

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

Тернопіль
2026

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н, яка є відповідальним несучим вузлом машини та працює в умовах змінних згинальних, динамічних і локальних навантажень. Розглянуто конструктивні особливості стріли, що складається із зовнішньої коробчастої секції, внутрішньої телескопічної секції, шарнірних вузлів, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, напрямних елементів, підсилювальних накладок і зварних з'єднань.

У роботі обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення стріли. Для основних елементів конструкції прийнято низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С, яка характеризується достатньою міцністю, пластичністю, технологічністю та доброю зварюваністю. Такий матеріал забезпечує працездатність стріли при дії експлуатаційних навантажень і дає змогу виготовляти відповідальні зварні коробчасті конструкції без значного ускладнення технологічного процесу.

Запропоновано послідовність виготовлення стріли, яка включає вхідний контроль металопрокату, очищення та правлення листів, розкрій заготовок, підготовку кромки, складання секцій у кондукторі, прихоплення, роботизоване МАG-зварювання, контроль якості зварних з'єднань, правлення, механічну обробку отворів, встановлення напрямних елементів, підготовку поверхні та нанесення захисного покриття. Для підвищення точності та продуктивності процесу передбачено застосування сучасного технологічного обладнання, зокрема установки плазмового різання з ЧПК, кромкофрезерних машин, свердлильно-фрезерного центру, спеціального складального кондуктора та роботизованого зварювального комплексу.

Основні зварювальні операції запропоновано виконувати способом МАG у середовищі захисного газу М21 із використанням зварювального дроту ER70S-6 діаметром 1,6 мм. Для автоматизованого зварювання прийнято роботизований комплекс CLOOS QIROX із джерелом живлення QINEO NexT 602. У складі комплексу передбачено використання двостійкового кантувача, який забезпечує

поворот і точне позиціонування секцій стріли під час зварювання. Це дозволяє виконувати більшість швів у зручному просторовому положенні, зменшити зварювальні деформації та підвищити стабільність якості з'єднань.

Окрему увагу приділено вибору методів контролю якості. Для перевірки зварних з'єднань передбачено візуально-вимірювальний, ультразвуковий, магнітопорошковий і геометричний контроль. Для виявлення внутрішніх дефектів у відповідальних швах застосовується дефектоскоп NOVOTEST УД-1, що дозволяє оцінювати якість металу шва, зони термічного впливу та прилеглих ділянок основного металу без руйнування виробу. Також у роботі розглянуто питання безпеки праці під час виконання заготівельних, складально-зварювальних, контрольних і фарбувальних операцій.

Розроблений технологічний процес спрямований на підвищення точності виготовлення стріли, зменшення трудомісткості складально-зварювальних робіт, забезпечення стабільної якості зварних з'єднань і підвищення надійності готової конструкції в умовах експлуатації.

Ключові слова: ТЕЛЕСКОПІЧНИЙ НАВАНТАЖУВАЧ, СТІЛА, КОРОБЧАСТА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЯ, МАГ-ЗВАРЮВАННЯ, РОБОТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС, КАНТУВАЧ, КОНДУКТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу	13
1.3 Технічні умови на виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	28
2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання	28
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	42
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу	47
015. Попереднє очищення листового прокату	48
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	59
3.1 Вибір зварювальних пристосувань	59
3.2 Розрахунок двостійкового кантувача для виготовлення стріли навантажувача	63
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	69
4.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек та шкідливих чинників у цеху виготовлення стріли навантажувача	69
4.2 Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці	72
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78
ДОДАТКИ	80

ВСТУП

Останніми роками у зв'язку зі зростанням обсягів будівельних, складських, монтажних і ремонтно-відновлювальних робіт підвищується потреба у спеціалізованих вантажопідіймальних машинах та допоміжному технологічному обладнанні. Особливе значення мають компактні й універсальні механізми, які можуть ефективно працювати в обмеженому просторі, на виробничих майданчиках, у складських приміщеннях, на будівельних об'єктах та у важкодоступних зонах. У таких умовах застосування великогабаритного автокрана часто є економічно недоцільним, а використання звичайного навантажувача не завжди забезпечує необхідний виліт, висоту підймання та маневреність [1].

До таких машин належать телескопічні навантажувачі, зокрема МТ-Х 625 Н, які поєднують у собі функції навантажувальної, підіймальної та транспортної техніки. Їх застосовують для переміщення вантажів, подачі матеріалів на висоту, виконання монтажних операцій, обслуговування будівельних майданчиків, сільськогосподарських об'єктів і складських комплексів. Основним робочим вузлом такого навантажувача є телескопічна стріла, від конструкції та якості виготовлення якої значною мірою залежать вантажопідіймальність, стійкість, надійність і безпечність роботи всієї машини.

Стріла телескопічного навантажувача є відповідальною зварною металоконструкцією коробчастого типу, яка працює в умовах складного навантаження. Під час експлуатації вона сприймає згинальні моменти, динамічні зусилля, локальні навантаження від шарнірних вузлів, гідроциліндрів, напрямних елементів та змінного робочого обладнання. Тому до її виготовлення висуваються підвищені вимоги щодо точності геометричних розмірів, якості зварних з'єднань, жорсткості, міцності та довговічності [2].

З огляду на значну потребу в телескопічних навантажувачах та їхніх робочих вузлах, питання раціональної організації виробництва стріли набуває особливої актуальності. Виготовлення такої конструкції вручну, без застосування спеціального складально-зварювального оснащення, є малоефективним. Це пов'язано зі значними трудовитратами, необхідністю залучення робітників високої

кваліфікації, складністю забезпечення точної геометрії та великою кількістю допоміжних операцій, зокрема під час кантування, фіксації та складання масивних елементів конструкції.

Для підвищення продуктивності та стабільності якості виробництва доцільно застосовувати механізовані й автоматизовані технологічні процеси. Важливе значення має використання спеціалізованих кондукторів, фіксуючих пристроїв, кантувачів, зварювального обладнання та засобів контролю, які дозволяють зменшити вплив людського фактора, скоротити тривалість виготовлення і забезпечити повторюваність параметрів готової конструкції.

У зв'язку з цим розроблення технологічного процесу виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н є актуальним інженерним завданням. Його вирішення передбачає обґрунтування вибору матеріалу, способів отримання заготовок, послідовності складально-зварювальних операцій, режимів зварювання, технологічного оснащення та методів контролю якості. Раціонально спроектований технологічний процес дає змогу забезпечити необхідну точність, міцність і надійність стріли, а також знизити трудомісткість і собівартість її виготовлення.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції стріли телескопічного навантажувача MT-X 625 H

Телескопічний навантажувач MT-X 625 H (рис. 1.1) належить до компактних вантажопідіймальних машин, призначених для виконання будівельних, складських, монтажних і допоміжних транспортних операцій. За технічними даними виробника Manitou, дана машина має максимальну вантажопідіймальність 2500 кг, максимальну висоту піднімання 5,85 м і максимальний горизонтальний виліт 3,40 м. Такі параметри визначають підвищені вимоги до міцності та жорсткості стріли, оскільки саме вона є основним несучим елементом навантажувача [2].



Рис. 1.1 Загальний вигляд телескопічного навантажувача MT-X 625 H [2]

Стріла телескопічного навантажувача MT-X 625 H (рис. 1.2) є одним із найвідповідальніших вузлів машини, оскільки саме вона забезпечує підймання, утримування та переміщення вантажу на задану висоту і виліт. У процесі експлуатації на стрілу передаються основні робочі навантаження від вантажу, навісного обладнання, гідравлічної системи та рами навантажувача. Тому її конструкція повинна мати достатню міцність, жорсткість, геометричну точність і надійність зварних з'єднань.



Рис. 1.2 Конструктивна схема стріли навантажувача МТ-Х 625 Н [2]

Телескопічна стріла працює у складних умовах навантаження. Під час піднімання вантажу вона сприймає згинальні моменти, поперечні сили, стискальні та розтягувальні зусилля, а також динамічні навантаження, що виникають під час руху машини, гальмування, поворотів, роботи на нерівній поверхні або різкої зміни положення вантажу. Найбільші напруження виникають у зонах кріплення стріли до рами, у місцях приєднання гідроциліндрів, біля переднього вузла кріплення робочого обладнання та в ділянках переходу перерізів.

Конструктивно стріла навантажувача МТ-Х 625 Н виконана у вигляді зварної коробчастої металоконструкції телескопічного типу. Вона складається з нерухомої зовнішньої секції та рухомої внутрішньої секції, яка висувається з основного корпусу і забезпечує збільшення робочого вильоту. Коробчата форма перерізу є найбільш доцільною для таких елементів, оскільки забезпечує високу опірність згину та крученню при порівняно невеликій масі конструкції.

Основна та висувна частини стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н виготовляються не зі стандартного сортового профілю, а переважно у вигляді зварного коробчастого профілю. Такий варіант є найбільш доцільним для

вантажопідіймальних конструкцій, оскільки він забезпечує високу жорсткість на згин і кручення при відносно невеликій масі металоконструкції.

Основна секція стріли виконується у вигляді замкнутого прямокутного коробчастого профілю, який формується з листових заготовок. До її складу входять верхній лист, нижній лист і дві бокові стінки, які після складання з'єднуються позовжніми зварними швами. У результаті утворюється жорсткий просторовий елемент, здатний сприймати основні навантаження від маси вантажу, гідроциліндра підймання та реакцій у шарнірних вузлах.

Висота профілю становить близько 380 мм, а ширина — близько 290 мм. Така форма перерізу дає змогу забезпечити достатній момент опору відносно горизонтальної осі, що є важливим при роботі стріли на згин. Товщина стінок основної секції становить 8 мм, а в місцях кріплення шарнірів, гідроциліндрів і монтажних вушок передбачити підсилювальні накладки товщиною 12 мм.

Висувна телескопічна секція, також має коробчасту форму, однак її габарити менші, оскільки вона повинна вільно переміщуватися всередині зовнішньої секції. Для неї застосовують прямокутний зварний профіль перерізом 300×240 мм. Між зовнішньою і внутрішньою секціями необхідно залишати технологічні зазори для встановлення напрямних або ковзних елементів, які забезпечують плавне висування стріли та запобігають її перекошуванню.

Товщину стінок висувної секції є дещо меншою, ніж у зовнішньої, і становить 6 мм, оскільки вона має менший поперечний переріз і повинна мати зменшену масу. Разом з тим у передній частині, де встановлюється вузол кріплення робочого обладнання, необхідно передбачити локальне підсилення. У цій зоні можуть застосовуватися накладки або посилені листові елементи товщиною 12 мм.

Орієнтовна довжина зовнішньої секції стріли може становити 3000–3400 мм, а довжина внутрішньої висувної секції — 2300–2800 мм.

До основних елементів стріли належать: зовнішній коробчастий корпус, внутрішня телескопічна секція, задній шарнірний вузол кріплення до рами навантажувача, кронштейни кріплення підйомного гідроциліндра, вузол кріплення гідроциліндра телескопування, напрямні елементи, передній вузол для

встановлення каретки або навісного обладнання, ребра жорсткості, підсилювальні накладки та зварні з'єднання.

Задній шарнірний вузол призначений для приєднання стріли до рами навантажувача. Він виконується у вигляді посилених вушок або кронштейнів з отворами під шарнірні пальці. Через цей вузол передаються значні реактивні зусилля, тому його елементи повинні мати підвищену товщину, точну співвісність отворів і якісне зварне з'єднання з корпусом стріли. Для зменшення зношування у шарнірних вузлах можуть використовуватися втулки або змінні опорні елементи.

Кронштейни кріплення підйомного гідроциліндра розміщуються у нижній або боковій частині зовнішньої секції стріли. Вони забезпечують передавання зусилля від гідроциліндра на корпус стріли під час її підймання та опускання. У цих місцях виникають значні локальні напруження, тому кронштейни додатково підсилюються ребрами жорсткості, косинками або накладними пластинами. Від точності їх розташування залежить правильність роботи гідравлічного механізму та відсутність перекосів під час руху стріли.

Передня частина внутрішньої секції призначена для встановлення каретки, вил, ковша або іншого змінного робочого обладнання. Цей вузол сприймає безпосереднє навантаження від вантажу, тому має бути жорстким і достатньо посиленим. У місцях кріплення робочого обладнання передбачаються отвори під пальці, кронштейни, опорні пластини та підсилювальні елементи. Важливо, щоб передній вузол мав правильну геометрію, оскільки від цього залежить точність позиціонування вантажу та безпечність роботи машини.

Зварні з'єднання стріли виконують функцію об'єднання всіх листових і фасонних елементів у єдину просторову конструкцію. Для виготовлення стріли застосовуються переважно стикові, кутові та таврові шви. Найбільш відповідальними є шви коробчастого корпусу, шви кріплення шарнірних вузлів, кронштейнів гідроциліндрів і підсилювальних накладок. Якість цих з'єднань безпосередньо впливає на міцність, довговічність і безпечність експлуатації стріли.

Умови роботи стріли характеризуються змінним навантаженням. При мінімальному вильоті згинальний момент є меншим, оскільки вантаж

розташований ближче до рами навантажувача. При висуванні телескопічної секції плече дії сили збільшується, унаслідок чого зростає навантаження на зовнішній корпус, шарнірні вузли та гідроциліндри. Саме тому при максимальному вильоті допустима маса вантажу зменшується. Такий режим роботи є найбільш напруженим для металоконструкції і повинен враховуватися при виборі матеріалу, товщини листів, типу зварних швів та розміщення підсилювальних елементів.

Крім основних робочих навантажень, стріла зазнає дії додаткових факторів: вібрацій, ударних навантажень, нерівномірного розподілу маси вантажу, впливу навколишнього середовища, забруднення напрямних елементів, перепадів температури та корозійного впливу. У зв'язку з цим конструкція повинна мати не лише достатню несучу здатність, але й бути технологічною у виготовленні, придатною до обслуговування, ремонту та контролю технічного стану.

До основних технічних вимог, які висуваються до стріли, належать: забезпечення необхідної міцності при максимальному навантаженні; обмеження прогину в допустимих межах; точність геометрії зовнішньої та внутрішньої секцій; надійність шарнірних з'єднань; плавність висування телескопічної частини; якісне виконання зварних швів; відсутність тріщин, непроварів, пор, підрізів та інших дефектів; захист поверхні від корозії; збереження працездатності під час тривалої експлуатації.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н доцільно застосувати низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С. Цей матеріал належить до групи сталей підвищеної міцності та широко використовується для виготовлення відповідальних зварних металоконструкцій, які працюють під дією значних статичних, динамічних і змінних навантажень. Використання сталі 09Г2С для даної конструкції є технічно обґрунтованим, оскільки стріла навантажувача під час експлуатації сприймає згинальні моменти, поперечні сили, зусилля від гідроциліндрів, реакції у шарнірних вузлах та навантаження від робочого обладнання.

Стріла телескопічного навантажувача є просторовою зварною конструкцією коробчастого типу. Вона складається з основної зовнішньої секції та висувної внутрішньої частини, які повинні забезпечувати необхідну жорсткість, точність переміщення і стійкість до деформацій. У процесі роботи навантаження на стрілу змінюється залежно від маси вантажу, кута підймання, величини вильоту та положення телескопічної секції. Тому матеріал конструкції повинен мати не лише достатню міцність, а й пластичність, опір крихкому руйнуванню, добру зварюваність і технологічність під час виготовлення.

Сталь 09Г2С добре відповідає цим вимогам. Завдяки низькому вмісту вуглецю вона має задовільну зварюваність, а наявність марганцю і кремнію забезпечує підвищення міцності без значного погіршення пластичних властивостей. Така комбінація характеристик є важливою для стріли навантажувача, оскільки її елементи працюють у змінному напруженому стані та можуть зазнавати локальних перевантажень у місцях кріплення шарнірів, гідроциліндрів і переднього вузла робочого обладнання [3].

У конструкції стріли сталь 09Г2С доцільно застосовувати для виготовлення таких елементів: зовнішньої коробчастої секції, внутрішньої телескопічної секції, верхнього та нижнього поясів, бокових стінок, підсилювальних пластин, ребер жорсткості, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, монтажних вушок, опорних шарнірних вузлів і передньої частини для встановлення робочого обладнання. У найбільш навантажених місцях конструкції, зокрема біля шарнірного вузла кріплення до рами, кронштейна підйомного гідроциліндра та переднього вузла висувної секції, необхідно передбачати локальне підсилення листами більшої товщини.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С, % [3]

Марка сталі	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
09Г2С	0,09–0,12	1,30–1,70	0,50–0,80	до 0,035	до 0,035	до 0,30	до 0,30	до 0,30

Низький вміст вуглецю у сталі 09Г2С позитивно впливає на її зварюваність, оскільки знижує ймовірність утворення загартованих структур у зоні термічного впливу. Це особливо важливо для довгих поздовжніх швів коробчастої стріли, де можливе накопичення залишкових напружень і деформацій після зварювання.

Марганець у складі сталі підвищує міцність і сприяє покращенню опору ударним навантаженням. Крім того, він частково нейтралізує негативний вплив сірки, що зменшує ризик виникнення гарячих тріщин. Кремній виконує роль розкиснювача і додатково підвищує міцність металу, не спричиняючи істотного зниження пластичності за умови дотримання нормативного вмісту.

Обмежений вміст сірки та фосфору є важливою умовою для виготовлення відповідальних зварних конструкцій. Надлишок цих домішок погіршує пластичність, знижує ударну в'язкість і може підвищувати схильність металу до тріщиноутворення. Тому для виготовлення стріли необхідно використовувати листовий прокат із підтвердженням сертифікатом якості та контрольованим хімічним складом.

Таблиця 1.2 — Основні механічні властивості сталі 09Г2С [3]

Марка сталі	Стан матеріалу	Границя текучості σ_t , МПа	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Відносне видовження δ_5 , %
09Г2С	Гарячекатаний листовий прокат	не менше 345	490–640	не менше 21

Механічні властивості сталі 09Г2С забезпечують необхідний запас міцності для роботи стріли телескопічного навантажувача. Границя текучості не менше 345 МПа дає змогу обмежити появу залишкових деформацій під час дії робочих навантажень. Тимчасовий опір розриву в межах 490–640 МПа характеризує здатність матеріалу витримувати значні силові впливи без руйнування. Відносне видовження не менше 21 % свідчить про достатню пластичність, що є важливим для конструкцій, які працюють в умовах динамічних навантажень і локальних концентрацій напружень.

Для стріли телескопічного навантажувача пластичність матеріалу має особливе значення. Під час роботи машини можуть виникати короточасні перевантаження, вібрації, ривки при підйманні вантажу, нерівномірний розподіл навантаження на робоче обладнання та додаткові зусилля під час руху по нерівній поверхні. У таких умовах матеріал повинен не руйнуватися крихко, а частково сприймати локальні деформації без утворення тріщин.

Найбільш відповідальними ділянками стріли є опорний шарнірний вузол, кронштейни кріплення підйомного гідроциліндра, вузол телескопування, передня частина висувної секції та місця встановлення напрямних елементів. У цих зонах виникають підвищені контактні напруження, згинальні моменти та локальні силові впливи. Саме тому застосування сталі 09Г2С дозволяє забезпечити необхідну надійність конструкції при відносно невеликій масі виробу.

Важливою технологічною перевагою сталі 09Г2С є її добра зварюваність. Матеріал придатний для виготовлення зварних коробчастих секцій із використанням механізованого зварювання у середовищі захисних газів. При цьому необхідно забезпечити якісну підготовку кромки, правильне складання деталей у пристосуванні, дотримання режимів зварювання та раціональну послідовність накладання швів. Це дозволяє зменшити залишкові напруження, короблення і порушення геометрії стріли.

Попередню оцінку зварюваності сталі 09Г2С можна виконати за еквівалентом вуглецю [4]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$
$$C_{\text{екв}} = 0,09 + \frac{1,50}{6} + \frac{0,20}{5} + \frac{0,20 + 0,20}{15} = 0,407.$$

Таке значення свідчить про задовільну зварюваність сталі 09Г2С. Матеріал може застосовуватися для виготовлення відповідальних зварних вузлів стріли за умови правильного вибору зварювальних матеріалів, контролю тепловкладення та дотримання технології виконання швів. Для деталей підвищеної товщини або при зварюванні в умовах низьких температур може бути доцільним попередній підігрів,

однак для більшості листових елементів середньої товщини сталь 09Г2С не потребує складних спеціальних заходів.

З погляду технологічності сталь 09Г2С добре піддається термічному різанню, механічній обробці, свердлінню, фрезеруванню, гнуттю та складанню в кондукторах. Це є важливим для виготовлення стріли, оскільки її конструкція включає значну кількість листових деталей, довгомірні елементи коробчастого профілю, отвори під пальці, підсилювальні накладки, кронштейни та ребра жорсткості.

Під час виготовлення основної та висувної секції стріли із сталі 09Г2С необхідно враховувати можливість виникнення зварювальних деформацій. Через значну довжину коробчастих елементів і наявність протяжних поздовжніх швів після зварювання можуть з'являтися прогини, викривлення та відхилення від прямолінійності. Для їх зменшення слід застосовувати складання у жорсткому пристосуванні, симетричну послідовність зварювання, прихоплення встановленої довжини та контроль геометрії після кожного відповідального етапу.

1.3 Технічні умови на виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н

Технічні умови на виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н встановлюють основні вимоги до матеріалів, заготовок, складально-зварювальних операцій, точності виготовлення, контролю якості та підготовки готової конструкції до експлуатації. Стріла є відповідальним несучим елементом машини, тому її виготовлення повинно забезпечувати високу міцність, жорсткість, геометричну точність і надійність зварних з'єднань.

Для виготовлення основної та висувної частини стріли приймається низьколегована конструкційна сталь 09Г2С. Матеріал повинен постачатися із сертифікатом якості, у якому зазначаються марка сталі, номер плавки, хімічний склад, механічні властивості та відповідність вимогам стандартів на металопродукт. Використання металу без підтвердження його якості не допускається. Листовий

прокат, що застосовується для виготовлення коробчастих секцій, підсилювальних пластин, кронштейнів і монтажних вушок, не повинен мати тріщин, розшарувань, глибоких рисок, вм'ятин, неметалічних включень та інших дефектів, які можуть знизити міцність конструкції.

Перед запуском у виробництво листовий прокат необхідно очистити від іржі, окалини, мастильних забруднень і вологи. Заготовки повинні бути вирівняні. Обробка листів без попередньої правки допускається лише тоді, коли їхні відхилення від площинності не перевищують установлених допусків. Правку доцільно виконувати на листоправильних вальцях або пресовому обладнанні, що забезпечує рівномірне прикладання зусилля без утворення місцевих пошкоджень поверхні. Після правки на заготовках не допускаються забоїни, вм'ятини, надриви кромки і залишкові деформації, які можуть ускладнити складання коробчастого профілю.

Розкрій деталей стріли необхідно виконувати механізованими або автоматизованими способами, які забезпечують необхідну точність і якість кромки. Для листових елементів коробчастого профілю можуть застосовуватися плазмове, газокисневе, лазерне різання або різання на гільйотинних ножицях. Вибір способу розкрою залежить від товщини металу, габаритів заготовки та вимог до точності. Після термічного різання кромки потрібно очистити від окалини, напливів, шлаку та задирок. Нерівності, які можуть погіршити якість зварного з'єднання або заважати щільному складанню деталей, необхідно видалити механічним способом.

Кромки деталей, що підлягають зварюванню, повинні бути підготовлені відповідно до типу з'єднання, товщини металу та прийнятого способу зварювання. Перед складанням зони майбутніх швів очищаються до чистого металу на ширину не менше 20 мм з кожного боку. На кромках не допускаються тріщини, розшарування, надмірні задирки, залишки шлаку, мастила або вологи. Якщо після різання утворилися місцеві зарізи, вони повинні бути зачищені плавним переходом до основного металу. Заповнення збільшених зазорів шматками дроту, електродами або металевими вставками не допускається [4].

Основна та висувна секції стріли виготовляються у вигляді зварних коробчастих профілів. Основна секція формується з верхнього, нижнього та двох бокових листів, які після складання з'єднуються поздовжніми зварними швами. Висувна секція має менший поперечний переріз і повинна вільно переміщуватися всередині зовнішньої частини через напрямні елементи або ковзні опори. Тому під час виготовлення особливу увагу необхідно приділяти прямолінійності секцій, паралельності бокових стінок і точності внутрішнього розміру основного короба.

Складання стріли необхідно виконувати у спеціальному складально-зварювальному пристосуванні або кондукторі. Оснащення повинно забезпечувати правильне взаємне положення листових елементів, кронштейнів, ребер жорсткості, підсилювальних накладок, шарнірних вушок і напрямних деталей. Застосування кондуктора дає змогу зменшити вплив зварювальних деформацій, забезпечити повторюваність розмірів і підвищити якість складання. Пристосування, що використовуються у виробництві, повинні періодично перевірятися на точність базових поверхонь, упорів і затискних елементів.

Під час складання необхідно забезпечити рівномірні зазори між зварюваними елементами відповідно до робочих креслень і технологічного процесу. Локальні відхилення зазорів потрібно усунути до початку основного зварювання. Не допускається примусове стягування деталей із надмірними зусиллями, якщо це призводить до появи залишкових напружень або порушення геометрії стріли. Прихоплення повинні виконуватися тим самим або сумісним зварювальним матеріалом, що й основні шви. Прихопні шви повинні бути очищені від шлаку та бризок і не повинні мати тріщин, пор чи підрізів.

Особливу увагу необхідно приділяти розташуванню стиків у листових елементах стріли. Стики верхнього та нижнього поясів не слід розміщувати в одному поперечному перерізі зі стиками бокових стінок. Доцільно зміщувати їх відносно один одного не менше ніж на 300 мм. Стики листів не рекомендується розташовувати поблизу ребер жорсткості, кронштейнів гідроциліндрів, шарнірних вузлів і переднього вузла кріплення робочого обладнання. Відстань від стику до

ребра жорсткості або підсилювальної пластини бажано приймати не менше 100 мм, щоб уникнути концентрації напружень [5].

Отвори під шарнірні пальці, втулки та елементи кріплення доцільно остаточно обробляти після завершення основного зварювання та правки конструкції. Це дозволяє забезпечити їхню співвісність і точність розташування. Обробка отворів до зварювання допускається лише у випадку, коли складально-зварювальне пристосування забезпечує надійне базування за цими отворами, а після зварювання не виникають відхилення, що перевищують допустимі значення. Отвори повинні мати чисту оброблену поверхню без задирок, овальності та перекосу.

Зварювання стріли повинно виконуватися відповідно до затвердженого технологічного процесу. Для виготовлення конструкції доцільно застосовувати механізоване зварювання у середовищі захисних газів, наприклад у суміші аргону з вуглекислим газом, із використанням зварювального дроту типу Св-08Г2С або іншого матеріалу, сумісного зі сталлю 09Г2С. Режими зварювання необхідно підбирати так, щоб забезпечити повне проплавлення, стабільне формування шва, мінімальне розбризкування металу та обмежене тепловкладення.

Послідовність зварювання повинна бути спрямована на зменшення залишкових напружень і короблення. Спочатку доцільно виконувати стикові з'єднання листових елементів, після цього — основні поздовжні шви коробчастого профілю, а на завершальному етапі — шви кріплення ребер жорсткості, кронштейнів, підсилювальних накладок і монтажних вушок. Для довгих швів бажано застосовувати симетричне або почергове накладання валиків із протилежних сторін конструкції. Це дозволяє зменшити вигин секції та зберегти її прямолінійність.

Зварні шви повинні мати рівномірну форму, плавний перехід до основного металу та відповідати розмірам, зазначеним у робочих кресленнях. У зонах, що працюють на розтяг, згин або зазнають змінних навантажень, місцеві напливи, різкі переходи, кратери та нерівності необхідно зачищати механічним способом. Кінцеві кратери повинні бути заварені. Шви біля шарнірних вузлів, кронштейнів

гідроциліндрів і переднього вузла кріплення робочого обладнання належать до найбільш відповідальних і підлягають посиленому контролю.

У зварних з'єднаннях стріли не допускаються тріщини будь-якого походження, непровари, прожоги, значні підрізи, пори, шлакові включення, різкі переходи від шва до основного металу, а також дефекти, що знижують несучу здатність конструкції. Дефектні ділянки швів необхідно видаляти механічним способом на довжину дефекту із захопленням справного металу з обох боків, після чого виконувати повторне заварювання з дотриманням технологічних вимог. Поверхнєве замазування або приховування дефектів не допускається [9-11].

Після завершення зварювання конструкція повинна пройти контроль геометрії. Для основної та висувної секцій перевіряють загальну довжину, висоту і ширину коробчастого профілю, прямолінійність, паралельність бокових стінок, площинність опорних поверхонь, співвісність отворів під шарнірні пальці, правильність розташування кронштейнів і напрямних елементів. Особливо важливо перевірити внутрішній простір основної секції та зовнішні розміри висувної секції, оскільки від цього залежить плавність телескопування та відсутність заклинювання.

Для забезпечення працездатності телескопічного механізму напрямні елементи повинні бути встановлені з дотриманням заданих зазорів. Вони мають забезпечувати рівномірне переміщення висувної секції без перекосу, заїдання і надмірного люфту. Поверхні контакту напрямних повинні бути очищені, вирівняні та не мати гострих виступів, які можуть спричинити прискорене зношування полімерних або металевих ковзних елементів. Після складання необхідно перевірити пробне переміщення висувної частини по всій довжині робочого ходу.

Контроль якості виготовлення стріли повинен включати вхідний контроль матеріалів, операційний контроль заготовок, перевірку складання, візуально-вимірний контроль зварних швів, контроль геометрії після заварювання та остаточне приймання готового виробу. Для відповідальних швів доцільно застосовувати неруйнівні методи контролю, зокрема ультразвуковий або

магнітопорошковий контроль. Вибір методу залежить від типу шва, товщини металу та вимог до надійності вузла.

Перед фарбуванням готову стрілу необхідно очистити від зварювальних бризок, окалини, іржі, пилу та мастильних забруднень. Гострі кромки, задирки та напливи повинні бути зачищені. Після очищення поверхню доцільно підготувати під ґрунтування шляхом дробоструминної або абразивної обробки. Захисне лакофарбове покриття повинно забезпечувати стійкість металу до корозії, атмосферних впливів, вологи, пилу та забруднень, які виникають під час експлуатації навантажувача.

Готова стріла допускається до встановлення на навантажувач лише після підтвердження відповідності матеріалу, зварних з'єднань, геометричних параметрів і якості поверхні встановленим вимогам. Виріб повинен мати маркування або супровідну документацію із зазначенням матеріалу, результатів контролю, дати виготовлення та відповідальних осіб за приймання. Дотримання наведених технічних умов забезпечує отримання міцної, надійної та технологічно якісної стріли, здатної працювати в умовах змінного вильоту, динамічних навантажень і тривалої експлуатації.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу

Виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н належить до складних технологічних процесів виробництва відповідальних зварних металоконструкцій. Стріла працює під дією значних згинальних, динамічних і циклічних навантажень, тому її якість визначається не лише правильним вибором матеріалу, але й точністю розкрою заготовок, підготовкою кромки, якістю складання, режимами зварювання, послідовністю виконання швів та контролем геометрії готового виробу.

Базовий технологічний процес виготовлення стріли можна умовно поділити на декілька основних етапів: підготовка металопрокату, розкрій листових заготовок, правка та очищення деталей, підготовка кромки під зварювання,

складання основної і висувної секцій, прихоплення, зварювання, правка після зварювання, механічна обробка отворів, встановлення напрямних елементів, контроль якості та нанесення захисного покриття.

На початковому етапі проводиться вхідний контроль металопрокату. Для виготовлення стріли приймається низьколегована конструкційна сталь 09Г2С, яка має достатню міцність, пластичність і добру зварюваність. Під час контролю перевіряють сертифікати якості, марку сталі, товщину листів, стан поверхні, відсутність тріщин, розшарувань, глибоких вм'ятин, корозійних пошкоджень та інших дефектів. Цей етап є важливим, оскільки використання неякісного прокату може призвести до утворення дефектів у зварних з'єднаннях і зменшення ресурсу стріли.

Після вхідного контролю листовий метал надходить на дільницю підготовки заготовок. У базовому технологічному процесі розкрій деталей може виконуватися газокисневим, плазмовим або механічним різанням. Із листового прокату отримують бокові стінки, верхні та нижні пояси коробчастого профілю, підсилювальні пластини, кронштейни, ребра жорсткості, монтажні вушка та інші елементи. Після різання кромки очищають від окалини, напливів і задирок. Якщо на кромках залишаються нерівності, вони можуть погіршити якість складання і зварювання, тому їх необхідно зачищати механічним способом.

Основна секція стріли виготовляється у вигляді зварного коробчастого профілю. Вона складається з верхнього листа, нижнього листа та двох бокових стінок. Висувна телескопічна секція має менший поперечний переріз і повинна вільно переміщуватися всередині основної секції. Тому для обох частин особливо важливими є точність геометрії, прямолінійність, паралельність бокових стінок і правильність внутрішніх розмірів. Навіть незначні відхилення можуть спричинити заїдання висувної частини, підвищене зношування напрямних елементів або нерівномірну роботу гідроциліндра телескопування.

У базовому варіанті складання секцій може виконуватися на універсальних складальних столах із використанням ручних затискачів, упорів, підкладок і прихоплень. Такий спосіб є відносно простим, однак має ряд недоліків. Основними

з них є значна трудомісткість, залежність точності від кваліфікації робітника, складність забезпечення стабільних зазорів під зварювання, а також підвищена ймовірність виникнення зварювальних деформацій. Особливо це проявляється під час складання довгомірних коробчастих секцій, де навіть невелике викривлення може порушити роботу телескопічного механізму.

Після попереднього складання деталі фіксують прихопленнями. Прихопні шви повинні забезпечувати стабільне положення елементів до виконання основного зварювання. При цьому вони не повинні мати тріщин, пор, підрізів та інших дефектів. Неправильне розташування або надмірна довжина прихоплень може стати причиною локальних напружень і додаткових деформацій. Тому вже на цьому етапі необхідно контролювати зазори, взаємне положення деталей і прямолінійність секції.

Зварювання стріли є одним із найбільш відповідальних етапів технологічного процесу. Для виготовлення конструкції зі сталі 09Г2С доцільно застосовувати механізоване зварювання у середовищі захисних газів дротом типу Св-08Г2С. Такий спосіб забезпечує достатню продуктивність, стабільне формування шва, добру якість з'єднань і можливість зварювання листових елементів середньої товщини. Найбільш відповідальними є поздовжні шви коробчастого профілю, шви кріплення шарнірних вузлів, кронштейнів гідроциліндрів, переднього вузла робочого обладнання та підсилювальних елементів.

Недоліком базового процесу зварювання є можливість значного короблення конструкції. Це пов'язано з великою довжиною швів, нерівномірним нагріванням металу та недостатньо раціональною послідовністю накладання валиків. Якщо зварювання виконувати без попередньо визначеної схеми, можливе викривлення коробчастого профілю, зміщення кромки, порушення співвісності отворів і зміна розмірів внутрішнього простору основної секції. У подальшому це потребує додаткової правки, збільшує трудомісткість і може знижувати якість готової стріли.

Після зварювання виконують очищення швів від бризок, окалини та шлакових залишків, а також візуальний і вимірювальний контроль. Перевіряють форму шва, його розміри, наявність підрізів, пор, напливів, тріщин, непроварів та

інших дефектів. Для відповідальних з'єднань доцільно застосовувати неруйнівні методи контролю, зокрема ультразвуковий або магнітопорошковий контроль. Особливу увагу слід приділяти ділянкам біля кронштейнів гідроциліндрів, шарнірних вушок та переднього вузла кріплення робочого обладнання, оскільки саме там виникають найбільші локальні напруження.

Наступним етапом є контроль геометрії та правка конструкції. Перевіряють загальну довжину секцій, висоту і ширину коробчастого профілю, прямолінійність, паралельність бокових стінок, площинність поверхонь, співвісність отворів і правильність розташування кронштейнів. Для висувної частини додатково перевіряють відповідність зовнішніх розмірів внутрішньому простору основної секції. Після цього проводять пробне встановлення або переміщення висувної секції для оцінки плавності телескопування.

Механічну обробку отворів під шарнірні пальці та втулки доцільно виконувати після завершення основного зварювання і правки. Це дозволяє забезпечити точність розташування отворів та їхню співвісність. Якщо отвори обробити до зварювання, існує ризик їх зміщення внаслідок теплових деформацій. Тому в базовому процесі важливо передбачити остаточне розточування або свердління після стабілізації геометрії конструкції.

Заключними операціями є очищення поверхні, підготовка під фарбування, ґрунтування і нанесення лакофарбового покриття. Оскільки стріла працює на відкритому повітрі, вона піддається впливу вологи, пилу, механічних пошкоджень і корозії. Тому якість захисного покриття має важливе значення для довговічності конструкції. Перед фарбуванням поверхню необхідно очистити від забруднень, окалини, іржі та зварювальних бризок.

Аналіз базового технологічного процесу показує, що він загалом забезпечує можливість виготовлення стріли, однак має певні недоліки. До основних проблем можна віднести високу трудомісткість складальних операцій, значну залежність якості від кваліфікації робітників, складність забезпечення точної геометрії довгомірних коробчастих секцій, імовірність виникнення зварювальних

деформацій, значний обсяг ручної зачистки та правки, а також недостатній рівень автоматизації контролю.

Для підвищення ефективності виробництва доцільно вдосконалити базовий технологічний процес. Насамперед необхідно застосувати спеціалізоване складально-зварювальне пристосування для основної та висувної секцій стріли. Кондуктор повинен забезпечувати точне базування верхнього, нижнього і бокових листів, фіксацію кронштейнів, ребер жорсткості, шарнірних вушок і напрямних елементів. Це дозволить зменшити час складання, підвищити повторюваність розмірів і знизити кількість виправних операцій після зварювання.

Другим напрямом удосконалення є використання більш точного способу розкрою заготовок. Заміна ручного або напівавтоматичного газового різання на плазмове або лазерне різання з ЧПК дає змогу підвищити точність деталей, зменшити припуски на механічну обробку, покращити якість кромek і скоротити час підготовчих операцій. Особливо це важливо для бокових стінок, підсилювальних пластин, кронштейнів та монтажних вушок, які повинні мати стабільну форму і точне розташування отворів.

Третім важливим напрямом є оптимізація зварювального процесу. Для зменшення деформацій необхідно застосовувати раціональну послідовність накладання швів: спочатку виконувати прихоплення з контролем геометрії, далі зварювати шви симетрично від середини до країв або по чергово з протилежних сторін. Для довгих поздовжніх швів коробчастого профілю доцільно використовувати механізоване або роботизоване зварювання, яке забезпечує сталі параметри режиму, рівномірне тепловкладення і стабільну якість шва.

Ще одним способом підвищення якості є застосування кантувача або позиціонера. Це дає змогу виконувати більшу частину швів у нижньому або зручному просторовому положенні, що позитивно впливає на формування шва, зменшує втомлюваність зварника та підвищує продуктивність. Крім того, використання кантувача полегшує доступ до різних сторін коробчастої конструкції та зменшує потребу в ручному переміщенні важких секцій.

Доцільним є також упровадження поопераційного контролю геометрії. Контроль потрібно виконувати не лише після завершення зварювання, а й після розкрою, складання, прихоплення, часткового зварювання та остаточної правки. Такий підхід дає змогу виявляти відхилення на ранніх етапах, коли їх ще можна усунути без значних витрат часу. Для перевірки довгомірних секцій можна застосовувати шаблони, контрольні лінійки, лазерні вимірювальні системи або координатні методи контролю.

Окрему увагу слід приділити напрямним елементам телескопічної системи. Удосконалення конструкції може передбачати застосування змінних антифрикційних накладок, які зменшують тертя між основною і висувною секціями, полегшують обслуговування та підвищують ресурс роботи стріли. При цьому напрямні повинні встановлюватися після контролю геометрії короба, щоб забезпечити рівномірний зазор по всій довжині телескопування.

Підвищення якості зварних з'єднань можливе також за рахунок застосування сучасних джерел живлення зварювальної дуги. Інверторні напівавтоматичні джерела забезпечують стабільну дугу, точне регулювання параметрів, менше розбризкування металу та якісніше формування шва. Для сталі 09Г2С доцільно використовувати зварювання у суміші захисних газів $Ar+CO_2$, що дозволяє отримати більш стабільний процес порівняно зі зварюванням у чистому CO_2 .

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання

Під час розроблення технологічного процесу виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н особливу увагу необхідно приділити вибору способу зварювання, оскільки саме зварні з'єднання забезпечують просторову цілісність коробчастої конструкції. Стріла працює в умовах дії згинальних моментів, поперечних сил, динамічних навантажень, реакцій у шарнірних вузлах та зусиль від гідроциліндрів. Тому технологія зварювання повинна забезпечувати міцні шви, стабільну геометрію секцій і мінімальні залишкові деформації.

Матеріалом для виготовлення стріли прийнято сталь 09Г2С, яка належить до низьколегованих конструкційних сталей і добре підходить для відповідальних зварних металоконструкцій. Основна та висувна секції стріли мають коробчастий переріз і виготовляються з листових елементів товщиною не менше 6 мм. У зонах кріплення гідроциліндрів, шарнірних вушок, напрямних елементів та підсилювальних накладок товщина деталей може збільшуватися до 10–20 мм. Така конструкція потребує продуктивного способу зварювання з достатньою глибиною проплавлення і контрольованим тепловкладенням.

У виробі можна виділити дві основні групи швів. Перша група — це протяжні поздовжні шви коробчастих секцій, які формують основну несучу частину стріли. Вони мають значну довжину та пряму траєкторію, тому повинні виконуватися з високою повторюваністю режиму. Друга група — це короткі локальні шви кронштейнів, ребер жорсткості, монтажних вушок, напрямних і підсилювальних елементів. Для них важливими є зручність доступу, можливість керування пальником і контроль формування валика.

Ручне дугове зварювання для даної конструкції не приймається як основний спосіб. Воно може бути використане лише для ремонтних або допоміжних операцій, оскільки має нижчу продуктивність, залежить від кваліфікації зварника та потребує очищення шва від шлаку. Для довгих поздовжніх швів коробчастої стріли такий спосіб є надто трудомістким [12].

Автоматичне під флюсом також не є оптимальним для цієї конструкції. Воно ефективне для протяжних прямолінійних швів, однак стріла містить велику кількість коротких і просторово складних з'єднань. У зонах кронштейнів, вушок, ребер та напрямних елементів складно забезпечити раціональне положення зварювальної головки й утримання флюсу. Тому застосування цього способу ускладнило б виробничий процес [12].

Газове зварювання не відповідає вимогам до продуктивності та точності виготовлення стріли. Воно супроводжується значним нагріванням металу, що може спричинити викривлення довгомірних листових елементів. Для телескопічної конструкції це особливо небажано, оскільки порушення прямолінійності основної або висувної секції може ускладнити роботу напрямних і телескопування [12].

Найбільш доцільним для виготовлення стріли є MAG-зварювання. Цей спосіб забезпечує стабільне горіння дуги, достатню глибину проплавлення, якісне формування шва та високу продуктивність. Його можна ефективно застосовувати як для довгих поздовжніх швів, так і для коротких з'єднань кронштейнів, ребер жорсткості та підсилювальних деталей.

З урахуванням конструкції стріли приймається комбінована схема виконання робіт: протяжні прямолінійні шви основної та висувної секцій виконуються автоматизованим MAG-зварюванням, а короткі, локальні та конструктивно складні з'єднання — механізованим MAG-зварюванням. Такий підхід дозволяє поєднати продуктивність з гнучкістю механізованого виконання швів.

Таблиця 2.1 – Порівняння способів зварювання для виготовлення стріли

Спосіб зварювання	Оцінка застосування для стріли
Ручне дугове зварювання покритими електродами	Може застосовуватися лише для допоміжних або ремонтних робіт через низьку продуктивність і необхідність видалення шлаку
Автоматичне зварювання під флюсом	Має обмежену доцільність, оскільки стріла містить багато коротких і складно розташованих швів
Газове зварювання	Не рекомендується через велике тепловкладення, низьку продуктивність і ризик деформацій
Автоматизоване MAG-зварювання	Приймається для довгих поздовжніх швів коробчастих секцій
Механізоване MAG-зварювання	Приймається для коротких швів кронштейнів, ребер, вушок, напрямних і підсилювальних елементів

Для реалізації прийнятої технологічної схеми MAG-зварювання вибираємо суцільний зварювальний дріт ER70S-6. Його застосування є доцільним для сталі 09Г2С, оскільки цей дріт призначений для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей та забезпечує отримання металу шва з достатньою міцністю і пластичністю.

Оскільки всі основні елементи стріли мають товщину не менше 6 мм, а відповідальні вузли виконуються з деталей товщиною до 20 мм, для більшості зварних з'єднань доцільно прийняти дріт ER70S-6 діаметром 1,6 мм. Такий діаметр забезпечує вищу продуктивність наплавлення, достатню глибину проплавлення та є раціональним для кутових, таврових і багатопрхідних швів конструкції.

Застосування дроту меншого діаметра, наприклад 1,0–1,2 мм, для даного виробу не є основним рішенням, оскільки воно знижує продуктивність наплавлення і може бути доцільним лише для окремих допоміжних швів або ділянок з дуже обмеженим доступом. У базовій технології виготовлення стріли приймаємо ER70S-6 Ø1,6 мм як основний зварювальний дріт [13-15].

Для реалізації прийнятої схеми MAG-зварювання вибираємо газову суміш M21: 82 % Ar + 18 % CO₂. Такий склад є раціональним для зварювання конструкційних сталей, оскільки забезпечує стабільне горіння дуги, рівномірне перенесення електродного металу та якісне формування шва [14].

Застосування чистого CO₂ технічно можливе, однак воно менш бажане. При зварюванні у чистому вуглекислому газі збільшується розбризкування металу, поверхня шва формується грубіше, а трудомісткість подальшої зачистки зростає. Крім того, для протяжних поздовжніх швів коробчастих секцій важливо забезпечити однакову форму валика по всій довжині, що краще досягається при використанні суміші M21.

Аргон у складі суміші стабілізує дуговий процес і покращує зовнішній вигляд шва, а вуглекислий газ забезпечує активність середовища та необхідну глибину проплавлення. У результаті формується щільний метал шва з плавним переходом до основного металу, що важливо для конструкції, яка працює під дією змінних навантажень.

Таблиця 2.2 – Прийняте технологічне рішення зварювання елементів стріли

Елемент конструкції	Тип з'єднання та позначення шва	Товщина деталей, мм	Прийнятий спосіб	Дріт	Захисне середовище
Поздовжні шви основної секції	Стикове С або кутове К, шов $\Delta z8$	8	Автоматизоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Поздовжні шви висувної секції	Стикове С або кутове К, шов $\Delta z6$	6	Автоматизоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
З'єднання листів коробчастого профілю	Кутове К, двобічний шов $\Delta z8$	10	Автоматизоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Ребра жорсткості	Таврове Т, шов $\Delta z6$	6	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Підсилювальні накладки	Напускне Н, контурний шов $\Delta z10$	8–16	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Кронштейни гідроциліндрів	Таврове Т, шов $\Delta z10$	10	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Монтажні вуха та шарнірні опори	Таврове Т, багатопрхідний шов $\Delta z10$	10	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Напрямні елементи	Кутове К, шов $\Delta z6$	6	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂
Передній вузол кріплення обладнання	Таврове/кутове Т/К, шов $\Delta z8$	10	Механізоване MAG-зварювання	ER70S-6 Ø1,6 мм	M21: 82 % Ar + 18 % CO ₂

Для виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н прийнято комбіновану схему MAG-зварювання: довгі поздовжні шви коробчастих секцій виконуються автоматизованим способом, а короткі та конструктивно складні шви кронштейнів, ребер жорсткості, напрямних і підсилювальних елементів — механізованим способом. Як основний зварювальний матеріал приймається суцільний дріт ER70S-6 Ø1,6 мм, захисне середовище — M21: 82 % Ar + 18 % CO₂.

Для розрахунку приймаємо такі групи основних швів:

Група швів	Елементи конструкції	Тип з'єднання	Катет шва z, мм	Спосіб виконання
I	Поздовжні шви основної та висувної секцій	кутове / стикове з формуванням коробчастого профілю	8	автоматизоване MAG
II	Рєбра жорсткості, напрямні, локальні накладки	таврове / напускне	6	механізоване MAG
III	Кронштейни гідроциліндрів, підсилювальні пластини	таврове / кутове	10	механізоване MAG
IV	Монтажні вушка, шарнірні опори, передній вузол	таврове / кутове	12	механізоване MAG

Приймаємо: $d_{\text{ед}} = 1,6 \text{ мм}$, $\psi_p = 0,1$.

I. Поздовжні шви основної та висувної секцій формують коробчастий профіль стріли, тому для них приймаємо автоматизоване MAG-зварювання [16].

Катет шва: $z = 8 \text{ мм}$

Підсилення шва приймаємо: $g = 1 \text{ мм}$

Площа поперечного перерізу кутового шва:

$$F_H = 0,5z^2 + 0,7zg = 0,5 \cdot 8^2 + 0,7 \cdot 8 \cdot 1 = 37,6 \text{ мм}^2$$

Швидкість зварювання для автоматизованого MAG-зварювання визначаємо за залежністю:

$$V_{\text{зв}} = \frac{15,9d_{\text{ед}}^2 + 67,4d_{\text{ед}}^{1,5}}{F_H} = \frac{15,9 \cdot 1,6^2 + 67,4 \cdot 1,6^{1,5}}{37,6} = 4,71 \text{ мм/с}$$

Приймаємо: $V_{\text{зв}} = 4,7 \text{ мм/с} = 17,0 \text{ м/год}$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{\text{под}} = \frac{4F_H V_{\text{зв}}}{\pi d_{\text{ед}}^2 (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 37,6 \cdot 4,71}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot (1 - 0,1)} = 352,4 \text{ м/год}$$

Сила зварювального струму:

$$\begin{aligned} I_{\text{зв}} &= d_{\text{ед}} (\sqrt{1450 d_{\text{ед}} V_{\text{под}} + 145150} - 382) \\ &= 1,6 (\sqrt{1450 \cdot 1,6 \cdot 97,9 + 145150} - 382) = 364,8 \text{ А} \end{aligned}$$

Перевіряємо допустиме значення струму:

$$I_{зв} \leq 180d_{ед}^{1,5}$$

$$I_{зв} \leq 180 \cdot 1,6^{1,5} = 364,3 \text{ А}$$

Отримане значення практично відповідає допустимій межі, тому для стабільної роботи приймаємо: $I_{зв} = 360 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 14 + 0,05I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 360 = 32 \text{ В}$$

Витрата захисного газу:

$$q_{зг} = 0,0033I_{зв}^{0,75} = 0,0033 \cdot 360^{0,75} = 16,4 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{зг} = 16\text{--}18 \text{ л/хв}$

II. Для ребер жорсткості, напрямних елементів і невеликих накладок приймаємо механізоване МАГ-зварювання [16]. Катет шва: $z = 6 \text{ мм}$

Підсилення шва: $g = 1 \text{ мм}$

Площа поперечного перерізу шва:

$$F_H = 0,5z^2 + 0,7zg = 0,5 \cdot 6^2 + 0,7 \cdot 6 \cdot 1 = 22,2 \text{ мм}^2$$

Швидкість зварювання для механізованого МАГ-зварювання:

$$V_{зв} = \frac{8,9d_{ед}^2 + 50,6d_{ед}^{1,5}}{F_H} = \frac{8,9 \cdot 1,6^2 + 50,6 \cdot 1,6^{1,5}}{22,2} = 20,3 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{под} = \frac{4F_H V_{зв}}{\pi d_{ед}^2 (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 22,2 \cdot 5,64}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 0,9} = 249,1 \text{ м/год}$$

Сила зварювального струму:

$$\begin{aligned} I_{зв} &= d_{ед} (\sqrt{1450d_{ед} V_{под}} + 145150 - 382) \\ &= 1,6 (\sqrt{1450 \cdot 1,6 \cdot 69,2} + 145150 - 382) = 273,4 \text{ А} \end{aligned}$$

Перевірка:

$$I_{зв} \leq 180d_{ед}^{1,5}$$

$$273,4 \leq 364,3 \text{ А}$$

Умова виконується. Приймаємо: $I_{зв} = 270\text{--}275 \text{ A}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 14 + 0,05I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 273,4 = 27,7 \text{ В}$$

Приймаємо: $U_{зв} = 27\text{--}28 \text{ В}$

Витрата захисного газу:

$$q_{зг} = 0,0033I_{зв}^{0,75} = 0,0033 \cdot 273,4^{0,75} = 13,3 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{зг} = 13\text{--}15 \text{ л/хв}$

III. Кронштейни гідроциліндрів та підсилювальні пластини працюють у зонах підвищених локальних напружень [16]. Для них приймаємо катет шва: $z = 10 \text{ мм}$

Підсилення шва: $g = 1 \text{ мм}$

Площа поперечного перерізу шва:

$$F_H = 0,5z^2 + 0,7zg = 0,5 \cdot 10^2 + 0,7 \cdot 10 \cdot 1 = 57 \text{ мм}^2$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{8,9d_{ед}^2 + 50,6d_{ед}^{1,5}}{F_H} = \frac{8,9 \cdot 1,6^2 + 50,6 \cdot 1,6^{1,5}}{57} = 7,92 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{под} = \frac{4F_H V_{зв}}{\pi d_{ед}^2 (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 57 \cdot 2,20}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 0,9} = 69,3 \cdot 3,6 = 249,5 \text{ м/год}$$

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = 1,6 \left(\sqrt{1450 \cdot 1,6 \cdot 69,3 + 145150} - 382 \right) = 273,5 \text{ A}$$

Перевірка допустимого струму:

$$I_{зв} \leq 180d_{ед}^{1,5}$$

$$273,5 \leq 364,3 \text{ A}$$

Умова виконується. Приймаємо: $I_{зв} = 270\text{--}275 \text{ A}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 14 + 0,05I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 273,5 = 27,7 \text{ В}$$

Витрата захисного газу:

$$q_{зг} = 0,0033I_{зв}^{0,75} = 13,3 \text{ л/хв}$$

Оскільки катет шва становить 10 мм, шов доцільно виконувати у 2 проходи. Це дозволяє стабільно сформувати переріз шва, зменшити ризик підрізів і уникнути надмірного перегрівання металу.

IV. Монтажні вушка, шарнірні опори та передній вузол кріплення робочого обладнання належать до найбільш навантажених елементів стріли [16]. Для них приймаємо катет шва: $z = 12$ мм

Підсилення шва: $g = 1$ мм

Площа поперечного перерізу шва:

$$F_H = 0,5z^2 + 0,7zg = 0,5 \cdot 12^2 + 0,7 \cdot 12 \cdot 1 = 80,4 \text{ мм}^2$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{8,9d_{ед}^2 + 50,6d_{ед}^{1,5}}{F_H} = \frac{8,9 \cdot 1,6^2 + 50,6 \cdot 1,6^{1,5}}{80,4} = 5,62 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{под} = \frac{4F_H V_{зв}}{\pi d_{ед}^2 (1 - \psi_p)} = \frac{4 \cdot 80,4 \cdot 1,56}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 0,9} = 249,5 \text{ м/год}$$

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = 1,6 \left(\sqrt{1450 \cdot 1,6 \cdot 69,3 + 145150} - 382 \right) = 273,5 \text{ А}$$

Перевірка:

$$I_{зв} \leq 180d_{ед}^{1,5}$$

$$273,5 \leq 364,3 \text{ А}$$

Умова виконується. Приймаємо: $I_{зв} = 270\text{--}275 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 14 + 0,05I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 273,5 = 27,7 \text{ В}$$

Приймаємо: $U_{зв} = 27\text{--}28 \text{ В}$

Витрата захисного газу:

$$q_{зг} = 0,0033I_{зв}^{0,75} = 13,3 \text{ л/хв}$$

Для шва з катетом 12 мм приймаємо 2–3 проходи, оскільки формування такого шва одним проходом може призвести до надмірного тепловкладення, підрізів або нестабільної форми валика.

Таблиця 2.3 Режими MAG-зварювання стріли

Група швів	Тип з'єднання	Катет шва z, мм	$V_{зв}$, м/год	$V_{под}$, мм/с	$I_{зв}$, А	$U_{зв}$, В	Витр. газу, л/хв	Кільк. проходів
Поздовжні шви основної та висувної секцій	Кутове / стикове	8	17,0	97,9	360	32	16–18	1–2
Ребра жорсткості, напрямні, локальні накладки	Таврове / напускне	6	20,3	69,2	270–275	27–28	13–15	1
Кронштейни гідроциліндрів, підсилювальні пластини	Таврове / кутове	10	7,9	69,3	270–275	27–28	13–15	2
Монтажні вушка, шарнірні опори, передній вузол	Таврове / кутове	12	5,6	69,3	270–275	27–28	13–15	2–3

Запропоновані режими забезпечують достатню глибину проплавлення, стабільне формування шва, обмеження зварювальних деформацій і необхідну якість з'єднань для відповідальної коробчастої конструкції стріли.

2.2 Вибір зварювального устаткування

Для виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н доцільно застосувати спеціалізоване зварювальне устаткування, яке забезпечує стабільне виконання протяжних швів коробчастих секцій, точне позиціонування виробу та можливість якісного зварювання коротких локальних з'єднань. Оскільки стріла має довгомірну коробчасту форму і працює як відповідальний несучий елемент, використання лише універсального напівавтоматичного джерела не є найкращим рішенням. Більш раціональним є застосування готової автоматизованої системи MAG-зварювання з позиціонуванням виробу.

Для реалізації технологічного процесу приймається автоматизована зварювальна система CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium (рис. 2.1) у поєднанні з джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 602 (рис. 2.2). Такий варіант

відповідає прийнятій технології MAG-зварювання дротом ER70S-6 Ø1,6 мм у захисній газовій суміші M21 (82 % Ar + 18 % CO₂).



Рис. 2.1 Автоматизована зварювальна система CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium [17]



Рис. 2.2 Джерело живлення CLOOS QINEO Next 602 для MAG-зварювання [17]

За результатами розрахунку режимів зварювання для довгих поздовжніх швів коробчастих секцій необхідно забезпечити силу струму близько 360 А при напрузі приблизно 32 В, а для коротких кутових, таврових і напускних швів кронштейнів, ребер, напрямних та підсилювальних елементів — близько 270–275 А при напрузі 27–28 В. Тому вибране устаткування повинно мати запас за струмом, стабільну подачу дроту та можливість роботи як в автоматизованому, так і в механізованому режимі.

Зварювальна система CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium є готовим до роботи комплексом для зварювання деталей масою до 10 кН із роботом у верхньому розташуванні. Компактна система QR-CS-2 має двостанційний поворотний стіл, при цьому зміна станції виконується вертикальним поворотом виробу. Затискне оснащення для фіксації деталей встановлюється між планшайбами позиціонера, що є зручним для базування зварних металоконструкцій середніх габаритів.

Для стріли телескопічного навантажувача така система є доцільною, оскільки вона дозволяє поєднати зварювання з позиціюванням виробу. Під час виконання довгих поздовжніх швів основної та висувної секцій роботизований модуль забезпечує рівномірне переміщення пальника, сталість швидкості зварювання, повторюваність режиму та стабільне формування валика. Це зменшує вплив людського фактора і сприяє збереженню геометрії коробчастого профілю після зварювання.

Особливо важливим є те, що система має позиціонер з вертикальним поворотом виробу. Це дає змогу встановлювати стрілу або її секцію у зручне положення для зварювання, переводити шви у нижнє чи близьке до нижнього положення, зменшувати ризик підрізів, покращувати формування шва і знижувати залишкові деформації. Для довгомірної коробчастої конструкції це має суттєве значення, оскільки порушення прямолінійності може ускладнити роботу телескопічної частини.

Таблиця 2.4 Технічна характеристика CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium

Параметр	Значення / характеристика
Тип обладнання	готова автоматизована система для роботизованого зварювання
Модель	CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium
Призначення	зварювання металоконструкцій середніх габаритів
Максимальна маса компонента	до 10 кН
Розташування робота	верхнє
Тип позиціонера	двостанційний поворотний стіл
Зміна станції	вертикальним поворотом виробу
Кріплення виробу	між планшайбами позиціонера
Максимальна довжина компонента	до 3500 мм
Максимальний діаметр компонента	до 1200 мм
Габарити системи, орієнтовно	6440 × 6176 × 4170 мм
Основне застосування у роботі	автоматизоване MAG-зварювання довгих швів секцій стріли

З урахуванням цих характеристик систему QR-CS-2-O-10kN Premium доцільно використовувати для зварювання окремих вузлів і секцій стріли, які можуть бути встановлені між планшайбами позиціонера або закріплені у спеціальному пристосуванні.

Як джерело живлення для системи приймається CLOOS QINEO NexT 602. Це інверторне джерело для MIG/MAG-зварювання, яке може використовуватися в ручному, механізованому, автоматизованому та роботизованому виконанні. Воно має модульну конструкцію, сучасне керування дугою і може інтегруватися у зварювальні комплекси, що важливо для поєднання з системою QIROX.

Для розрахованих режимів зварювання стріли джерело QINEO NexT 602 має достатній запас потужності. Найбільший розрахунковий струм для довгих поздовжніх швів становить приблизно 360 А, тоді як джерело класу 600 А дозволяє працювати з істотно вищими навантаженнями. Такий запас потрібний для

стабільної роботи на тривалих швах, виконання багатопрохідних з'єднань і зниження ризику перегрівання обладнання.

Таблиця 2.5 Технічна характеристика CLOOS QINEO NexT 602 [17]

Параметр	Технічні дані CLOOS QINEO NexT 602
Тип обладнання	інверторне джерело живлення для MIG/MAG-зварювання
Модель	QINEO NexT 602
Призначення	ручне, механізоване, автоматизоване та роботизоване зварювання
Діапазон зварювального струму	25 А / 15 В – 600 А / 44 В
Зварювальний струм при 60 % ПВ	600 А / 44 В
Зварювальний струм при 100 % ПВ	500 А / 39 В
Напруга холостого ходу	80 В
Живлення	380–480 В, 3 фази
Мережевий запобіжник	50 А
Кабель підключення	4 × 10 мм ²
Ступінь захисту	IP23
Клас ізоляції	F
Тип охолодження	F
Габарити силового блока, Д × Ш × В	720 × 340 × 500 мм
Маса силового блока	65 кг
Маса охолоджувального модуля	28 кг
Максимальна швидкість подачі дроту	24 м/хв
Діаметр зварювального дроту	0,8–2,0 мм

Під час зварювання довгих поздовжніх швів основної та висувної секцій система CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium працює в автоматизованому режимі. Робот переміщує пальник за заданою траєкторією, а позиціонер забезпечує потрібне положення заготовки. Це дозволяє підтримувати стабільну швидкість зварювання, рівномірне тепловкладення і однакову форму шва по всій довжині.

Короткі шви кронштейнів гідроциліндрів, ребер жорсткості, напрямних, монтажних вушок і підсилювальних накладок можуть виконуватися двома способами. Якщо вузол зручно встановити у позиціонер, його доцільно зварювати роботизовано. Якщо доступ до шва складний або потрібне оперативне коригування

положення пальника, джерело QINEO NexT 602 використовується у механізованому режимі з ручним пальником. Такий підхід дозволяє не застосовувати додаткове обладнання іншого типу і забезпечує єдину технологічну базу для всіх MAG-швів стріли.

Для стабільного газового захисту необхідно передбачити балонний пост або централізовану систему подачі суміші M21 із редуктором і витратоміром. Розрахована витрата газу для швів стріли становить 13–18 л/хв, тому система газопостачання повинна забезпечувати рівномірну подачу без пульсацій.

Таблиця 2.6 – Устаткування для основних зварювальних операцій

Вид робіт	Спосіб виконання	Рекомендоване устаткування	Обґрунтування
Поздовжні шви основної секції	автоматизоване MAG-зварювання	CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium + QINEO NexT 602	забезпечує стабільну траєкторію пальника, повторюваність режимів і якісне формування довгого шва
Поздовжні шви висувної секції	автоматизоване MAG-зварювання	QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium з позиціонером	дозволяє встановити секцію у зручне положення та зменшити деформації
З'єднання листів коробчастого профілю	автоматизоване MAG-зварювання	QIROX + QINEO NexT 602	доцільне для довгих швів із прямою траєкторією
Ребра жорсткості, напрямні, локальні накладки	механізоване або роботизоване MAG-зварювання	QINEO NexT 602, ручний пальник або робот QIROX	забезпечує гнучкість при коротких швах і можливість автоматизації повторюваних вузлів
Кронштейни гідроциліндрів	механізоване / роботизоване MAG-зварювання	QINEO NexT 602 + позиціонер	придатне для багатопрхідних швів у навантажених вузлах
Монтажні вушка, шарнірні опори, передній вузол	механізоване MAG-зварювання	QINEO NexT 602, позиціонер або кантувач	забезпечує доступ до зони шва та стабільне формування багатопрхідного з'єднання

Для виготовлення стріли телескопічного навантажувача MT-X 625 Н приймається автоматизована система CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium із джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 602. Вибране устаткування відповідає прийнятим режимам MAG-зварювання, забезпечує необхідний запас за струмом, дозволяє виконувати довгі шви в автоматизованому режимі, а короткі відповідальні з'єднання — у механізованому або роботизованому режимі. Застосування

позиціонера та спеціального кондуктора дає змогу зменшити зварювальні деформації, підвищити точність виготовлення коробчастих секцій і забезпечити стабільну якість зварних з'єднань.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань є завершальним, але не другорядним етапом технологічного процесу виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н. Його призначення полягає у підтвердженні працездатності зварної конструкції, виявленні дефектів, які можуть знизити несучу здатність виробу, а також у перевірці відповідності швів і геометрії стріли вимогам робочої документації.

Під час експлуатації стріла працює в умовах змінного навантаження, тому навіть незначні дефекти зварювання можуть поступово розвиватися і призводити до зниження ресурсу конструкції. Особливо небезпечними є дефекти у вузлах передавання зусиль, у місцях приварювання кронштейнів, шарнірних опор, напрямних елементів і підсилювальних деталей. Тому контроль повинен бути спрямований не тільки на оцінювання зовнішнього вигляду шва, але й на перевірку внутрішньої суцільності металу в найбільш відповідальних ділянках.

Під час виготовлення зварних вузлів стріли можуть виникати дефекти двох основних груп. До першої групи належать зовнішні дефекти, які можна виявити під час огляду поверхні: подрізи, напливи, прожоги, незаплавлені кратери, поверхневі пори, тріщини, нерівномірний катет кутового шва, різкі переходи від шва до основного металу та незадовільне формування валика. Такі дефекти небезпечні тим, що можуть створювати місцеві концентратори напружень.

До другої групи належать внутрішні дефекти, які не завжди мають зовнішні ознаки. Це непровари, несплавлення, внутрішні тріщини, пористість, шлакові або оксидні включення, розшарування металу та інші несуцільності. Вони є особливо небезпечними для навантажених з'єднань, оскільки зменшують ефективний переріз шва і можуть стати початковими зонами розвитку втомного руйнування.

З огляду на характер можливих дефектів, для перевірки зварних з'єднань стріли одного методу контролю недостатньо. Зовнішній огляд дозволяє оцінити форму шва та його геометричні параметри, але не дає повної інформації про внутрішню якість з'єднання. Тому для відповідальних швів необхідно застосовувати неруйнівні методи контролю, здатні виявляти дефекти всередині металу шва та зони термічного впливу. Окремо потрібно перевіряти геометрію готової конструкції, оскільки після зварювання можливі викривлення секцій, зміщення вузлів і порушення співвісності отворів.

З урахуванням цього приймається така послідовність контролю: спочатку виконується візуально-вимірювальний контроль, після нього — ультразвуковий контроль відповідальних швів, далі за потреби проводиться магнітопорошкова перевірка зон концентрації напружень, а завершальним етапом є геометричний контроль готової стріли.

Візуально-вимірювальний контроль є першим обов'язковим етапом перевірки. Його виконують після складання деталей, після прихоплення, після завершення зварювання та після зачистки швів. На цьому етапі контролюють зовнішній стан з'єднання, правильність формування шва і відповідність його розмірів вимогам креслення [18].

Під час огляду перевіряють рівномірність валика, плавність переходу шва до основного металу, відсутність тріщин, подрізів, напливів, прожогів, кратерів, поверхневих пор і надмірного розбризкування. Для кутових і таврових з'єднань обов'язково контролюють катет шва, оскільки його зниження зменшує міцність вузла, а завищення збільшує тепловкладення і може спричинити додаткові деформації.

Візуально-вимірювальний контроль також дозволяє виявити дефекти складання: зміщення деталей, нерівномірні зазори, перекоси, неправильне положення кронштейнів або напрямних елементів. Такі відхилення необхідно усунути до переходу до наступних операцій, оскільки після остаточного зварювання виправлення дефектів стає значно складнішим.

Для проведення контролю застосовують шаблон зварника WG-2 або УШС, штангенциркуль, металеву лінійку, рулетку, кутник, набір щупів, лупу та переносне освітлення. Ці засоби дають змогу перевірити катет кутового шва, ширину валика, висоту підсилення, величину зазору, зміщення кромок і якість зачистки.

Після виконання візуально-вимірювальної перевірки для відповідальних швів необхідно застосовувати метод, який дозволяє оцінити внутрішню суцільність зварного з'єднання. Для цієї мети найбільш доцільним є ультразвуковий контроль. Його перевага полягає в тому, що він дає змогу виявляти внутрішні дефекти без руйнування виробу та без вирізання контрольних зразків.

Ультразвуковий контроль доцільно застосовувати для швів, які працюють під дією найбільших експлуатаційних навантажень. До таких ділянок належать поздовжні шви коробчастих секцій, з'єднання кронштейнів гідроциліндрів, монтажні вушка, шарнірні опори, передній вузол кріплення робочого обладнання та інші зони, де можливе виникнення підвищених напружень [19].

Цей метод дозволяє виявляти непровари, несплавлення, внутрішні тріщини, пори, включення та розшарування металу. Особливо важливим є виявлення площинних дефектів, оскільки вони можуть істотно зменшувати втомну міцність з'єднання і не завжди проявляються під час зовнішнього огляду.

Для практичного виконання ультразвукового контролю відповідальних зварних з'єднань вибираємо портативний дефектоскоп NOVOTEST УД-1 (рис. 2.3). Його застосування є доцільним для виробничих умов, оскільки прилад має компактне виконання, призначений для неруйнівного контролю металевих виробів і дозволяє перевіряти метал шва, зону термічного впливу та прилеглі ділянки основного металу.

Перед контролем поверхню шва очищають від бризок металу, окалини, шлаку, мастила, пилу та інших забруднень. Після цього дефектоскоп налаштовують за контрольним зразком, задають параметри контролю для сталі, вибирають тип перетворювача і встановлюють необхідну чутливість. Для контролю зварних швів доцільно використовувати похилі перетворювачі, які

дозволяють перевіряти зону з'єднання під кутом і виявляти непровари та несплавлення. Прямі перетворювачі можуть застосовуватися для контролю основного металу та виявлення розшарувань.

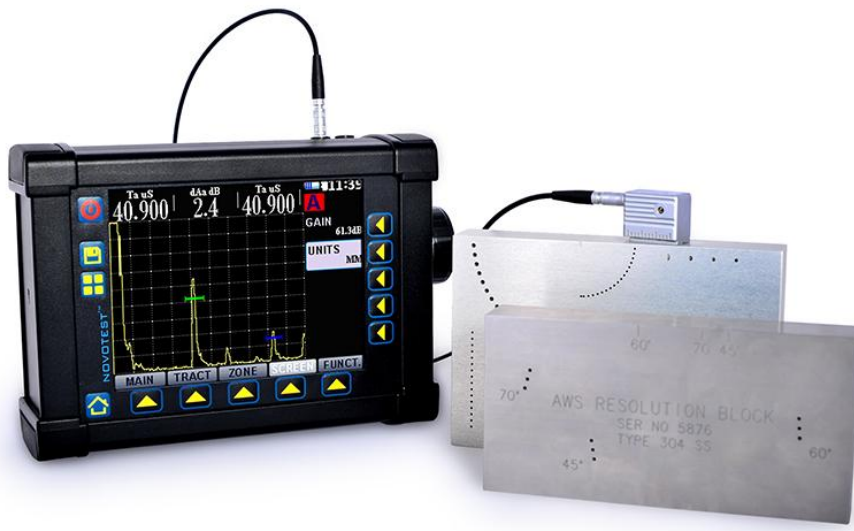


Рис. 2.3 Прилад NOVOTEST УД-1 для ультразвукового контролю [20]

Якщо під час контролю виявлено дефекти, що перевищують допустимий рівень, дефектну ділянку необхідно видалити механічним способом, повторно заварити з дотриманням технологічного режиму та виконати повторну перевірку.

Таблиця 2.7 – Характеристика дефектоскопа NOVOTEST УД-1 [20]

Параметр	Технічні дані NOVOTEST УД-1
Тип приладу	портативний ультразвуковий дефектоскоп
Призначення	неруйнівний контроль металу, зварних швів і зон термічного впливу
Контрольовані дефекти	тріщини, непровари, несплавлення, пори, включення, розшарування
Діапазон вимірюваних глибин по сталі	до 6000 мм
Діапазон регулювання підсилення	до 115 дБ
Крок регулювання підсилення	0,1 дБ
ВРЧ / TCG	до 70 дБ
Зони контролю	дві незалежні зони контролю
Частотний діапазон	орієнтовно 0,2–10 МГц
Представлення сигналу	А-скан, В-скан
Типи перетворювачів	прямі та похилі ультразвукові перетворювачі
Зондуєчий імпульс	налаштовуваний, амплітуда до 350 В
Пам'ять	збереження налаштувань і протоколів контролю
Інтерфейси	Bluetooth, SD-card
Умови застосування	виробничий контроль після зварювання та зачистки швів

Для окремих ділянок, де можливе утворення поверхневих або підповерхневих тріщин, доцільно застосовувати магнітопорошковий контроль. Цей метод ефективний для сталевих конструкцій і добре підходить для перевірки зон, у яких виникають локальні концентрації напружень.

Після завершення зварювання і неруйнівного контролю необхідно виконати перевірку геометрії стріли. Цей етап є обов'язковим, оскільки якісно виконані шви не гарантують працездатності виробу, якщо після зварювання виникли перекоси, викривлення або порушення співвісності отворів.

Під час геометричного контролю перевіряють прямолінійність секцій, паралельність бокових стінок, ширину і висоту коробчастого профілю, положення кронштейнів, співвісність отворів під пальці, розташування напрямних елементів і величину зазорів. Для цього застосовують рулетки, металеві лінійки, контрольні шаблони, кутники, рівні, нутроміри та за потреби лазерні вимірювальні засоби.

У разі виявлення відхилень, що перевищують допустимі значення, конструкцію направляють на правку з подальшим повторним контролем. Такий підхід дозволяє підтвердити не тільки якість зварювання, але й придатність стріли до складання та подальшої експлуатації.

Таблиця 2.8 – Методи контролю якості зварних з'єднань стріли МТ-Х 625 Н

Об'єкт контролю	Можливі дефекти	Метод контролю	Засоби контролю
Поздовжні шви основної секції	непровари, несплавлення, пори, тріщини, підрізи	візуально-вимірювальний; ультразвуковий	WG-2 або УШС; NOVOTEST УД-1
Поздовжні шви вусової секції	внутрішні дефекти, пори, тріщини, викривлення	візуально-вимірювальний; ультразвуковий; геометричний	шаблон зварника, контрольні шаблони; NOVOTEST УД-1
Кутові шви коробчастого профілю	нерівномірний катет, підрізи, напливи, непровари	візуально-вимірювальний; вибірково ультразвуковий	УШС, штангенциркуль; NOVOTEST УД-1
Ребра жорсткості та напрямні	пори, підрізи, непровари, зміщення деталей	візуально-вимірювальний; за потреби магнітопорошковий	шаблон зварника, щупи, магнітний дефектоскоп
Кронштейни гідроциліндрів	непровари, несплавлення, тріщини,	візуально-вимірювальний;	WG-2; NOVOTEST УД-1; магнітний дефектоскоп

	підповерхневі дефекти	ультразвуковий; магнітопорошковий	
Монтажні вушка та шарнірні опори	тріщини, непровари, несплавлення	візуально-вимірювальний; ультразвуковий; магнітопорошковий	NOVOTEST УД-1; WG-2; магнітний дефектоскоп
Підсилювальні накладки	підрізи, пори, тріщини по контуру шва	візуально-вимірювальний; магнітопорошковий	УШС; магнітний дефектоскоп
Передній вузол кріплення робочого обладнання	внутрішні тріщини, непровари, несплавлення, підрізи	візуально-вимірювальний; ультразвуковий; магнітопорошковий	NOVOTEST УД-1; WG-2; магнітний дефектоскоп
Готова стріла після зварювання	викривлення, неспіввісність отворів, зміщення вузлів	геометричний контроль	рулетка, рівень, лінійки, шаблони, нутромір, лазерний вимірювач

Для контролю якості зварних з'єднань стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н приймається поетапна система перевірки. Усі шви проходять візуально-вимірювальний контроль, що дозволяє оцінити зовнішній стан і геометричні параметри з'єднань. Для відповідальних швів застосовується ультразвуковий контроль із використанням NOVOTEST УД-1, який дає змогу виявити внутрішні дефекти без руйнування виробу.

У зонах концентрації напружень додатково передбачається магнітопорошковий контроль, а після завершення зварювальних і контрольних операцій виконується геометрична перевірка готової конструкції. Така система контролю дозволяє своєчасно виявляти дефекти, забезпечити відповідність стріли вимогам креслення та підвищити її надійність під час експлуатації.

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н передбачає поетапне перетворення листового та профільного прокату у готову зварну конструкцію з точно витриманими габаритами, якісними швами та підготовленою захисною поверхнею. Технологічний маршрут побудовано так, щоб після кожної відповідальної операції виконувалась перевірка розмірів або якості, а деталі з відхиленнями не передавалися на наступний етап без доопрацювання. Такий підхід

відповідає структурі маршрутного опису технологічних операцій, де для кожного етапу окремо визначаються зміст робіт, устаткування та контрольні дії.

010. Приймання і транспортування матеріалів

Листовий прокат зі сталі 09Г2С, профільні елементи, труби, заготовки втулок, пальці, підсилювальні пластини, зварювальний дріт ER70S-6 Ø1,6 мм та інші комплектувальні елементи надходять зі складу на заготівельну дільницю. Переміщення листів і важких заготовок виконують кран-балкою. На цій операції перевіряють наявність сертифікатів якості, марку сталі, товщину прокату, стан поверхні, відсутність розшарувань, тріщин, глибокої корозії, вм'ятин та інших дефектів. Контроль проводять штангенциркулем, мікрометром, рулеткою, металевими лінійками та засобами візуального огляду. Матеріали без маркування або з невідповідними характеристиками до виробництва не допускають.

015. Попереднє очищення листового прокату

Перед розкроем листи очищають від окалини, пилу, мастила, продуктів корозії та інших забруднень, які можуть погіршити якість різання і зварювання. Для цієї операції доцільно застосувати роликову дробоструминну лінію Rösler RRB (рис. 2.4). Таке обладнання забезпечує рівномірне очищення поверхні по всій площині листа та створює стабільні умови для подальшої термічної обробки крайок. Після очищення перевіряють візуально стан поверхні, відсутність залишків окалини, мастильних забруднень і ділянок активної корозії. Очищений прокат передають на правлення.



Рис. 2.4 – Роликова дробоструминна лінія Rösler RRB для очищення листового прокату [21]

020. Правлення листів

Очищені листи подають на правлення для усунення хвилястості, серповидності, місцевих прогинів і залишкових деформацій, які могли виникнути під час прокатування, транспортування або складування. Для цієї операції раціонально застосувати високоточну листоправильну машину ARKU FlatMaster, яка дає змогу підготувати листи до точного розкрою і подальшого складання коробчастих секцій.

Після правлення площинність листів перевіряють контрольною лінійкою, щупами та вимірювальними шаблонами. Листи з залишковими хвилями або місцевими перегинами повторно пропускають через машину або направляють на доопрацювання.



Рис. 2.5 – Листоправильна машина ARKU FlatMaster для виправлення листового прокату [22]

025. Розкрій листових деталей

Розкрій листового металу виконують згідно з картою розкрою та робочими кресленнями. Із листів вирізають бокові стінки, верхні та нижні елементи основної і висувної секцій, ребра жорсткості, напрямні, підсилювальні накладки, кронштейни та монтажні вушка. Листові деталі розкроюють на портальній установці плазмового різання Kjellberg HiFocus CNC (рис. 2.6). Після різання перевіряють розміри заготовок, якість крайок, відсутність значного термічного викривлення та відповідність деталей кресленню.



Рис. 2.6 – Загальний вигляд портальної установки плазмового різання з ЧПК, оснащеної плазмовою системою Kjellberg HiFocus [23]

030. Різання профільного прокату

Профільний прокат, труби, заготовки втулок і короткомірні елементи ріжуть механічним способом. Для цієї операції застосовують автоматичний стрічковий верстат BEHRINGER HBE Dynamic (рис. 2.7), який забезпечує точний різ, стабільний кут торця і високу якість поверхні без значної зони термічного впливу.

Після різання контролюють довжину заготовок, перпендикулярність торця, якість поверхні різ та відсутність задирок. Заготовки з відхиленнями за довжиною або кутом направляють на доопрацювання.



Рис. 2.7 – Автоматичний стрічковий верстат BEHRINGER HBE Dynamic [24]

035. Зачищення крайок і підготовка зон зварювання

Після лазерного, плазмового та механічного різання крайки заготовок очищають від ґрату, напливів, окалини, задирок і слідів термічного впливу. Поверхні в зоні майбутнього шва зачищають до чистого металу на ширину не менше 20 мм з кожного боку. Така підготовка потрібна для стабільного формування зварювальної ванни та зменшення ризику пор, несплавлень і включень.

Крайки обробляють кутовими шліфувальними машинами, пневматичними зачистними машинками, металевими щітками та абразивними кругами. Для формування фасок на деталях більшої товщини застосовують кромкофрезерну машину Promotech BM-21 (рис. 2.8), що дає змогу отримати рівномірну геометрію крайки перед багатопохідним зварюванням.



Рис. 2.8 Переносна кромкофрезерна машина Promotech BM-21 [25]

040. Контроль заготовок після розкрою

Після зачищення виконують контроль геометрії деталей. Перевіряють довжину, ширину, прямолінійність крайок, кутові відхилення, розміри фасок, якість поверхні та відповідність заготовок кресленням. Для контролю використовують рулетки, металеві лінійки, косинці, штангенциркулі, шаблони та щупи. Заготовки, які не відповідають установленим вимогам, не передають на складання. Їх направляють на повторне зачищення, правлення або додаткову механічну обробку.

045. Гнуття окремих листових елементів

Окремі напрямні, накладки, захисні елементи або допоміжні листові деталі, які мають заданий кут згину, формують на листозгинальному пресі з ЧПК TRUMPF TruBend 5230 (рис. 2.9). Застосування такого обладнання забезпечує повторюваність геометрії та зменшує потребу в ручному припасуванні під час складання.

Після гнуття контролюють кут, довжину полиць, радіус згину, симетричність форми та відсутність тріщин у зоні пластичної деформації. Деталі з недопустимими відхиленнями направляють на виправлення або виготовляють повторно.



Рис. 2.10 Листозгинальний прес з ЧПК TRUMPF TruBend 5230 [26]

050. Механічна обробка отворів і посадкових місць

Отвори під пальці, втулки, шарнірні опори та кріплення гідроциліндрів повинні мати високу точність розташування. Їх виконують на свердлильно-фрезерному центрі для металоконструкцій FICER Excalibur (рис. 2.11). Для повторюваного розташування отворів застосовують кондуктори та базові упори.

Після механічної обробки перевіряють діаметр отворів, міжосьові відстані, співвісність, перпендикулярність осей і якість посадкових поверхонь. Особливу увагу приділяють отворах під пальці, оскільки їх неспіввісність може ускладнити складання шарнірних вузлів і роботу гідроциліндрів.



Рис. 2.11 – Свердильно-фрезерний центр FICER Excalibur [27]

055. Складання основної секції

Заготовки основної секції встановлюють у спеціальний складально-зварювальний кондуктор. Спочатку базують нижній лист, після чого встановлюють бокові стінки та верхній лист. Для фіксації застосовують гідравлічні притиски, регульовані упори, призми та контрольні шаблони.

Перед прихопленням перевіряють ширину і висоту коробчастого профілю, рівномірність зазорів, прямолінійність крайок і взаємне положення листів. Прихоплення виконують МАГ-зварюванням від джерела CLOOS QINEO NexT 602 з використанням дроту ER70S-6 Ø1,6 мм. Прихватки розташовують симетрично, щоб не викликати місцевого перекосу секції.

060. Складання висувної секції

Висувну секцію складають окремо в кондукторі підвищеної точності. На цій операції контролюють сталість внутрішніх розмірів, паралельність бокових стінок, положення напрямних поверхонь і рівномірність технологічних зазорів. Деталі фіксують притисками, а положення основних поверхонь перевіряють шаблонами та щупами.

Прихоплення виконують короткими МАГ-швами у симетричній послідовності. Після прихоплення секцію повторно перевіряють за геометрією і тільки після цього передають на основне зварювання.

065. Автоматизоване МАГ-зварювання поздовжніх швів

Поздовжні шви основної та висувної секцій виконують на автоматизованому комплексі CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium із джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 602. Зварювання проводять дротом ER70S-6 Ø1,6 мм у газовій суміші M21: 82 % Ar + 18 % CO₂.

Для довгих швів застосовують розрахований режим: сила струму близько 360 А, напруга 32 В, швидкість зварювання близько 17 м/год. Автоматизоване переміщення пальника забезпечує стабільну траєкторію, рівномірне тепловкладення і однакову форму валика по довжині шва. Секцію встановлюють у зручне положення за допомогою позиціонера комплексу або окремого кантувача.

070. Очищення поздовжніх швів і проміжний контроль

Після зварювання шви очищають від бризок, локальних напливів, гострих крайок і залишкових забруднень. Для цього застосовують кутові шліфувальні машини, пневматичні зачистні машинки, металеві щітки та абразивні круги.

Після очищення шаблоном WG-2 перевіряють катет і форму шва, штангенциркулем та лінійками контролюють геометричні параметри, а візуальним оглядом визначають наявність підрізів, кратерів, тріщин, пор і напливів. Дефектні ділянки усувають до переходу на наступну операцію.

075. Встановлення ребер жорсткості, напрямних і підсилювальних накладок

На зварені секції встановлюють ребра жорсткості, напрямні елементи, підсилювальні накладки та локальні деталі кріплення. Складання виконують на стенді з використанням шаблонів, регульованих упорів і притисків. Перед прихопленням перевіряють положення кожного елемента відносно базових поверхонь.

Напрямні елементи встановлюють особливо уважно, оскільки від їх розташування залежить плавність переміщення висувної частини. Прихоплення та остаточне зварювання виконують від джерела CLOOS QINEO NexT 602 у режимах, прийнятих для коротких кутових і таврових швів.

080. Зварювання кронштейнів, вушок і навантажених вузлів

Кронштейни гідроциліндрів, монтажні вушка, шарнірні опори та передній вузол кріплення робочого обладнання зварюють механізованим MAG-

зварюванням із використанням CLOOS QINEO NexT 602 та ручного MAG-пальника. Для цих з'єднань приймають режими близько 270–275 А і 27–28 В. Масивні елементи зварюють у 2–3 проходи.

Для покращення доступу до зони зварювання і стабільного формування шва вузли встановлюють на позиціонер, двостійковий кантувач. Це дозволяє виконувати більшість швів у нижньому чи близькому до нижнього положенні.

085. Правлення після зварювання

Після завершення основних зварювальних операцій перевіряють прямолінійність секцій, положення кронштейнів, співвісність отворів і відсутність перекосів. Якщо виявлено відхилення, які можна усунути без пошкодження конструкції, стрілу направляють на правлення.

Правлення виконують на гідравлічному правильному пресі або спеціальному стенді з контрольованим прикладанням зусилля. Після правлення геометрію повторно перевіряють контрольними лінійками, шаблонами, рівнями та вимірювальними пристроями.

090. Контроль якості зварних з'єднань

Після зварювання і правлення всі шви проходять візуально-вимірювальний контроль. Для перевірки застосовують шаблон WG-2 або УШС, штангенциркуль, лінійки, щупи, лупу та переносне освітлення. Контролюють катет, ширину шва, висоту підсилення, відсутність підрізів, тріщин, пор, напливів і незаплавлених кратерів.

Відповідальні з'єднання перевіряють ультразвуковим методом із застосуванням NOVOTEST УД-1. У зонах концентрації напружень додатково використовують магнітопорошковий контроль переносним магнітним дефектоскопом або магнітною скобою.

095. Остаточна зачистка та підготовка до покриття

Після позитивних результатів контролю шви остаточно зачищають, видаляють залишкові бризки, гострі крайки, пил і забруднення. Поверхню знежирюють і готують до нанесення захисного покриття. Для цієї операції

застосовують кутові шліфувальні машини, металеві щітки, промисловий пилосос, засоби знежирення та, за потреби, дробоструминну камеру.

100. Грунтування і фарбування

Підготовлену стрілу грунтують і фарбують у фарбувальній камері з припливно-витяжною вентиляцією та фільтрацією повітря. Нанесення покриття виконують апаратом безповітряного розпилення Graco (рис. 2.12), що забезпечує рівномірний шар і продуктивне нанесення захисного матеріалу на великогабаритну конструкцію.



Рис. 2.12 Апарат безповітряного розпилення Graco [28]

Після висихання перевіряють рівномірність покриття, відсутність патьоків, непрокрасів, включень пилу і механічних пошкоджень. Товщину шару контролюють товщиноміром лакофарбового покриття.

105. Остаточне складання стріли

Після фарбування виконують остаточне складання. У основну секцію встановлюють висувну частину, втулки, пальці, напрямні елементи, гідроциліндр телескопування та інші комплектувальні деталі. Монтаж виконують на складальному стенді з використанням кран-балки, монтажних опор, домкратів, пристрою для запресування втулок і динамометричного інструменту.

Після складання перевіряють плавність висування секції, відсутність заклинювання, співвісність пальців, правильність положення кронштейнів і відповідність габаритів кресленню.

110. Приймання, маркування та передача на склад

На завершальному етапі готову стрілу піддають приймальному контролю. Перевіряють комплектність, маркування, стан лакофарбового покриття, відсутність механічних пошкоджень і відповідність виробу технічній документації. Після приймання стрілу переміщують на склад готової продукції або на ділянку монтажу.

Транспортування виконують кран-балкою з траверсою або транспортними візками. Під час складування виріб встановлюють на дерев'яні або металеві підставки з м'якими прокладками, щоб не пошкодити пофарбовану поверхню.

Таблиця 3.10 – Технологічний процес виготовлення стріли телескопічного навантажувача MT-X 625 H

№ операції	Найменування операції	Основне обладнання
010	Транспортування та вхідний контроль матеріалів	кран-балка, траверси, вакуумні захвати, штангенциркуль, мікрометр
015	Очищення листового прокату	дробоструминна лінія Rösler RRB
020	Правлення листів	листопрямильна машина ARKU FlatMaster
025	Розкрій листових заготовок	Kjellberg HiFocus CNC
030	Різання профілів, труб і втулкових заготовок	BEHRINGER HBE Dynamic
035	Зачищення крайок і підготовка зон зварювання	кутові шліфувальні машини, Promotech BM-21
040	Контроль розмірів заготовок	рулетки, лінійки, косинці, штангенциркулі, шаблони
045	Гнуття окремих листових елементів	TRUMPF TruBend 5230
050	Механічна обробка отворів і посадкових поверхонь	FICEP Excalibur
055	Складання основної секції	спеціальний складально-зварювальний кондуктор
060	Складання висувної секції	кондуктор
065	MAG-зварювання поздовжніх швів	CLOOS QIROX QR-CS-2-O-10kN Premium, CLOOS QINEO NexT 602
070	Очищення поздовжніх швів і проміжний контроль	шліфувальні машини, WG-2
075	Встановлення ребер, напрямних і накладок	складальний стенд, шаблони, притиски

080	Зварювання кронштейнів, вушок і навантажених вузлів	CLOOS QINEO NexT 602, ручний MAG-пальник, позиціонер
085	Правлення після зварювання	гідравлічний правильний прес, стенд правлення
090	Контроль якості зварних з'єднань	WG-2, NOVOTEST УД-1
095	Остаточна зачистка та підготовка до покриття	шліфувальні машини, засоби знежирення
100	Ґрунтування та фарбування	апарат безповітряного розпилення Graco
105	Остаточне складання стріли	монтажний стенд, кран-балка, прес для запресування втулок
110	Приймання, маркування та складування	кран-балка, складські підставки

Запропонований технологічний маршрут дозволяє організувати виготовлення стріли як послідовний виробничий процес із застосуванням сучасного обладнання на кожній операції. Підготовка прокату, точний розкрій, складання в кондукторах, автоматизоване MAG-зварювання, неруйнівний контроль і якісне нанесення покриття забезпечують стабільну геометрію, високу якість швів і готовність стріли до роботи в умовах експлуатаційних навантажень.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір зварювальних пристосувань

Кондуктор для складання коробчастої секції стріли призначений для встановлення нижнього листа, бокових стінок, верхнього листа, внутрішніх ребер жорсткості та підсилювальних елементів у заданому проєктному положенні перед виконанням прихоплень і подальшим зварюванням. Його використання забезпечує стабільну геометрію коробчастого перерізу, витримування необхідних зазорів між кромками та запобігання зміщенню деталей під час нагрівання й охолодження металу.

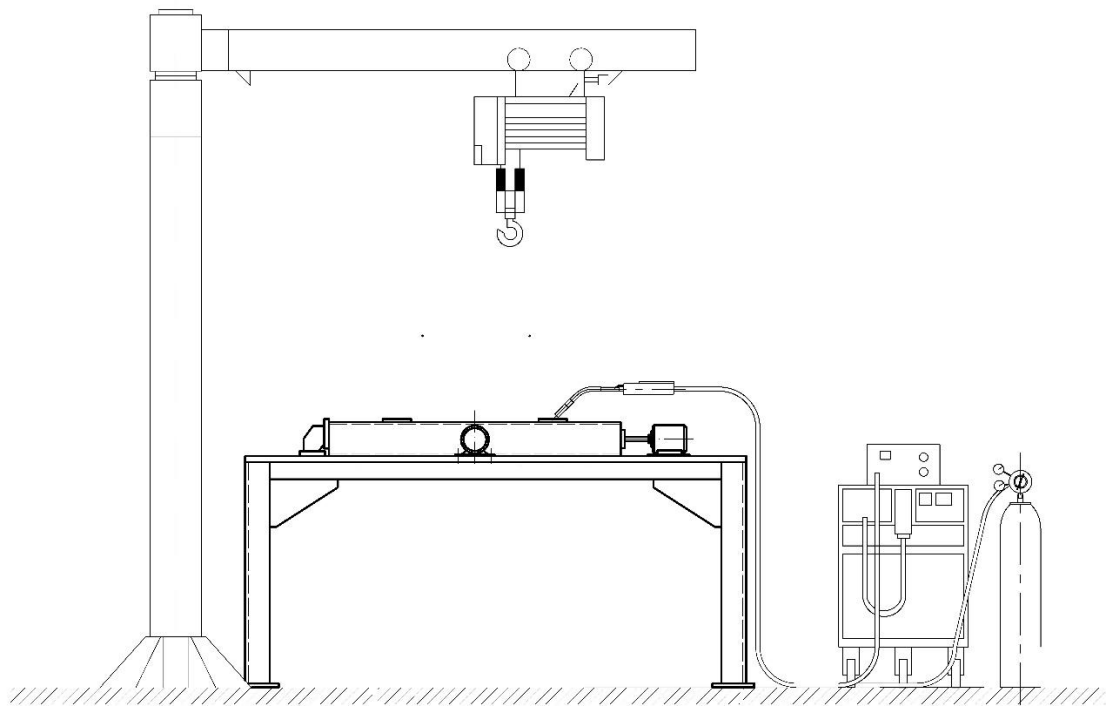


Рис. 3.1 – Кондуктор для складання коробчастої секції стріли телескопічного навантажувача

Конструктивно кондуктор складається з жорсткої зварної рами-основи, опорних плит, поздовжніх і поперечних базувальних упорів, регульованих бокових фіксаторів, верхніх притискачів, а також пневматичних або гідравлічних затискних пристроїв. Рама-основа сприймає масу заготовок, зусилля притискання та частину напружень, що виникають у процесі складання. Опорні елементи розміщені таким

чином, щоб нижній лист секції займав правильне положення і не прогинався під власною масою.

Робота кондуктора починається з укладання нижнього листа секції стріли на опорні площадки. Після вирівнювання відносно базових упорів лист фіксується притискачами до основи. Далі встановлюються бокові листи, які базуються по поздовжніх упорах і притискаються до нижнього листа боковими затискними механізмами. Завдяки цьому формується правильний коробчастий профіль майбутньої секції.

Після встановлення бокових стінок усередину короба монтуються ребра жорсткості, перегородки та інші внутрішні елементи. Їх положення задається змінними шаблонами, упорами та фіксаторами, що забезпечує повторюваність складання і точне розміщення деталей по довжині секції. Потім встановлюється верхній лист, який притискається до бокових стінок верхніми притискачами. Перед прихопленням перевіряють прямолінійність секції, симетричність коробчастого перерізу, правильність зазорів і положення внутрішніх ребер.

Після вивірення конструкції виконуються прихоплення деталей MAG-зварюванням у середовищі захисного газу M21 із застосуванням зварювального дроту ER70S-6 діаметром 1,6 мм. Прихоплення розташовуються у визначеній послідовності, щоб запобігти зміщенню листів і зберегти форму коробчастої секції до моменту виконання основних швів.

Конструкція кондуктора передбачає поетапне звільнення окремих притискачів у зоні проходження зварювального пальника. Це дає змогу не перешкоджати руху робота під час зварювання і водночас утримувати деталі на ділянках, де метал ще охолоджується. Такий принцип роботи зменшує кутові деформації, викривлення бокових листів і поздовжній прогин секції. Після завершення складання та прихоплення секція передається до роботизованого зварювального комплексу з кантувачем для виконання основних зварних швів.

Застосування кондуктора скорочує час на розмічання та ручне вивіряння деталей, підвищує точність складання, забезпечує повторюваність геометрії секцій і зменшує обсяг правлення після зварювання.

Основні зварювальні операції під час виготовлення секцій стріли виконуються на роботизованому зварювальному комплексі CLOOS QIROX із джерелом живлення QINEO NexT 602. До складу комплексу входить промисловий зварювальний робот, джерело живлення, механізм подавання дроту, зварювальний пальник, система програмного керування, засоби безпеки та двостійковий кантувач, який забезпечує закріплення, поворот і точне позиціонування секції стріли під час зварювання.

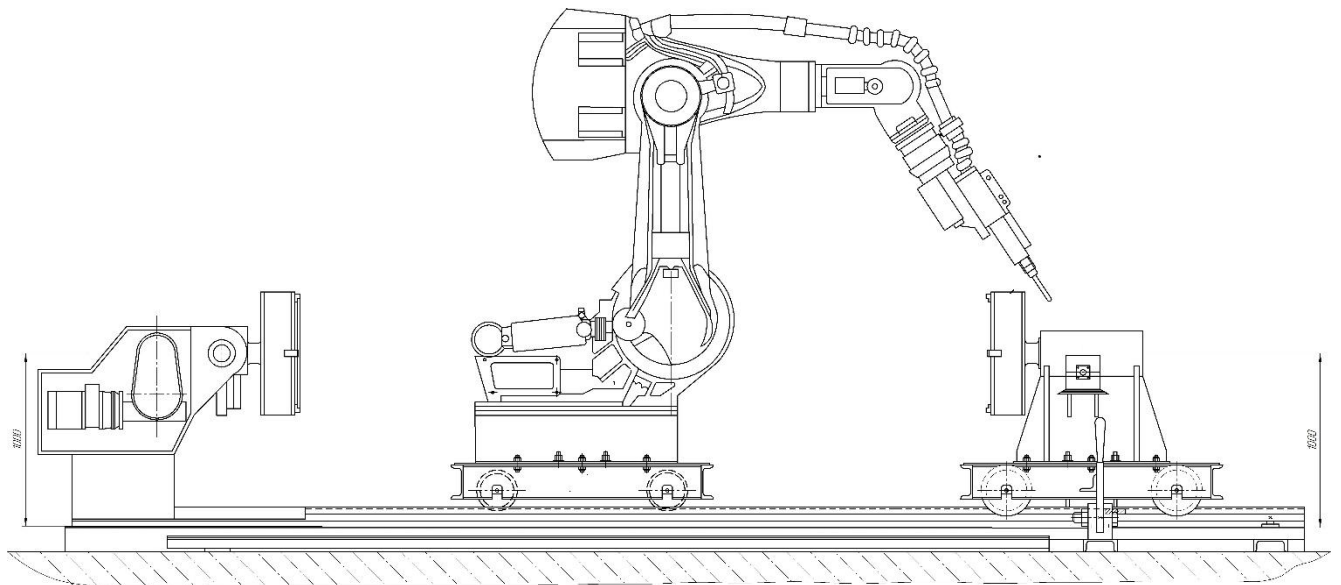


Рис. 4.2 – Роботизований зварювальний комплекс зварювання секцій стріли

Двостійковий кантувач є складовою частиною робочої зони комплексу. Він складається з приводної та неприводної стійок, планшайб або поворотних патронів, підшипникових опор, електромеханічного приводу повороту, гальмівного механізму, системи фіксації кутового положення та змінних кронштейнів для закріплення секції стріли. Приводна стійка обладнується мотор-редуктором, який забезпечує плавний поворот виробу навколо поздовжньої осі, а неприводна стійка підтримує секцію та забезпечує співвісність обертання.

Після складання в кондукторі та виконання прихоплень секція стріли встановлюється між стійками кантувача за допомогою технологічних плит або перехідних кронштейнів. Після закріплення перевіряють співвісність, жорсткість фіксації, відсутність перекосів і правильність положення центра мас відносно осі

обертання. Це необхідно для зменшення навантаження на приводний механізм і забезпечення плавного повороту виробу.

Для виготовлення секцій стріли приймається двостійковий кантувач вантажопідйомністю 3 т. Такий параметр забезпечує необхідний запас з урахуванням маси коробчастої секції, елементів кріплення та динамічних навантажень під час повороту. Привід кантувача забезпечує плавне регулювання швидкості обертання в межах приблизно 0,1–1,0 об/хв, що дозволяє точно встановлювати секцію у положення, необхідне для виконання конкретного шва.

Зварювальний робот CLOOS QIROX працює узгоджено з кантувачем. Секція стріли повертається на заданий кут, після чого робот виконує зварювання відповідного шва за попередньо розробленою програмою. Після завершення одного шва кантувач змінює положення секції, забезпечуючи доступ до наступної ділянки зварювання. Завдяки цьому більшість поздовжніх, поперечних і кутових швів виконується у нижньому або горизонтальному положенні, що покращує формування зварювальної ванни, забезпечує стабільне проплавлення та зменшує ймовірність утворення дефектів.

Зварювання виконується способом MAG у середовищі захисного газу M21 із застосуванням дроту ER70S-6 діаметром 1,6 мм. Джерело живлення QINEO NextT 602 забезпечує стабільні параметри дуги, рівномірне перенесення електродного металу та якісне формування шва при зварюванні низьколегованої сталі 09Г2С. Роботизована система підтримує задану швидкість зварювання, кут нахилу пальника, виліт електродного дроту та відстань до поверхні виробу.

Перед запуском програми оператор перевіряє якість прихоплень, чистоту кромки, правильність зазорів і надійність закріплення секції в кантувачі. Після цього запускається програма, у якій задаються траєкторія руху пальника, параметри режиму, послідовність виконання швів і положення виробу. У процесі роботи комплекс забезпечує повторюваність параметрів, рівномірне тепловкладення та стабільну якість з'єднань по всій довжині шва.

Під час зварювання секцій стріли застосовується раціональна послідовність накладання швів. Спочатку виконуються шви на ділянках, які забезпечують

просторову жорсткість конструкції, після чого зварюються протяжні поздовжні з'єднання. При цьому кантувач поетапно повертає секцію так, щоб зварювання виконувалося у найбільш зручному положенні. Чергування сторін і симетричне виконання швів зменшує нерівномірність нагрівання, обмежує залишкові деформації та зберігає геометрію коробчастої секції.

3.2 Розрахунок двостійкового кантувача для виготовлення стріли навантажувача

Для забезпечення якісного складання і зварювання коробчастої стріли телескопічного навантажувача доцільно застосувати двостійковий кантувач з електромеханічним приводом повороту [29]. Таке обладнання дає змогу надійно закріпити зварну конструкцію між двома опорними стійками та повертати її навколо поздовжньої осі у зручне для виконання зварювальних швів положення.

Застосування кантувача є особливо доцільним під час виготовлення стріли коробчастого типу, оскільки її конструкція містить протяжні поздовжні шви, підсилювальні накладки, ребра жорсткості, кронштейни та вушка кріплення гідроциліндрів. Поворот виробу дозволяє виконувати більшість зварних з'єднань у нижньому або горизонтальному положенні, що підвищує стабільність формування шва, зменшує ймовірність дефектів і покращує умови праці зварника або роботи роботизованого комплексу.

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку

<i>Параметр</i>	<i>Позначення</i>	<i>Значення</i>
Розрахункова маса стріли з елементами закріплення	m	1500 кг
Прискорення вільного падіння	g	9,81 м/с ²
Довжина стріли	L	4500 мм
Відстань між опорними стійками кантувача	l	4000 мм
Орієнтовне зміщення центра мас від осі обертання	e	0,15 м
Частота обертання виробу	n	0,5 об/хв
Коефіцієнт динамічності	k _d	1,3
Коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю	k _z	1,25

Вага стріли з урахуванням пристосувань для закріплення [29]:

$$G = m \cdot g = 1500 \cdot 9,81 = 14715 \text{ Н}$$

З урахуванням коефіцієнтів запасу розрахункове навантаження становитиме:

$$G_p = G \cdot k_d \cdot k_z = 14715 \cdot 1,3 \cdot 1,25 = 23912 \text{ Н}$$

Приймаємо: $G_p \approx 24 \text{ кН}$

Отже, кантувач необхідно розраховувати на навантаження не менше 24 кН, що відповідає вантажопідйомності приблизно 2,4 т. З урахуванням виробничого запасу доцільно прийняти вантажопідйомність кантувача 3 т.

Оскільки стріла закріплюється між двома стійками, навантаження розподіляється між ними приблизно порівну:

$$R_1 = R_2 = \frac{G_p}{2} = \frac{24000}{2} = 12000 \text{ Н}$$

Отже, кожна стійка кантувача повинна сприймати вертикальне навантаження не менше: $R = 12 \text{ кН}$

З урахуванням можливого нерівномірного розподілу маси, перекосу під час встановлення та дії зварювального оснащення приймаємо розрахункове навантаження на одну стійку: $R_{ст} = 15 \text{ кН}$

Основним навантаженням на привід кантувача є момент, який виникає внаслідок зміщення центра мас стріли відносно осі обертання. Розрахунковий момент визначаємо за формулою:

$$M = G_p \cdot e = 24000 \cdot 0,15 = 3600 \text{ Н м}$$

Також необхідно врахувати момент тертя в опорах. Орієнтовно приймаємо його на рівні 5–10 % від основного моменту:

$$M_{тер} = 0,1 \cdot M = 0,1 \cdot 3600 = 360 \text{ Н м}$$

Тоді сумарний момент повороту:

$$M_{\Sigma} = M + M_{тер} = 3600 + 360 = 3960 \text{ Н м}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу для приводу:

$$M_{пр} = M_{\Sigma} \cdot 1,5 = 3960 \cdot 1,5 = 5940 \text{ Н м}$$

Приймаємо необхідний крутний момент на вихідному валу приводу: $M_{пр} \approx 6000 \text{ Нм}$.

Отже, привід кантувача повинен забезпечувати крутний момент не менше 6 кН·м.

Розрахунок потужності приводу.

Потужність електроприводу визначаємо за формулою:

$$P = \frac{M_{\text{пр}} \cdot \omega}{\eta}$$

де $M_{\text{пр}}$ — розрахунковий крутний момент, Н·м;

ω — кутова швидкість обертання, рад/с;

η — ККД приводу, приймаємо $\eta = 0,75$.

Кутова швидкість:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5}{60} = 0,052 \text{ рад/с}$$

Тоді потужність приводу:

$$P = \frac{6000 \cdot 0,052}{0,75} = 416 \text{ Вт}$$

Отже, мінімальна розрахункова потужність електродвигуна становить приблизно 0,42 кВт. З урахуванням пускових навантажень, нерівномірності маси виробу, тертя в опорах і необхідності плавного регулювання швидкості доцільно прийняти електродвигун потужністю: $P_{\text{дв}} = 0,75 \text{ кВт}$

Для більш жорстких умов експлуатації або при збільшенні маси стріли до 2 т можна прийняти двигун потужністю 1,1 кВт.

Вибір передавального числа редуктора [29].

Приймаємо частоту обертання електродвигуна: $n_{\text{дв}} = 1500 \text{ об/хв}$

Необхідна частота обертання виробу: $n_{\text{вих}} = 0,5 \text{ об/хв}$.

Передавальне число приводу:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1500}{0,5} = 3000$$

Таке передавальне число доцільно реалізувати багатоступеневою передачею: мотор-редуктор, додатковий черв'ячний або циліндричний редуктор, а також ланцюгова чи зубчаста передача. Для забезпечення плавного пуску і точного позиціонування стріли доцільно застосувати частотний перетворювач, який дасть змогу регулювати швидкість повороту в межах приблизно 0,1–1,0 об/хв.

Приводна цапфа сприймає крутний момент і згинальне навантаження від ваги стріли. Для попереднього розрахунку приймаємо: $M_t = 6000 \text{ Н м}$.

Для сталі 45 після нормалізації допустиме напруження кручення можна прийняти: $[\tau] = 45 \text{ МПа}$.

Діаметр цапфи при кручення визначаємо за формулою [29]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 6,0 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 45}} \approx 88 \text{ мм}$$

З урахуванням запасу міцності, посадкових місць під підшипники та можливих ударних навантажень приймаємо стандартний діаметр приводної цапфи: $d = 100 \text{ мм}$. Для неприводної стійки також доцільно прийняти цапфу діаметром 80–100 мм, залежно від конструкції опори та способу закріплення стріли.

Перевірка цапфи на згин. При розрахунковому навантаженні на одну стійку: $R_{ст} = 15000 \text{ Н}$ і відстані від опори до площини кріплення виробу: $a = 0,15 \text{ м}$ згинальний момент становить [29]:

$$M_b = R_{ст} \cdot a = 15000 \cdot 0,15 = 2250 \text{ Н м}$$

Для цапфи діаметром 100 мм момент опору перерізу:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 100^3}{32} = 98125 \text{ мм}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{2,25 \cdot 10^6}{98125} = 22,9 \text{ МПа}$$

Отримане значення є значно меншим за допустиме для сталі 45, тому прийнятий діаметр цапфи 100 мм забезпечує достатню міцність.

Для опорних вузлів кантувача доцільно застосувати сферичні роликові або радіальні роликові підшипники, які здатні сприймати радіальне навантаження і частково компенсувати незначні перекоси під час встановлення довгомірної зварної конструкції.

Розрахункове навантаження на одну опору: $R_{ст} = 15 \text{ кН}$

З урахуванням запасу вантажопідйомності підшипник доцільно вибирати з динамічною вантажопідйомністю не менше:

$$C \geq 3R_{\text{ст}} \geq 3 \cdot 15 = 45 \text{ кН}$$

Для цапфи діаметром 100 мм можна застосувати підшипникові вузли з внутрішнім діаметром 100 мм і динамічною вантажопідйомністю понад 45 кН. У практичному виконанні доцільно прийняти підшипникову опору з запасом, наприклад із допустимим радіальним навантаженням 60–100 кН.

Стійки кантувача працюють переважно на стиск і згин. Для забезпечення достатньої жорсткості приймаємо зварну конструкцію стійки з профільної труби або листового прокату.

Для стійки можна прийняти:

- вертикальна колона — профільна труба 160×160×8 мм;
- основа стійки — лист товщиною 20–25 мм;
- ребра жорсткості — лист товщиною 10–12 мм;
- анкерне кріплення до фундаменту — не менше 4 анкерів на кожну стійку.

Оскільки навантаження на одну стійку становить близько 15 кН, така конструкція має достатній запас жорсткості. Основну увагу необхідно приділити не стільки міцності вертикального профілю, скільки стійкості всієї рами, якості зварних швів, точності співвісності опор і надійності анкерного кріплення до підлоги або фундаментної плити.

Для закріплення стріли в кантувачі доцільно застосувати торцеві планшайби або спеціальні перехідні кронштейни, які з'єднуються з технологічними отворами. Кріплення повинно забезпечувати:

- надійне утримання стріли під час повороту;
- відсутність зміщення виробу відносно осі обертання;
- можливість регулювання положення центра мас;
- швидке встановлення та знімання виробу;
- доступ до основних зварних швів.

Для зменшення крутного моменту бажано розташувати вісь обертання максимально близько до центра мас стріли. Якщо зміщення центра мас зменшити з 0,15 м до 0,08 м, необхідний момент повороту зменшиться майже вдвічі, що позитивно вплине на роботу приводу та довговічність опор.

Таблиця 3.2 Основні прийняті параметри кантувача

<i>Параметр</i>	<i>Прийняте значення</i>
Тип кантувача	двостійковий електромеханічний
Розрахункова вантажопідйомність	3 т
Розрахункова маса стріли з оснащенням	1500 кг
Відстань між стійками	4000 мм
Розрахунковий момент повороту	6 кН·м
Потужність електродвигуна	0,75–1,1 кВт
Частота обертання виробу	0,1–1,0 об/хв
Діаметр приводної цапфи	100 мм
Діаметр не приводної цапфи	80–100 мм
Рекомендований профіль стійки	160×160×8 мм
Товщина опорної плити	20–25 мм
Товщина ребер жорсткості	10–12 мм

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек та шкідливих чинників у цеху виготовлення стріли навантажувача

Під час виготовлення стріли телескопічного навантажувача у виробничому цеху діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих чинників, пов'язаних із заготівельними, складальними, зварювальними, контрольними та фарбувальними операціями. Особливу увагу необхідно приділяти процесам складання коробчастих секцій стріли в кондукторі, роботизованому MAG-зварюванню, повороту секцій у двостійковому кантувачі, переміщенню великогабаритних заготовок вантажопідіймальними засобами, а також очищенню і нанесенню захисного покриття.

Небезпечними зонами у спроектованому цеху є ділянки роботи роботизованого зварювального комплексу CLOOS QIROX, зона обертання секції стріли у двостійковому кантувачі, місця встановлення та затискання деталей у складальному кондукторі, робочі зони плазмового різання, кромкофрезерування, свердління, переміщення заготовок кран-балкою або мостовим краном. У цих зонах можливе защемлення рук між деталями і притискачами, травмування рухомими частинами обладнання, падіння або зміщення заготовок, опіки від нагрітого металу, ураження електричним струмом, а також пошкодження органів зору та дихання.

Під час зварювання секцій стріли способом MAG у середовищі захисного газу M21 із застосуванням дроту ER70S-6 Ø1,6 мм у повітря робочої зони виділяється зварювальний аерозоль, який містить оксиди заліза, марганцю, кремнію та інші дрібнодисперсні частинки. Крім того, у зоні дуги можуть утворюватися оксиди азоту, оксид вуглецю та інші газоподібні речовини. За недостатньої вентиляції ці домішки накопичуються у повітрі й негативно впливають на органи дихання працівників.

Додаткову небезпеку становить випромінювання зварювальної дуги. Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання може спричинити опіки відкритих ділянок шкіри, подразнення слизової оболонки очей, електрофтальмію, а при тривалому впливі — погіршення зору. Незважаючи на те, що основний

процес зварювання виконується роботизованим комплексом, оператор, наладчик і працівники, які перебувають поблизу, повинні бути захищені від дії світлового випромінювання за допомогою захисних екранів, огорожень і засобів індивідуального захисту.

Під час роботи двостійкового кантувача, який входить до складу роботизованого зварювального комплексу, небезпека виникає внаслідок обертання великогабаритної секції стріли. Можливими небезпечними ситуаціями є защемлення між секцією і стійками кантувача, зміщення виробу через неправильне закріплення, перевантаження приводу, а також неконтрольований поворот при несправності гальмівного або фіксувального механізму. Тому перед запуском комплексу необхідно перевіряти надійність кріплення секції, справність приводної та неприводної стійок, роботу системи блокування, аварійної зупинки та фіксації кутового положення.

У складальному кондукторі потенційна небезпека пов'язана з роботою пневматичних або гідравлічних притискачів, регульованих упорів і фіксаторів. Під час встановлення нижнього листа, бокових стінок, верхнього листа і внутрішніх ребер жорсткості можливе защемлення пальців, травмування гострими кромками деталей, а також падіння заготовок при неправильному стропуванні. Для зменшення ризику травмування всі притискні пристрої повинні мати справні органи керування, а робітники мають виконувати встановлення деталей тільки після повної зупинки рухомих елементів пристосування.

На заготівельній ділянці небезпечними чинниками є висока температура в зоні плазмового різання, утворення металевого пилу, бризок розплавленого металу, шум і яскраве світлове випромінювання. При роботі установки плазмового різання з ЧПК на базі системи Kjellberg HiFocus CNC необхідно застосовувати місцеве відсмоктування продуктів різання, захисні екрани та засоби захисту очей. Під час оброблення кромки на машинах GBC Compact Edge або Promotech BM-21 небезпеку становлять обертовий інструмент, стружка, гострі краї заготовок і підвищений рівень шуму.

Під час механічного оброблення отворів і посадкових поверхонь на свердлильно-фрезерному центрі FICER Excalibur небезпечними є обертовий інструмент, рухомі вузли подачі, стружка та можливість затягування елементів одягу. Тому робота на такому обладнанні повинна виконуватися із закритими захисними кожухами, справною системою блокування та з використанням окулярів або захисного щитка.

Під час нанесення ґрунтових і лакофарбових покриттів апаратом безповітряного розпилення Graco у повітря можуть потрапляти аерозолі фарб, розчинників і антикорозійних матеріалів. Ці речовини можуть подразнювати органи дихання, шкіру та слизові оболонки, а також створювати пожежонебезпечне середовище. Тому фарбування повинно виконуватися у вентильованій зоні або фарбувальній камері з використанням респіраторів, захисних окулярів, рукавиць і спецодягу.

Електрообладнання зварювального комплексу, джерело живлення QINEO NexT 602, привід кантувача, плазмова установка, свердлильно-фрезерний центр і допоміжні механізми є потенційними джерелами ураження електричним струмом. Для запобігання електротравмам усе обладнання повинно мати справне заземлення, захисне вимкнення, ізольовані кабелі, а також проходити періодичний технічний огляд. Роботи з обслуговування електричних шаф, приводів і джерел живлення дозволяється виконувати лише після знеструмлення обладнання.

Для захисту працівників у цеху застосовуються колективні та індивідуальні засоби захисту. До колективних засобів належать захисні огороження роботизованої зони, світлозахисні екрани, блокувальні пристрої, аварійні кнопки зупинки, місцева витяжна вентиляція, попереджувальна сигналізація, знаки безпеки та справне освітлення. До індивідуальних засобів захисту належать зварювальні маски, захисні окуляри, рукавиці, спецодяг із вогнестійкої тканини, захисне взуття, респіратори, протишумові навушники та діелектричні засоби захисту [30-31].

Для зменшення рівня шуму і вібрації обладнання встановлюється на жорстких основах або окремих фундаментах із використанням віброізолювальних

прокладок. Особливо це стосується дробоструминного, плазмового, кромкообробного і фрезерного обладнання. У місцях підвищеного шуму працівники повинні користуватися протишумовими навушниками або вкладками.

4.2 Шляхи збереження працездатності та підвищення продуктивності праці

Збереження працездатності працівників і підвищення продуктивності праці під час виготовлення стріли телескопічного навантажувача забезпечується поєднанням організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Найбільший ефект дає механізація та автоматизація трудомістких операцій, раціональне розміщення обладнання, застосування спеціального складально-зварювального оснащення, підтримання нормативних параметрів мікроклімату, освітлення та вентиляції.

Одним із головних напрямів підвищення продуктивності є використання кондуктора для складання коробчастих секцій стріли. Завдяки застосуванню базувальних упорів, шаблонів і притискачів зменшується час на ручне розмічання, вивіряння та підгонку деталей. Заготовки встановлюються у задане положення швидше й точніше, а повторюваність складання підвищується. Це знижує фізичне навантаження на працівників і зменшує ймовірність помилок при складанні великогабаритної конструкції.

Використання роботизованого зварювального комплексу CLOOS QIROX із джерелом живлення QINEO NexT 602 також сприяє підвищенню продуктивності. Роботизована система забезпечує стабільне переміщення зварювального пальника, постійну швидкість зварювання, рівномірне тепловкладення і повторюваність параметрів. Оператор при цьому не виконує безпосереднє ведення пальника вздовж протяжного шва, а контролює процес, налаштовує програму, перевіряє якість прихоплень і стежить за роботою комплексу. Це значно зменшує втому працівника і підвищує стабільність якості зварних з'єднань.

Важливу роль у збереженні працездатності відіграє двостійковий кантувач, який працює у складі роботизованого комплексу. Він забезпечує поворот секції стріли у потрібне положення без багаторазового використання крана для зміни

просторової орієнтації виробу. Завдяки цьому зменшується кількість допоміжних операцій, скорочується час підготовки до зварювання, підвищується безпека переміщення великогабаритних секцій і покращується доступ до зварних швів. Виконання зварювання переважно у нижньому або горизонтальному положенні сприяє формуванню якісного шва і знижує напруження працівника під час контролю процесу.

Для підтримання працездатності персоналу важливе значення має правильне освітлення робочих місць. У цеху повинно застосовуватися природне і штучне освітлення, яке забезпечує достатню видимість під час складання, контролю геометрії, налаштування зварювального комплексу, огляду швів і виконання допоміжних операцій. Недостатнє освітлення призводить до швидкої втоми очей, зниження точності роботи та збільшення кількості помилок [30-31].

Особливу увагу необхідно приділяти вентиляції. Під час MAG-зварювання, плазмового різання, кромкооброблення та фарбування у повітря виділяються пил, гази й аерозолі, які негативно впливають на органи дихання. У робочих зонах повинна діяти загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція, а безпосередньо біля джерел утворення шкідливих речовин — місцеві витяжні пристрої. У зоні роботизованого зварювання витяжка повинна забезпечувати відведення зварювального аерозолу без порушення стабільності захисного газового середовища.

Зниження фізичного навантаження на працівників досягається застосуванням вантажопідіймальних пристроїв, рольгангів, візків, кондукторів, кантувачів і механізованих затискачів. Листові заготовки, бокові стінки, ребра жорсткості та зварені секції мають переміщуватися за допомогою кран-балки або мостового крана з використанням справних стропів, траверс і захватів. Ручне переміщення важких деталей не допускається, оскільки воно підвищує ризик травмування і швидко знижує працездатність робітників [30-31].

Для запобігання перевтомі працівників, які виконують операції контролю, налаштування, кромкооброблення або обслуговування вібруючого обладнання, слід передбачати регламентовані перерви. При роботі з ручним механізованим

інструментом необхідно використовувати віброзахисні рукавиці, ергономічні рукоятки та справний інструмент із мінімальним рівнем вібрації.

Підвищенню продуктивності також сприяє раціональна організація технологічного процесу. Заготовки повинні надходити до складального кондуктора після попередньої підготовки: очищення, правлення, розкрою, підготовки кромки і свердління отворів. Це дозволяє уникнути затримок під час складання і зварювання. Розміщення обладнання в цеху повинно відповідати послідовності технологічних операцій, щоб мінімізувати зустрічні потоки, зайві переміщення та простої [30-31].

Захист органів зору і шкіри є обов'язковою умовою під час роботи в зоні зварювання. Навіть при роботизованому виконанні швів оператор і допоміжний персонал повинні бути захищені від випромінювання дуги світлозахисними екранами, огороженнями та засобами індивідуального захисту. Для огляду швів після зварювання необхідно використовувати захисні окуляри, особливо під час очищення поверхні від бризок або механічного зачищення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н. Встановлено, що стріла є відповідальним несучим елементом машини, який забезпечує підймання, утримування та переміщення вантажу на задану висоту і виліт. Під час експлуатації вона сприймає згинальні моменти, поперечні сили, динамічні навантаження та локальні зусилля в місцях кріплення гідроциліндрів, шарнірних вузлів і переднього вузла робочого обладнання. Тому до її виготовлення висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості, геометричної точності та якості зварних з'єднань.

Проведено аналіз конструкції стріли телескопічного навантажувача. Визначено, що найбільш раціональною для такої вантажопідіймальної конструкції є коробчаста зварна форма, яка забезпечує високий опір згину і крученню при відносно невеликій масі. Основна секція стріли формується з верхнього, нижнього та бокових листів, а висувна секція має менші габарити і переміщується всередині зовнішнього короба. Особливу увагу приділено зонам концентрації напружень: шарнірним вушкам, кронштейнам гідроциліндрів, напрямним елементам і передньому вузлу кріплення робочого обладнання.

Для виготовлення елементів стріли обґрунтовано застосування сталі 09Г2С. Цей матеріал має достатню міцність, пластичність, опір динамічним навантаженням і добру зварюваність. Використання сталі 09Г2С дозволяє виготовляти відповідальні зварні конструкції без значного ускладнення технології, забезпечуючи при цьому необхідний запас міцності та надійності. У найбільш навантажених ділянках конструкції передбачено застосування підсилювальних накладок і ребер жорсткості.

Проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення стріли та встановлено його основні недоліки. До них належать підвищена трудомісткість складання, залежність точності від кваліфікації виконавця, складність забезпечення стабільної геометрії довгомірних коробчастих секцій, імовірність виникнення зварювальних деформацій і потреба у значному обсязі правлення після зварювання.

Для усунення цих недоліків запропоновано застосування спеціального складально-зварювального оснащення, автоматизованого зварювання та поопераційного контролю геометрії.

Запропонований технологічний процес передбачає послідовне виконання операцій підготовки металопрокату, правлення, розкрою, підготовки кромки, складання у кондукторі, прихоплення, зварювання, контролю, правлення, механічної обробки отворів, встановлення напрямних елементів і нанесення захисного покриття. Така послідовність забезпечує логічний перехід від заготівельних операцій до остаточного приймання готової стріли та дозволяє зменшити кількість допоміжних і виправних робіт.

Для виконання зварювальних операцій прийнято спосіб MAG-зварювання у середовищі захисного газу M21 із використанням дроту ER70S-6 Ø1,6 мм. Такий спосіб забезпечує стабільне горіння дуги, якісне формування шва, достатню глибину проплавлення та високу продуктивність при зварюванні листових елементів зі сталі 09Г2С. Для основних поздовжніх і кутових швів передбачено застосування роботизованого комплексу CLOOS QIROX із джерелом живлення QINEO Next 602, що забезпечує повторюваність режимів і рівномірне тепловкладення.

У роботі обґрунтовано використання складального кондуктора для формування коробчастих секцій стріли. Кондуктор забезпечує точне базування нижнього, верхнього та бокових листів, фіксацію ребер жорсткості, підсилювальних елементів і кронштейнів у заданому положенні. Його застосування дозволяє витримувати необхідні зазори під зварювання, зменшувати зміщення деталей під час нагрівання та охолодження, підвищувати повторюваність геометричних параметрів і скорочувати час складання.

Для зварювання секцій у складі роботизованого комплексу передбачено використання двостійкового кантувача. Він забезпечує закріплення, поворот і точне позиціонування секції відносно зварювального робота. Завдяки цьому більшість швів виконується у нижньому або горизонтальному положенні, що покращує формування зварювальної ванни, зменшує ймовірність утворення

дефектів і сприяє зниженню залишкових деформацій. Прийнята вантажопідйомність кантувача забезпечує необхідний запас для роботи з великогабаритними секціями стріли.

Розроблено систему контролю якості виготовлення стріли. Вона включає вхідний контроль матеріалів, операційний контроль заготовок, перевірку складання, візуально-вимірний контроль швів, ультразвуковий контроль відповідальних з'єднань, магнітопорошковий контроль зон можливого тріщиноутворення та геометричну перевірку готової конструкції. Для контролю внутрішніх дефектів прийнято дефектоскоп NOVOTEST УД-1, який дозволяє виявляти несправи, несплавлення, пори та тріщини у відповідальних зварних з'єднаннях.

У розділі з охорони праці розглянуто основні небезпечні та шкідливі чинники, які виникають під час виготовлення стріли. Запропоновано заходи безпеки, зокрема використання захисних огорожень, вентиляції, світлозахисних екранів, аварійних блокувань, засобів індивідуального захисту та раціональної організації робочих місць.

У результаті виконання роботи сформовано технологічне рішення, яке дозволяє підвищити якість і продуктивність виготовлення стріли телескопічного навантажувача МТ-Х 625 Н. Запропоноване використання сучасного обладнання, складального кондуктора, роботизованого МАГ-зварювання, кантувача та поетапного контролю забезпечує стабільну геометрію коробчастих секцій, високу якість зварних з'єднань, зменшення трудомісткості та підвищення надійності готового виробу під час експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. <https://www.manitou.com/en-RO/our-machines/construction-telehandlers/mt-625-h>
3. <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stali-nizkolegovani/>
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2003. 263 с.
5. ДСТУ ISO 5817:2016 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (ISO 5817:2014, IDT).
6. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64879
7. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
8. ДСТУ EN 10025-2:2019. Вироби гарячекатані з конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ EN ISO 3834-2:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. Комплексні вимоги до якості. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102588
10. ДСТУ EN ISO 3834-3:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. URL: https://online.budstandart.com/catalog/doc-page.html?id_doc=110304
11. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та кваліфікація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування технології зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
12. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
13. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання металевим електродом у захисному газі нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. Стандарт визначає класифікацію дротів і наплавленого металу для газозахисного дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей.
14. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.

15. <https://jasic.ua/ua/product/provoloka-er70s-6-08-mm-15-kg-281?srsId=AfmBOop3ba3k-mRZYolzM8nmyPhKMwEbdwiS1jlaQH0Tnsmb0hRy-A4X>
16. 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.
17. <https://cloos-group.com/en/products/>
18. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72977
19. ДСТУ EN ISO 17640:2022. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104111
20. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/defektoskop-ultrazvukovoy-ud-1>
21. <https://www.rosler.com/en/products/shot-blasting/roller-conveyor-blast-machines>
22. <https://www.arku.com/en/levelers/laser-cut-and-punched-parts/flatmaster>
23. <https://www.kjellberg.de/automated-plasma-cutting.html>
24. <https://www.behringer.net/en/products/behringer-bandsaws/horizontal-bandsaws.html>
25. <https://www.promotech.eu/product/bm-21-industrial-plate-pipe-beveler/>
26. https://www.trumpf.com/en_SG/products/machines-systems/bending-machines/trubend-series-5000/
27. <https://ficepgroup.com/en/products/excalibur-victory/>
28. <https://www.graco.com/au/en/contractor/products/protective-coatings-polyurea/protective-coatings-spray-equipment/king.html>
29. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
30. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
31. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТКИ