Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технологічного процесу виготовлення рами навантажувач-екскаватора**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МП-41
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Матвіїшин М.В. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Підгурський М.І. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Дячун А.Є. (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Окіпний І.Б. (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Марущак П.О. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення рами навантажувач-екскаватора" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 54 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 4 аркушів формату А1. Для висвітлення питань, розрахунково-пояснювальна записка містить 24 рисунки, 5 таблиць, 3 додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 21 першоджерела.

У роботі проведено аналіз існуючих процесів виробництва та конструкцій рам навантажувача-екскаватора. Встановлено вимоги до якості та надійності готового виробу та проаналізовано матеріали для їхнього виробництва.

На основі отриманих даних розроблено складально-зварювальний кондуктор, який дозволив автоматизувати процес складання рами та значно підвищити якість та швидкість виробництва. Конструкція кондуктора забезпечила необхідну точність та універсальність при виготовленні рам різних модифікацій. Застосування сучасних методів неруйнівного контролю, включаючи ультразвуковий контроль та візуальний огляд, дозволяє своєчасно виявляти та усувати дефекти. Результати дослідження та практичної реалізації проєкту підтвердили ефективність обраного технологічного процесу. Виготовлена рама навантажувача-екскаватора відповідає всім технічним вимогам та готова до експлуатації в складних умовах.

Ключові слова: КОНДУКТОР, НАВПІВАТОМАТ, ЗВАРЮВАННЯ, РАМА, ЗВАРЮВАЛЬНІ ПРИСТОСУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 7
1.1 Опис конструкції виробу 7
1.2 Характеристика матеріалу виробу 11
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу 13
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу 16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 18
2.1 Обґрунтування способу зварювання 18
2.3 Вибір методу контролю якості виробу 26
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу 31
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА 37
3.1 Опис зварювальних пристосувань 37
3.2 Розрахунок сили притиску елементів основної балки рами 40
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ 44
4.1 Проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці в організації 44
4.2 Ризики та небезпека під час проведення зварювальних робіт: способи їх запобігання 47
ВИСНОВКИ 51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 52
ДОДАТОК 54

ВСТУП

Зварювальне виробництво рамних конструкцій відіграє стратегічно важливу роль у сучасному машинобудуванні, забезпечуючи створення міцних та надійних складових для різноманітних промислових застосувань. Цей процес включає в себе застосування різних методів зварювання, таких як дугове зварювання, під флюсом, газове зварювання, та використання автоматизованих зварювальних систем, що зумовлюють покращення якості швів та збільшення продуктивності виробничих процесів.

При модернізації технологічного процесу виробництва рамних конструкцій має враховувати особливості проектованих конструкцій, вимоги до міцності та довговічності з'єднань та оптимальне використання матеріалів. Це вимагає глибоких знань у металургії, матеріалознавстві, а також навичок у галузі теплових процесів.

У сучасному машинобудуванні важливу роль має розроблення оптимальних технологічних процесів, які зможуть забезпечити необхідну якість конструкцій та продуктивність виробництва. Такий підхід має вирішальне значення при виготовленні рам для навантажувачів-екскаваторів. Рама навантажувача-екскаватора є несучою частиною конструкції, яка відповідає за міцність, довговічність та надійність всієї машини.

При розробленні технологічних процесів виробництва рам враховують аналіз вимог до матеріалів, методів зварювання, обробки та контролю якості. Використання інноваційних технологічних рішень та передових технічних засобів дозволяє оптимізувати процес виробництва в напрямках автоматизації процесів та економії матеріалів [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Екскаватори-навантажувачі CASE 570ST — багатофункціональна техніка, яка виконує різні види робіт: копання, планування території, навантаження, переміщення вантажів на невеликі відстані (рис.1.1).

Екскаватори-навантажувачі це вид землерийно-комунальної техніки. Основними елементами робочими органами є: навантажувальний ковш спереду; екскаваторна стріла з зворотньою лопатою ззаду та базова машина.

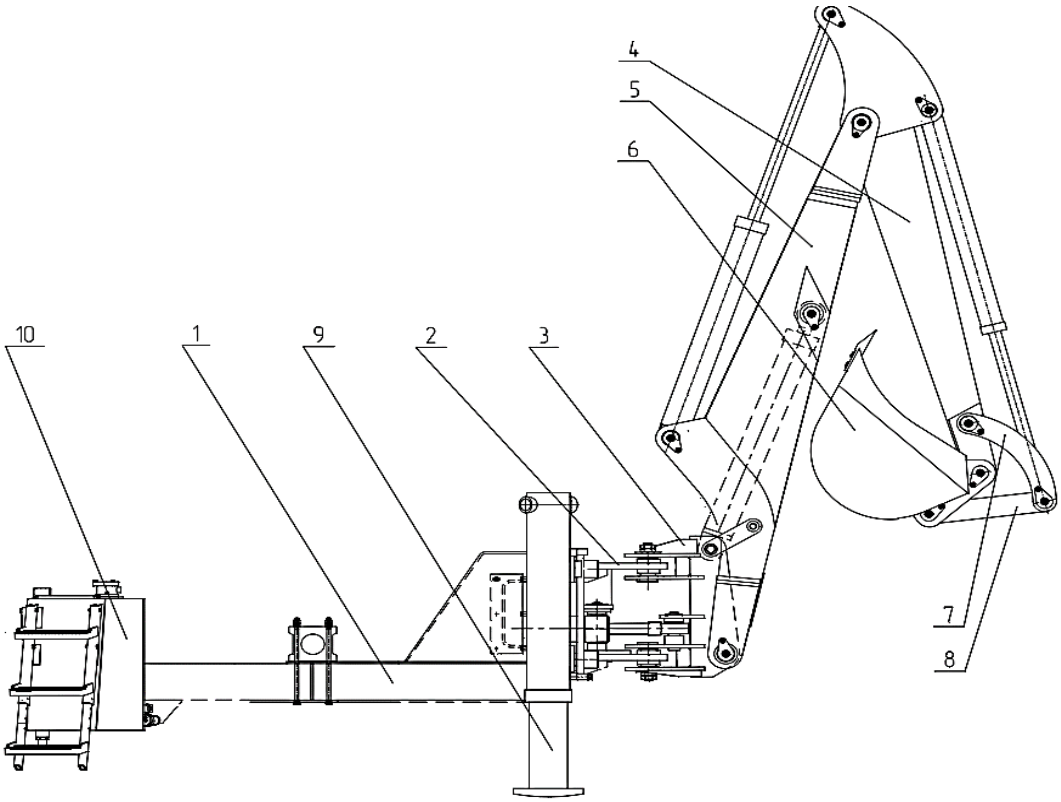
Ця техніка випускається переважно у колісному виконанні. Для них розроблено кілька варіантів шасі [2]:

— звичайне з заднім приводом і керованими передніми колесами меншого діаметра;
— шасі з рівновеликими колесами і повним приводом;
— машина з шарнірно-з’єднаною рамою.

Рис. 1.1 – Екскаватор-навантажувач CASE 570ST

Рама екскаваторного обладнання є зварною конструкцією і призначена для розвантаження кузова трактора та підвіски екскаваторного обладнання.

Рама кріпиться до задніх напівосей трактора болтами, а спереду за допомогою болтів до порталів навантажувального обладнання. Екскаваторне обладнання складається з рами, каретки, колонки, рукояті, стріли, ковша зворотної лопати, важелів та гідросистеми (рис.1.2).

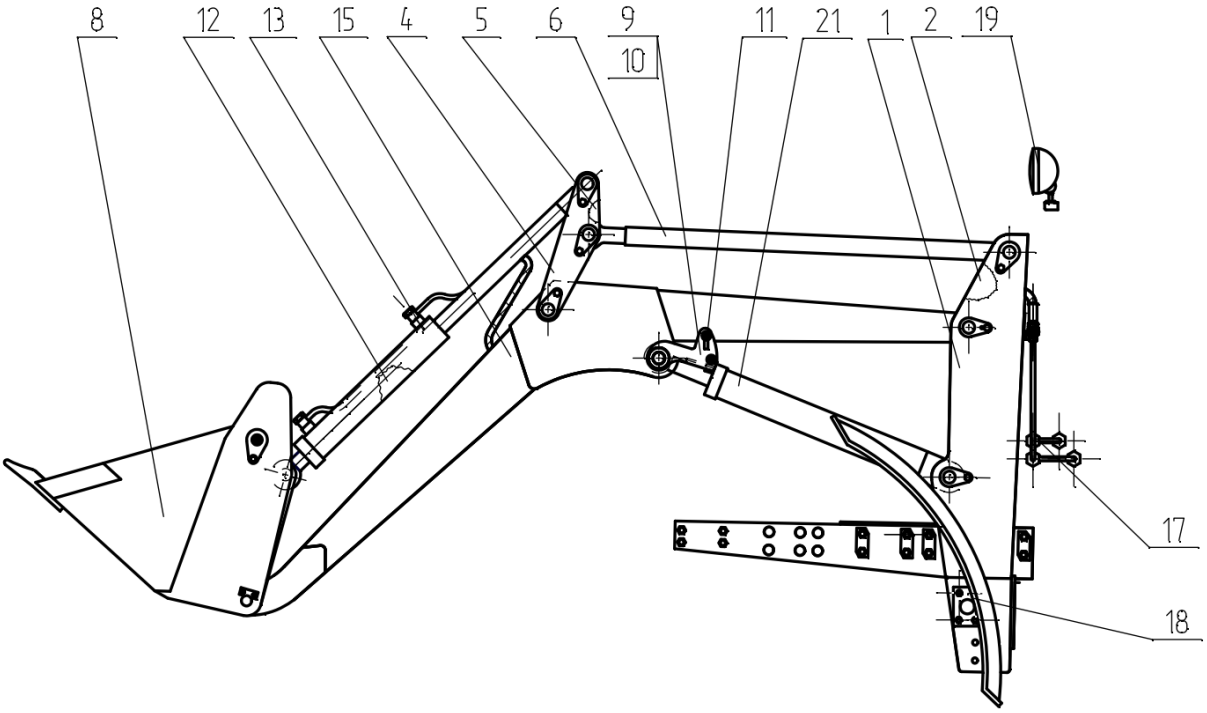


1 — рама; 2 — рухома каретка; 3 — колонка; 4 — рукоять; 5 — стріла; 6 — ковш; 7 — важелі; 8 — важіль; 9 — опори; 10 — гідробак

Рис. 1.2 — Екскаваторне обладнання.

