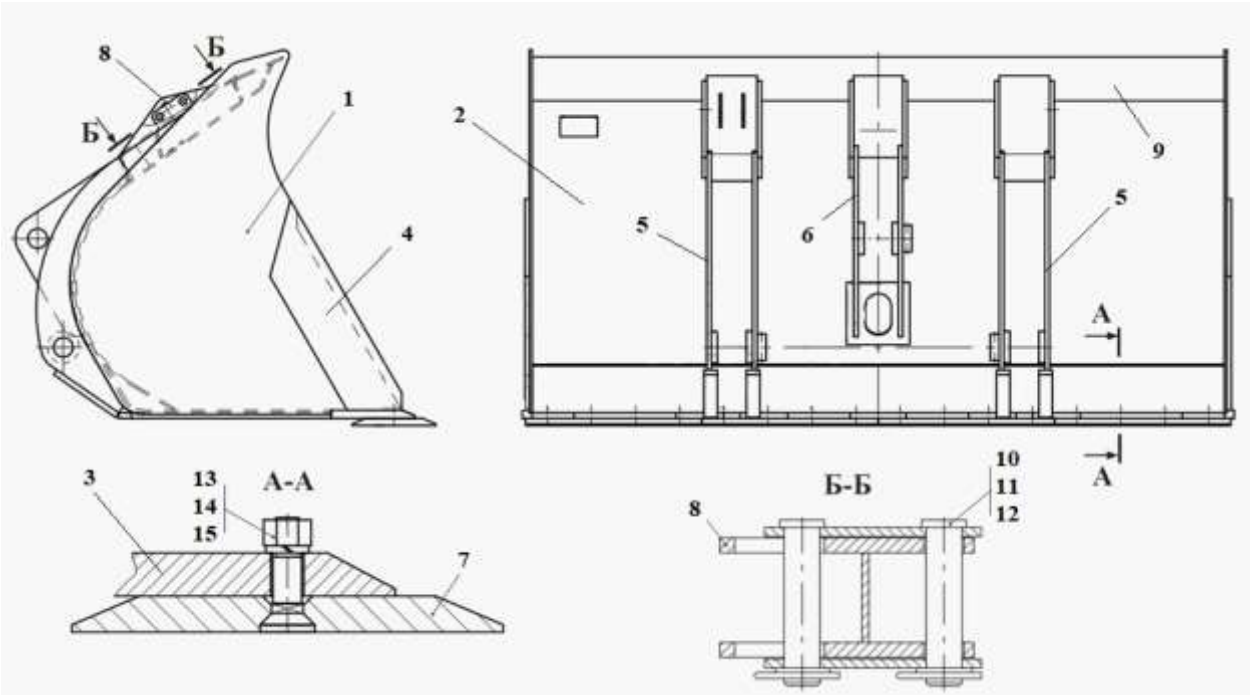
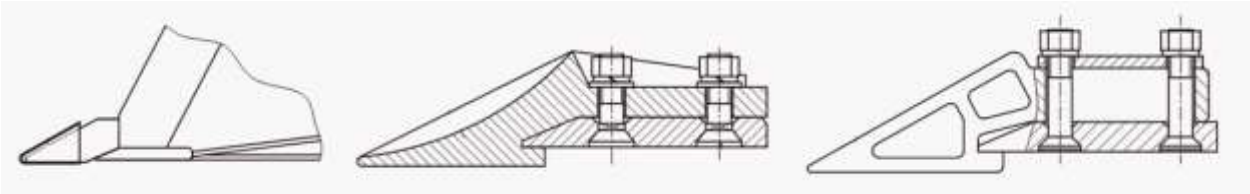


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд ковша фронтального навантажувача ТО-18 (ТО-18Б.30.00.000)

1 – боковина; 2 – днище; 3 – горизонтальний ріжучий профіль; 4 – бокорізи; 5 – провушини кріплення стріли підйому ковша; 6 – провушина кріплення важеля перекидання ковша; 7 – ніж; 8 – транспортний підвіс; 9 – короб жорсткості; 10-12 – елементи кріплення транспортного підвісу; 13-15 – елементи кріплення ножа



а) б) в)

Рисунок 2.2 – Особливості конструкції ковша навантажувача ТО-18

а) з приварними зубами (ТО-18Б.30.00.000.01);

б) зі змінними зубами (ТО-18Б.30.00.000.02);

в) зі змінними порожнистими зубами (ТО-18Б.30.00.000.01);

Зуби та ножі ковша є основними витратними елементами, які найбільше стираються. Зуби встановлюють на ківш залежно від сфери застосування навантажувача.

Вантажопідйомність ковша становить 3400 кг. Конструкція ковша розрахована на максимальне зусилля розриву 10,5 тон. Корисний об’єм ковша складає 1,9 м^3. Маса ковша становить 760 кг, висота – 1250 мм, ширина ріжучої кромки ковша - 2500 мм [23].

2.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення ковша застосовуються елементи зі сталі 15ХСНД, яка є конструкційною низьколегованою сталлю з хімічним складом та властивостями згідно з ДСТ 8541, представленими в таблиці 2.1 та таблиці 2.2.

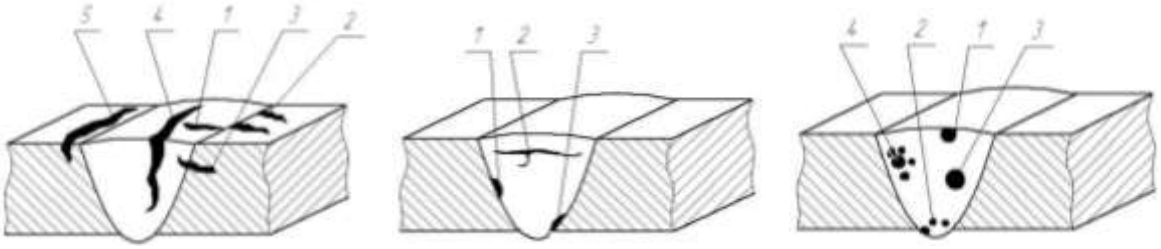
Таблиця 2.1 – Зміст хімічних елементів у сталі 15ХСНД

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
0,12-0,18	0,4-0,7	0,4-0,7	0,6-0,9	0,3-0,6	0,04	0,035	0,2-0,4

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі 15ХСНД

Твердість НВ	Межа міцності $\sigma_в$, МПа	Межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Відносне видовження δ, %	Відносне звуження ψ, %	Ударна в'язкість U кДж/см^2
220	740	640	20	68	176

Зварювання сталі 15ХСНД супроводжується утворенням гартованих структур у металі шва та навколошовній зоні. Для боротьби з цим явищем необхідно ретельно підбирати та дотримуватися параметрів режиму зварювання. Під час ремонтного зварювання виробів зі сталі 15ХСНД можуть виникати наступні дефекти [6, 13]: гарячі тріщини (рис. 2.3,а), непровари (рис. 2.3,б), пори (рис. 2.3,в).



а) б) в)

Рисунок 2.3 – Дефекти зварних швів сталі 15ХСНД

а) гарячі тріщини: 1, 2, 3 – поперечні тріщини; 4, 5 – поздовжні тріщини;

б) непровари: 1 – збоку; 2 – між валиками; 3 – в корені шва;

в) пори: 1 – поверхнева пора; 2 – у корені шва; 3 – одиночна пора;

4 – скупчення пор

Причиною виникнення гарячих тріщин є неправильна техніка зварювання, зокрема вибір параметрів режиму та ведення електрода, які викликають надмірно високу швидкість охолодження. Також гарячі тріщини утворюються, якщо термообробка виробу була проведена не відразу після зварювання, а через якийсь час і виріб встигає охолонути на повітрі. Причиною виникнення гарячих тріщин може бути наявність близько розташованого до зварного шва концентратора напружень. Також гарячі

тріщини утворюються через низьку якість основного металу і зварювальних електродів. Для того, щоб усунути утворення гарячих тріщин під час зварювання, слід виконувати зварювання за мінімальної довжини дуги посиленими валиками, поперечні коливання не потрібно накладати. Забороняється виведення кратерів на основний метал, самі кратери повинні бути на наплавленому металі і бути ретельно заплавленими та зашліфованими. Якщо виконувалось повторне збудження дуги, слід переконатися у відсутності гарячої тріщини, інакше необхідно видалити кратер із тріщиною механічним способом [5].

Причиною виникнення непроварів є неправильний вибір параметрів режиму зварювання, які можуть призвести до недостатньої погонної енергії. Підвищена швидкість зварювання також може призвести до недостатньої погонної енергії та викликати появу непроварів. Також непровари виникають через неправильне оброблення кромок або низьку якість їх виконання. Для того щоб усунути появу непроварів, слід забезпечити якісну підготовку кромок перед зварюванням. Якщо виконується багатопрохідне зварювання, необхідно ретельно зачищати опуклі валики. Необхідно також суворо дотримуватися параметрів режиму зварювання. У разі, якщо несплавлення доступне для повторного заварювання, слід зачистити корінь шва та повторно його заварити.

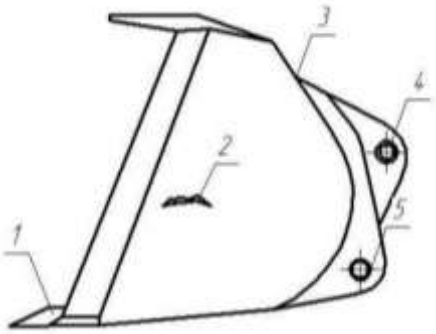
Причиною виникнення пор під час ремонтного зварювання виробів зі сталі 15ХСНД є неправильно проведене прокалювання електродів і низька якість підготовки кромок. Також пори можуть утворюватися при надмірному діаметрі електрода. Неправильне ведення електрода може викликати порушення захисту зварювальної ванни та перевищення швидкості зварювання, через які також утворюються пори.

Для того, щоб усунути пори під час ремонтного зварювання, слід виконувати прокалювання електродів відповідно до інструкції. Забороняється застосування електродів зі здутим або обсипаним покриттям. Ділянку з порами вирубують та переварюють.

2.3 Аналіз основних видів дефектиів ковша навантажувача

Ківш навантажувача під час роботи піддається впливу значних постійних та змінних навантажень. Дія цих навантажень призводить до виникнення дефектів, представлених у таблиці 2.3. До цих дефектів відноситься: деформація ковша (зміни його геометричних розмірів), зношування зварних з'єднань елементів ковша (утворення в зварних з'єднань тріщин), знос днища та бічних стінок ковша (виникнення тріщин), знос ріжучої частини (поломка зубів), зношування посадочних отворів елементів кріплення ковша до стріли навантажувача.

Таблиця 2.3 – Дефекти ковшів фронтальних навантажувачів, що виявляються

Ескіз ковша	Позиція дефекту	Вид дефекту	Спосіб визначення	Спосіб усунення
	1	Злам зуба	Візуальний огляд	Заміна зуба
	2	Тріщина бокової стінки	Візуальний огляд	Заварювання та накладання латок
	3	Тріщина зварного шва	Візуальний огляд	Зварювання
	4, 5	Знос отворів	Вимірювання	Наплавлення з наступним розточуванням, встановлення ремонтних втулок

Найчастіше зустрічаються два основних види дефектів. По-перше, це тріщини на поверхні бічних стінок, причинами яких можуть бути перевантаження ковша чи його неправильна експлуатація. Тривала експлуатація з перевантаженнями призводить до згинання конструкції та утворенню тріщин. По-друге, це знос отворів вушок, які під дією навантажень починають набувати еліпсоїдної форми.

Висновки за розділом

Проаналізувавши конструкцію ковша фронтального навантажувача ТО-18 встановлено, що товщина деталей, в яких найчастіше виникають дефекти (тріщини) становить 12 мм. Для виготовлення ковша застосовуються елементи зі сталі 15ХСНД, яка є конструкційною низьколегованою сталлю та нормальною зварюваністю. Все це є визначальним для вибору можливої технології ремонту.

До найбільш поширених видів дефектів, які можна виправлять методом зварювання відносяться тріщини у вже існуючих зварних швах, тріщини на поверхні бічних стінок, а також знос отворів вушок, до яких кріпляться силові циліндри.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Підготовка дефектів і пошкоджень ковша до ремонту зварюванням

Ремонтне деталей зварюванням представляє собою по процес відновлення початкових розмірів, форми та міцності виробу з максимально можливим збереженням його функціональних показників. Одним з основних чинників, які впливають на ефективність ремонту, є якісна підготовка дефектних ділянок і пошкоджень деталей до зварювання. Технологія підготовки залежить від виду дефекту, місця його розташування, форми та розмірів, доступності тощо.

Основну частку робіт з ремонтного зварювання становить відновлення деталей, які пошкоджені тріщинами. Допустима довжина тріщини залежить від місця її розташування, напруженого стану деталі і конструкції та можливості якісного виконання зварювальних робіт.

Місця появи тріщин очищають, піддають візуальному зовнішньому огляду, а при потребі й ультразвуковій дефектоскопії з метою встановлення границь розповсюдження тріщини, її глибини і напрямку поширення. Для кращого виявлення розмірів тріщини рекомендується місце її розташування прогрівати газовим пальником до температури 100 – 150°С. Використання для виявлення тріщини методу зачистки поверхні абразивними кругами погіршує її видимість, особливо при наявності тонких тріщин з розтріскуванням.

Тріщини, які утворилися в деталі можуть поширюватися внаслідок теплового впливу, який має місце при виконанні зварювання. В такому випадку для запобігання цьому використовують так звані обмежувачі тріщин, тобто свердлять отвори на кінцях траєкторії тріщини. Це також дозволяє зменшити напруження в цих місцях.

При товщині металу 10 – 12 мм кінці тріщини засвердлюють свердлами діаметром 8 – 12 мм. При товщині металу понад 12 мм використовують

свердла більшого діаметру. Мінімальний діаметр отвору вибирають за умовою гарантованого провару деталі, а максимальний – обмежують умовою можливості утворення пропалу.

Для забезпечення умови повного провару рекомендується виконувати зенкування отворів на кінцях тріщин на глибину 0,3 – 0,5 товщини деталі.

У випадках, коли зварювання застосовують для ремонту ненаскрізних тріщини обмежуючі отвори свердлять на глибину, яка перевищує глибину тріщини на 1 – 1,5 мм [3]. При цьому має залишатися товщина металу деталі більша за глибину провару для обраного способу та параметрів процесу зварювання.

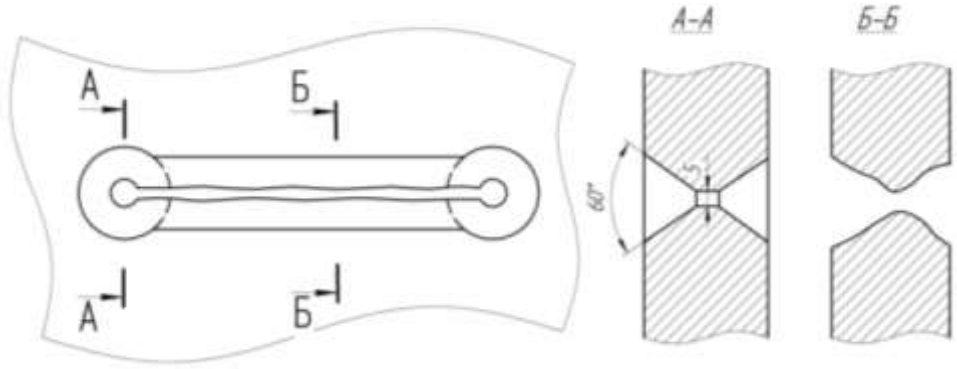


Рисунок 3.1 – Приклад підготовки наскрізної тріщини на площині

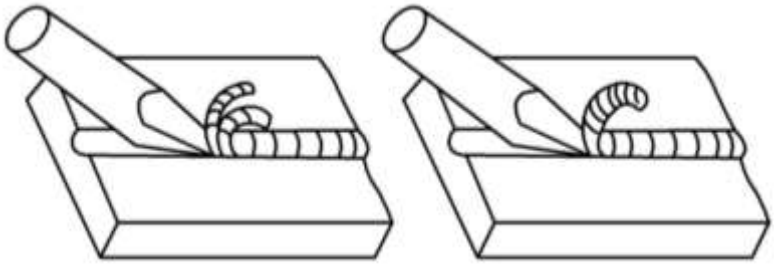
В деяких випадках, під час ремонту деталей товщиною більше 10 мм кінцях тріщини насвердлюють обмежуючі отвори діаметром 20 – 30мм, в які встановлюють циліндричні пробки, виготовлені з такого ж металу, що і основний метал деталі. Встановлені пробки фіксують прихватками, після чого зварюють тріщину, розпочинаючи та закінчуючи шов на пробках.

Під час зварювання тріщини розробка її кромок виконують у випадках, коли глибина тріщини перевищує можливий провар. Метод розробки кромок підбирають в залежності від глибини, довжини та конфігурації тріщини, вимог до підготовки кромок, технічних можливостей виробництва тощо. Розробка тріщин має забезпечити наскрізний провар всього їх перерізу.

Однак, завжди потрібно мінімізувати об’єм металу, який видаляється з деталі. оскільки це впливає на витрату присадкового або електродного металу.

У випадку, коли об’єм видалення металу в місці тріщини є значним, доцільніше замість розробки і заварювання тріщини повністю видаляти дефектну ділянку металу, а на його місце вварювати металеву вставку.

Розробку тріщин можна виконувати механічними способами: фрезеруванням, струганням, рубанням пневматичним або ручним зубилом, проточуванням на верстатах, різанням кисневим та плазмовими різаками, а також дуговим струганням.



а) б)

Рисунок 3.2 – Вирубка тріщини пневматичним зубилом

а) роздвоєння стружки вказує на наявність тріщини;

б) відсутність роздвоєння вказує на відсутність тріщини

Якщо тріщина не наскрізна і не доходить до внутрішньої поверхні деталі більш як на 2 – 3 мм, то кромки тріщини слід розробляти за допомогою графітових або вугільних електродів, спеціальних електродів для електродугового стругання або газокисневим різаком [3].

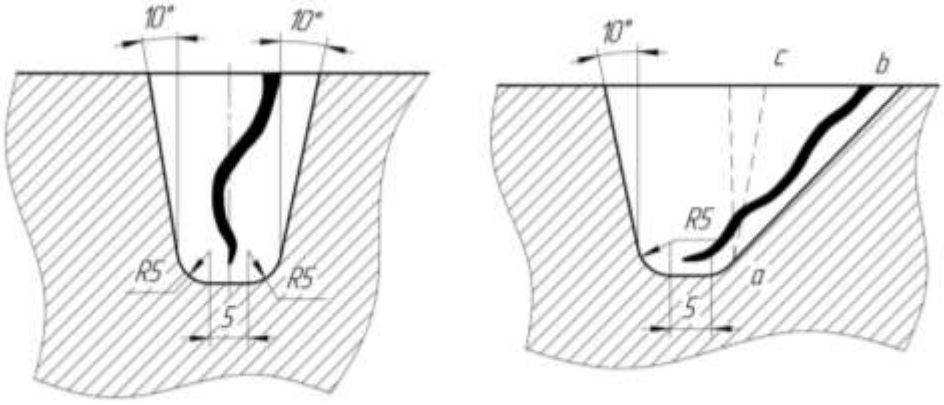


Рисунок 3.3 – Приклади розробки ненаскрізних тріщин

U - подібна форма розробки кромок (рис. 3.4,а) відрізняється хорошою доступністю до вершини розробки тріщини та чистотою розробленої поверхні.

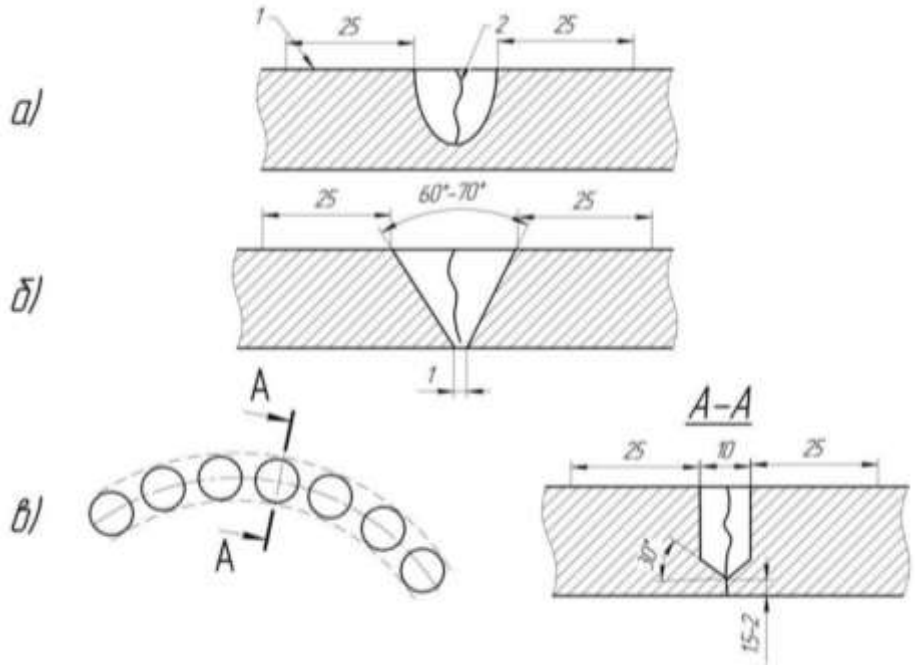


Рисунок 3.4 – Форми та способи розробки тріщин під зварювання

а) U - подібна розробка (струганням газокисневим різаком);

б) V – подібна розробка (обробка механічним способом);

в) розробка свердлуванням;

1 – зона зачистки поверхні кромок; 2 – тріщина

Наскрізним тріщинам деталей також можна надати U - подібну форму розробки. Однак простішою є розробка V - подібної форми (рис. 3.4, б). Таку розробку зручно виконувати механічним способом за допомогою ручного чи пневматичного зубила або розсвердлюванням тріщини з наступною розробкою зубилом. Розробку тріщини по довжині виконують відповідно до схеми, представленої на рис. 3.4,в. Утворення форму розробки по контуру свердла забезпечує кращий провар вершини шва.

Перед заварюванням прилеглу до тріщини частину металу зачищають до металевого блиску на ширину 25 мм з кожного боку. Підготовлені до зварювання місця перевіряються робітниками ВТК.

3.2. Технологічні особливості заварювання тріщин

Більшість корпусних деталей машин з низько- і середньовуглецевих та низьколегованих сталей. Найбільш поширеним способом ремонту зварюванням таких матеріалів є ручне дугове зварювання покритими електродами.

Для заварювання тріщин рекомендується застосовують штучні електроди типу Е42А-Ф або Е50А-Ф, які перед зварюванням обов'язково прожарюють в сушильній шафі при температурі 350 °С впродовж 1 години. Такі електроди здатні забезпечити високі механічні властивості металу шва, що дає значно більший опір утворенню гарячих тріщин, а також втомі та крихкому руйнуванню [13].

Основною вимогою до ремонтного зварювання деталей є забезпечення гарантованого наскрізного провару. Неповний провар тріщини, який може залишитися після її заварювання буде значним концентратором напружень, який в подальшому може спровокує повторне утворення тріщин, особливо за умови експлуатації деталі в умовах динамічних навантажень.

Для зниження рівня залишкових напружень тріщину слід заварювати в напрямку від отворів, засвердлених на її кінцях, до середини тріщини почергово з кожного боку ділянками, довжиною до 100 мм. Тріщини, які виходять на кромку металу деталі, заварюють у напрямку від кінця тріщини до кромки. Тріщини довжиною понад 250 – 300 мм зварюють зворотно–ступінчатим методом ділянками довжиною до 150 мм.

Місцеве чи загальне перевищення однієї кромки тріщини над іншою не повинно перевищувати 10% від товщини основного металу. Якщо така умова не дотримується, то слід виконати рихтування або гарячу правку кромок. Після цього положення кромок за потреби фіксують складально-зварювальними пристроями або прихватками, переріз яких неповинен перевищувати 1/3 перерізу шва.

Для отримання гарантованого наскрізного провару тріщини, після її заварювання, рекомендується виконувати підрубування кореня шва зі зворотної сторони деталі до повного видалення не проварів та шлакових включень до чистого металу. Після цього накладають підварний шов.

Під час заварювання тріщин в деталях середньої товщини різниця по висоті та ширині шва в різних перерізах не повинна перевищувати 2 мм. При заварюванні отворів на кінцях тріщини, а також усього ремонтного шва допустимим є збільшення ширини на 4 мм. Обов'язковою умовою є плавний перехід від одного перерізу шва до другого, відсутність ступінчатих змін геометрії шва.

Заварювання тріщин в деталях товщиною понад 8 мм, як правило, виконують в декілька шарів. При цьому перед виконанням кожного наступного шару поверхню попереднього шару ретельно очищають від шлакової корки.

Для зниження залишкових і реактивних напружень перший шар шва рекомендується виконувати після попереднього підігріву деталі до 200-250 °С, розробки тріщини і прилеглого до неї металу на ширину не менш як на 50 мм з кожного боку тріщини. Нагрівання тільки самої поверхні кромок не забезпечує необхідного ефекту. Якщо накладати наступні шари шва одразу за першим, то попередній підігрів для них не застосовують [13].

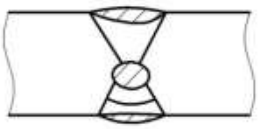
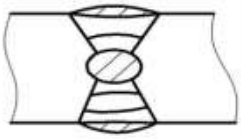
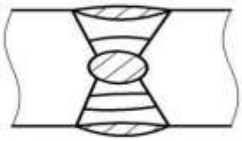
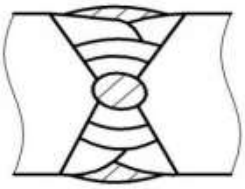
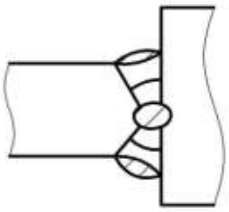
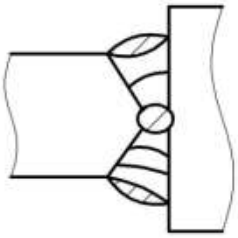
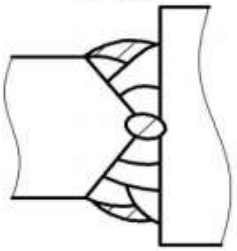
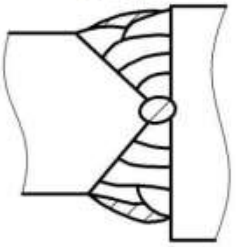
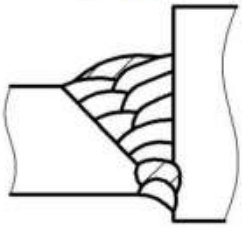
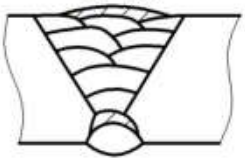
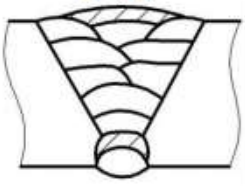
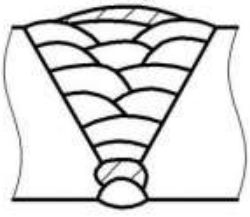
Якщо перерва між накладанням шарів шва є достатньою для їх охолодження нижче 200 °С, то підігрів необхідно виконувати перед накладанням кожного наступного шару до повного заповнення кромок.

Якщо тріщину розробляють за допомогою газового різака для поверхневого кисневого різання, а після цього мають виконувати заварювання тріщини, то за довжини тріщини понад 180 мм попередній підігрів не застосовують. Температуру нагрітої поверхні контролюють термоолівцями, термопарами контактної дії та іншими засобами.

У випадку зварювання тріщин в деталях зі сталей з підвищеним вмістом вуглецю попередній підігрів дозволяє різко знизити твердість

біляшовної зони. Наприклад, для сталі з вмістом вуглецю 0,25 % твердість навколошовної зони після зварювання тріщини без попереднього підігріву складає *HV*450, а з попереднім підігрівом - *HV*250.

Таблиця 3.1 – Рекомендована кількість шарів і проходів у зварному шві в залежності від товщини листа і форми обробки кромок

	s=16	s=20	s=24	s=30
Х-подібна	а=6 в=6 	а=8 в=8 	а=8 в=8 	а=9 в=11 
К-подібна	а=7 в=7 	а=8 в=8 	а=8 в=10 	а=11 в=13 
У-подібна	а=7 в=9	а=8 в=11 	а=9 в=13	а=10 в=15
V-подібна	а=7 в=8	а=8 в=12 	а=8 в=12 	а=9 в=15 

Примітка: а - шари; в – проходи

Для забезпечення повного провару наскрізної тріщини у всіх доступних місцях слід виконувати двостороннє зварювання або зварювання на підкладці, яка залишається після зварювання [3].

Зварювання тріщин можливо виконувати в нижньому та вертикальному положеннях. В нижньому положенні вдається отримувати шов з більш рівною поверхнею і плавним переходом до основного металу, крім того утворюється менша імовірність утворення підрізів. Однак, заварювання тріщин у вертикальному положенні деталі дозволяє отримати більше проплавлення кромок. У випадках одностороннього заварювання наскрізної тріщини, коли зварювальник намагається звести непровар до мінімуму, він виконує зварювання у вертикальному положенні.

Шви, зварені у горизонтальному положенні на вертикальній площині та в стельовому положенні, відрізняються значно нижчою якістю. Тому ремонтне зварювання тріщин в цих положеннях не виконують.

Для отримання кращого провару в перерізі наскрізної тріщини перший шар (корінь шва) і зворотний (підварний) валик рекомендується виконувати електродами діаметром 3 мм. Це забезпечує краще розплавлення кромок. Наступні шари можна зварювати електродами діаметром 4 та 5 мм.

Усі шари ненаскрізних тріщин з U-подібною розробкою можна заварювати електродами діаметром 4 та 5 мм [11].

У випадку, коли шов завареної тріщини буде перекриватися підсилюючою накладкою, шов зачищають до рівня основного металу з метою кращого забезпечення щільного прилягання накладки. Виявлені при цьому дефекти усувають термічними методами або вирубкою, після чого ці місця заварюють знову та зачищають. Шов завареної тріщини, підготовлений до перекриття підсилюючою накладкою повинен бути перевірений ультразвуковою дефектоскопією. Знайдені при цьому дефекти повинні бути виправлені.

3.3. Зміст технологічного процесу ремонту ковша зварюванням

Послідовність технологічних операцій ремонтного зварювання ковша фронтального навантажувача тобто зміст (схему) технологічного процесу має

бути відображений в технологічній документації. Дотримання визначеної нею послідовності виконання технологічних операцій, потрібних зварювальних матеріалів, обґрунтованого способу зварювання та оптимальних параметрів і режимів зварювання є обов'язковою умовою якісного ремонту.

В технологічній карті на процес ремонту ковша зварюванням має бути вказана наступна інформація:

– спосіб, форма, геометричні параметри та допуски розробки тріщині (кромок)

– форма і розміри підсилюючих елементів (за потреби);

– способи різання, гнуття, штампування чи інші операції, які використовуються під час підготовки дефектних елементів ковша до ремонту;

– перелік обладнання, пристрої та інструмент, який є необхідним для виконання робіт з підготовки дефектних елементів ковша до ремонту;

– перелік складально–зварювальної оснастки, яка застосовується для забезпечення відповідності форми і розмірів відремонтованої деталі кресленикам;

– послідовність виконання складально–зварювальних операцій;

– місця, розміри, послідовність і спосіб простановки прихваток на тріщинах (конструктивних підсилюючих елементах);

– необхідний тип, марка та діаметр зварювальних електродів або електродного дроту, вид захисного газу чи марка флюсу;

– вибраний спосіб зварювання та необхідні його параметри і режими, кількість проходів, послідовність та техніка виконання окремих швів;

– температура попереднього або супутнього підігріву ремонтних деталей та зварних з'єднань (при необхідності їх застосування);

– спосіб механічної чи термічної обробки зварних з'єднань (при потребі);

– способи контролю якості зварного з'єднання, послідовність їх виконання, необхідний для цього вимірювальний інструмент і пристрої.

Дотримання призначеного технологічного процесу повинно постійно контролюватися на всіх етапах його здійснення. В противному випадку забезпечити гарантовану якість ремонту зварюванням неможливо.

3.4 Обґрунтування вибору способу ремонтного зварювання

Вихідними умовамидля вибору способу зварювання є: матеріал виробу (сталь 15ХСНД), товщина зварюваного металу (12 мм), довжина тріщини, яку необхідно заварити (приймаємо 200 мм), положення зварного шва (вертикальне або горизонтальне).

Перед вибором способу ремонтного зварювання слід на підставі проведеного аналізу матеріалу виробу, перерахувати всі можливі способи зварювання, які здатні забезпечити захист розплавленого металу від впливу повітря. За даними [5, 12] для зварювання конструкцій зі сталі 15ХСНД можуть застосовуватися майже всі відомі способи зварювання, серед яких: газове зварювання, ручне дугове зварювання, зварювання неплавким електродом в інертних газах, зварювання плавким дротом в захисних газах, лазерне зварювання, зварювання під флюсом та зварювання самозахисним порошковим дротом.

Далі слід вибрати способи зварювання, придатні для заданої товщини зварюваного металу - 12 мм. Для ремонту елементів ковша в умовах неспеціалізованої майстерні можна застосовувати такі способи зварювання:

- ручне дугове зварювання;
- механізоване зварювання плавким дротом в захисних газах;
- лазерне зварювання;
- зварювання самозахисним порошковим дротом.

Далі виконуємо аналіз протяжності та просторового положення майбутніх зварних швів. Так, для ковшів фронтальних навантажувачів довжина ремонтного шва може досягати кількох сотень міліметрів. Ці шви розташовуються в просторі в основному вертикально або горизонтально.

Виходячи з цього застосування автоматичних способів зварювання можна визнати недоцільним. Тому для остаточного вибору слід виділити:

- ручне дугове зварювання;
- механізоване зварювання плавким дротом в захисних газах;
- зварювання порошковим самозахисним дротом.

Ручне дугове зварювання набуло широкого поширення в ремонтному виробництві завдяки простоті та дешевизні технологічного обладнання. Складання технології зварювання та її виконання не вимагає глибоких професійних знань та метрологічного забезпечення [18]. Пост для ручного електродугового зварювання може бути присутній на будь якому СТО і не вимагає значних капітальних витрат.

Дугове зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі захисних газів набуло широкого поширення в процесах ремонту зварних конструкцій.

Серед його переваг слід відзначити можливість візуального спостереження за процесом, в сумішах захисних газів практично не утворюється шлакова кірка, що суттєво підвищує продуктивність через відсутність необхідності проміжної зачистки шарів зварного шва, можливість зварювання в різних просторових положеннях завдяки низькій текучості зварного шва порівняно зі зварюванням порошковим дротом.

Незважаючи на явні переваги, зварювання в середовищі захисних газів має й ряд недоліків. Першим недоліком є можливе розбризкування при переході на формовані режими зварювання, що збільшує витрату зварювальних матеріалів та знижує продуктивність та погіршує якість зварювання. Також існує небезпека виникнення тріщин через знижену текучість розплавленого металу. Необхідність застосування механізму подачі дроту та газових балонів суттєво знижує мобільність способу ремонту.

Спосіб зварювання самозахисним порошковим дротом дозволяє відмовитися від використання газової апаратури (редукторів, змішувачів газів, балонів, осушувачів, шлангів), які значною мірою знижують мобільність зварювальника [6, 12].

Недоліками способу зварювання самозахисним порошковим дротом є необхідність видалення шлакової кірки з поверхні шва, вища вартість порошкового дроту, вища ймовірність утворення дефектів у вигляді пор та шлакових включень, необхідність боротьби із заломами зварювального дроту через його низьку жорсткість, нерівномірне плавлення оболонки та серцевини зварювального дроту.

Проаналізувавши можливі способи зварювання за таким критеріям, як якість зварювання, вартість обладнання, маневреність способу, умови праці зварювальника, економічність та продуктивність нами встановлено, що механізоване зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу дозволяє досягти найвищих результатів за умови підвищення продуктивності та якості зварювання.

3.5 Опис проектного технологічного процесу ремонту ковша навантажувача зварюванням

Перед початком зварювання оглянути пошкоджені елементи ковша, визначити їх розташування та оцінити стан обробки тріщин (кромок) та прилеглих до них поверхонь. Далі слід підібрати необхідні зварювальні матеріали та перевірити стан зварювального обладнання.

Ремонтне варювання необхідно виконувати в опалювальних цехах, де забезпечується плюсова температура зварної конструкції і навколишнього повітря. Якщо підтримання плюсову температуру приміщенні, де відбувається зварювання, неможливо, як виняток допускається виконання зварювання при температурі не нижче -10 °С. При цьому обов'язковим є попередній підігрів кромок та прилеглих до них ділянок основного металу. Температура попереднього підігріву має становити 120…150 °С. Ширина попереднього підігріву становить не менше 60 мм, якщо товщина зварюваного металу не перевищує 25 мм і не менше 80 мм – якщо товщина зварюваного металу перевищує 25 мм [12, 13].

Якість зварювального дроту має відповідати ДСТУ 14171:2015 [8]. Зварювальні дроти, в залежності від умов постачання, можуть бути полірованими, обмідненими або освітленими. Упаковка зварювальних матеріалів має бути проведена згідно вимог ТУ на ці матеріали. Очищений і намотаний в котушки зварювальний дріт повинен зберігатись у закритих приміщеннях, температура в яких не опускається нижче +15 °С. При намотуванні дроту на котушки потрібно стежать за тим, щоб не було його перегинів.

Для заварювання тріщин в боковинах ковша навантажувача буде застосовуватися дріт суцільного перерізу діаметром 1…1,2 мм Св-08ГСМТ, хімічний склад якої наведено в таблиці 3.2, а властивості наплавленого металу – у таблиці 3.3. Зовнішній вигляд котушки D200 з дротом Св-08ГСМТ представлений на рис. 3.5.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад дроту Св-08ГСМТ

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
0,06-0,11	0,40-0,70	1,0-1,3	<0,30	<0,30	0,2-0,4	0,05-0,12

Рисунок 3.5 – Котушки зварювального дроту Св-08ГСМТ

1 – D200; 2 – D300;

Таблиця 3.3 – Механічні властивості наплавленого металу дротом Св-08ГСМТ

Межа текучості	Межа міцності	Відносне видовження	Ударна в'язкість KCV	
σ_T, Н/мм^2	σ_B, Н/мм^2	δ, %	°С	Дж/см^2
448	560	24	-20 °С	80
			-40 °С	60

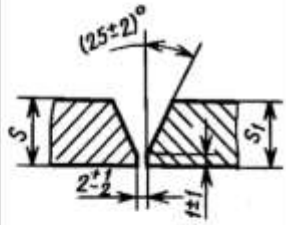
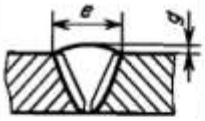
Як захисне середовище буде застосовуватися вуглекислий газ. На підприємства ремонтного виробництва зварювальний вуглекислий газ поставляється у балонах об’ємом 5, 10, 20 та 40 літрів (рис. 3.6).

Рисунок 3.6 – балони з вуглекислим газом

Обробку тріщини під заварювання із застосуванням механізованого зварювання у захисних газах слід виконувати за ГОСТ 14771 відповідно до вимогою щодо зварного з'єднання С17.

Вимоги стандарту щодо підготовки кромок та виконання зварного шва С17 наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Вимоги стандарту ДСТ 3159-95 щодо підготовки кромок та виконання зварного шва С17

Умовне позначення зварного шва	Конструктивні елементи		$s = s_1$	e		g	
	підготованих кромок зварюваних деталей	зварного шва		Ном.	Гран. відхил.	Ном.	Гран. відхил.
С17			> 3 ≤ 5	8	±2	0,5	+1,5 −0,5
			> 5 ≤ 8	12			
			> 8 ≤ 11	16			
			> 11 ≤ 14	19			
			> 14 ≤ 17	22	±3		+2,0 −0,5
			> 17 ≤ 20	26			
			> 20 ≤ 24	30			
			> 24 ≤ 28	34			
			> 28 ≤ 32	38			
			> 32 ≤ 36	42			
			> 36 ≤ 40	47			
			> 40 ≤ 44	52	±4		
			> 44 ≤ 48	54			
			> 48 ≤ 52	56			
			> 52 ≤ 56	60			
			> 56 ≤ 60	65			

Геометричні параметри такого зварного з’єднання представлені на рисунку 3.7.

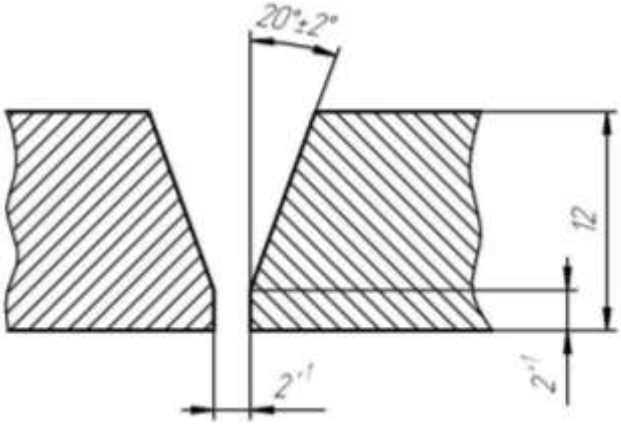


Рисунок 3.7 – Геометрія обробки кромок згідно ДСТ 3159-95

Якщо виникає потреба оброблення ненаскрізної тріщини слід виконати видалення металу на 1...2 мм більше глибини тріщини і на 15...20 мм більше її довжини. Під час виконання обробки наскрізної тріщини, необхідно пза

допомогою свердління виконати отвори діаметром 8…12 мм на кінцях тріщини, причому, отвори повинні розташовуватися на відстані, рівній половині діаметра свердла від кінця тріщини.

Розробку тріщин (підготовку кромок) пропонується виконувати методом плазмового стругання застосуючи для нього апарат повітряно-плазмового різання Powermax 125 HAND, представлений рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 - Апарат повітряно-плазмового різання Powermax 125 HAND

Для виконання зварювання літературні джерела [19, 21] рекомендують наступні параметри режиму: рід струму – постійний, полярність – пряма, діаметр дроту – 1,2…1,4 мм, виліт зварювального дроту – 13…20 мм, сила зварювального струму – 200…250 А.

Для захисту електричної дуги та зварного шва рекомендується використовувати вуглекислий газ вищого та першого сорту (ДСТУ 4817:2007). Витрату захисного газу при зварюванні встановлюють 1,0...1,4 $м^3$/год.

Геометричні параметри зварного шва, яким заварюється тріщина в боковині ковша фронтального навантадувача показані на рисунку 3.9.

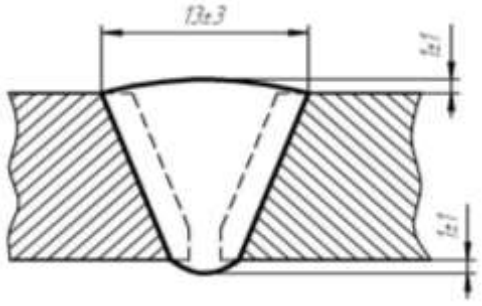


Рисунок 3.9 – Геометрія зварного шва під час заварювання тріщини

Для захисту поверхні деталей від зварювальних бризок рекомендується застосовувати рідкі концентрати, які не впливають на якість зварювання, наприклад, лігносульфонат. Розведення лігносульфонату проводять у гарячій воді, температура якої має бути 50...60 °С. Розведення проводять до одержання розчину за масою 1:4 або за об'ємом 1:5. Нанесення захисного розчину проводять із застосуванням пензлика на ширину 100...150 мм від шва. Після нанесення захисного складу на поверхню конструкції необхідно дати їй висохнути протягом 1-2 годин. Після висихання захисного розчину можна розпочинати процес зварювання.

3.6 Розрахунок режимів та розмірів шва під час механізованого електродугового зварювання

До параметрів режиму механізованого електродугового зварювання в захисних газах, які визначаються розрахунковим методом, відносяться: величина зварювального струму $I_{зв}$, напруга на дузі $U_д$, швидкість зварювання $V_{зв}$, діаметр $d_д$ і швидкість подачі електродного дроту $V_д$. Інші параметри, такі як вид захисного середовища (склад та марка захисного газу), рід та полярність струму, виліт електрода l, кут нахилу пальника, початкова температура деталі та інші вибирають, виходячи з умов зварювання або марки сталі.

Зварний шов характеризується глибиною проплавлення Н, шириною шва e, висотою підсилення g, коефіцієнтом форми провару $\psi_{пр} = e/H$ та коефіцієнтом форми валика $\psi_в = e/g$.

Розрахунок режиму зварювання виконується під конкретне завдання, коли відомою є марка зварюваної сталі, спосіб зварювання, вибрані зварювальні матеріали, а саме марка зварювального дроту та марка захисного газу, а також відомі інші дані про особливості зварного з'єднання та технології зварювання. До початку зварювання за кресленнями, стандартами та технічними умовами встановлюють вид з'єднання, форму підготовки

кромок, а також самого шва зварного з'єднання. Вибрані форма, розміри підготовки кромок та шов зображуються в карті ескізів в натуральну величину або в масштабі зі збереженням оптимальних розмірів за глибиною провару, ширині шва, висоті підсилення, площі поперечного перетину наплавленого металу. Після цього виконують розрахунок режиму зварювання з умови забезпечення встановлених стандартом чи технічними умовами розмірів шва з послідовністю, визначеною типом з'єднання.

Оскільки ремонтне заварювання тріщини виконують з накладанням стикового шва з розробкою кромок, а товщина деталі становить 12 мм, то процес заварювання тріщини буде виконуватись за кілька проходів. Виходячи з цього, першим буде розраховуватись режим виконання першого проходу.

Розрахунок починаємо з визначення глибини проплавлення притуплення. Під час зварювання односторонніх швів глибину провару встановлюють в залежності від прийому, який застосовується для формування кореня шва, не допускає пропалів та є не меншим за величину притуплення *c*.

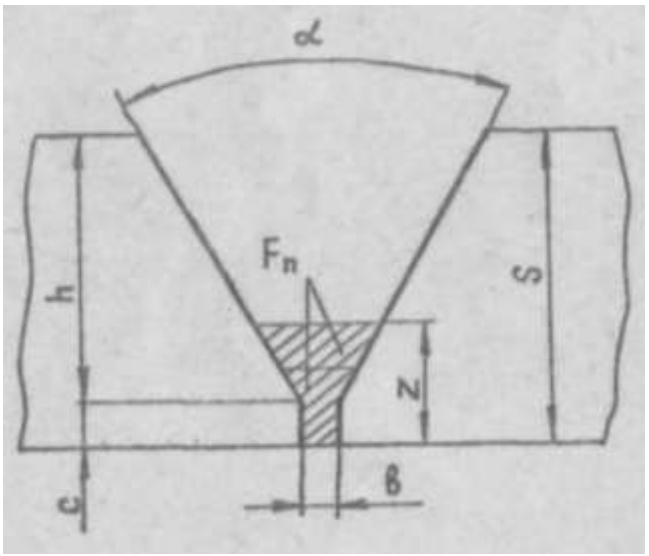


Рисунок 3.10 – Параметри кореня зварного шва

Для першого проходу вибирають діаметр електродного дроту, користуючись таблицею 3.5, задавшись значенням *j*.

Таблиця 3.5 – Значення j в залежності від $d_д$

$d_д$, мм	1	2	3	4	5	6
j, А/мм^2	90-400	65-200	45-90	35-60	30-50	25-45

Величину необхідного зварювального струму визначають за формулою:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_д^2}{4} \cdot j, \quad (3.1)$$

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

Допустиму щільність струму в електроді рекомендується зменшувати з метою забезпечення хорошої форми провару та зниження можливості утворення кристалізаційних тріщин (приймають значення, близькі до мінімальних гранично допустимих в табл. 3.5).

Прийнявши j = 200 А/мм^2, отримаємо:

$$I_{зв} = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}2^2}{4} \cdot 200 = 226{,}1 \text{ А}$$

Приймаємо для подальших розрахунків $I_{зв}$ = 220 А.

Визначимо напругу на дузі:

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_д^{0,5}} \cdot I_{зв} \pm 1, \quad (3.2)$$

$$U_д = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1{,}2} \cdot 220 \pm 1 = 29{,}2 \pm 1 \text{ В}$$

Далі, з умови забезпечення такої форми зварного шва, за якої він буде мати високу роботоздатність і стійкість до кристалізаційних тріщин, визначимо швидкість зварювання. Виконання такої умови можливе, коли коефіцієнт форми зварювальної ванни $\varphi = L/e$ (L – довжина ванни, e – ширина шва) на різних режимах зварювання залишається незмінним [5].

Відповідно до теорії поширення тепла під час зварювання для збереження геометрії ванни необхідно забезпечувати умову:

$$I_{зв} \cdot V_{зв} = A = const \quad (3.3)$$

Для отримання швів необхідної форми та таких, які мають високу технологічну міцність, значення А рекомендується приймати згідно даних таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Значення А в залежності від $d_д$

$d_д$, мм	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
A, А·м/год	2000-5000	5000-8000	8000-12000	12000-16000	16000-20000	20000-25000	25000-30000

Прийнявши A = 2000 А·м/год, отримаємо:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}} = \frac{2000}{220} = 9{,}1 м/год \quad (3.4)$$

Під час механізованого зварювання без застосування особливих технологічних прийомів швидкість зварювання повинна знаходитися в межах 15-60 м/год, а розрахункове значення швидкості зварювання маєбути заокруглене ближчого значення, яке можна задати у вибраному для зварювання автоматі. Тому кінцево приймаємо швидкість зварювання рівною $V_{зв}$ = 9 м/год.

Розрахуємо погонну енергію зварювання:

$$q_п = \frac{0{,}24 \cdot I_{зв} \cdot U_д \cdot \eta_м}{V_{зв}}, кал/см \quad (3.5)$$

де $\eta_м$ – ефективний к.к.д. дуги, ($\eta_м$ = 0,8…0,84) [21].

$$q_п = \frac{0{,}24 \cdot 220 \cdot 29 \cdot 0{,}82}{9} = 139{,}5 кал/см$$

Визначаємо коефіцієнт форми провару:

$$\psi_{пр} = k' \cdot (19 - 0{,}01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_д \cdot U_д}{I_{зв}}, \quad (3.6)$$

Значення *k'* вибирають з таблиці 3.7 [22].

Таблиця 3.7 - Значення *k'* в залежності від роду та полярності струму

Рід і полярність струпу		Значення *k'*	
		При j<120 А/мм^2	При j≥120 А/мм^2
Постійний струм	Пряма полярність	$\frac{2{,}82}{j \cdot 0{,}1925}$	1,12
	Зворотня полярність	$0{,}367 \cdot j^{0{,}1925}$	0,92
Змінний струм		1,0	1,0

Прийнявши з табл. 3.7 значення k' = 0,92 отримаємо:

$$\psi_{\text{пр}} = 0{,}92 \cdot (19 - 0{,}01 \cdot 220) \cdot \frac{1{,}2 \cdot 29}{220} = 2{,}44$$

Для механізованого зварювання коефіцієнт форми провару має становити $\psi_{\text{пр}}$ = 0,8…4 [22]. Отже провар забезпечується.

Визначаємо глибину провару:

$$H = 0{,}0165\sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\psi_{\text{пр}}}} = 0{,}0165\sqrt{\frac{139{,}5}{2{,}44}} = 0{,}12 \text{ см} \qquad (3.7)$$

Визначимо ширину шва:

$$e = \psi_{\text{пр}} \cdot H = 2{,}44 \cdot 0{,}12 = 0{,}3 \text{ см} \qquad (3.8)$$

Під час зварювання в середовищі захисних газів виліт електрода l вибирають в межах l = 10…20 мм. Для виконання кореневого шва приймаємо l = 15 мм.

Для процесу зварювання у вуглекислому газі коефіцієнт наплавлення визначають за формулою:

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot (1 - \psi), \qquad (3.9)$$

де ψ – коефіцієнт втрат. В діапазоні щільності струму 60…320 А/мм^2 коефіцієнт втрат рівний:

$$\psi = 4{,}72 + 17{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot j - 4{,}48 \cdot 10^{-4} \cdot j^2, \qquad (3.10)$$

$$\psi = 4{,}72 + 17{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot 200 - 4{,}48 \cdot 10^{-4} \cdot 200^2 = 22\ \%$$

$\alpha_{\text{р}}$ – коефіцієнт розплавлення, г/А·год. 17,92

$$\alpha_{\text{р}} = 9{,}05 + 3{,}1 \cdot 10^{-4}\sqrt{I_{\text{зв}}} \cdot \frac{l}{d_{\text{д}}^2}, \text{г/А} \cdot \text{год} \qquad (3.10)$$

$$\alpha_{\text{р}} = 9{,}05 + 3{,}1 \cdot 10^{-4}\sqrt{220} \cdot \frac{15}{1{,}2^2} = 9{,}53 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

Тоді

$$\alpha_{\text{н}} = 9{,}53 \cdot (1 - 0{,}22) = 7{,}43$$

Визначимо необхідну швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{\text{п.д}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{р}} \cdot I_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_{\text{д}}^2 \cdot \gamma}, \qquad (3.11)$$

де γ - питома вага металу, г/см^3.

$$V_{\text{п.д}} = \frac{4 \cdot 9{,}53 \cdot 220}{3{,}14 \cdot 1{,}2^2 \cdot 7{,}8} = 237{,}8 \text{ см/хв}$$

Приймаємо $V_{\text{пд}} = 230$ см/хв.

Далі визначимо площу наплавленого металу:

$$F_{\text{н}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{зв}}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{\text{зв}}}, \text{мм}^2 \quad (3.12)$$

$$F_{\text{н}} = \frac{7{,}43 \cdot 220}{3600 \cdot 7{,}8 \cdot 9} = 23 \text{ мм}^2$$

Визначаємо висоту валика:

$$g = \frac{F_{\text{н}}}{0{,}73 \cdot e} = \frac{23}{0{,}73 \cdot 3} = 10{,}04 \text{ мм} = 1 \text{ см}$$

Розраховуємо загальну висоту шва:

$$C = H + g = 0{,}12 + 1 = 1{,}12 \text{ см} \quad (3.13)$$

Коефіцієнт форми підсилення шва становитиме:

$$\psi_{\text{в}} = \frac{e}{g} = \frac{0{,}3}{1} = 0{,}3 \quad (3.14)$$

Висота валика першого проходу становитиме:

$$g_0 = \sqrt{\frac{F_{\text{н}} - c \cdot b}{\tan {}^{\alpha}/_{2}}}, \text{мм} \quad (3.15)$$

де c і b – параметри розробки кромок, мм.

Так як під час розробко тріщини $b = 0$, матимемо.

$$g_0 = \sqrt{\frac{23 - 1 \cdot 0}{\tan {}^{40}/_{2}}} = 2{,}29 \text{ мм}$$

Площу металу, яку треба наплавити за наступні проходи визначимо за формулою:

$$F_{\text{п}}^{\text{наст}} = (h - g_0) \cdot \left[b + (h + g_0) \cdot \tan {}^{\alpha}/_{2}\right] + 0{,}73 \cdot e \cdot g, \text{мм}^2 \quad (3.16)$$

де α, h і b – параметри розробки кромок, мм.

$$F_{\text{п}}^{\text{наст}} = (10 - 3) \cdot \left[(10 + 3) \cdot \tan {}^{40}/_{2}\right] + 0{,}73 \cdot 3 \cdot 10 = 92{,}99 \text{ мм}^2$$

Тоді, кількість проходів, необхідна для заварювання тріщини за умови забезпечення необхідних параметрів зварного шва становитиме:

$$n = \frac{F_{\text{п}}^{\text{наст}}}{F_{\text{н}}} = \frac{92{,}99}{23} = 4{,}04$$

Отже, для повного заварювання тріщини в боковині ковша товщиною 12 мм необхідно буде виконати 4 проходи.

Висновки за розділом

Технологічний процес ремонтного зварювання має ряд особливостей, оскільки виникає необхідність якісної підготовки тріщин до їх заварювання. Оскільки деталі ковша виконані зі сталі 10 мм і більше, то під час заварювання розроблених тріщин виникає потреба накладання кількох шарів розплавленого металу з метою повного заварювання тріщини та відновлення геометрії ковша.

Для виконання технологічної операції заварювання тріщини необхідний зварювальний апарат, джерело живлення якого має номінальний зварювальний струм 25…300 А.

Для повного заварювання тріщини в боковині ковша товщиною 12 мм зварювальним дротом 1,2 мм повне відновлення деталі (заварювання тріщини) можливе за чотири проходи.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт

До роботи зварювальником допускати осіб, які досягли 18-річного віку, навчені і атестовані на II кваліфікаційну групу з електробезпеки, пройшли медичний огляд, вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, які вже оволоділи безпечними методами виконання робіт і пройшли перевірку знань вимог охорони праці.

Зварювальник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до типових норм.

Перебуваючи на зварювальній дільниці необхідно [7]:

- звертати увагу на сигнали, що подаються з зварювальниками;

- не стояти і не проходити під автомобілем в момент його піднімання підйомником, а також між верстатами та станками для виправлення дефектів, близько біля джереж живлення та газозварювального обладнання;

- під час руху по дільниці користуватися тільки встановленими проходами, що не перелазити через обладнання.

Перед початком роботи обов’язково слід одягти спецодяг, перевірити справність обладнання, електропроводки, трубопроводів та газової арматури, наявність і справність заземлення.

Витяжна вентиляція повинна бути встановлена над столом для зварювання.

Про всі помічені недоліки, несправності в обладнанні і про виниклі небезпеки повідомити майстру. До роботи можна приступати тільки після усунення всіх несправностей і дозволу майстра.

Не слід дивитися на дугу незахищеними очима. Необхідно користуватися захисною маскою зі світлофільтром.

Забороняється залишати без нагляду установку з підключеними стисненим повітрям і включеним напругою.

Під час роботи забороняється тримати шланги під пахвою, на плечах або затискати ногами. Забороняється допускати зіткнення шлангів з струмопровідними проводами.

При перегрів зварювального апарата робота повинна бути зупинена до повного його охолодження.

Не допускати попадання на шланги іскор, вогню або важких предметів, а також впливу високих температур.

Забороняється приєднання до шлангів вилок, трійників і т.п. для живлення декількох апаратів.

Не допускати проведення ремонту апаратури у робочому стані. У разі несправності негайно припинити роботу і повідомити майстру.

При щоденному обслуговуванні необхідно перевіряти справність підвідних проводів; справність контактних затискачів і роз'ємів на панелі з затискачами; заземлення джерела живлення; заземлення зварної конструкції або столу.

Справність захисних засобів слід перевіряти перед кожним застосуванням. Захисні засоби, у яких закінчився термін чергового випробування, застосовувати забороняється.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно дотримуватися таких вимог [15]:

- не захаращувати доступи і проходи до протипожежного інвентарю, вогнегасників, гідрантів;

- зберігати горючі та легкозаймисті речовини в спеціально відведених місцях з дотриманням заходів пожежної безпеки;

- палити тільки в спеціально відведених місцях, забезпечених протипожежним інвентарем і урнами;

- використаний обтиральний матеріал зберігати в металевому ящику з щільно закривається кришкою;

- не підходити з відкритим вогнем до шлангів і балонів;

- не чистити і не прати робочий одяг бензином і іншими легкозаймистими рідинами.

При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварій і нещасних випадків (наприклад, при пробої ізоляції в ланцюзі, протіканні шлангів), необхідно припинити роботу, відключити подачу електроенергії, вивести з небезпечної зони людей і повідомити про виниклу ситуацію керівнику робіт.

При виникненні аварії негайно вжити заходів з надання потерпілим першої допомоги, викликати машину швидкої допомоги.

При виявленні пожежі негайно повідомити в пожежну охорону по телефону 101, сповістити керівництво і до прибуття пожежних приступити до ліквідації вогнища пожежі наявними засобами в залежності від загорівся матеріалу.

При нещасному випадку надати потерпілому першу долікарську допомогу, повідомити про подію керівництву. По можливості зупинити обстановку, якщо це не призведе до аварії або травмування інших людей. При необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103 або допомогти доставити потерпілого в медичний заклад.

4.2. Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними.

Статистично залежні події - це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, може з'явитися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) події [4].

Таблиця 4.1 - Логічна модель виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час зварювання

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Ремонтне зварювання ковша, зварюваль-на дільниця	$НУ_1$- порушення ізоляцій. $НУ_2$- відсутність заземлення.	НД - Поява струму на корпусі зварювального апарата	НС – Контакт зварювальника з корпусом зварювального апарата	Т - Ураження струмом зварювальника	Заземлення струмо-ведучих частин і якісна їх ізоляція
$НУ_1 \rightarrow НУ_2 \rightarrow НД \rightarrow НС \rightarrow Т$					
Ремонтне зварювання ковша, зварюваль-на дільниця	НУ- відсутність або несправ-ність штучної вентиляції робочого місця	НД - знаходження працівника в загазованій зоні без засобів захисту	НС- вдихання операто-ром шкідливих газів	Т – отруєння оператора шкідливими газами З – вироб-ниче захворюван-ня	Обладнання робочого місця штучною вентиляцією
НУ→ НД→ НС→ Т (З)					
Ремонтне зварювання ковша, зварюваль-на дільниця	НУ – підвищений рівень яскравості світла тощо	НД - робота без засобів індивідуального захисту	НС – вплив спалахів дуги на органи зору зварювальника	З – виробни-че захво-рювання	Робота в засобах інд. захисту (окулярах, захисному щитку тощо)
НУ → НД→ НС→ З					
Ремонтне зварювання ковша, зварюваль-на дільниця	НУ – висока температура деталей та заготовок і обладнання	НД - робота без спеціального одягу	НС – зварювальника гарячими поверхня-ми	Т – отримання опіків	Робота в спецодязі та рукавицях
НУ → НД→ НС→ З					

Логічна модель може стати основою для розробки графічної моделі виникнення травмонебезпечної чи аварійної ситуації.

4.3 Рекомендації щодо покращення безпеки праці

Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві дуги протягом не більше 0,5 с.

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися наступних заходів [7, 15]:

- надійна ізоляція всіх, проводів, пов’язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги;

- надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварним виробом або руками зварника;

- робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях. При роботі в тісних відсіках і замкнутих просторах обов’язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6-12 В;

Для запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (брюки, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини. Куртки при роботі не слід вправляти у штани, а взуття повинне мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не потрапляли всередину одягу, так як в цьому випадку можливі важкі опіки.

Висновки за розділом

Аналіз умов роботи працівників показав високу ймовірність травматизму під час виконання зварювальних робіт. Складність операцій також підвищують і габаритні розміри та маса деталей. З метою зниження травматизму необхідно чітко дотримуватися правил безпеки праці на виробництві та постійно здійснювати перевірку їх дотримання рорбітниками.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1 Вихідні дані для виконання економічної оцінки пропонованих технічних рішень

У кваліфікаційній роботі запропоновано низку заходів щодо підвищення ефективності ремонтного зварювання техніки. Пропонована технологія побудована на базі процесу механізованого зварювання.

Першою операцією технологічного процесу є зачистка тріщини від бруду та фарби, що виконується із застосуванням кутової шліфувальної машинки, електричного дриля та металевої щітки.

Другою операцією технологічного процесу є обробка тріщини, яку виконують із застосуванням апарату для плазмового різання.

Третьою операцією технологічного процесу є заповнення розроблених кромок, яке виконується із застосуванням зварювального випрямляча, напівавтомата та формувача імпульсів.

Четвертою операцією технологічного процесу є контроль якості.

П'ятою та шостою операціями є наплавлення зносостійкого шару та контроль якості.

Застосування механізованого способу зварювання дозволяє суттєво підвищити продуктивність виконання зварювальних робіт. Тому в роботі слід оцінити витрати на впровадження пропонованих технологічних рішень та потенційний економічний ефект при прийнятті у виробництво проектної технології зварювання.

Для виконання економічних розрахунків розглянемо вихідні дані для проектної технології, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для виконання розрахунків з оцінки економічної ефективності проектної технології

Економічний показник	Позначення показника	Одиниця вимірювання	Значення показника
1	2	3	4
Розряд зайнятого у виконанні технологічних операцій персоналу	$P_р$	-	5
Розмір годинної тарифної ставки зайнятого у виконанні технологічних операцій персоналу	$C_{год}$	грн/год	150
Добова кількість змін, передбачених для виконання технологічних операцій	$K_{зм}$	-	1
Прийняті значення коефіцієнтів для розрахунку фонду заробітної плати:	$K_{доп}$	%	12
- доплат до основної заробітної плати	$K_д$	-	1,88
- відрахувань на додаткову заробітну плату	$K_{сп}$	%	34
- відрахувань на соціальні потреби виконання норми	$K_{вн}$	-	1,1
Вартість обладнання, яке використовується для виконання операцій технологічного процесу	$Ц_{об}$	грн	400 тис.
Прийняте значення встановленої потужності обладнання для виконання операцій розглянутого технологічного процесу	$M_{вст}$	кВт	20

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
Прийняті значення коефіцієнтів для розрахунку витрат на обладнання :			
- норма амортизації обладнання	$Н_а$	%	21,5
- коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат	$К_{т-з}$	%	5
- коефіцієнт витрат на монтаж та демонтаж	$К_{мон}$	%	5
	$К_{дем}$	%	5
Вартість електричної енергії для живлення обладнання при виконанні технологічних операцій	$Ц_е$	грн/кВт	8,4
Коефіцієнт корисної дії обладнання для виконання технологічних операцій	$Н$	-	0,85
Загальна площа під обладнання, яке виконує операції розглянутого технологічного процесу	S	$м^2$	100
Прийняті значення коефіцієнтів та показників для розрахунку витрат на площі:			
- вартість експлуатації площ	$С_{експ}$	(грн/$м^2$)/рік	250
- ціна виробничих площ	$Ц_{пл}$	грн/$м^2$	14200
- норма амортизації виробничих площ	$Н_{а.пл.}$	%	5
- коефіцієнта додаткової виробничої площі	$К_{пл}$	-	3
Прийняті значення коефіцієнтів та показників для розрахунку заводської собівартості:			
- коефіцієнт цехових витрат	$К_{цех}$	-	1,5
- коефіцієнт заводських витрат	$К_{зав}$	-	1,15
- коефіцієнта ефективності капітальних вкладень	$Е_н$	-	0,33

5.2 Розрахунок фонду часу роботи устаткування

Виконання операцій технологічного процесів зварювання виробу передбачає застосування обладнання та робітника. Для розрахунку фонду заробітної плати та витрат на обладнання та виробничі площі потрібно визначити фонд часу роботи устаткування [14].

Значення параметрів та коефіцієнтів приймемо з урахуванням вихідних даних, наведених у таблиці 5.1: сумарна кількість робочих днів календарному році $Д_р$ = 277 днів, тривалість робочої зміни $Т_{зм}$ = 8 годин, кількість передсвяткових днів $Д_п$ = 7 днів, зменшення тривалості робочої зміни в годинах у передсвяті дні $Т_п$ = 1 год, прийняте для аналізованого технологічного процесу кількість робочих змін $К_{зм}$ = 1. Таким чином, розраховуємо фонд часу визначають за залежністю:

$$F_н = (Д_р \cdot Т_{зм} – Д_п \cdot Т_п)\cdot К_{зм}. \quad (5.1)$$

Розрахунки, виконані згідно з (5.1) після підстановки чисельних значень параметрів та коефіцієнтів з вихідних даних:

$$F_н = (277 \cdot 8 – 7 \cdot 1)\cdot 1 = 2209 \text{ год.}$$

Ефективний фонд часу зварювального обладнання, яке застосовується для виконання операцій технологічного процесу визначається з урахуванням відсотка запланованих втрат робочого часу $В$ = 7%:

$$F_е = F_н \cdot (1 - В/100). \quad (52)$$

Після підстановки чисельних значень параметрів та коефіцієнтів з вихідних даних отримаємо:

$$F_е = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ год.}$$

5.3 Розрахунок штучного часу

Штучний час, який витрачається виконання операцій технологічного процесу визначаємо з урахуванням нормування праці та результатів аналізу

технологічних карт. Штучний час $t_{шт}$ є сумою затрат часу: машинного (виконання основних операцій технологічногопроцесу) часу $t_{маш}$; допоміжного (виконання допоміжних та підготовчих операцій технологічного процесу) часу $t_{доп}$; часу обслуговування (на поточний та дрібний ремонт обладнання) $t_{обсл}$; часу $t_{від}$ на особистий відпочинок працівників, задіяних у виконанні операцій технологічного процесу; підготовчо-заключного часу $t_{п\text{-}з}$:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{доп} + t_{обсл} + t_{від} + t_{п\text{-}з}. \quad (5.3)$$

Машинний час становитиме:

$$t_{шт} = 3\cdot(100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 5 \text{ год.}$$

Річна програма $П_р$ виконання ремонтного зварювання може бути розрахована виходячи з розрахованого за (5.2) ефективного фонду часу $F_е$ та визначеним у (5.3) штучного часу $t_{шт}$:

$$П_р = F_е / t_{шт}. \quad (5.4)$$

Річна програма становитиме:

$$П_р = 2054 / 5 = 410 \text{ дефектів протягом року.}$$

Розрахунок економічної ефективності проектної технології будемо виконувати для річної програми $П_р = 100$ дефектів на рік.

При цьому необхідна кількість $n_{розр}$ обладнання для виконання операцій технологічного процесу обчислюється з урахуванням коефіцієнта виконання норми $K_{вн} = 1{,}03$):

$$n_{розр} = t_{шт} \cdot П_р / (F_е \cdot K_{вн}). \quad (5.5)$$

Необхідна кількість обладнання згідно (5.5), складає:

$$n_{розр} = 5 \cdot 100 / (2054 \cdot 1{,}03) = 0{,}2.$$

Необхідна кількість обладнання $n_{пр}$, яке слід задіяти у технологічному процесі, задається виходячи з розрахованих згідно (5.5) значень. На підставі проведених розрахунків приймаємо по одній одиниці обладнання ($n_{пр} = 1$).

Коефіцієнт $K_з$ завантаження обладнання складе:

$$K_з = n_{розр} / n_{пр}. \quad (5.6)$$

Значення коефіцієнтів завантаження становить:

$$K_з = 0{,}2 / 1 = 0{,}2.$$

5.4 Собівартість пропонованої технології

Виконання дугового зварювання передбачає витрачання зварювальних матеріалів. При механізованому зварюванні в середовищі захисних газів дротом суцільного перерізу витратними матеріалами будуть захисний газ та зварювальний дріт.

Витрати M на зварювальні матеріали обчислюємо з урахуванням норми витрат $Н_р$, ціни матеріалів $Ц_м$ та коефіцієнта $К_{тз}$ транспортно-заготівельних витрат [2]:

$$M = Ц_м \cdot Н_р \cdot К_{тз}, \quad (5.7)$$

Витрати на матеріали становитимуть:

$$M = 130 \cdot 1{,}0 \cdot 50 \cdot 7{,}8 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}05 / 1000 = 63{,}88 \text{ грн.}$$

Обсяг основної заробітної плати $З_{осн}$ працівників, зайнятих на виконанні операцій, розрахуємо з урахуванням штучного часу $t_{шт}$, годинної тарифної ставки $С_{год}$ коефіцієнта доплат $К_д$:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot С_{год} \cdot К_д. \quad (5.8)$$

Основна заробітна плата робітників після підстановки значень формулу (5.8) становить:

$$З_{осн} = 5 \cdot 150 \cdot 1{,}88 = 1410 \text{ грн.}$$

Обсяг додаткової заробітної плати $З_{дод}$ працівників, зайнятих на виконанні технологічних операцій, розрахуємо з урахуванням основної заробітної плати $З_{осн}$ та коефіцієнта додаткових доплат ($К_{доп}$ = 12 %) [9]:

$$З_{дод} = З_{осн} \cdot К_{доп} / 100. \quad (5.9)$$

Додаткова заробітна плата складає:

$$З_{дод} = 1410 \cdot 12 / 100 = 169{,}2 \text{ грн.}$$

Фонд заробітної плати $Ф_{зп}$ обчислюється як сума основної та додаткової заробітної плати:

$$Ф_{зп} = 1410 + 169{,}2 = 1579{,}2 \text{ грн.}$$

Обсяг відрахувань $О_{сп}$ із фонду заробітної плати на соціальні потреби визначаємо з урахуванням коефіцієнта відрахувань на соціальні потреби $К_{сп}$:

$$О_{сп} = Ф_{зп} \cdot К_{сп} / 100. \quad (5.10)$$

Відрахування на соціальні потреби становлять:

$$О_{сп} = 1579{,}2 \quad 34 / 100 = 236{,}9 \text{ грн.}$$

Витрати на обладнання $З_{об}$, яке застосовується для виконання операцій, обчислюються як сума витрат $А_{об}$ на амортизацію та $Р_е$ на електричну енергію:

$$З_{об} = А_{об} + Р_е. \quad (5.11)$$

Величина амортизації обладнання $А_{об}$ розраховується виходячи з ціни обладнання $Ц_{об}$, норми амортизації $Н_а$, машинного часу $t_{маш}$, та ефективного фонду часу $F_е$ з використанням залежності:

$$А_{об} = Ц_{об} \cdot Н_а \cdot t_{маш} / F_е / 100 . \quad (5.12)$$

Амортизація обладнання становить:

$$А_{об} = 400000 \cdot 21{,}5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 125 \text{ грн.}$$

Витрати на електричну енергію $Р_е$ розраховуються з урахуванням встановленої потужності обладнання $М_{вст}$, ціни електричної енергії $Ц_е$ для підприємств, машинного часу $t_{маш}$ та ККД обладнання [16]:

$$Р_е = М_{вст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_е / \eta. \quad (5.13)$$

Витрати на електричну енергію складають:

$$Р_е = 3 \cdot 20 \cdot 8{,}4 / 0{,}85 = 592{,}9 \text{ грн.}$$

Розраховане значення витрати на обладнання становить:

$$З_{об} = 125 + 592{,}9 = 717{,}9 \text{ грн.}$$

Технологічна собівартість $С_{тех}$ розраховується як сума витрат на матеріали $М$, фонду заробітної плати $Ф_{зп}$, відрахувань на соціальні потреби $О_с$ та витрат на обладнання $З_{об}$ [16]:

$$С_{тех} = М + Ф_{зп} + О_с + З_{об} \quad (5.14)$$

Технологічна собівартість технології складає:

$$С_{тех} = 63{,}88 + 1579{,}2 + 236{,}9 + 717{,}9 = 2597{,}99 \text{ грн.}$$

Цехова собівартість $С_{цех}$ розраховується з урахуванням технологічної собівартості $С_{тех}$, основний заробітної плати $З_{осн}$ та коефіцієнта цехових витрат $К_{цех}$ [16]:

$$C_{цех} = C_{тех} + З_{осн} \cdot K_{цех}. \quad (5.15)$$

Розрахована цехова собівартість складає:

$$C_{цех} = 2597,99 + 1,5 \quad 1410 = 4712,99 \text{ грн.}$$

Заводська собівартість $C_{зав}$ розраховується з урахуванням цехової собівартості $C_{цех}$, основний заробітної плати $З_{осн}$ та коефіцієнта заводських витрат $K_{зав}$:

$$C_{зав} = C_{цех} + З_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (5.16)$$

Заводська собівартість технології складає:

$$C_{зав} = 4712,99 + 1,15 \quad 1410 = 6334,49 \text{ грн.}$$

Калькуляцію заводської собівартості технології зведено в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Калькуляція технологічної, цехової та заводської собівартості ремонтного зварювання

№	Найменування економічного показника	Умовне позначення	Калькуляція, грн.
1	Витрати на матеріали	M	63,88
2	Фонд заробітної плати	$Ф_{зп}$	1579,2
3	Відрахування на соц. потреби	$О_{с}$	236,9
4	Витрати обладнання	$З_{об}$	717,9
5	Технологічна собівартість	$C_{тех}$	2597,99
6	Цехові витрати	$З_{цех}$	2115
7	Цехова собівартість	$C_{цех}$	4712,99
8	Заводські витрати	$З_{зав}$	1621,5
9	Заводська собівартість	$C_{зав}$	6334,49

Висновки за розділом

За результатами розрахунків сумарна (заводська) собівартість ремонтного зварювання ковша автонавантажувача становить 6334,49 грн. На підставі результатів розрахунків можна вважати, що впровадження проектної технології дозволяє мінімізувати витрати та собівартість зварювання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Значну кількість дефектів робочих органів спеціальної техніки, зокрема ковшів навантажувачі, ремонтують з використанням електродугового зварювання. Здебільшого в існуючих технологіях для цього застосовують ручне зварювання, яке є низькопродуктивним. Тому технологічний процес ремонтного зварювання потребує удосконалення.

До найбільш поширених видів дефектів ковша фронтального навантажувача ТО-18, які можна виправлять методом зварювання відносяться тріщини у вже існуючих зварних швах та тріщини на поверхні бічних стінок. Для виконання ремонтного зварювання деталей ковша зі сталі 15ХСНД товщиною 12 мм найкраще, на нашу жумку, підходить механізоване зварювання в середовищі вуглекислого газу..

Технологічний процес ремонтного зварювання має ряд особливостей, зокрема необхідність якісної підготовки тріщин до їх заварювання. Заварювання розроблених тріщин відбувається шляхом накладання кореневого шва (при потребі з підваром) та заварування кромок за кілька проходів з метою повного заварювання тріщини та відновлення геометрії ковша.

Для виконання технологічної операції заварювання тріщини необхідний зварювальний апарат, джерело живлення якого має номінальний зварювальний струм 250…300 А.

Для повного заварювання тріщини в боковині ковша товщиною 12 мм зварювальним дротом 1,2 мм повне відновлення деталі (заварювання тріщини) можливе за чотири проходи.

За результатами розрахунків сумарна (заводська) собівартість ремонтного зварювання ковша автонавантажувача становить 6334,49 грн. На підставі отриманих результатів можна вважати, що впровадження пропонованої технології дозволяє мінімізувати витрати та собівартість зварювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Березін Л.Я., Хоменко М.М., Карпенко А.С. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2003. 142 с.

2. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: Навчальний посібник. Львів: Магнолія 2006, 2007. 500 с.

3. Гетманець С. М., Степанов Д. В. Реноваційні технології зварювання і споріднених процесів. Конспект лекцій для студентів спеціальностей 7.05050401, 8.015050401 «Технологія та устаткування зварювання», 7.05050402, 8.050050402 «Зварювальні установки», 7.05050403, 8.05050403 «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» Київ: НТУУ «КПІ», 2013. 109 с.

4. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР ”Магістр” студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.

5. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.

6. Драган С.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.

7. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 48 с.

8. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дріт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT): http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838.

9. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. / Редкол.: …С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. Київ: Видавничий центр “Академія”, 2000. 864 с.

10. Камель Г. І., Гасило Ю. А., Івченко П. С., Романюк Р. Я. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник. Кам’янське: ДДТУ, 2018. 241 с.

11. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник. Київ: Арістей, 2006. 272 с.

12. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.

13. Коробочка О.М., Рудасьов В.Б. Прогресивні технології відновлення і ремонту кузовних деталей автомобілів. «Системні технології», 2002 р. 127 с.

14. Музичук В. І., Анісімов В. Ф. Організація робіт підприємств технічного обслуговування. Навчальний посібник. Вінниця: ФОП Горбачук І.П., 2012. 240 с.

15. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

16. Польшаков В.І, Сахно Є.Ю. Економіка організація та управління технічним обслуговуванням і ремонтом машин. Київ: «Центр навчальної літератури», 2004. 328 с.

17. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. 348 с.

18. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ: Вища школа, 1993. 414 с.

19. Швець О.П. Вивчення обладнання для механізованого зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG): методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний

транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львыв: ЛНАУ, 2018р. 19 с.

20. Швець О.П., Стукалець І.Г. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 "Галузеве машинобудування" Львів: ЛНАУ, 2023. 56 с.

21. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Зварювання сталей в середовищі вуглекислого газу» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування». Львів: ЛНАУ, 2020. 10 с.

22. Шевченко М.П. Методичні вказівки по розрахунку режимів зварювання з дисципліни «Технологічні основи зварювання плавленням» для спеціальності 5. 05050401 «Зварювальне виробництво». Маріуполь, ДВНЗ «ПДТУ», 2019. 28 с.

23. https://pz.by/acat/spetstehnika/amkodor/amkodor_332s4__332s4_02/kovsh_to_18b_30_00_000__to_18b_30_00_000_01__to_18b_30_00_000_02__to_18b_30_00_000_03.html