На передній частині навантажувача-екскаватора встановлені рами. Вони представляють собою зварну конструкцію, що кріпиться до кузова шасі болтами. До рами кріпиться кронштейн. У поперечному напрямку рами жорстко з'єднані зв'язками. Рами сприймають навантаження в процесів роботи навантажувального обладнання. Навантажувальне обладнання складається з порталів, двох важелів, двох тяг, двочелюстного ковша, упорів

для транспортного положення, гідроциліндрів ковша та стріли, стріли, гідросистеми (рис.1.3).



1 – 2 — портали; 4 – 5 — важелі; 6 — тяги; 8 — ковш; 9 – 10 — упори; 11 — стопор; 12 – 13 — гідроциліндри; 15 — стріла; 17 — гідросистема; 18 — установка крил; 19 — переустановка фар; 21 — гідроциліндри.

Рис. 1.3 — Навантажувальне обладнання.

Конструкція рами екскаватора-навантажувача CASE 570ST (рис. 1.4), як і у багатьох сучасних машин цього класу, розроблена щоб забезпечити максимальну міцність, стійкість та довговічність. Конструкція рами складається з наступних елементів:

— основної балки. Це головний елемент рами, який часто виконується у формі довгих бокових балок, з'єднаних поперечинами. Ці балки розподіляють вагу та навантаження, прийняті від робочих органів та від ваги самого навантажувача-екскаватора;

— поперечин. З'єднують бокові балки і забезпечують додаткову жорсткість рамі. Вони допомагають рамі витримувати складні навантаження в процесі роботи з тяжкими вантажами або в складних робочих умовах;
— кріплень для робочих органів. На рамі розміщені спеціальні монтажні точки та кронштейни для кріплення різних робочих органів, таких як навантажувальний ковш або екскаваторна стріла.

Ця конструкція забезпечує оптимальний баланс між міцністю, вагою і функціональністю, дозволяючи навантажувачу-екскаватору виконувати різноманітні завдання на будівельному майданчику або в інших робочих умовах

Рис. 1.4 – Конструкція рами екскаватора-навантажувача CASE 570ST [2]

Конструкція несучої рами гідравлічного екскаватора-навантажувача охоплює інтегровані поздовжні балки (лонжерони) з точками кріплення до трактора, а також поперечні балки, які фіксовано з'єднані з лонжеронами. Додатково, на верхніх частинах лонжеронів розміщений кронштейн із вушками, обладнаними отворами для встановлення поворотного механізму та гідроциліндрів екскаватора. Кронштейн сконструйований із двох вертикальних бокових частин, розташованих під кутом, між якими знаходяться вушка з основою нижнього вушка на одному рівні з нижніми

кромками боковин і фіксовано з'єднана з верхніми базами лонжеронів через два ребра до бокової поверхні поперечної балки. Також верхнє та середнє вушка з'єднані ребром, яке жорстко з'єднане з нижньою площиною верхнього вушка та його втулкою, і з верхньою площиною середнього вушка у зоні отворів для гідроциліндрів. Листові стійки, приєднані до зовнішніх сторін поздовжніх балок і з'єднані з боковинами кронштейна, формують жорстку просторову структуру.

Основні балки виготовляються з сталі, що забезпечує міцністні характеристики конструкції до механічних навантажень. Іноді для зменшення ваги машини використовуються леговані сталі.

Основна балка рами проектується таким чином, щоб легко інтегруватися з іншими елементами рами та кріпленнями для різних робочих органів та механізмів машини.

Поперечини рами навантажувача-екскаватора розташовані між головними довгими балками рами і допомагають розподіляти навантаження, що дозволяє знизити ризик деформації та пошкодження основної рами при експлуатації. Вони можуть мати різну форму в залежності від моделі та виробника рами. Зазвичай вони мають прямокутний або круглий переріз.

Рама має розміри 3220х725х880 мм, а її маса становить 400 кг.

Основні балки (лонжерони) виготовляють у вигляді балок перемінного перерізу, які мають форму двотавра з ребрами жорсткості.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Рама екскаватора-навантажувача виготовляється з сталі 10ХСНД, при цьому особлива увага приділяється їхній зварюваності. Сталь 10ХСНД, що використовується у конструкції, відрізняється високим рівнем зварюваності завдяки своїм характеристикам (табл. 1.1 та 1.2).

Таблиця 1.1. Хімсклад сталі [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
до 0.12	0.8 - 1.1	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8	до 0.035	до 0.03	0.6 - 0.9	до 0.12	до 0.008	0.4 - 0.6	до 0.08

Таблиця 1.2 – Властивості матеріалу [3]

Сортамент	Розмір	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	ψ	KCU
-	мм	МПа	МПа	%	%	кДж / м^2
Лист	5 - 9	540	400	19		
Прокат		510-685	390	19		290
Сорт, Класу міцності 390	до 50	530	390	18		

Ключовим параметром при виборі матеріалу є зварюваність, що визначається за фізичними особливостями зварювального процесу та взаємодією металів з цим процесом. Зварювання є складним процесом, який включає нагрівання металу в зонах біля зварних швів, плавлення, металургійні перетворення та кристалізацію металу на ділянках з'єднання. Зварюваність оцінюється з технологічної та фізичної точок зору і вимірюється через властивості зварного шва та схильність до тріщиноутворення.

Для її визначення застосовують рівняння Стефаріана [4]:

$$\text{Ce} = C + (Mn/6) + (Si/24) + (Ni/10) + (Cr/5) + (Mo/4) + (V/14) \quad (1.2)$$

$$\text{Ce} = 0{,}12 + (0{,}5/6) + (0{,}8/24) + (0{,}5/10) + (0{,}6/5) = 0{,}407\%.$$

Сталі поділяють на категорії згідно з їхньою зварюваністю [4]:

— добре зварювані;

— задовільно зварювані;

— обмежено зварювані;

— погано зварювані.

Для сталі 10ХСНД характерне значення Се складає 0,407%, що робить її добре зварюваною, особливо при підвищених температурах навколишнього середовища, що перевищують -10 °С. Це дозволяє уникнути тріщин у зоні зварного шва завдяки швидкому охолодженню та потенційному легуванню наплавленого металу.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Розглядуваний в роботі екскаватор-навантажувач відповідає стандартам ДСТУ EN 474-1:2016, як землерийна машина. Робочий цикл у режимі екскаватора охоплює дії, такі як розкопки, підйом, обертання та розвантаження ґрунту.

Несучим елементом конструкції екскаватора-навантажувача є зварна рама. Тому, до неї висувається ряд вимог.

Вимоги до кромок деталей. Кромки, які підлягають зварюванню, обробляються методом, що гарантує відповідність необхідним формам, розмірам та шорсткостям, зазначеним у виробничих кресленнях. Після обробки розміри та допуски кромок мають відповідати вимогам для дугового зварювання у захисному газовому середовищі.

Зварювані краї та прилеглі металеві зони шириною не менше 20 мм перед складанням слід очистити від бруду, іржі, масла, вологи тощо. Після проведення кисневого і дугового різання слід видалити шлак, металеві бризки та напливи. Точність і якість деталей мають відповідати діючим стандартам.

Нелінійність різу не повинна перевищувати 1 мм, всі напливи необхідно видалити та зачистити. Необхідність механічної обробки країв деталей визначається згідно з кресленнями та технологічною документацією.

При висоті нерівностей різу, які не перевищують 0,3 мм, обробку країв можна не виконувати.

Кваліфікація працівника, що здійснює прихватку деталей конструкцій, які підлягають зварюванню, має бути аналогічною кваліфікації працівника, що виконує зварювання. Якщо конструкції з деталями, по яких проводиться прихватка, відносяться до категорії несучих, така операція має проводитися працівником, який має офіційну атестацію.

Оптимальне розміщення прихваток — безпосередньо на швах, окрім випадків, коли деталі зварюються тимчасово; у майбутньому такі прихватки видаляються. Порядок виконання встановлюється відповідно до технології.

Місця, призначені для зварювання після складання, слід очистити від забруднень; у виявленні дефектів прихваток їх необхідно видалити, після чого операцію повторити.

У вказаному процесі, складання деталей має відповідати встановленим нормам і стандартам, а також виконуватися відповідно до креслень. Точність збірки забезпечується за допомогою спеціалізованого устаткування, яке запобігає появі дефектів і не перешкоджає виконанню необхідних операцій.

Таке устаткування потребує регулярної перевірки. Перед складанням всі деталі, особливо місця зварювання, повинні мати чисту поверхню, а також вирівняні.

Всі перешкоди для правильного складання, такі як уступи та нерівності, мають бути оброблені. Відхилення від геометричних розмірів, форми та розташування поверхонь деталей у збірній одиниці, зазначені на кресленнях, мають забезпечувати вільний рух секцій кранових стріл відносно одна одної, а при розгорнутій стрілі не перевищувати значень, вказаних у документації.

Зварювання металоконструкцій має проводитися у приміщеннях. Зварювання на відкритому повітрі дозволено при використанні спеціальних

захисних пристроїв, що ефективно захищають місце зварювання та зварювальні поверхні від дощу та вітру.

Механізоване зварювання слід проводити із використанням вивідних планок. Якщо використання вивідних планок не можливо то обов'язково повинно бути заварювання кратера.

У разі перерви у процесу можливе відновлення тільки після очищення закінчення попереднього шва довжиною не менше 50 мм. Кратер необхідно повністю закрити швом.

При двосторонньому зварюванні спочатку необхідно проварити корінь шва, потім очистити, після чого накласти з оберненого боку основний шов. При багатошаровому зварюванні після накладання кожного шару потрібно очищати шви та зварювальні краї від шлаку, виявлені дефекти необхідно усунути відповідно до технології виробника.

Якщо використовуються закріплення та обернені вигини для виконання певних швів, їх слід видалити після повного остигання деталі. Зварювання з закріпленням деталей проводити лише, якщо це передбачено технологічним процесом.

Після завершення зварювання всі шви, а також прилеглу до них зону основного металу очистити від шлаку, бризок, натіків металу, і видалити вивідні планки. Видалення вивідних планок здійснювати кисневим різанням або механічним способом, після цього торці швів зачистити.

Забороняється видаляти вивідні планки ударами молотка чи кувалди. Зачистка зварних бризок може не проводитися в труднодоступних місцях металоконструкції, якщо це вказано у конструкторській документації.

Після виконання зварювання кожен зварювальник має поставити своє клеймо: якщо одну металоконструкцію зварює група зварювальників, то клеймо ставиться поряд із виконаним швом, якщо зварювання виконувалося одним зварювальником, то клеймо ставиться один раз у визначеному місці, яке передбачено кресленням або технологічною документацією.

Виготовлені деталі, збірні одиниці та готові підйомні машини мають бути прийняті відділом технічного контролю виробника. Прилади та апаратура, що використовуються для контролю розмірів і параметрів деталей, збірних одиниць і готових підйомних машин, повинні пройти державну або відомчу перевірку і визнатися придатними.

З партії деталей прийом має пройти не менше 10% деталей партії, але не менше 2. У разі виявлення хоча б однієї бракованої деталі, кількість зразків подвоюють. Якщо знову виявлено брак, прийом проводиться на всі деталі цієї партії. Кількість перевірених деталей при прийомі встановлює виробник і вказує їх у технологічній чи нормативній документації.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу

Каркас рами включає в себе головні балки (лонжерони), поперечні балки та інші компоненти. Процес виготовлення полягає у виробництві балок та з’єднанні усіх елементів у єдину конструкцію.

Розглянемо виготовлення основних балок зі змінним перерізом. Вони виготовляються за допомогою ручного дугового і напівавтоматичного зварювання, які є малопродуктивними і важкими за умовами роботи. Сучасні виробничі потреби зумовлюють перехід до автоматичного зварювання, що покращує санітарно-гігієнічні умови і підвищує продуктивність, знижуючи екологічну небезпеку.

Існують три основних способи збирання і зварювання зварних двотаврових лонжеронів. Початкові етапи включають розмічання та збирання елементів на стендах. Під час збирання двотаврової балки спочатку розмічають полиці, фіксуючи кутники вздовж лінії розмітки для стабілізації. Потім встановлюють стінку з жорсткими елементами всередині кутників. Після фіксації балка обертається на 180° для подальшого збирання, відтворюючи аналогічні складальні дії.

Серійне виробництво включає використання стендів із стаціонарними стелажами для складання балок. Завершальні дії передбачають зварювання з мінімальною деформацією і складання основної балки рами з поперечними балками та проводять зварювання в газах або під флюсом.

Процес має деякі недоліки, зокрема, не достатній рівень механізації та автоматизації складання, що призводить до деформацій. Це вимагає додаткових технологічних операцій для коригування зварювальних режимів. Також важливо дослідити два типи лонжеронів для зменшення ваги рами без втрати її несучої здатності.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

У процесі виробництва рами важливе місце займає вибір методу зварювання. Цей вибір впливає на ефективність зварювальних операцій. Сьогодні існує багато способів, вибір серед яких залежить від технологічності виробу та протяжності швів. Враховуючи конструктивні особливості рами екскаватора-навантажувача та товщини її лементів, для її зварювання можна застосовувати такі способи:

— «ручне» зварювання – робітник виконує всі операції з електродом вручну (за використання електродів зі спеціальним покриттям);
— напівавтомат – електрод-дріт автоматично подається разом з газом у зону зварювання;
— автомат – процес повністю автоматизований та підконтрольний визначеному алгоритму.

Серед великої різноманітності видів зварювання, MIG/MAG з є одним із найзручніших і найпоширеніших.

Цей вид зварювання є простим та зручним у використанні. За допомогою MIG зварювання можуть бути з'єднані різні типи металів, при виготовленні зварних швів різної складності та товщини. Такий спосіб відомий як GMAW ($Gas\ Metal\ Arc\ Welding$), що означає дугове зварювання у захисному газовому середовищі, у ручному, напівавтоматичному чи автоматичному режимі, що здійснюється методом плавлення. Такий процес зварювання можливий виключно за постійного струму (при прямій чи зворотній полярності). MAG, у свою чергу, передбачає зварювання в напівавтоматичному режимі, з використанням вуглекислого газу.

Захист зони зварювання здійснюється за рахунок активного чи інертного газу. Використання цього методу допустиме для більшості зварюваних матеріалів та типів зварювальної проволоки [7-8].

MIG/MAG є універсальним процесом, який забезпечує високу швидкість наплавлення в будь-якому положенні.

Цю можливість застосовують майже у всіх галузях, зокрема при зварюванні вуглецевих сталей, алюмінію та нікелю. Імпульсне MIG/MAG використовується при зварюванні конструкцій з алюмінію та високолегованих сталей. Зростаюче поширення отримує зварювальна проволока, що зумовлено її значними перевагами разом з високими показниками продуктивності.

Згідно з проведеним оглядом літератури, застосовуємо MIG/MAG ISO 14175-M21-ArC-20, з використанням функції QSet™, яка розпізнає комбінацію використовуваного дроту/газу і встановлює оптимальні параметри для отримання ідеальної зварювальної дуги, навіть за межами нормального діапазону короткої дуги..

Згідно з рекомендаціями, зварювання повинно проводитися зварювальним дротом з фізико-механічними властивостями не нижче ніж у основного металу, а як захисне середовище рекомендується використовувати вуглекислий газ вищого гатунку. При зварюванні в активному газі у складі дроту обов'язково, крім інших легуючих елементів, повинні бути розкислювачі - кремній і марганець (а іноді титан). Цим показникам найбільш підходить дріт Св-08Г2С (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 — Хімічний склад дроту Св — 08Г2С [9]

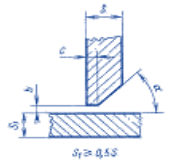
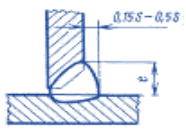
C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, не $>$ %	S, не $>$ %	P, не $>$ %
0,05 — 0,11	1,8 — 2,1	0,70 — 0,95	0,2	0,25	0,025	0,03

Для захисту зварювальної ванни та зварювальної дуги використовуємо суміш захисних газів ISO 14175-M21-ArC-20. Повне позначення газу або газової суміші, що включає номер цього стандарту та групу індексів (основну групу та підгрупу), ідентифікуючих газ або газову суміш, а також групу індексів, що вказують усі гази, які входять у суміш та об'ємну частку (у відсотках) компонентів. Цей стандарт визначає специфікацію газів для

зварювання, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для процесу зварювання, покращуючи якість зварного шва та знижуючи ймовірність виникнення дефектів. Використання вказаної газової суміші сприяє стабілізації дуги і захисту металу, що є необхідним для забезпечення міцності та довговічності швів.

Для забезпечення якісних показників швів потрібно визначити оптимальні параметри зварювання. Розрахунки здійснюєм відповідно до рекомендацій з літератури [10].

Таблиця 2.2. – Конструктивні особливості з'єднання рами

Умовні позначення	Конструктивні елементи		S, мм	b, мм		c, мм		e, мм		α, град+2°
	Підготовка кромок зварювальних деталей	Шва зварного з'єднання		Номінальний	Граничне відхилення	Номінальний	Граничне відхилення	Номінальний	Граничне відхилення	
Т6			10,0	0	+1	1	±1	8	±2	45

Тип шва за кількістю проходів приймаємо однопрохідний. [10].

Визначаємо площу поперечного перерізу шва

$$F_{н} = \frac{k^2}{2} \tag{2.1}$$

Катет шва приймаємо для Т1 $-$ $k = 8$ мм

$$F_{н8} = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Для катета 8 мм $-$ $d_е$ $=$ 2,0 мм.

Визначаємо зварювальний струм:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j \qquad (2.2)$$

Для діаметра дроту 2,0 мм приймаєм $j = 120 \frac{А}{мм^2}$.

$$I_{зв8} = \frac{\pi \cdot 2{,}0^2}{4} \cdot 120 = 376\ A$$

Визначаємо коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_н = A + B\frac{I_{зв}}{d_{ел}}, \qquad (2.3)$$

де $А = 7.0$; $В = 0.04$.

$$\alpha_{н8} = 7 + 0.04\frac{376}{4} = 10{,}76\ г/А \cdot год.$$

Визначаєм швидкість зварювання

$$V_{зв4} = \frac{А}{I_{зв}}, \frac{м}{год} \qquad (2.4)$$

$$V_{зв8} = \frac{10 \times 10^3}{376} = 26{,}6\ м/год.$$

Напругу зварювання:

$$U_д = 20 +\cdot I_{зв}\frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{ел}}} \pm 1 \qquad (2.5)$$

$$U_{д8} = 20 +\cdot 376\frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2{,}0}} \pm 1 = 33 \pm 1\ В$$

Приймаємо $U_д = 33В$.

Визначимо швидкість подачі дроту:

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot \text{I}_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_{\text{ел}}^2 \cdot \gamma}, \quad (2.6)$$

де $\gamma = 7800$ кг/м^3;

$$V_{\text{п.д.8}} = \frac{4 \cdot 10{,}76 \cdot 10^{-3} \cdot 376}{3{,}14 \cdot (2{,}0 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} = 165 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Маса наплавленого металу:

$$G_H = F_{\text{св}} \cdot l \cdot \rho \quad (2.7)$$

де, l – довжина шва, см;

ρ – густина наплавленого металу (для сталі $\rho = 7{,}8$ г/см^3).

$$G_{H(\text{Т1})} = 26500 \cdot 0.32 \cdot 7{,}8 = 1248 \text{ г} = 1.248$$

Час горіння дуги [13]:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_H} \quad (2.8)$$

$$t_{0(\text{Т1})} = \frac{1248}{376 \cdot 10{,}76} = 0{,}3 \text{ год}$$

Повний час зварювання [13]:

$$T = \frac{t_0}{K_{\text{п}}} \quad (2.9)$$

$$T_{(\text{Т1})} = \frac{0{,}3}{0{,}6} = 0{,}5.$$

де, $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт використання зварювального поста ($k_{\text{п}} = 0{,}6 \ldots 0{,}57$).

Витрати електроенергії:

$$A = \frac{U_д \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0) \qquad (2.10)$$

де $U_д$ – напруга дуги, В;

η – ККД джерела живлення : при постійному струмі 0,6 ÷ 0,7;

W_0 – потужність джерела живлення (Wо = 2,0 ÷ 3,0 кВт).

$$A_{(Н1)} = \frac{33 \cdot 376}{0{,}6 \cdot 1000} \cdot 0{,}3 + 3{,}0 \cdot (0{,}5 - 0{,}3) = 6{,}8 \text{ кВт} \cdot \text{ год.}$$

Витрата захисного середовища при зварюванні елементів рами екскаватора-навантажувача встановлюємо виходячи із розрахованих режимів зварювання(табл.2.3) у відповідності до табл. 2.4 [ ].

Таблиця 2.3 – Режими зварювання

Тип з'єднання	Сила струму Ізв, А	Напруга на дузі ***U***д, В	Діаметр дроту ***de***, мм	Швидкість зварювання ***V***зв, м/год	Швидкість подачі дроту ***V***п. д., м/год
Т**1**	376	33	2,0	26,6	165

Таблиця 2.4 – Витрати захисного газу [ ]

Струм зварювання, А	**50 ÷ 60**	**90 ÷ 100**	**150 ÷ 160**	**220 ÷ 240**	**280 ÷ 300**	**360 ÷ 380**	**430 ÷ 450**
Напруга дуги, В	17 – 28	19 – 20	21 – 22	25 – 27	28 – 30	30 – 32	32 – 34
Витрата газу, л/хв	8 – 10	8 – 10	9 – 10	15 – 16	15 – 16	18 – 20	18 – 2

2.2 Вибір зварювального устаткування

Обладнання для реалізації процесу зварювання має відповідати вимогам технологічного процесу, забезпечувати надійність у роботі, бути простим у експлуатації, а також виконувати необхідні режими зварювання з можливістю контролю параметрів під час експлуатації. До джерел струму висувають наступні критерії:

— забезпечувати швидку реакцію на перехід від короткого замикання до робочого режиму, не більше 0,01 секунди;
— забезпечувати стабільність режимів з мінімальними коливаннями від встановлених значень.

Джерела мають бути стійкими до зовнішніх умов, включаючи:

— можливість роботи в широкому температурному діапазоні від +40 °C до -40 °C;
— роботу при відносній вологості до 80% при 20°C;
— стійкість до механічних впливів ззовні.
— зварювальні апарати мають забезпечувати передзапуск подачі газу до запалювання дуги та затримку вимкнення газу після завершення зварювання. Інвертори повинні гарантувати:
— обмеження напруги холостого ходу до 12 В протягом 1 секунди після обриву дуги;
— стабільність струму на рівні ±10%.

Традиційний метод механізованого зварювання використовує джерело з жорсткою ВАХ, що призводить до хаотичних змін зварювальної напруги і струму. Імпульсне зварювання з газовою сумішшю $Ar+CO_2$ керується інверторною схемою та спеціалізованим мікропроцесором, який забезпечує точний контроль струму та відповідь на зміни напруги дуги [11-.12].

При виборі режиму зварювання слід налаштувати швидкість подачі дроту для оптимізації продуктивності та мінімізації дефектів. Настроювання

інверторного джерела відрізняється від звичайного напівавтомата, дозволяючи детально контролювати параметри переносу металу.

Такі технології зварювання розширюють можливості впровадження механізованого зварювання, замінюючи менш ефективні методи, що підвищує технологічні можливості та знижує втрати. Impulse welding з газовою сумішшю $Ar+CO_2$ є більш привабливим для зварювальника завдяки кращому контролю процесу і меншому розбризкуванню, що спрощує зачищення швів і відповідно підвищує їх якість.

З огляду на вищезазначені критерії обираєм півавтомат TransSteel 4000 PULSE (рис. 2.1, табл. 2.3.). Він відповідає необхідним параметрам, забезпечує стабільність режимів зварювання і дозволяє ефективно контролювати режими зварювання.

Рис. 2.1 - Півавтомат TransSteel 4000 PULSE [13]

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики $TransSteel$ 4000 $PULSE$ [13]

Параметр	Значення
Напруга мережі	**380 / 400V**
Зварювальний струм мінімальний	10 A
Зварювальний струм максимальний	400 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	400A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	370A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	340A / 100%
Діапазон робочої напруги Мінімальний	14,5 V
Напруга холостого ходу	65 V
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри / довжина	747 mm
Габаритні розміри / ширина	300 mm
Габаритні розміри / висота	497 mm
Маса	32,5 kg
Вага	34,5 kg
Вага з упаковкою	37,7 kg
Клас випромінювання перешкод	A

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Забезпечення високої якості зварювальних робіт становить основну проблему в сфері зварювання. Якість зварних швів має вирішальний вплив на експлуатаційну довговічність та економічність конструкцій. Дефекти в зварних з'єднаннях, такі як невідповідності заданим характеристикам, інтегральності та формі шва, а також якості та інтегральності прилеглих зон, можуть призвести до зниження міцності та інших експлуатаційних властивостей продукції. Контроль за якістю зварювання проводиться згідно із встановленою процедурою. Перед початком зварювання перевіряється [14]:

— наявність у зварювальника дозволу на виконання робіт;

— якість збірки та наявність відповідної маркування на зібраних деталях;
— стан кромок та прилеглих поверхонь;
— наявність документації, яка підтверджує якість зварювальних матеріалів;
— стан зварювального обладнання та наявність документів, що підтверджують його придатність;
— температуру передзварювального нагріву деталей, якщо такий передбачений нормативними документами.

Під час зварювання контролюються:

— режим зварювання;
— послідовність нанесення швів;
— розміри шарів шва та кінцеві розміри шва;
— виконання спеціальних вимог, зазначених у проектно-технічній документації;
— наявність маркування зварювальника на зварному з'єднанні після завершення зварювання.

Контроль якості зварних з'єднань сталевих конструкцій включає:

— 100% візуальний контроль;
— неруйнівні методи контролю, такі як ультразвукова дефектоскопія, що охоплює не менше 0,5% довжини швів;
— додаткові методи контролю, передбачені проектною документацією.

Тріщини будь-якого розміру в швах не допускаються і повинні бути усунуті з наступною діагностикою. Для визначення розмірів шва і виявлених дефектів використовується вимірювальний інструмент із точністю ±0,1 мм або спеціальні шаблони. Вибірковий контроль проводиться у місцях, де виявлені дефекти, а також у місцях перехрещення швів [14].

В процесі виготовлення рами навантажувача-екскаватора використовуються візуальний та вимірювальний контроль. Цей метод дозволяє контролювати як початкові деталі, так і готову продукцію, виявляти

відхилення у формі деталей і виробів, недоліки металу, обробки поверхні та видимі дефекти швів: лупи з 5-10-кратним збільшенням для детального огляду малих дефектів та нерівностей на поверхні зварних швів; штангенциркулі; мікрометри та спеціальні шаблони (рис. 2.2) для перевірки геометричних параметрів швів та визначення точності виконання деталей.

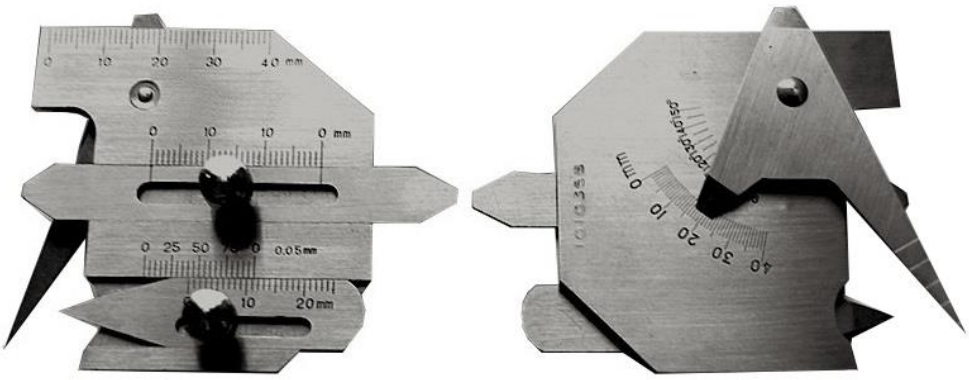


Рис. 2.2 – Шаблон зварювальника $WG - 2$ [15]

Для контролю катета шва застосовують катетометр КТЦ-20 (рис. 2.3).

Рис. 2.3 – Катетометр КТЦ-20 [15]

Ультразвуковий контроль [14]. Контроль зварних швів, як правило, проводять за комбінованою схемою включення перетворювача, тобто використовуючи один перетворювач у режимі випромінювання та прийому.

При контролі перетворювач встановлюють на поверхню виробу у зоні зачистки перпендикулярно осі шва і переміщають його вздовж шва, роблячи зворотно-поступальні рухи та повертаючи перетворювач відносно його осі на 10-150 вліво і вправо. Крок переміщення (сканування) при цьому не повинен перевищувати половини розміру п'єзопластини перетворювача.

Для підвищення достовірності контроль зварних швів проводять, як правило, з двох сторін шва. При відсутності доступу з однієї зі сторін, контроль виконують тільки з однієї сторони, а в заключенні за результатами контролю обов'язково вказують недоступні для контролю ділянки.

Ознакою виявлення дефекту є поява в зоні контролю на екрані дефектоскопа ехо-сигналу, що перевищує за амплітудою встановлений при налаштуванні контрольний рівень чутливості.

Перед проведенням оцінки слід відокремити ложні ехо-сигнали від корисних. Хибні ехо-сигнали можуть бути зумовлені нерівностями поверхні, конструктивними особливостями та іншими причинами.

Для цього слід виміряти координату і визначити місцеположення відбиваючої поверхні. Якщо відбивач знаходиться у зоні контролю (у зоні наплавленого металу), необхідно перейти до визначення вимірюваних характеристик [14]:

— амплітуда ехо-сигналу (або еквівалентної площі дефекту);
— умовної протяжності;
— кількості дефектів на певній ділянці зварного шва.

Виявлені при контролі дефекти поділяють на точкові та протяжні. Точковий дефект, умовна протяженість якого не перевищує, умовної протяженості штучного відбивача, розміри якого визначаються еквівалентною площею (або діаметром плоскодонного отвору) і виконаного на глибині залягання дефекту. Протяжний дефект, умовна протяженість якоговизначається як відстань по поверхні виробу між крайніми положеннями перетворювача. За крайні положення перетворювача

приймаються такі, при яких амплітуда ехо-сигналу від виявленого дефекту зменшується до контрольного рівня чутливості (на 6 дБ вище допустимого) [14].

За конструкцією кутові та таврові виконуються двох категорій: із повним проплавленням або з конструктивним зазором (непроваром).

Під час контролю кутових та таврових зварних з'єднань будь-якого типу обробки кромок (V-подібна, К-подібна) особливу увагу слід звертати на кореневу зону шва, де найбільш імовірне наявність дефектів типу непроварів.

Контроль проводиться прямими та одноразово відбитими променями з двох боків шва за допомогою нахилених перетворювачів. Під час контролю таврових та кутових зварних з'єднань елементів з плоскими стінками для контролю також використовують прямі або окремо-суміщені перетворювачі.

Контроль усіх типів кутових та таврових зварних з'єднань виконується перетворювачами, залежно від товщини контрольованого зварного з'єднання.

Чутливість дефектоскопа налаштовується залежно від конкретної товщини контрольованого виробу та максимально-допустимого розміру дефекта для даного типу обладнання, зазначеного в нормативно-технічній документації, паспорті обладнання або в таблицях 4-7 [14] даної інструкції.

Налаштування швидкості розгортки та чутливості дефектоскопа виконується на тестових зразках, товщина яких відповідає товщині контрольованого виробу, зі штучними відбивачами, розміри яких відповідають максимально допустимим розмірам дефектів для конкретного контрольованого виробу.

Контроль рами екскаватора-навантажувача будемо проводити за допомогою дефектоскопа SONOSCREEN ST10 (рис. 2.4)[16].

Рис. 2.4 – Дефектоскоп SONOSCREEN ST10 [16].

Якість зварних з'єднань і конструкції загалом зазвичай визначають декількома методами. Універсального методу контролю не існує. Перед контролем зварні з'єднання повинні бути ретельно очищені від шлаку та інших забруднень. Для перевірки якості зварного з'єднання застосовуємо візуальний огляд.

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Враховуючи конструктивні особливості рами навантажувача-екскаватора, особливо її складові частини, процес її виготовлення базується на ряді виконання технологічних операцій. Виробничий процес охоплює ряд етапів: очищення, виправлення, розрізання, , підготовка кромок, складання та зварювання, перевірка зварних швів і готових конструкцій.

Технологічна послідовність включає такі дії:

010. Перевезення листа зі складу та перевірка якості металевої поверхні. Стандартний лист розміром 6000x1500x10мм та 6000x1500x8мм доставляється на етап очищення. Для очищення застосовують дроботруйну машину прохідного типу SK-10 ÇETINGIL (рис. 2.5).

Рис. 2.5 – Дробоструминева машина SK-10 ÇETINGIL [17]

015. Виправлення. Виконується первинне коригування стандартного листа на машині для вирівнювання листів Bendmak BPSM (рис. 2.6) для усунення вм'ятин, хвиль і кривизни.

Рис. 2.6 – Листоправильна машина Bendmak BPSM 30/50 [17].

20 Різання. Лист поділяється на частини згідно із заданими розмірами за допомогою лазерної установки Gweike LF3015GC (рис. 2.7). На даній операції проводять різання вертикальної стінки та верхнього і нижнього поясів основної балки рами екскаватора-навантажувача, а також інші елементи рами.

Рис. 2.7 Установка Gweike LF3015GC [17]

25 Обробка кромок. З огляду на те, що товщина металу становить 10 мм, необхідно виконати розкриття кромок. Ця операція проводиться за допомогою кромкостругального верстата АВМ 28 (рис.2.8).

Рис. 2.8 – Кромкостругальний верстат АВМ 28

30 Перевірка геометричних розмірів.

Після проведення всіх заготівельних етапів заготовки рами поступають на операції складання та зварювання. Послідовність тих операцій здійснюється методом нарощування складових елементів рами.

35 Складання та зварювання.

35.1 Складання основних балок рами.

I. Розмістити нижню полицю на платформі складально-зварювального пристрою між основними засобами фіксації (рис. 2.8).
II. Встановити пряму стінку до магнітного упору.
III. Встановити нижню стінку, забезпечивши відстань 20±5мм від краю.
IV. Виконати фіксування та притиск елементів рами.
V. Виконати тимчасове з’єднання складених частин.
VI. Перевірка складання. Використовувати універсальні шаблони та лінійку для контролю зазорів та правильного розташування деталей.
VII. Видалити зварювальні бризки, окалину та шлак. Очищення проводиться за допомогою шліфувальної машини Bosch GWS26-230.

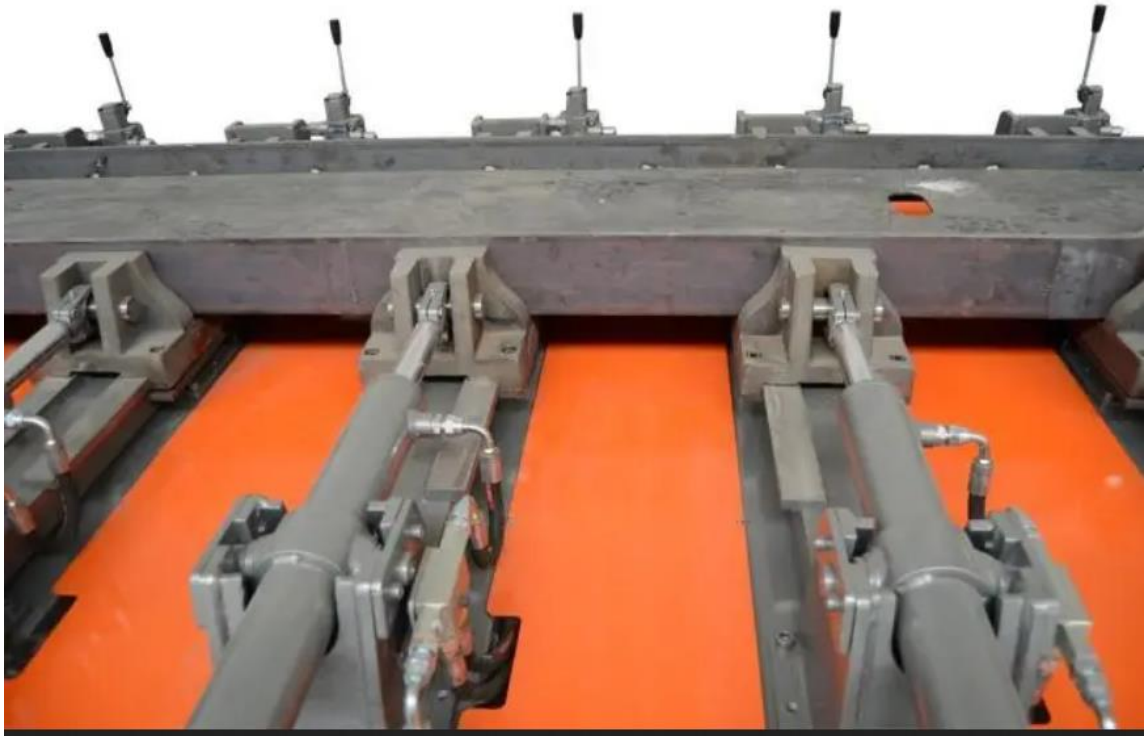


Рис. 2.8 – Універсальний стенд складання основних балок рам

35.2 Виконати зварювання основних балок рами. Зварювання здійснюють на універсальній спеціалізованій установці зварювання лонжеронів (рис. 2.9).

Рис. 2.9 – Універсальна установка зварювання лонжеронів [18]

35.3 Повернути основну балку на 180° та виконати зварювання.

040 Видалення кріпильних планок та очищення шва.

045 Виправлення звареної основної балки рами. Виконати виправлення деформацій зварених полиць в установці YTJ-60B (рис. 2.10).

Рис. 2.10 – Універсальна установка YTJ-60B [18]

050. Контроль зварної основної балки. Виконати візуальний огляд форми зварного шва з використанням шаблону WG-2 та катетометра КТЦ-20. Внутрішні дефекти із застосуванням дефектоскопа SONOSCREEN ST10.

Після виготовлення основних балок рами проводять її повне складання та зварювання.

055 Складання рами. Всі подальші операції проводять в спеціальному кондукторі. Послідовність складання наступна:

I. Втановити в кондуктор основну балку та зафіксувати.
II. Вставити у відповідни місцях і зафіксувати поперечні балки.
III. Встановити іншу основну балку.
IV. Притиснути до поперечних балок та зафіксувати.
V. Виконати прихопленя основних і поперечних балок між собою.

060 Зварювання.

I. Провести зварювання складених елементів рами в кондукторі.
II. Перемістити частково зварену раму в кантувач.
III. Провести зварювання всіх швів.
IV. Встановити у відповідних місцях за допомогою шаблонів постелі та стійки.
V. Виконати зварювання вказаних елементів до основи рами.
VI. Встановити у відповідних місцях розкоси та інші елементи і приварити.

065 Провести слюсарні роботи із зачищення швів і прилеглих місць.

070 Провести контроль готової зварної рами.

При виявленні дефектів провести обов’язкове видалення дефекту і заварити.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис зварювальних пристосувань

На основі технологічного процесу виготовлення основних балок рами навантажувача-екскаватора проводять в універсальному кондукторі (рис. 3.1).

Кондуктор складається з опор, які є переставним та рухомих притискачів, вмонтованих на одну платформу (раму). Рухомі притискачі активуються пневмоциліндрами і можуть регулюватися кожен окремо на необхідну відстань від упорів, що розташовані навпроти. Така конструкція розширює області використання кондуктора, як для виробництва балок змінного перерізу, так і для постійного. Переміщення рухомого притискача відбувається по направляючих, закріплених на основній рамі, і фіксується за допомогою вставних пальців.

Упори прикріплені до базової рами за допомогою пальців-фіксаторів та обладнані електромагнітами, на які укладаються стінки конструкції. Встановлення полиць лонжерону регулюється за допомогою змінних заставних сухарів, що дозволяє точно позиціонувати їх відносно стінки. Пневмопритискачі, розташовані через кожні 500 мм, розвивають тиск до 20 кН, забезпечуючи щільне прилягання полиць до стінок.

У кондукторі використовується механізм клавішного притискання, що дозволяє адаптувати гнучкі компоненти до контурів жорсткого елемента, забезпечуючи мінімальні зазори на стиках, незалежно від кривизни чи перетину лонжеронів.

Кондуктор, який застосовується для складання рам, спеціально розроблений для легкого перенастроювання під різноманітні типи та розміри рам. Процес складання в кондукторі відбувається наступним чином: спочатку встановлюють поперечні балки рами та зафіксовують їх за допомогою

притискачів на потрібній відстані одна від іншої, а також регулюють їхнє положення відносно вертикальної частини лонжерона. Після цього монтується лонжерон, який притискається до балок за допомогою пневмопритискачів та фіксується. Завершується процес частковим зварюванням і прихопленням компонентів рами. Завдяки такій конструкції кондуктора забезпечується висока точність та якість складання рами.

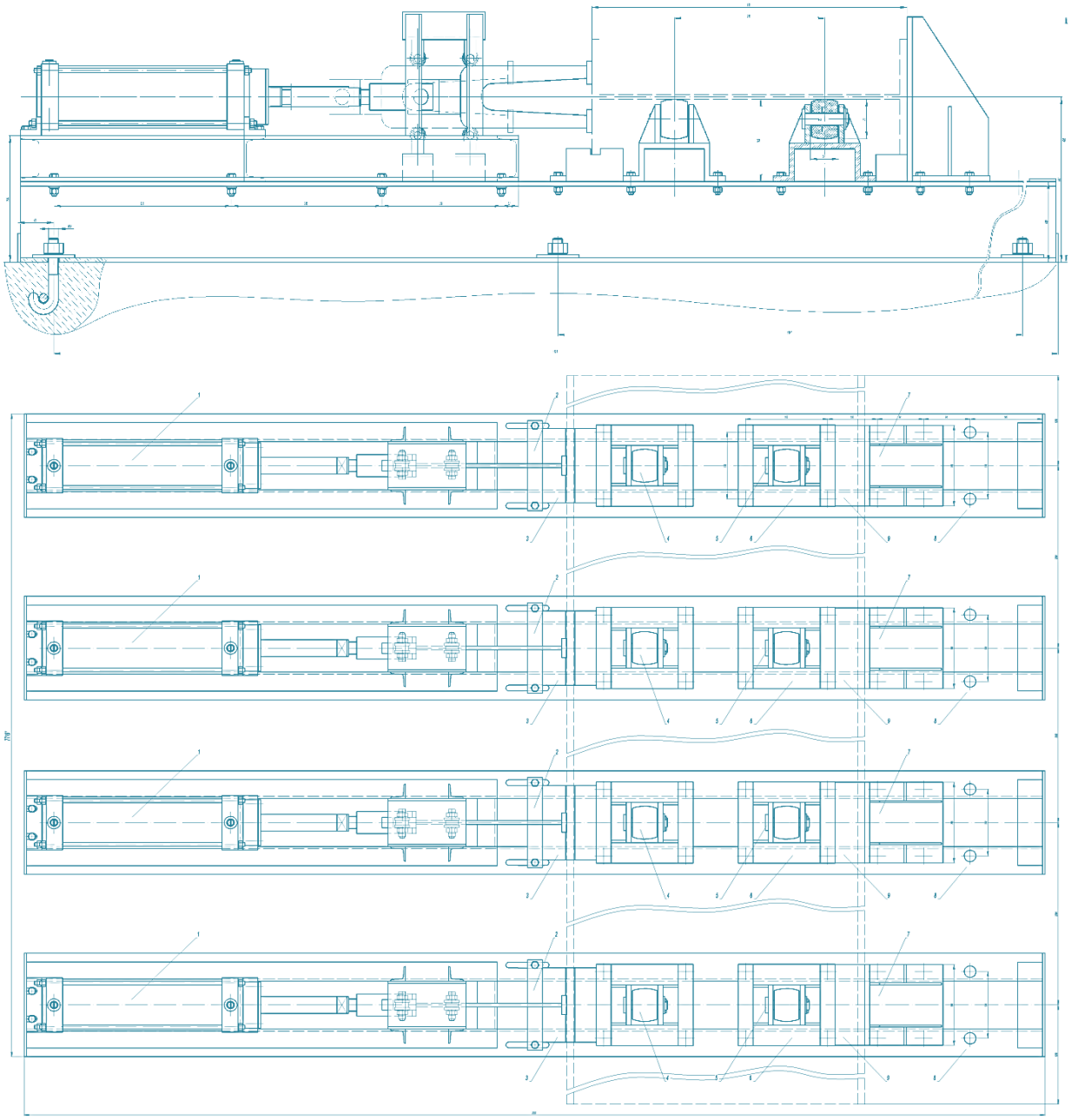


Рис. 3.1-Універсальний кондуктор складання лонжеронів

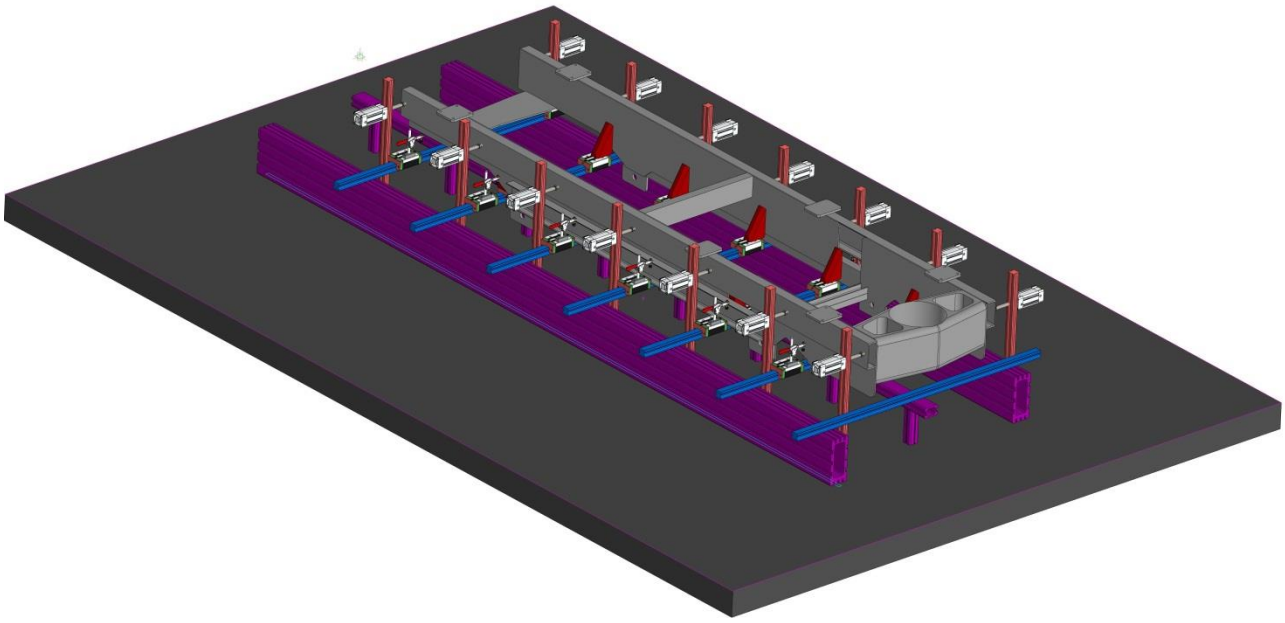


Рис. 3.2 Кондуктор складання рам

Після первинного складання та часткового зварювання, раму переносять до кільцевого кондуктора. Конструкція цього кільцевого кантувача забезпечує можливість фіксації та обертання складеної рами до оптимального положення для зварювання, а також допомагає мінімізувати прогини, що виникають внаслідок ваги самої рами під час її виготовлення.

Рис. 3.3 – Універсальний кільцевий кантувач

3.2 Розрахунок сили притиску елементів основної балки рами

Розрахунок зусиль притискання виконується відповідно до методик та рекомендацій, наведених у літературі [19]. Це дозволяє точно визначити необхідні параметри для ефективного та безпечного функціонування складально-зварювального обладнання, забезпечуючи оптимальне притискання деталей перед зварюванням.

Вихідним даними є:

довжина лонжерона $L = 0{,}9$ м;

матеріал лонжерона $-$ сталь ВСт3сп,

межа текучості σт $= 590$ МПа,

модуль пружності Е $= 2{,}1 \times 105$ МПа,

висота стінки hс $= 300$ мм,

товщина стінки δс $= 8$ мм,

ширина полиці bп $= 60$ мм,

товщина полиці δп $= 10$ мм,

режим зварювання – I $= 376$ А, Uд $= 40$ В, Vзв $= 1$см/с, $\eta = 0{,}8$,

катет шва К $= 8$ мм.

залишкова кутова деформація $tg\ \alpha = 0{,}01$.

Визначаємо центр ваги лонжерона:

Cтатичний момент перерізу балки

$$S_x = b_n\delta_n\frac{\delta_n}{2} + h_c\delta_c\left(\frac{h_c}{2} + \delta_n\right) \tag{3.1}$$

$$S_x = 6 \cdot 1 \cdot \frac{1{,}0}{2} + 30 \cdot 1\left(\frac{30}{2} + 1{,}0\right) = 483\text{см}^3.$$

площа перерізу балки

$$F = h_c\delta_c + b_n\delta_n \tag{3.2}$$

$$F = 30 \cdot 1 + 10 \cdot 0{,}8 = 38 \text{ см}^3$$

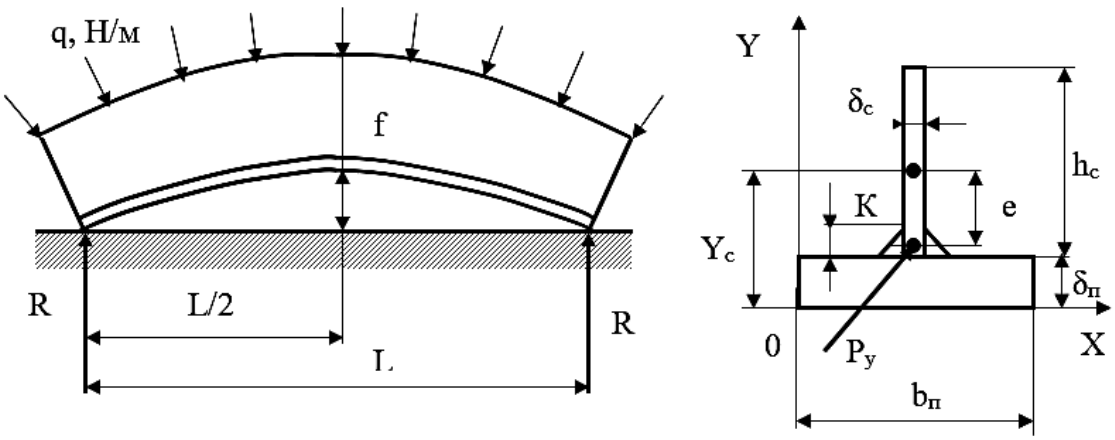


Рис. 3.4. Розрахункова схема притиску балки в кондукторі [19]

центр ваги балки

$$Y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{483}{38} = 11{,}5 \text{ см.} \tag{3.3}$$

Ексцентриситет прикладання усадочної сили

$$e = Y_c - \left(\frac{1}{3}K + \delta_n\right) = 11{,}5 - \left(\frac{1}{3}0{,}8 + 1\right) = 10{,}2 \text{ см.} \tag{3.4}$$

Теплова потужність зварювальної дуги

$$q = IU_\partial\eta = 376 \cdot 33 \cdot 0{,}8 = 9926{,}4\text{Вт.} \tag{3.5}$$

Величина усадочної сили від зварювання двох поясних швів

$$P_{y2} = 1{,}15 \cdot 17\frac{q}{V_{зв}} = 1{,}15 \cdot 17 \cdot \frac{9926{,}4}{1{,}0} = 194061{,}12\text{Н.} \tag{3.6}$$

Розподілене навантаження на балку

$$q = 9{,}6\frac{P_{y2} \cdot e}{L^2} = 9{,}6\frac{194061{,}12 \cdot 10{,}2 \cdot 10^{-2}}{3{,}2^2} = \ 1933 \text{ Н/м}. \qquad (3.7)$$

Зосереджена сила, що діє на всю балку

$$Q = q \cdot L = 19842{,}5 \cdot 3{,}2 = 63496 \text{ Н}. \qquad (3.8)$$

Опорні реакції на кінцях балки, закріпленої в кондукторі

$$R = \frac{Q}{2} = \frac{63496}{2} = 31748 \text{ Н}. \quad (3.9)$$

Визначимо сили на притискачах кондуктора для складання та зварювання балок у випадку утворення «грибоподібності» полиці при зварюванні поясних швів.

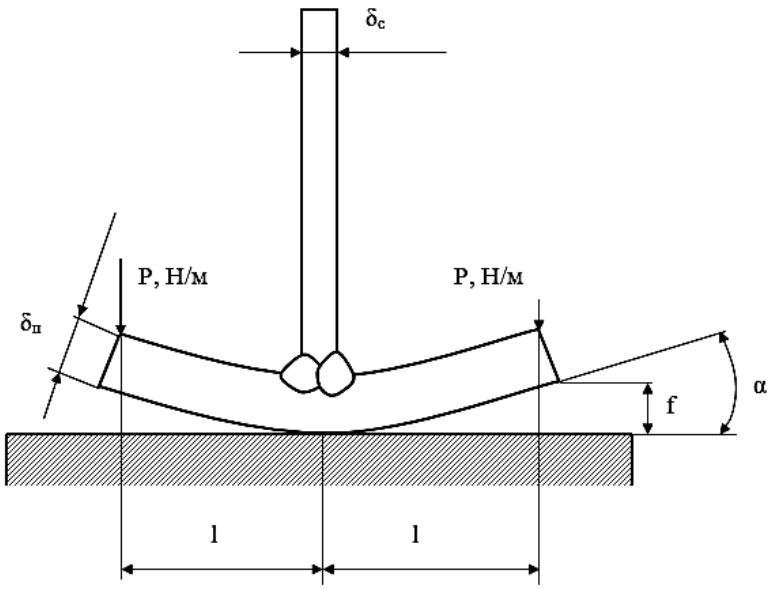


Рис. 3.5 Розрахункова схема визначення сил притиску [19]

Визначаємо критичне значення кутової деформації

$$tg\alpha_{кр} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{доп}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^{-3} \cdot 590 \cdot 10^{6}}{3 \cdot 2{,}1 \cdot 10^{5} \cdot 10^{6} \cdot 0{,}008} = 0{,}037. \quad (3.10)$$

Якщо $\alpha \prec \alpha_{кр}$, то погонна сила притиску

$$P = \frac{\delta^3 \cdot tg\alpha \cdot E}{4 \cdot l^2} \quad (3.11)$$

$$P = \frac{0{,}008^3 \cdot 0{,}01 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{4 \cdot 0{,}16^2} = 10\ 500\ Н/м.$$

Тоді, сила притиску всієї полиці зварюваної балки

$$Q = 2P = 2 \times 10\ 500 = 21\ 000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}. \quad (3.12)$$

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці в організації

Однією із складових ефективної роботи з профілактики виробничого травматизму є належна підготовка, навчання та підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці.

Організацію навчання та перевірки знань з питань охорони праці працівників на підприємстві здійснюють працівники служби кадрів або інші спеціалісти, яким роботодавець доручив організацію цієї роботи [21].

Перевірку знань з питань охорони праці посадових осіб, які пройшли навчання в галузевих навчальних центрах, проводить комісія, призначена вищим органом, до сфери впливу якого входить підприємство. Очолює таку комісію керівник (заступник керівника) цього органу, до службових обов’язків якого входить організація роботи з охорони праці, або керівник служби охорони праці цього органу.

Перевірка знань з питань охорони праці працівників, які пройшли навчання в інших навчальних закладах чи установах, проводиться комісією, створеною відповідним територіальним управлінням спеціально вповноваженого центрального органу виконавчої влади з нагляду за охороною праці [21].

Навчання та перевірка знань з питань охорони праці працівників (виконавців і посадових осіб), які не залучаються до виконання підвищеної небезпеки робіт, проводиться не рідше ніж один раз на три роки.

Посадові особи та працівники, які виконують роботи підвищеної небезпеки, проходять спеціальне навчання та перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці не рідше одного разу на рік [21].

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж проводиться [21]:

- з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади;

- з працівниками інших організацій, які прибули на підприємство і беруть безпосередню участь у виробничому процесі або виконують інші роботи для підприємства;

- з учнями та студентами, які прибули на підприємство для проходження трудового або професійного навчання;

- з екскурсантами у разі екскурсії на підприємство.

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником [21]:

- новоприйнятим (постійно чи тимчасово) на підприємство або до фізичної особи, яка використовує найману працю;

- який переводиться з одного структурного підрозділу підприємства до іншого;

- який виконуватиме нову для нього роботу;

- відрядженим працівником іншого підприємства, який бере безпосередню участь у виробничому процесі на підприємстві.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою працівників, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом переліку питань первинного інструктажу.

Повторний інструктаж проводиться в терміни, визначені нормативно правовими актами з охорони праці, які діють у галузі, або роботодавцем (фізичною особою, яка використовує найману працю) з урахуванням конкретних умов праці, але не рідше [21]:

- на роботах підвищеної небезпеки - 1 раз на 3 місяці;

- для решти робіт - 1 раз на 6 місяців.

Позаплановий інструктаж проводиться з працівниками на робочому місці або в кабінеті охорони праці [21]:

- при введенні в дію нових або переглянутих нормативно-правових актів з охорони праці, а також при внесенні змін та доповнень до них;

- при зміні технологічного процесу, заміні або модернізації устаткування, приладів та інструментів, вихідної сировини, матеріалів та інших факторів, що впливають на стан охорони праці;

- при порушеннях працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці, що призвели до травм, аварій, пожеж тощо;

- при перерві в роботі виконавця робіт більш ніж на 30 календарних днів - для робіт підвищеної небезпеки, а для решти робіт - понад 60 днів.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками [21]:

- при ліквідації аварії або стихійного лиха;

- при проведенні робіт, на які відповідно до законодавства оформлюються наряд-допуск, наказ або розпорядження.

Цільовий інструктаж проводиться індивідуально з окремим працівником або з групою працівників. Обсяг і зміст цільового інструктажу визначаються залежно від виду робіт, що виконуватимуться [21].

Про проведення первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів та їх допуск до роботи, особа, яка проводила інструктаж, уносить запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці на робочому місці. Сторінки журналу реєстрації інструктажів повинні бути пронумеровані, прошнуровані і скріплені печаткою (за її наявності).

У разі виконання робіт, що потребують оформлення наряду-допуску, цільовий інструктаж реєструється в цьому наряді-допуску, а в журналі реєстрації інструктажів - не обов'язково. [21].

Позачергове навчання та перевірка знань з питань охорони праці проводиться [21]:

- при переведенні працівника на іншу роботу;

- після нещасного випадку;
- при змінах чи прийнятті нових нормативно-правових актів та в інших випадках.

Спеціальне навчання з питань охорони праці може проводитись безпосередньо на підприємстві або навчальним закладом, який має відповідний дозвіл.

При проведенні такого навчання на підприємстві навчальні плани та програми розробляються з урахуванням конкретних видів робіт, виробничих умов і функціональних обов’язків працівників і затверджуються наказом керівника підприємства [21].

Таким чином, залежно від призначення і виду виконуваних робіт працівниками можливе використання того чи іншого типу інструктажу для перевірки знань з питань охорони праці.

4.2 Ризики та небезпека під час проведення зварювальних робіт: способи їх запобігання

Зварювання – складний та відповідальний процес, саме тому він вимагає підвищеної уваги у плані дотримання безпеки. Правильно підібране обладнання з урахуванням факторів захисту, надійності та зручності використання може значно знизити ризики та запобігти травмуванню персоналу, а також гарантувати комфортні умови праці без зниження продуктивності.

Питаннями безпеки на робочому місці стурбовані як робітники, так і роботодавці, які прагнуть захистити здоров'я спеціалістів: зір, слух, голова, обличчя, легені, грудна клітка – найвразливіші місця людини на момент проведення зварювальних робіт. Запобігти негативним наслідкам на виробничому майданчику можна шляхом проведення тематичного навчання,

дотримуючись запобіжних заходів, усуваючи небезпечні чинники. А також вибираючи максимально надійні та функціональні засоби індивідуального захисту зварювальника: пальники, маски, респіратори та вогнестійкий одяг. Тип і рівень захисту необхідно вибирати виходячи зі ступеня складності завдання, що виконується, а також тривалості впливу небезпечних факторів. Наприклад, використання легких зварювальних масок допускається при нетривалій роботі. Але у разі довготривалого перебування на зварювальній ділянці, коли вплив випарів, що містяться в повітрі і утворюються в процесі зварювання та шліфування, потрібен надійний захист органів дихання, який здатний зберегти здоров'я працівника [21].

До основних загроз здоров'ю при проведенні зварювальних процесів відносять: вплив тепла, ультрафіолетового випромінювання, сильний дим і світло, а також випари, що становлять загрозу для здоров'я спеціаліста та його оточення. Через багаторазовий тривалий вплив забруднень, що містяться в повітрі, виникає більша частина професійних легеневих захворювань, а для пошкодження легень достатнього навіть одноразового такого впливу. Також зварювальники зазнають сильної втоми та професійних травм через необхідність виконувати роботи у складних просторових положеннях [21].

Ультрафіолетове випромінювання яскраве світло в процесі зварювання. За красою від світла та іскор дуги, відомого символу зварювання, ховається небезпека. Якщо спостерігати за дугою, що горить, без потрібного захисту для очей - можна отримати пошкодження зору. Також слід враховувати, що навіть короткий вплив може спричинити опік поверхні ока (це явище називають «зловити зайчика»). Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, а також такі видимі елементи, як гарячі бризки, можуть пошкодити очі та обпалити незахищену шкіру [21].

Захист для очей у фокусі уваги. Зварювальна маска та зварювальний фільтр здатні забезпечити надійний захист очей. Світлофільтри (з фільтром, що автоматично затемнюється) і пасивні світлофільтри (схвалені кольорові

захисні скла) гарантують 100%-ий захист від ультрафіолетового випромінювання.

Зварювальні або лицьові маски почали використовувати досить давно. При виборі потрібної моделі необхідно орієнтуватися на характеристики їхнього класу захисту, ваги і балансування, оскільки ці властивості істотно різняться. Зварювальні або захисні маски з світлофільтром, що автоматично затемнюється, полегшують і прискорюють роботу фахівця протягом усієї роботи [21].

Захист легень – життєва необхідність у вирі зварювального процесу. Один з варіантів надійного захисту - маска зварювальна або маска для обличчя, що оснащена лицьовим ущільненням. У її конструкції є вентиляційна система очищення повітря (зварювальні респіратори та системи PAPR), яка здатна убезпечити людину від щоденної дії канцерогенних токсичних випарів та газів. Повна респіраторна система складається з фільтру, набору шлангів та лицьової маски. Зварювальні респіратори мають класифікацію за рівнями захисту, тобто рівнями очищення забрудненого повітря у зварювальному середовищі. Ця класифікація несе інформацію не тільки про ефективність фільтру системи фільтрації. Вона містить значення загального вимірного сукупного коефіцієнта витоків респіраторної системи – коефіцієнт проникнення (TIL) [21].

Токсичні зварювальні гази та випаровування. Згідно з дослідженнями, за 8-годинну зміну людина вдихає 4000 літрів повітря. При цьому один зварювальник за годину роботи може спровокувати утворення до 40 г диму та зважених у повітрі компонентів. Ці випари складаються з газів і дрібних частинок та можуть містити більше 40 різних речовин, які утворюються з оброблюваного матеріалу, присадкових металів, а також з таких поверхонь, як фарби і покриття. Випари небезпечні для здоров'я людини, а якщо нехтувати засобами захисту - крихітні частинки диму можуть глибоко проникати в структуру легень і змінювати її. Крім того, тривала взаємодія з канцерогенами

може спровокувати респіраторні недуги і рак. Професійним захворюванням легень можна запобігти, використовуючи надійний захист органів дихання [21].

Дотримуючись певних заходів безпеки, шкідливий вплив випарів і газів можна мінімізувати [21]:

- забезпечте вентиляцію в зоні зварювання з метою відведення випарів та газів із району проведення робіт;
- зварювальник завжди повинен використовувати сертифікований зварювальний респіратор.

ВИСНОВКИ

У цій роботі було розглянуто розробку технологічного процесу виготовлення рами навантажувача-екскаватора. Були детально проаналізовані всі етапи виготовлення, від вибору матеріалів до фінального складання та контролю якості готової продукції.

Основні етапи роботи включали проектування, підготовку матеріалів, механічну обробку деталей, складання, зварювання, та випробування. Було використано сучасні технології, такі як лазерне різання та зварювання під захисними газами, що забезпечило високу точність та міцність з’єднань.

Ключовим аспектом роботи стала розробка складально-зварювального кондуктора, який дозволив автоматизувати процес складання рами та значно підвищити якість та швидкість виробництва. Конструкція кондуктора забезпечила необхідну точність та універсальність при виготовленні рам різних модифікацій.

Також велика увага була приділена контролю якості на всіх етапах виробництва. Застосування сучасних методів неруйнівного контролю, включаючи ультразвуковий контроль та візуальний огляд, дозволило своєчасно виявляти та усувати дефекти.

Результати дослідження та практичної реалізації проєкту підтвердили ефективність обраного технологічного процесу. Виготовлена рама навантажувача-екскаватора відповідає всім технічним вимогам та готова до експлуатації в складних умовах.

Ця робота не лише сприяла підвищенню якості виробництва, але й забезпечила важливий внесок у розвиток виробничих технологій, що можуть бути застосовані для подальшого розвитку в області виробництва спеціалізованої техніки..

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
2. https://machineryline.ua/-/rami/John-Deere--c2159tm2619
3. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=993
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. - 263 с.
5. ДСТУ EN 474-1:2016 Землерийні машини. Вимоги щодо безпеки. Частина 1. Загальні вимоги.
6. ДСТУ 3932-2000. Машини землерийні. Гідравлічні екскаватори і зворотні лопати-навантажувачі. Пристрій обмеження швидкості опускання стріли. Технічні вимоги і методи випробувань.
7. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
8. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Крівцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
9. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
10. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
11. Биковский, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Піньковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.

12. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк, Капустян О.Є. – Львів: Новий світ – 2000, 2013. – 224 с.
13. https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryuvalni-tekhnolohiyi/produkty/
14. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
15. https://industry.hlr.ua/nodestructtest/ultrasonic-flaw-detection/ultrasonic-control/sonoscreen-st10-flaw-detector/
16. https://standart-pribor.com.ua/product/defektoskop-ud4-76-tofd-versiya/
17. https://svartech.com.ua/
18. https://www.tvagonm.com.ua/catalog/oborudovanie_dlya_proizvodstva_poluvagonov/kantovatel_koltsevoy/
19. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
20. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник.- Видавництво 5-те, доповнене. – Л.: Афіша, 2000. -350 с.
21. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТОК