

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології виготовлення
пересувного козлового крана з дослідженням його НДС**

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МПм-61
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Петровський А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Підгурський М.І.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: " Розроблення технології виготовлення пересувного козлового крана з дослідженням його НДС "

Робота магістра присвячена розробленню та науковому обґрунтуванню технології виготовлення пересувного козлового крана як зварної металоконструкції з одночасним дослідженням її напружено-деформівного стану. Актуальність дослідження зумовлена зростаючою потребою у мобільних вантажопідіймальних засобах для ремонтно-механічних, складських і монтажних ділянок, де використання стаціонарних підйомних систем є технічно або економічно недоцільним.

У кваліфікаційній роботі магістра виконано комплексне дослідження та обґрунтування конструктивних і технологічних рішень щодо виготовлення пересувного козлового крана як зварної вантажопідіймальної металоконструкції. Робота охоплює аналітичний, дослідницький, технологічний, конструкторський та безпековий розділи, що дозволяє всебічно оцінити працездатність, надійність і технологічну доцільність запропонованого виробу.

В роботі систематизовано вимоги до мобільних вантажопідіймальних конструкцій, проаналізовано умови їх експлуатації та виконано оцінку конструктивних схем пересувних козових кранів.

Проведено моделювання напружено-деформівного стану несучих елементів крана методом скінченних елементів. Отримано розподіли еквівалентних напружень, деформацій і переміщень, визначено коефіцієнти запасу міцності та встановлено зони концентрації напружень. Результати чисельного аналізу підтвердили відповідність конструкції вимогам міцності та жорсткості при дії розрахункових статичних навантажень.

Обґрунтовано та запропоновано застосування механізованого та роботизованого зварювання як ефективного засобу підвищення стабільності якості зварних з'єднань і зниження зварювальних деформацій.

Вдосконалено та розроблено конструкції складально-зварювальних пристосувань, які забезпечують точність складання, надійну фіксацію елементів і стабільність геометричних параметрів конструкції під час зварювання. Виконано інженерні розрахунки основних елементів пристосувань з урахуванням сил затискання та умов експлуатаційної надійності.

Проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для зварювальних робіт і експлуатації вантажопідіймальних машин. Розроблено організаційні та технічні заходи, спрямовані на зниження виробничих ризиків, забезпечення безпеки персоналу та підвищення рівня промислової безпеки.

У роботі здійснено комплексне науково-технічне обґрунтування технології виготовлення пересувного козлового крана як відповідальної зварної металоконструкції вантажопідіймального обладнання. Проведено аналіз умов експлуатації та нормативних вимог до мобільних вантажопідіймальних систем, виконано обґрунтований вибір конструкційних матеріалів з урахуванням їх міцнісних характеристик, зварюваності та експлуатаційної довговічності. Розглянуто особливості формування основних несучих елементів конструкції, вибір і послідовність технологічних операцій виготовлення, а також методи зварювання і контролю якості зварних з'єднань.

Розроблена технологія виготовлення пересувного козлового крана забезпечує підвищення якості зварних з'єднань, зменшення ймовірності виникнення технологічних дефектів, покращення експлуатаційних характеристик конструкції та може бути рекомендована для впровадження у серійному або дрібносерійному виробництві вантажопідіймального обладнання.

Ключові слова: ПЕРЕСУВНИЙ КОЗЛОВИЙ КРАН; ЗВАРНА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЯ; ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ; НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН; МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Конструкція виробу та умови роботи	9
1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції.....	15
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу	21
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	26
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	34
3.1 Обґрунтування способу зварювання	34
3.2 Опис технологічного процесу	45
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	55
4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань.....	55
4.2 Розрахунок гвинтових притискачів складального кондуктора	59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
5.1 Аналіз і оцінювання небезпечних та шкідливих виробничих чинників у спроєктованому виробничому цеху	63
5.2 Заходи щодо збереження працездатності персоналу та підвищення продуктивності праці	66
5.3 Обґрунтування та розрахунок системи штучного освітлення спроєктованого цеху	68
5.4 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта до дії ударної хвилі.....	71
ВИСНОВКИ.....	75
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
ДОДАТКИ.....	79

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудування, ремонтно-механічних виробництв і складської логістики характеризується зростанням потреби у мобільних, універсальних та енергоефективних вантажопідіймальних засобах. Особливої актуальності набувають технічні рішення, які дозволяють виконувати вантажно-монтажні операції в умовах обмеженого простору, відсутності стаціонарних підйомних механізмів або необхідності частого переміщення обладнання в межах виробничого майданчика. У цьому контексті портативні пересувні козлові крани розглядаються як ефективна альтернатива стаціонарним мостовим і підвісним крановим системам.

Портативний пересувний козловий кран є різновидом вантажопідіймального обладнання, що поєднує в собі відносну простоту конструкції, мобільність та достатню вантажопідіймальну здатність для виконання широкого спектра технологічних операцій. Завдяки модульній будові та можливості швидкого монтажу і демонтажу такі крани знаходять застосування у машинобудівних цехах, ремонтних дільницях, складських приміщеннях, будівельних майданчиках, а також у сервісних і монтажних роботах, де використання стаціонарних кранових систем є технічно або економічно недоцільним [1-2].

Виготовлення портативних пересувних козлових кранів пов'язане з низкою інженерних завдань, зокрема вибором раціональної конструктивної схеми, матеріалів несучих елементів, методів з'єднання та технології зварювання. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти забезпеченню міцності та жорсткості несучої балки і стояків, стійкості конструкції під час пересування з вантажем, а також мінімізації маси крана без зниження його експлуатаційної надійності. Неправильно обрані технологічні або конструктивні рішення можуть призводити до надмірних деформацій, втрати стійкості, зниження ресурсу або небезпечних режимів роботи.

З точки зору технології виготовлення, портативні козлові крани переважно виконуються у вигляді зварних металоконструкцій, що зумовлює необхідність врахування впливу зварювальних деформацій і залишкових напружень на геометричну точність та експлуатаційні характеристики виробу. Раціонально організований технологічний процес виготовлення, який включає підготовку металопрокату, складання в кондукторах, зварювання, правку та контроль якості, є визначальним фактором забезпечення відповідності готового крана вимогам нормативної документації та безпечної експлуатації [2].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Конструкція виробу та умови роботи

Портативний пересувний козловий кран (рис.1.1 та 1.2) належить до класу мобільних вантажопідіймальних машин періодичної дії, призначених для піднімання, утримання та переміщення вантажів у межах обмежених виробничих, складських або монтажних зон. На відміну від стаціонарних мостових або козлових кранів, портативні системи характеризуються можливістю швидкого монтажу та демонтажу, компактністю, відносно малою масою та гнучкістю застосування [1].

Основною конструктивною особливістю портативного козлового крана є відсутність постійного фундаментного закріплення, що дозволяє використовувати його на різних робочих майданчиках без виконання складних будівельно-монтажних робіт. Такі крани широко застосовуються в ремонтно-механічних цехах, на складських ділянках, у сервісних зонах, на будівельних майданчиках, а також у випадках, коли використання стаціонарних вантажопідіймальних систем є економічно або технічно недоцільним.[1].



Рис.1.1. Конструкція пересувного козлового крана [4]

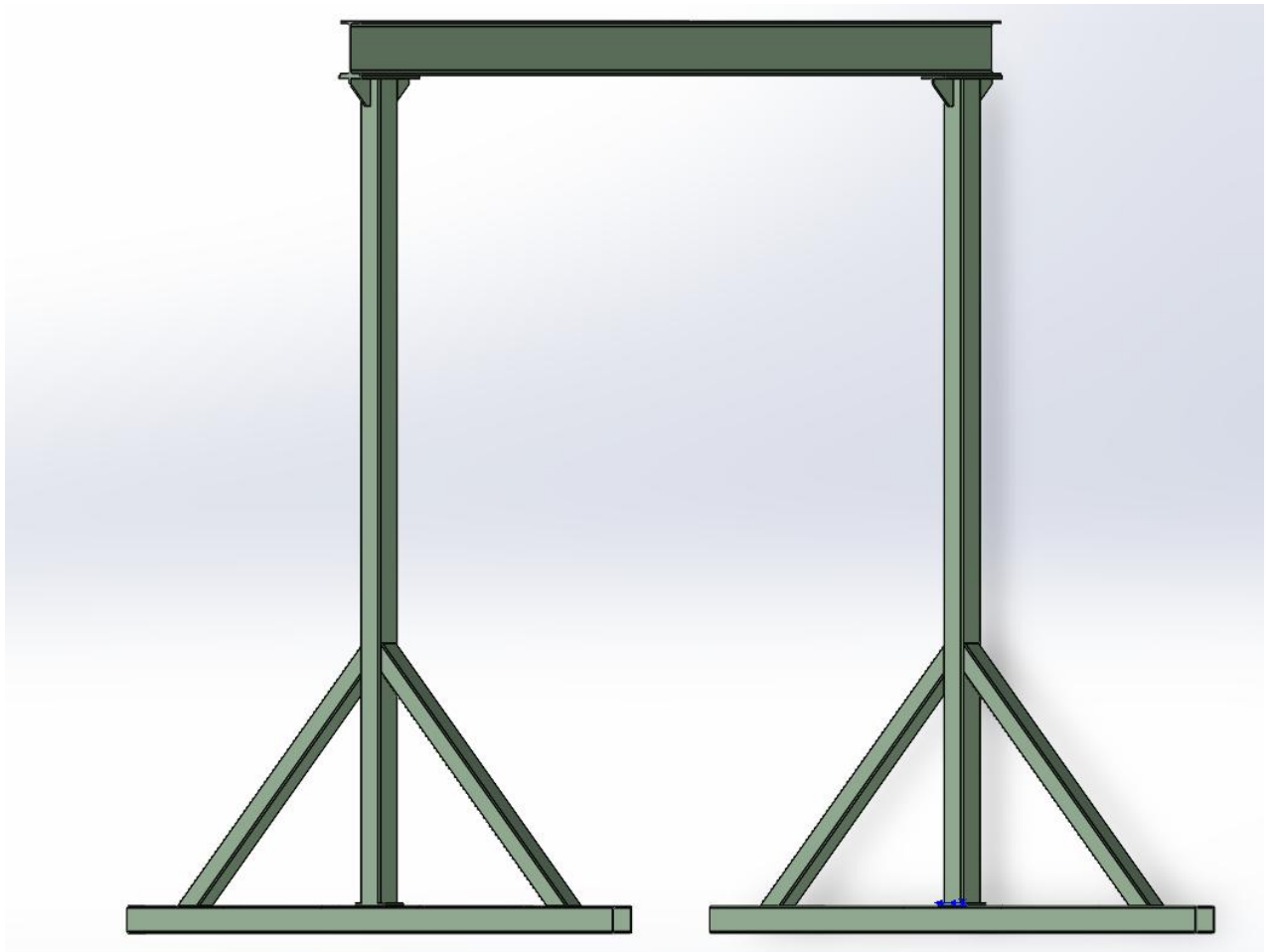


Рис. 1.2 – 3D-модель крана

Типова конструкція портативного пересувного козлового крана складається з таких основних елементів:

- несучої поперечної балки (козлової балки);
- двох вертикальних стояків (опорних рам);
- ходових опор з колесами або роликами;
- вантажопідіймального механізму;
- системи з'єднань, фіксації та регулювання;
- елементів безпеки та керування.

Конструктивна схема крана зазвичай симетрична відносно вертикальної осі, що забезпечує рівномірний розподіл навантажень і стійкість під час піднімання вантажів. Залежно від виконання, кран може мати фіксовану або регульовану висоту підйому, а також змінну ширину прольоту [4-6].

Несуча балка є основним силовим елементом конструкції, який сприймає вертикальні навантаження від маси вантажу, вантажопідіймального механізму та власної маси крана. У більшості конструкцій балка виконується у вигляді:

- прокатного або зварного двотавра;
- коробчастого зварного профілю;

Вибір типу перерізу балки визначається вантажопідіймальністю крана, прольотом, вимогами до жорсткості та умовами експлуатації. Для сталевих портативних кранів найбільш поширеними є зварні двотаврові балки, які забезпечують оптимальне співвідношення міцності та маси.

При проєктуванні балки особливу увагу приділяють:

- перевірці міцності за нормальними та дотичними напруженнями;
- обмеженню прогинів до допустимих нормативних значень;
- зниженню концентрацій напружень у зонах кріплення стояків і підвісу талі.

Стояки портативного козлового крана виконують функцію передачі навантаження від балки на опорну поверхню та забезпечують загальну стійкість конструкції. Зазвичай стояки виготовляються зі сталевих труб, коробчастих або двотаврових профілів і з'єднуються з балкою болтовими або зварними з'єднаннями.

У багатьох конструкціях передбачено регулювання висоти стояків, що дозволяє змінювати висоту підйому вантажу залежно від умов роботи. Регулювання здійснюється за допомогою телескопічних вставок або змінних секцій, які фіксуються болтами або штифтами.

Для підвищення жорсткості та зменшення бічних деформацій стояки можуть бути додатково з'єднані розкосами або поперечними стяжками.

Ходова частина портативного пересувного козлового крана забезпечує його переміщення в межах робочого майданчика. Вона зазвичай складається з чотирьох або більше коліс, які можуть бути:

- жорстко закріпленими;
- поворотними;

- оснащеними гальмівними механізмами.

Колеса виготовляються з металу, поліуретану або комбінованих матеріалів залежно від типу підлогового покриття та умов експлуатації. Обов'язковою вимогою є наявність фіксаторів або гальм, що запобігають мимовільному переміщенню крана під час підйому або утримання вантажу.

Вантажопідіймальний механізм портативного козлового крана зазвичай виконується у вигляді:

- ручної ланцюгової талі;
- електричної канатної або ланцюгової талі;
- комбінованого механізму.

Таль переміщується вздовж несучої балки за допомогою візка, що дозволяє змінювати положення вантажу в горизонтальному напрямку. Вибір типу талі залежить від вантажопідіймальності, інтенсивності роботи та вимог до продуктивності.

Експлуатація портативного пересувного козлового крана здійснюється в умовах:

- обмежених габаритів приміщень;
- змінних навантажень;
- нерівномірного розподілу маси вантажу;
- можливих динамічних впливів під час пуску та гальмування.

Особливо важливим є забезпечення рівності опорної поверхні та дотримання допустимих режимів навантаження, що безпосередньо впливає на стійкість і безпеку роботи крана.

Для виготовлення несучих елементів портативного пересувного козлового крана застосовується сталь 20, яка належить до групи нелегованих конструкційних сталей з низьким вмістом вуглецю. Вибір даного матеріалу обумовлений поєднанням задовільних механічних властивостей, високої зварюваності, технологічності в обробці та достатньої експлуатаційної надійності при роботі вантажопідіймальних конструкцій.

Хімічний склад сталі 20 (табл. 1.1) характеризується вмістом вуглецю, що не перевищує 0,24%, а також наявністю марганцю та кремнію в обмежених концентраціях. Завдяки такому складу сталь 20 формує феритно-перлітну мікроструктуру, яка забезпечує оптимальне співвідношення міцності та пластичності. Відсутність значних кількостей легуючих елементів знижує схильність матеріалу до утворення крихких фаз і полегшує виконання зварних з'єднань без застосування складних технологічних заходів [7].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 20, % [8]

Хімічний елемент	C	Mn	Si	P, не більше	S, не більше	Cr, не більше	Ni, не більше	Cu, не більше
Вміст, %	0,17–0,24	0,35–0,65	0,17–0,37	0,035	0,040	0,25	0,25	0,25

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 20 [8]

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Значення
у гарячекатаному стані			
Тимчасовий опір розриву	σ_b	МПа	410–550
Межа текучості	σ_T	МПа	≥ 245
Відносне подовження	δ	%	≥ 25
Відносне звуження	ψ	%	≥ 55
Ударна в'язкість (KCU)	KCU	Дж/см ²	≥ 78
Твердість по Брінеллю	HB	–	126–163
після нормалізації			
Показник	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Тимчасовий опір розриву	σ_b	МПа	420–560
Межа текучості	σ_T	МПа	≥ 255
Відносне подовження	δ	%	≥ 24
Ударна в'язкість (KCU)	KCU	Дж/см ²	≥ 80
Твердість	HB	–	130–170

Зварюваність сталі 20 оцінюється за показниками схильності до утворення гарячих і холодних тріщин у зварному шві та навколошовній зоні.

Схильність до утворення гарячих тріщин оцінюється за критерієм HCS, який враховує вплив вуглецю, сірки, фосфору, кремнію, марганцю та хрому[7]:

$$HCS = \frac{C(S + P + 0.04Si)}{3Mn + Cr} = \frac{0.24(0.04 + 0.04 + 0.04 \cdot 0.37)}{3 \cdot 0.35 + 0.25} = 0.0175 \quad (1.1)$$

Відповідно $HCS = 0.0175 > 0.004$, Якщо концентрація легуючих елементів перевищує припустимі рівні, існує ризик появи гарячих тріщин. Однак у практичних умовах така комбінація легуючих домішок є небагато ймовірною. Проте на виробництві важливо моніторити склад сталі згідно з відповідними сертифікатами.

Перевіряється ризик формування холодних тріщин за найгірших умов (при максимальній присутності легуючих елементів) [7].

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{15} = 0.24 + \frac{0.65}{6} + \frac{0.15}{5} + \frac{0.25}{15} = 0.395 \quad (1.2)$$

Для сталі 20 значення $C_{екв}$ не перевищує 0,4, що дозволяє класифікувати її як метал, не схильний до утворення холодних тріщин. Це означає, що зварювання може виконуватися без попереднього підігріву за умови дотримання раціональних режимів зварювання та використання якісних зварювальних матеріалів.

З урахуванням наведених показників, сталь 20 належить до групи легкозварюваних сталей, що є важливою перевагою при виготовленні портативних пересувних козлових кранів, які містять значну кількість зварних з'єднань.

Під час зварювання конструкційних сталей, зокрема сталі 20, найбільш поширеним дефектом є пористість зварного шва. Основними джерелами пористості можуть бути [7]:

- Азот (N_2), який потрапляє у зварювальну ванну через недостатній газовий захист;
- Водень (H_2), що надходить з вологи у повітрі, зварювальних матеріалів, флюсів або з поверхневих забруднень;
- Оксид вуглецю (CO), який утворюється внаслідок окислення вуглецю в зоні зварювання.

Для запобігання пористості застосовуються металургійні та технологічні заходи, зокрема очищення поверхонь від іржі, масел і фарби, прокалювання

зварювальних матеріалів, а також забезпечення ефективного захисту зварювальної ванни від атмосферного повітря.

Гарячі тріщини можуть виникати внаслідок утворення легкотопких евтектик на основі FeS. Для зменшення цього ризику до складу металу шва вводять марганець, який зв'язує сірку у вигляді сульфїду марганцю (MnS), що має вищу температуру плавлення та знижує ймовірність утворення тріщин.

При зварюванні елементів портативного козлового крана, особливо кутових і корневих швів, необхідно уникати надмірно глибокого та вузького проплавлення, оскільки така форма зварної ванни сприяє концентрації напружень і підвищує ризик тріщиноутворення.

Механічні властивості зварного з'єднання визначаються структурою металу шва та навколошовної зони, яка залежить від хімічного складу, режимів зварювання та умов охолодження. При зварюванні сталі 20 спостерігається зниження вмісту вуглецю в металі шва порівняно з основним металом, що може впливати на міцність з'єднання.

Підвищення міцності металу шва досягається шляхом легування марганцем або кремнієм, а також оптимізацією тепловкладення. Водночас надмірно швидке охолодження може призводити до зниження пластичності та ударної в'язкості, що є небажаним для вантажопідіймальних конструкцій.

З урахуванням зазначених факторів, застосування сталі є технічно обґрунтованим і забезпечує необхідний рівень міцності, надійності та зварюваності конструкції.

1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

Під час виготовлення портативного пересувного козлового крана необхідно керуватися вимогами чинних нормативних документів у галузі машинобудування, зварювання, вантажопідіймальних механізмів та охорони праці, а також конструкторською документацією на виріб.

У разі заміни або скасування нормативних документів слід застосовувати діючі на момент виготовлення аналоги, що забезпечують не нижчий рівень безпеки та якості.

Портативний пересувний козловий кран повинен виготовлятися відповідно до робочих креслень і технологічної документації, розроблених на основі чинних нормативних вимог до вантажопідіймального обладнання.

Конструктивні та технологічні рішення мають забезпечувати:

- безпечну роботу крана при номінальних навантаженнях;
- достатню міцність і жорсткість несучих елементів;
- стійкість конструкції під час підйому вантажу;
- зручність монтажу, демонтажу та транспортування;
- мінімальні витрати часу на введення крана в експлуатацію.

Основні технічні параметри портативного пересувного козлового крана визначаються конструкторською документацією і можуть змінюватися залежно від виконання. Орієнтовно кран характеризується такими показниками:

- номінальна вантажопідіймальність – до 2,0 т;
- проліт між опорними рамами – до 6,0 м;
- максимальна висота підйому вантажу – до 4,5 м;
- тип приводу вантажопідіймального механізму – ручний або електричний;
- тип пересування – ручне, на колесах з гальмівними пристроями.

Зміна параметрів допускається за умови відповідного перерахунку міцності та стійкості конструкції.

Для виготовлення несучих і допоміжних елементів крана застосовуються конструкційні вуглецеві сталі, зокрема сталь 20, або інші матеріали з аналогічними механічними властивостями та технологічною придатністю.

Матеріали повинні:

- відповідати вимогам сертифікатів якості;
- не мати тріщин, розшарувань і внутрішніх дефектів;
- забезпечувати можливість виконання зварних з'єднань без попереднього підігріву.

Зварювальні матеріали підбираються з урахуванням хімічного складу основного металу та повинні гарантувати отримання зварних з'єднань з необхідними механічними властивостями

Основу конструкції портативного козлового крана складають несуча поперечна балка та дві опорні рами. Балка повинна сприймати вертикальні та згинальні навантаження від вантажу і вантажопідіймального механізму без утворення недопустимих деформацій.

Опорні рами забезпечують передачу навантаження на поверхню майданчика та формують стійкість конструкції в робочому положенні. Конструкція стояків може передбачати регулювання висоти.

Виготовлення елементів крана здійснюється методами механічної обробки та зварювання.

Розкрій і різання заготовок для елементів портативного пересувного козлового крана повинні здійснюватися механічними або термічними способами, які забезпечують необхідну геометричну точність і якість поверхні різі. Допускається застосування гільйотинних і дискових ножиць, стрічкових та зубчастих пил, а також газо-кисневих автоматів, напівавтоматів і інших механізованих установок термічного різання.

Після виконання термічного різання крайки деталей підлягають обов'язковому очищенню від шлаку, окалини та напливів. Сумарна довжина зарізів на крайці не повинна перевищувати 20 % її загальної довжини, при цьому довжина одного зарізу допускається не більше 150 мм, а його глибина — не більше 2 мм. Нерівності поверхні різі з висотою понад 1 мм, а також локальні напливи мають бути усунуті шляхом механічної зачистки.

Кромки, отримані внаслідок дугового або газового різання, перед зварюванням необхідно додатково обробляти на глибину 1,5–2,0 мм від найглибшої точки різі з метою видалення зони термічного впливу з погіршеними властивостями. Деталі, відрізані ножицями, повинні мати рівні кромки без задирок, завалів понад 1 мм, а також без тріщин чи ознак розшарування металу.

Кромки елементів з вуглецевих і низьколегованих сталей, які не зварюються у вузлах, що працюють на розтягування або розміщені в розтягнутій зоні згинальних елементів крана, після термічного різання підлягають механічній обробці. Необхідність такої операції визначається робочими кресленнями або технологічною документацією. Механічну обробку крайок після машинного кисневого різання допускається не виконувати за умови, що висота нерівностей не перевищує 0,3 мм.

Граничні відхилення лінійних розмірів металоконструкцій, виготовлених різними способами різання, повинні відповідати 16 класу точності. Підготовка крайок під зварювання може виконуватися будь-яким методом, який забезпечує задані форми, розміри, шорсткість поверхні та монтажні зазори, передбачені стандартами для обраного способу зварювання.

При стиковому зварюванні листів припуск на зварювання слід приймати з розрахунку 0,1 товщини кожної зварюваної деталі. Розміщення стикових з'єднань у металоконструкції портативного крана повинно відповідати таким вимогам:

- відстань між стиками в елементах з листового прокату, профілів або труб має бути не менше 4 м, а довжина приєднуваного елемента — не менше 0,5 м;
- у зварних двотаврових і коробчастих балках стики поясів необхідно розташовувати зі зміщенням відносно стиків стінок не менше 300 мм;
- мінімальна відстань між поперечними перерізами зі стиками поясів повинна становити не менше 600 мм;
- стики поясів і стінок слід віддаляти від ребер жорсткості та діафрагм не менше ніж на 100 мм;
- стикові з'єднання, не передбачені кресленнями, виконуються прямолінійними без застосування накладок;
- при горизонтальному стикуванні вертикальних листів у двотаврових або коробчастих балках стик повинен розміщуватися у розтягнутій зоні з відстанню до нижнього пояса не менше 20 % висоти балки.

Отвори в елементах металоконструкцій крана рекомендується обробляти після завершення зварювальних робіт і правки конструкції. Обробка отворів до зварювання допускається лише у випадках, коли конструкція складально-зварювальних пристосувань забезпечує точне базування деталей і зварювальні деформації не призводять до перевищення допустимих відхилень.

Зварювання портативного пересувного козлового крана повинно виконуватися відповідно до затвердженого технологічного процесу. Під час складання необхідно забезпечувати точність взаємного розташування деталей згідно з робочими кресленнями, використовуючи спеціальні складально-зварювальні кондуктори та пристосування, які обмежують деформації та не перешкоджають доступу до зон зварювання. Усе обладнання та пристосування підлягають періодичній перевірці.

Деталі, що подаються на складання, повинні бути сухими, очищеними від забруднень і виправленими. Перед складанням крайки зачищаються на ширину не менше 20 мм. Конструкцію слід збирати таким чином, щоб основна частина швів виконувалася в нижньому положенні. Зазори між зварюваними деталями повинні відповідати нормативним значенням; локальні відхилення необхідно усувати до початку основного зварювання. У разі неможливості усунення зазору шляхом стискання допускається заміна деталі або локальне наплавлення за умови, що довжина дефектної ділянки не перевищує 10 % довжини шва, а її ширина — 0,6 мінімальної товщини деталей. Використання вставок зі шматків дроту, електродів або смужок металу не допускається.

Граничні лінійні відхилення для готових вузлів крана повинні відповідати 16 класу точності з грубим класом виконання. Допускаються такі відхилення при складанні:

- у стикових з'єднаннях — зміщення крайок до 0,5 мм при товщині менше 4 мм, до 1 мм при товщині 4–10 мм та до 0,1 товщини деталей при товщині понад 10 мм;
- уступ крайок у площині з'єднання — до 3 мм для деталей шириною до 400 мм і до 4 мм для ширших елементів;

- у замкнутих контурах — не більше 2 мм;
- у таврових з'єднаннях — відхилення полиці не більше 1:100.

На початку та в кінці стикових швів рекомендується встановлювати вивідні планки розміром не менше 60×80 мм, які повинні розташовуватися в одній площині зі зварюваними деталями та щільно прилягати до зачищених крайок. Для захисту металу від бризок допускається застосування захисних рідин, що не погіршують якість зварювання. Усі зібрані металоконструкції підлягають обов'язковому контролю з боку ВТК.

Зварювання рекомендується виконувати високопродуктивними методами з раціональною послідовністю накладання швів з метою зменшення залишкових напружень. Спочатку виконують стикові шви, розташовані перпендикулярно до напрямку дії основних навантажень, після чого — інші стикові, а в завершальній стадії — кутові та таврові шви. Для зварювання у захисних газах допускається застосування дроту Св-08Г2С діаметром до 2 мм.

Автоматизоване зварювання конструкцій допускається при температурі навколишнього середовища не нижче -20°C . При зварюванні металу товщиною понад 16 мм за температур нижче -15°C перші шари слід виконувати з попереднім підігрівом до $180\text{--}200^{\circ}\text{C}$. Для товщин 36–60 мм необхідно виконувати зварювання з кантуванням і підварюванням зворотного боку [9-10].

Зварні з'єднання повинні забезпечувати міцність, не нижчу за міцність основного металу.

Не допускається наявність у зварних з'єднаннях:

- тріщин будь-якого походження;
- непроварів і прожогів;
- пористості та шлакових включень понад допустимі значення;
- підрізів, що знижують несучу здатність.

Зварювальні роботи виконуються персоналом, який має відповідну кваліфікацію.

Контроль якості портативного пересувного козлового крана здійснюється на всіх етапах виготовлення і включає:

- перевірку матеріалів і комплектуючих;
- візуальний та вимірювальний контроль зварних з'єднань;
- перевірку відповідності геометричних параметрів кресленням.

Готовий кран підлягає статичним та динамічним випробуванням з навантаженням, що перевищує номінальну вантажопідіймальність, з метою підтвердження працездатності та безпечності конструкції.

Конструкція крана повинна унеможливлювати його перекидання або руйнування під час роботи. Обов'язковими є:

- наявність фіксаторів коліс;
- надійне кріплення вантажопідіймального механізму;
- відсутність гострих крайок і виступів.

Під час експлуатації забороняється перевищення номінальної вантажопідіймальності та робота крана на нерівній або нестійкій поверхні.

Кран повинен мати табличку з основними технічними даними та ідентифікаційною інформацією. Транспортування допускається у розібраному або зібраному вигляді за умови захисту елементів від механічних пошкоджень та атмосферного впливу.

Зберігання здійснюється у сухих приміщеннях або під навісом.

1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення портативного пересувного козлового крана є сукупністю взаємопов'язаних операцій, спрямованих на отримання зварної металоконструкції, яка відповідає вимогам міцності, жорсткості, мобільності та безпечної експлуатації. Аналіз цього процесу дозволяє оцінити раціональність прийнятих технологічних рішень, виявити потенційні джерела дефектів і деформацій, а також визначити шляхи підвищення якості та ефективності виробництва.

Виготовлення портативного пересувного козлового крана здійснюється за індивідуально-серійною або дрібносерійною схемою виробництва, що обумовлено різноманітністю конструктивних виконань і параметрів кранів. Основними характерними ознаками процесу є:

- переважання зварних з'єднань;
- використання стандартного металопрокату;
- застосування складально-зварювальних пристосувань;
- відсутність стаціонарного фундаментного монтажу.

Технологічний маршрут включає підготовчі, заготівельні, складальні, зварювальні, опоряджувальні та контрольні операції.

Початковим етапом технологічного процесу є підготовка матеріалів. Металопрокат, що надходить на виробництво, проходить вхідний контроль, який включає перевірку сертифікатів якості, візуальний огляд і контроль геометричних параметрів. Особлива увага приділяється відсутності тріщин, розшарувань і корозійних пошкоджень.

На цьому етапі закладається основа якості майбутньої конструкції, оскільки дефекти матеріалу можуть призвести до зниження міцності зварних з'єднань і скорочення ресурсу крана.

Заготівельний етап включає різання заготовок, правку та механічну підготовку крайок. Для виготовлення елементів портативного козлового крана застосовуються механічні та термічні способи різання, що забезпечують необхідну точність і чистоту поверхні.

Після різання проводиться очищення крайок від окалини, задирок і наплівів, а за потреби — механічна обробка зони термічного впливу. Якість виконання заготівельних операцій істотно впливає на точність складання та стабільність зварювального процесу.

Складання елементів портативного пересувного козлового крана виконується з використанням складально-зварювальних кондукторів або універсальних пристосувань. Основною метою цього етапу є забезпечення

правильного взаємного розташування балки, стояків і опорних елементів відповідно до робочих креслень.

При складанні контролюються зазори в зварних з'єднаннях, паралельність і перпендикулярність елементів, а також положення конструкції в просторі з метою виконання більшості швів у нижньому положенні. Для фіксації елементів застосовуються прихватки, параметри яких вибираються таким чином, щоб вони не спричиняли додаткових деформацій.

Зварювання є ключовим етапом технологічного процесу виготовлення портативного пересувного козлового крана. Саме на цьому етапі формуються основні несучі з'єднання, що визначають міцність і жорсткість конструкції.

Зварювання виконується відповідно до затвердженого технологічного процесу з дотриманням послідовності накладання швів, спрямованої на зменшення залишкових напружень і деформацій. Як правило, спочатку зварюються стикові шви, після чого — кутові та таврові. Для підвищення якості зварювання застосовуються високопродуктивні механізовані методи.

Особлива увага приділяється режимам зварювання, підготовці крайок і контролю температурних умов, оскільки від цих факторів залежить структура металу шва та навколошовної зони.

У процесі зварювання неминуче виникають залишкові напруження та деформації, які можуть призводити до відхилень геометричних розмірів конструкції. Для їх усунення застосовуються операції правки, що виконуються механічним або термічним способом.

Правка елементів портативного козлового крана здійснюється з урахуванням допустимих відхилень і не повинна призводити до зниження міцності або появи додаткових дефектів.

Контроль якості супроводжує всі стадії технологічного процесу виготовлення. Він включає:

- вхідний контроль матеріалів;
- візуальний і вимірювальний контроль зварних з'єднань;
- перевірку геометричних параметрів конструкції;

– за необхідності — неруйнівний контроль.

Завершальним етапом контролю є випробування готового крана під навантаженням, що дозволяє підтвердити його працездатність і відповідність технічним вимогам.

Після завершення зварювальних і контрольних операцій конструкція піддається опоряджувальній обробці, яка включає очищення поверхонь, нанесення захисного покриття та маркування. Захисне покриття забезпечує корозійну стійкість металу та подовжує строк служби крана.

Технологічний процес виготовлення портативного пересувного козлового крана, незважаючи на свою відносну простоту та універсальність, має низку особливостей і потенційних обмежень, які можуть впливати на якість готового виробу, стабільність геометричних параметрів, трудомісткість і економічну ефективність виробництва.

Аналіз даного процесу дозволив виявити слабкі місця існуючої технології, а саме:

1. Складання портативного козлового крана виконується переважно з використанням універсальних або напівспеціалізованих кондукторів. Такий підхід забезпечує гнучкість виробництва, але водночас знижує повторюваність геометричної точності при серійному виготовленні. Відсутність жорстко фіксованих базових елементів може призводити до зміщення осей симетрії конструкції, що негативно впливає на стійкість крана в робочому положенні.

2. Застосування прихваток як тимчасових з'єднань є необхідним, проте при неправильному виборі їх кількості або розташування можливе виникнення додаткових локальних деформацій ще до початку основного зварювання.

3. Зварювання є найбільш відповідальним і водночас найбільш проблемним етапом технологічного процесу. Основними недоліками є:

- значне тепловкладення у масивні елементи балки та стояків;
- нерівномірний розподіл температурних полів;
- формування залишкових зварювальних напружень.

4. За відсутності оптимізованої послідовності накладання швів або примусової фіксації елементів у кондукторі можливе виникнення викривлень, перекосів і порушення паралельності опор. Це особливо критично для портативних кранів, де навіть незначні геометричні відхилення можуть зменшити стійкість конструкції під навантаженням.

5. Крім того, використання ручних або напівавтоматичних методів зварювання при серійному виготовленні знижує стабільність якості швів і підвищує залежність результату від кваліфікації зварювальника.

На основі проведеного критичного аналізу доцільним є:

- впровадження більш жорстких і спеціалізованих складально-зварювальних кондукторів;
- оптимізація послідовності накладання зварних швів з урахуванням теплового балансу;
- часткова механізація або роботизація зварювальних операцій;
- розширення застосування неруйнівних методів контролю;
- зменшення обсягу правки шляхом превентивного управління деформаціями.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Портативний пересувний козловий кран належить до класу мобільних вантажопідіймальних металоконструкцій, для яких характерна поєднана дія згинальних, стискальних та локальних контактних навантажень. На відміну від стаціонарних козових або мостових кранів, портативні конструкції мають меншу власну масу та знижені геометричні габарити, що підвищує їх чутливість до деформацій і локальних концентрацій напружень..

Основною метою дослідження є визначення розподілу напружень, деформацій та переміщень у несучих елементах крана під дією статичного навантаження, а також оцінка запасу міцності конструкції відносно межі текучості матеріалу. [11-13].

Для дослідження напружено-деформівного стану використано метод скінченних елементів, реалізований у програмному середовищі SolidWorks Simulation. Розрахунок виконано у постановці лінійної пружності з використанням статичного аналізу.

Використання середовища SolidWorks Simulation дозволило:

- врахувати реальну геометрію портативного крана;
- оцінити напруження у зонах концентрації;
- визначити сумарні та компонентні переміщення;
- отримати коефіцієнти запасу міцності.

Розрахункова модель повністю відтворює просторову схему портативного пересувного козового крана, включаючи:

- несучу поперечну балку;
- вертикальні стояки;
- зони прикладання навантаження;
- опорні поверхні.

Відсутність геометричних спрощень дозволяє коректно оцінити напружений стан у місцях переходу перерізів, вузлах з'єднання та опорних ділянках, які є потенційно небезпечними з точки зору виникнення локальних напружень.

Маса конструкції 292,5 кг і відповідна вага 2866,8 Н свідчать про раціональний рівень металоємності, що є важливим критерієм для портативних вантажопідіймальних систем.

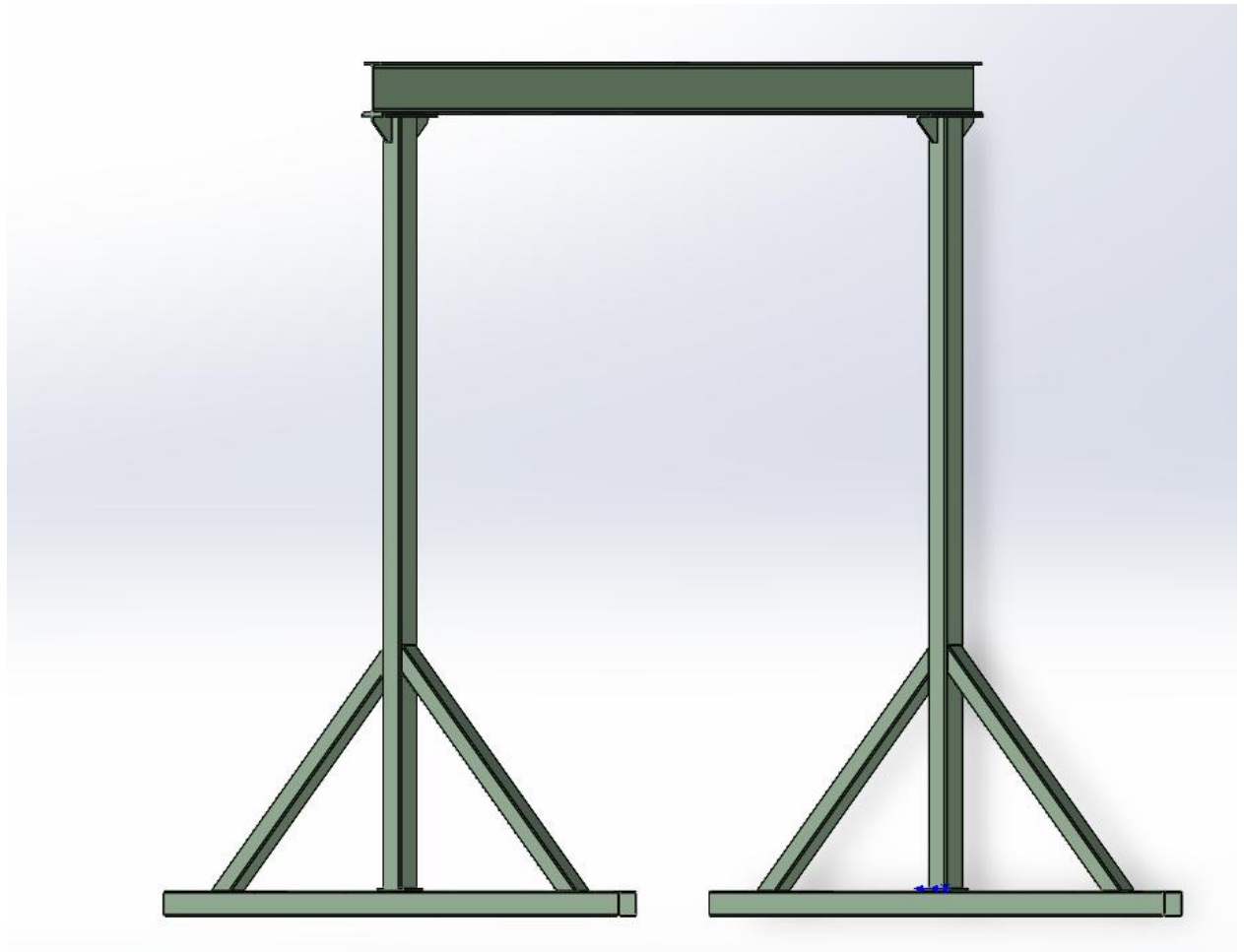


Рис. 2.1 – 3D модель конструкції портативного козлового крана

У розрахунку використано матеріал низьковуглецевої конструкційної сталі типу AISI 1010, механічні характеристики якої відповідають сталі 20, що традиційно застосовуються у зварних вантажопідіймальних конструкціях.

Закріплення моделі виконано шляхом жорсткої фіксації двох опорних поверхонь, що імітує контакт стояків крана з опорною поверхнею. Стояки крана закріплені по опорних поверхнях шляхом повного обмеження переміщень, що моделює контакт з жорсткою основою. Навантаження прикладене у вигляді зосередженої сили величиною 20 кН у зоні дії вантажопідіймального механізму.

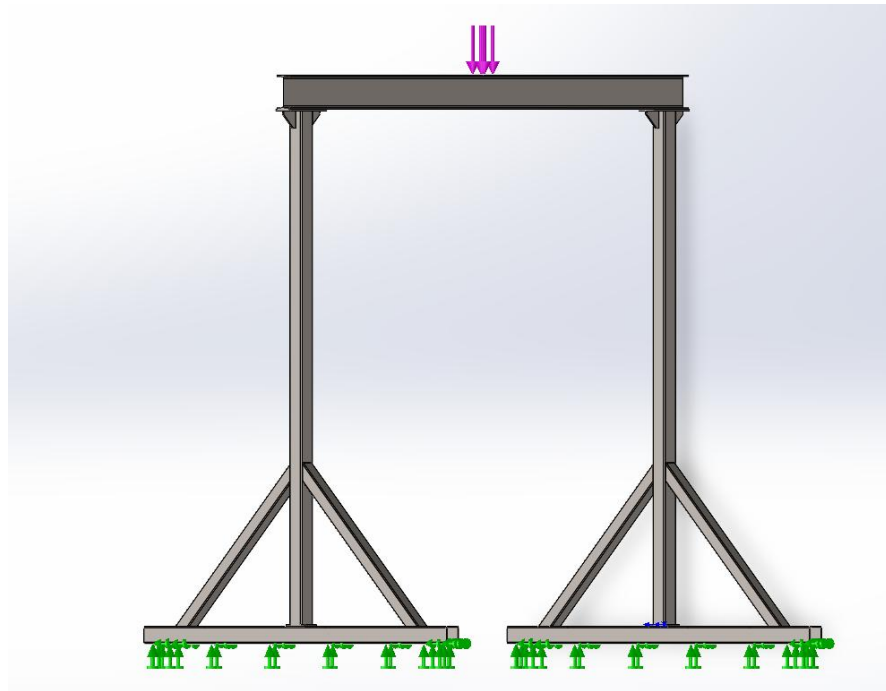


Рис. 2.2 – Схема прикладання навантаження та граничних умов

Моделювання виконано з використанням високоякісної дискретизованої твердотільної скінченно-елементної сітки з використанням елементів змінного розміру. Загальна кількість елементів перевищує 139 тис., що забезпечує високу точність розрахунку. Відсутність спотворених елементів гарантує стабільність чисельного рішення та виключає похибки, пов'язані з некоректною формою елементів.

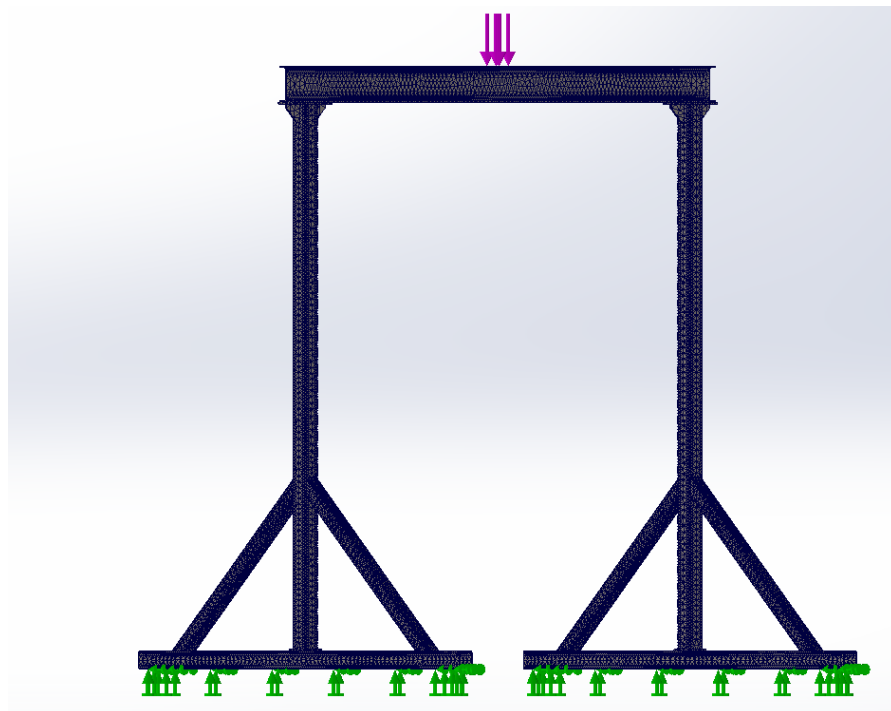


Рис. 2.3 – Скінченно-елементна сітка розрахункової моделі

Результати розрахунку показали, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом досягають $\sigma_{eq}^{max} = 106,53$ МПа. Максимальні еквівалентні напруження локалізуються у зоні прикладання навантаження та в елементах, які безпосередньо передають зусилля від балки до стояків.

Такий характер розподілу напружень є типовим і фізично обґрунтованим. Саме в цих зонах відбувається сумування згинальних і стискальних напружень, а також виникають концентрації, пов'язані зі зміною жорсткості перерізу.

Важливо підкреслити, що отримані значення не перевищують межу текучості матеріалу, що підтверджує роботу конструкції в пружній області.

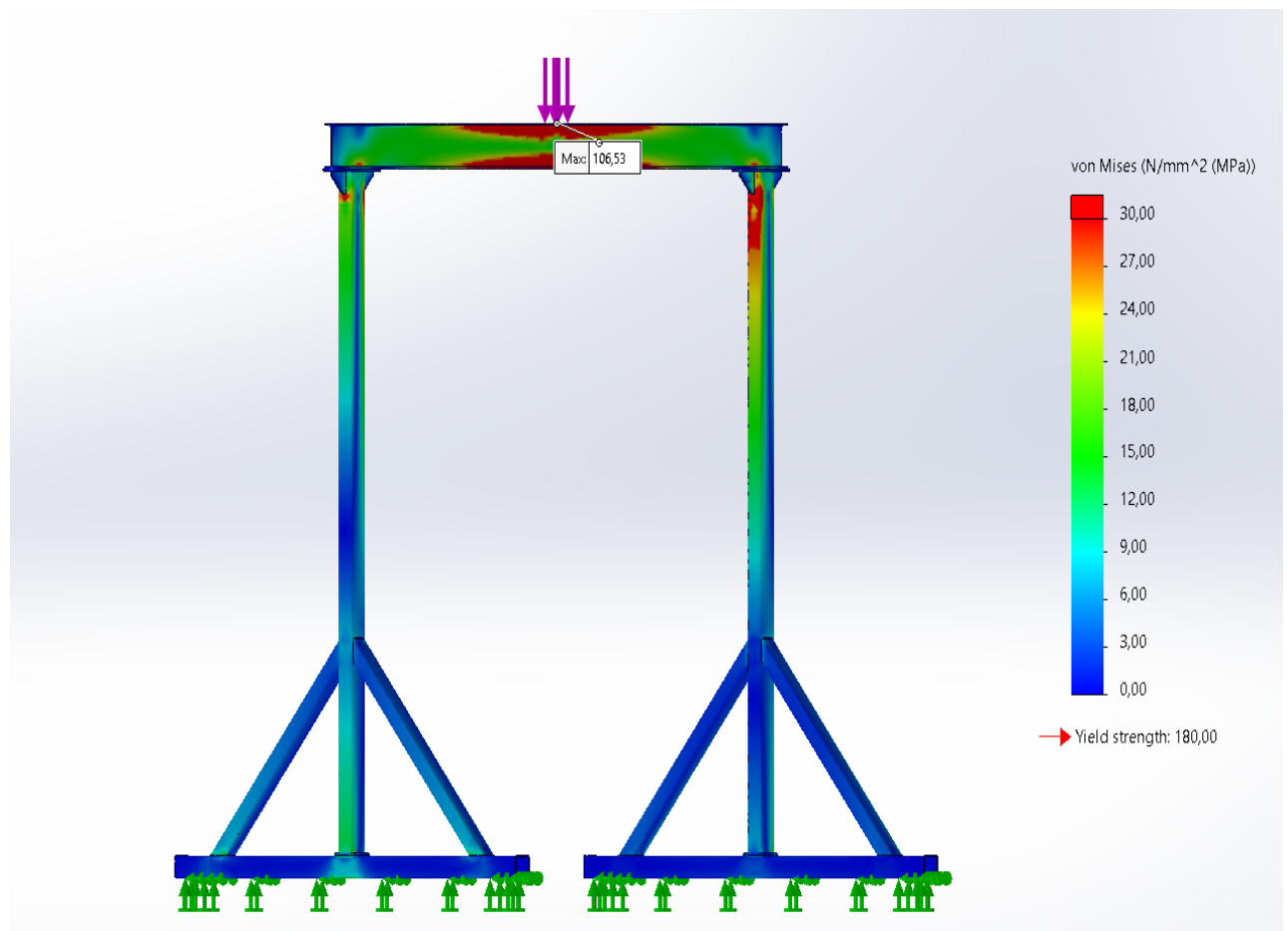


Рис. 2. 4 – Поле еквівалентних напружень у конструкції крана

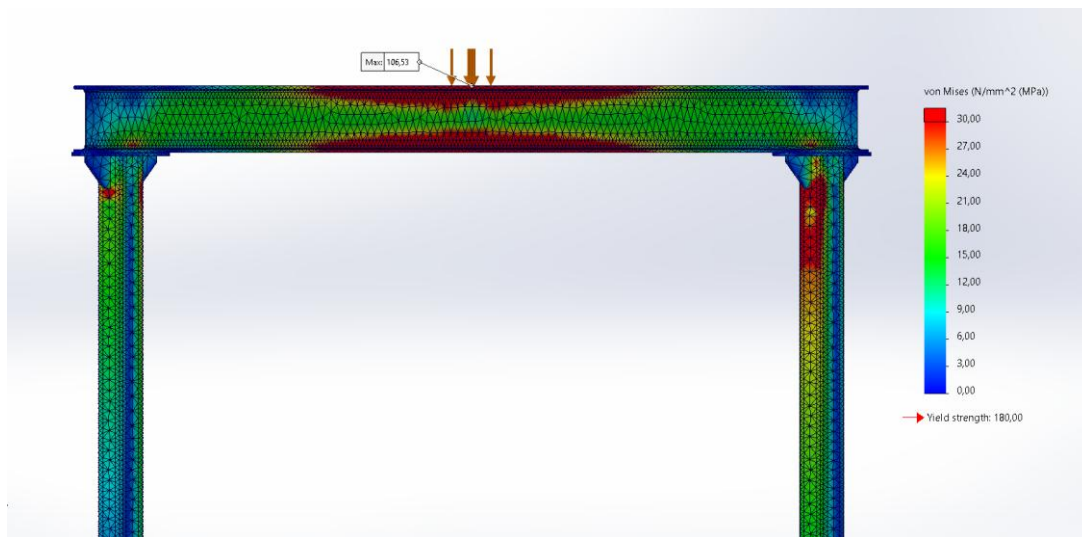


Рис. 2.5 - Поле максимальних еквівалентних напружень у конструкції крана

Максимальне сумарне переміщення $u_{max} = 2,69$ мм спостерігається у центральній частині несучої балки, що відповідає класичній схемі згину балки на двох опорах.

Для портативних козлових кранів такого класу подібні переміщення є допустимими і не призводять до:

- втрати стійкості;
- порушення роботи вантажопідіймального механізму;
- зниження безпеки експлуатації.

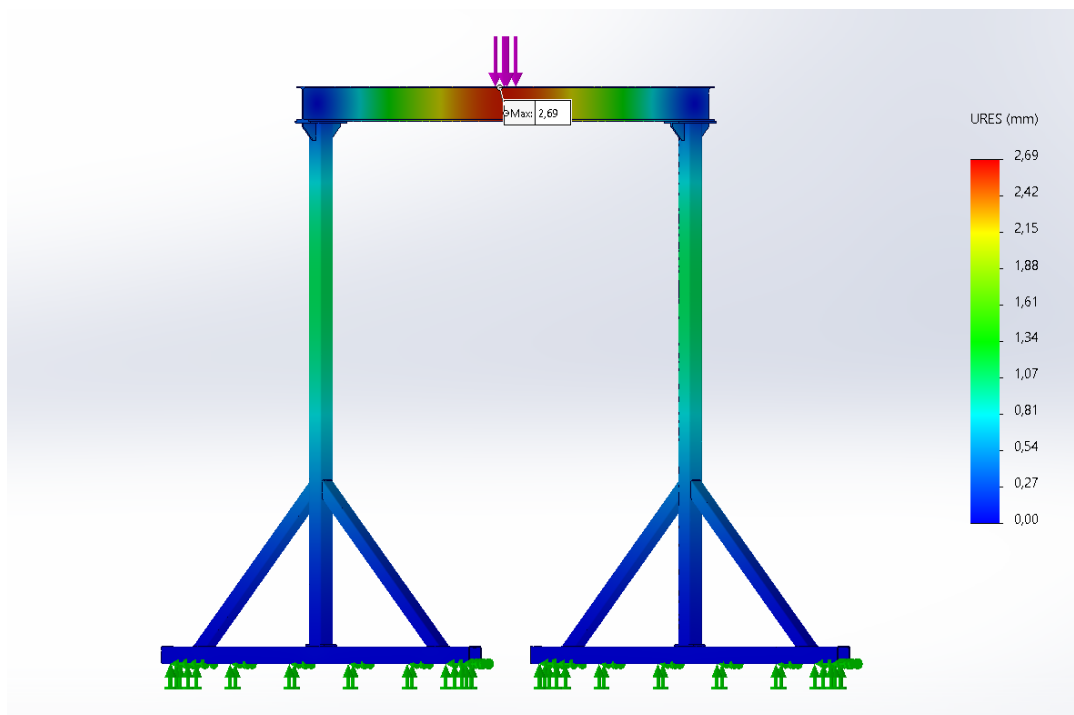


Рис. 2.6 – Карта сумарних переміщень конструкції

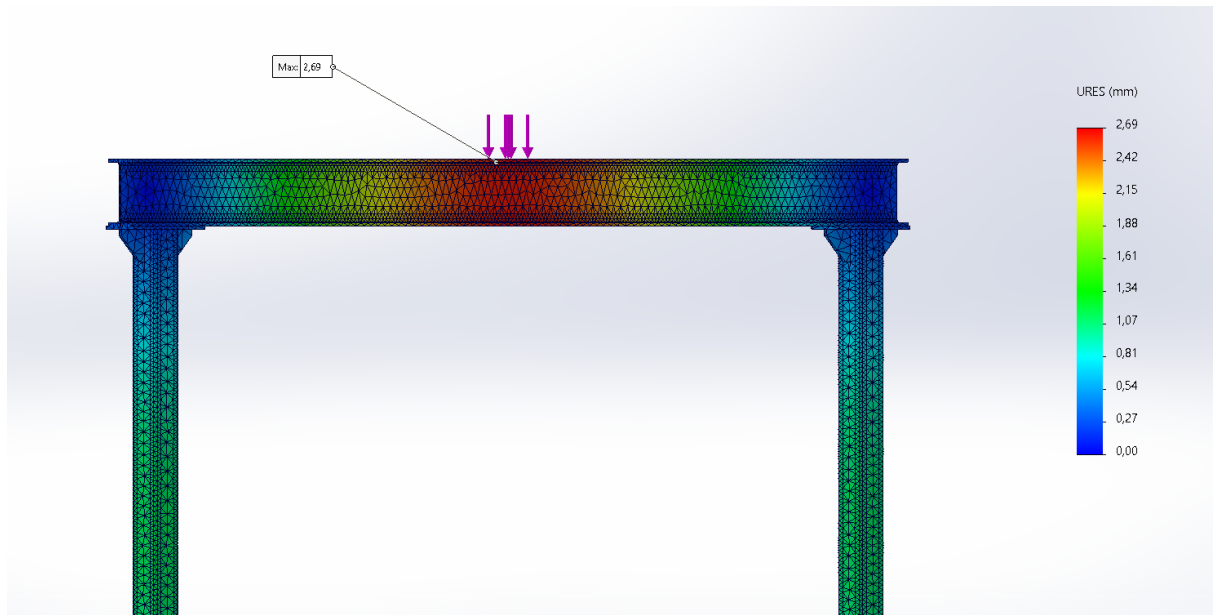


Рис. 2.7 – Карта максимальних переміщень конструкції

Максимальна еквівалентна деформація дорівнює $3,748 \cdot 10^{-4}$, що підтверджує відсутність пластичних деформацій у конструкції.

Максимальна еквівалентна деформація свідчить про те, що матеріал працює у межах лінійно-пружної області. Це означає, що після зняття навантаження конструкція повністю відновлює свою початкову форму без накопичення залишкових деформацій.

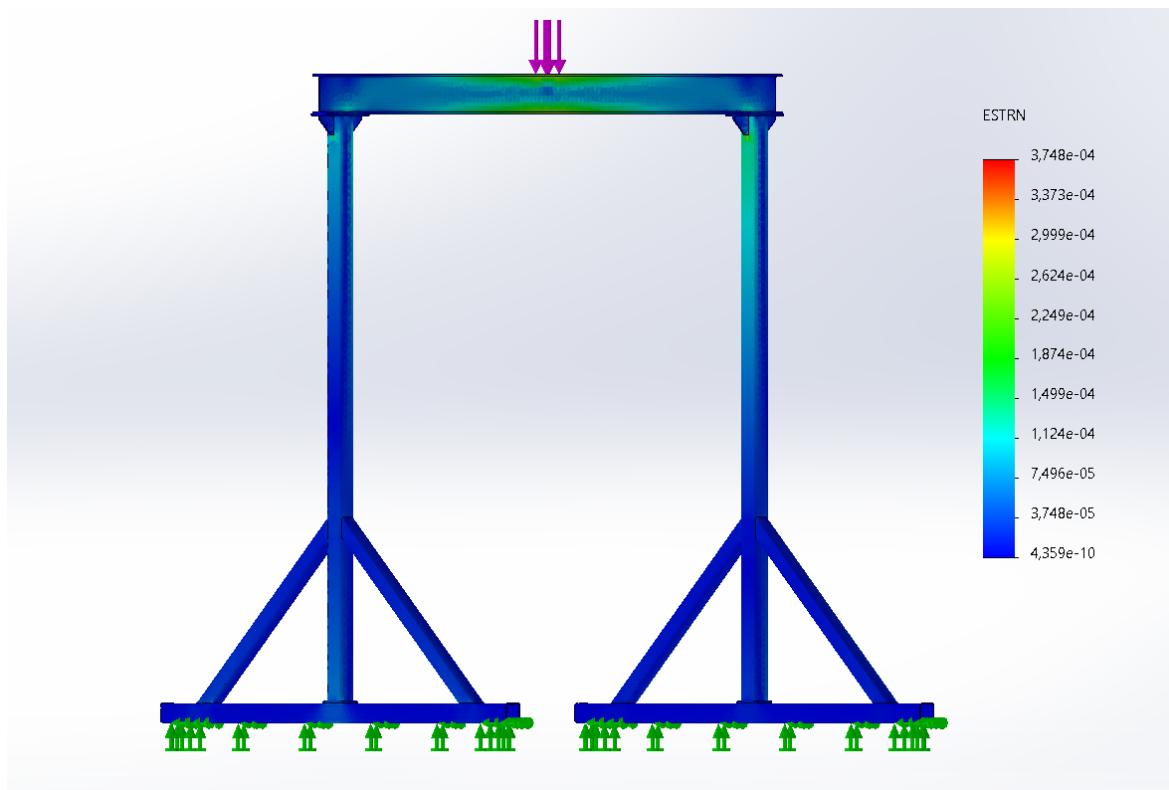


Рис. 2.8 Розподіл еквівалентних деформацій

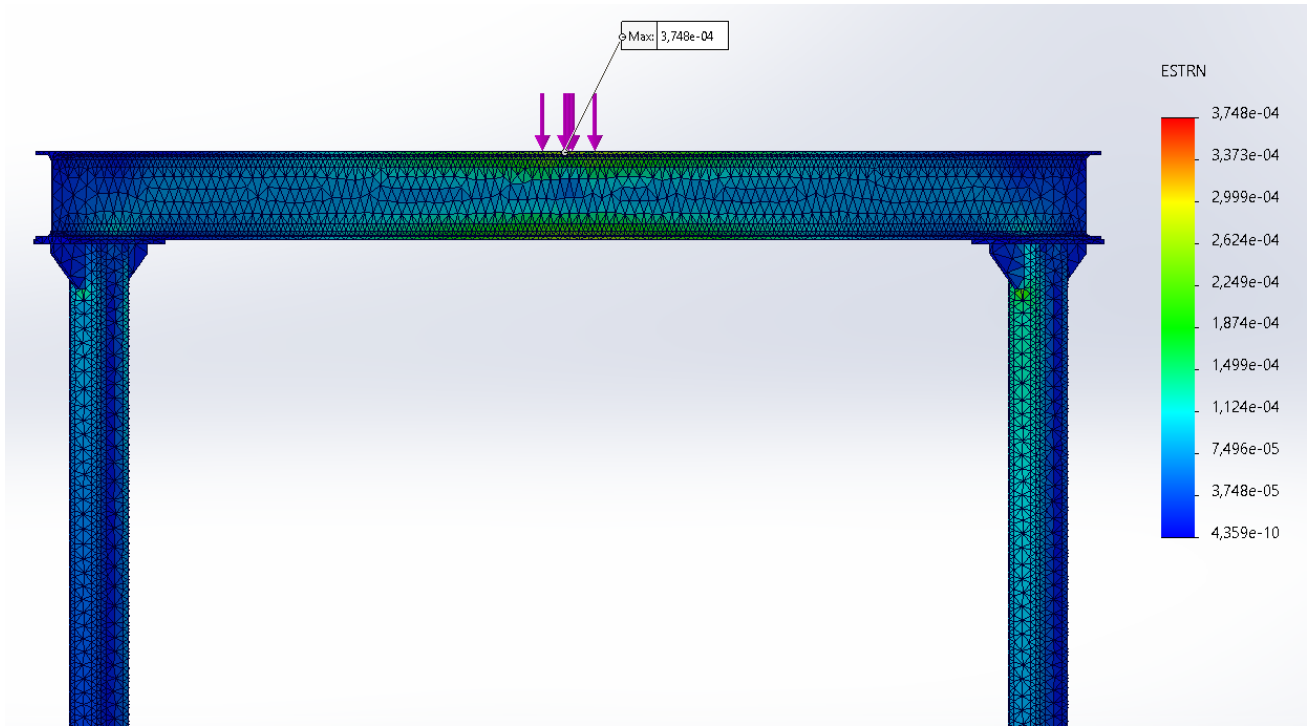


Рис. 2.9 - Поле розподілу максимальних еквівалентних деформацій

Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,69. Це значення вказує на працездатність конструкції, однак свідчить про наявність зон, чутливих до перевантаження.

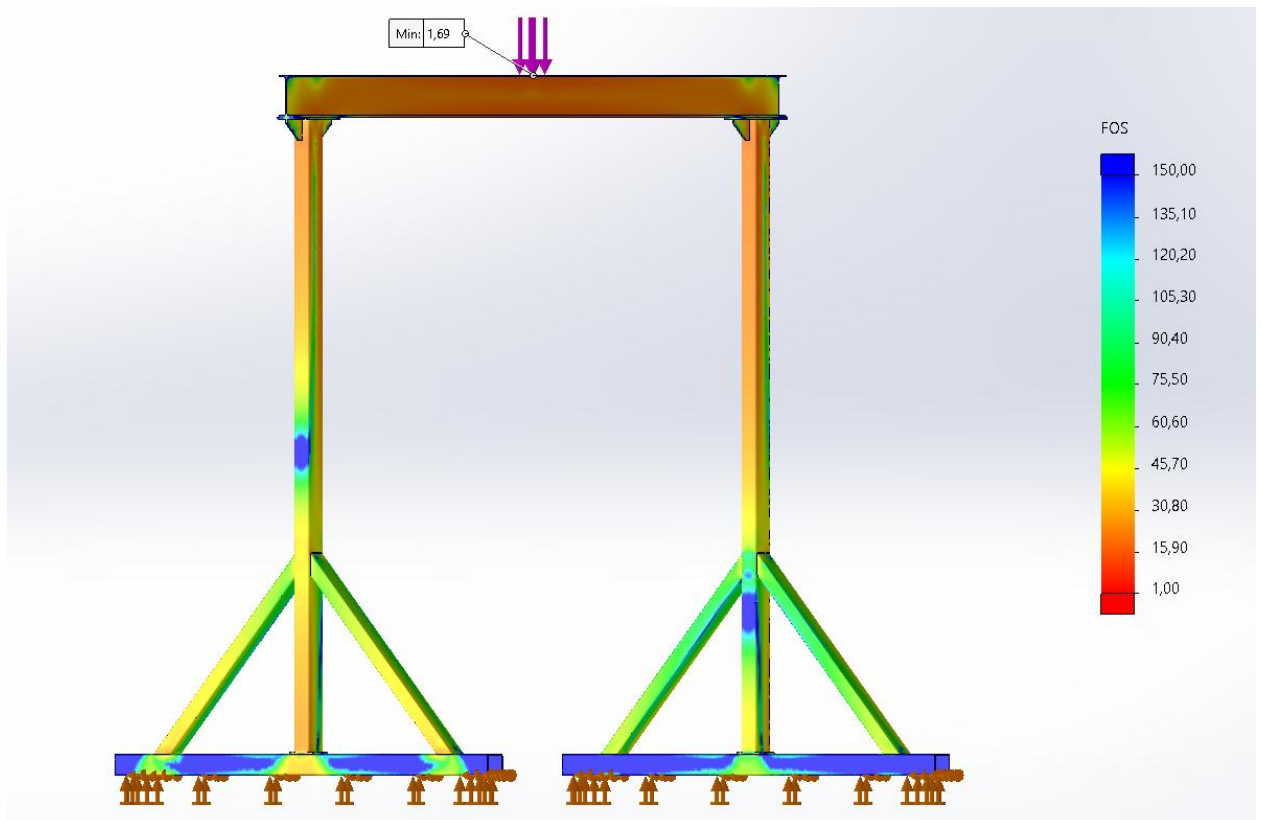


Рис. 2.10 - Карта коефіцієнта запасу міцності

За результатами моделювання встановлено, що розподіл напружень у конструкції має закономірний і фізично обґрунтований характер. Максимальні еквівалентні напруження локалізуються у зонах передачі навантаження та у вузлах з'єднання основних несучих елементів, що є типовим для козлових вантажопідіймальних конструкцій. При цьому отримані значення напружень не перевищують межі текучості матеріалу, що свідчить про роботу конструкції в пружній області та відсутність умов для розвитку пластичних деформацій у розрахунковому режимі.

Аналіз переміщень показав, що найбільші прогини виникають у центральній частині несучої балки та відповідають характеру її згинальної роботи. Абсолютні значення переміщень знаходяться в допустимих межах і не створюють загрози втрати стійкості або порушення функціонування вантажопідіймального механізму. Це підтверджує достатню жорсткість конструкції портативного крана при заданому рівні навантаження.

Отримані значення деформацій свідчать про лінійно-пружний характер напружено-деформівного стану всіх основних елементів конструкції. Відсутність зон з підвищеними пластичними деформаціями підтверджує правильність вибору матеріалу та конструктивної схеми з погляду міцності.

Оцінка коефіцієнта запасу міцності показала, що конструкція в цілому має достатній запас для сприйняття статичних навантажень. Водночас мінімальні значення запасу міцності зосереджені в окремих локальних зонах, що вказує на доцільність їх урахування при подальшому проєктуванні, виготовленні та експлуатації, особливо з урахуванням можливих динамічних впливів і нерівномірного розподілу навантажень.

У ході дослідження ідентифіковано критичні ділянки конструкції, які потребують підвищеної уваги з боку технологів і конструкторів. Саме ці зони доцільно розглядати як пріоритетні при контролі якості зварних з'єднань, виборі режимів зварювання та можливій оптимізації перерізів.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування способу зварювання

Вибір раціонального способу зварювання є одним із ключових етапів розроблення технології виготовлення зварної конструкції, оскільки саме на цьому етапі визначаються якість зварних з'єднань, рівень трудомісткості, продуктивність процесу та загальна економічна ефективність виробництва. Для обґрунтованого прийняття технологічного рішення необхідно комплексно враховувати хімічний склад основного металу, типи та конфігурацію зварних з'єднань, товщину зварюваних елементів, протяжність і просторове розташування швів, а також умови організації зварювальних робіт.

На етапі попереднього аналізу розглянуто основні промислові способи зварювання, що потенційно можуть бути застосовані для виготовлення даної конструкції, а саме: ручне дугове зварювання покритими електродами, механізоване й автоматизоване зварювання плавким електродом у середовищі вуглекислого газу, зварювання плавким електродом в інертних газах, автоматичне зварювання під шаром флюсу, електрошлакове та газополуменеве зварювання, а також аргонодугове зварювання неплавким електродом [2, 14-16].

Конструкція містить кілька характерних типів зварних з'єднань, зокрема стикові та нахлесткові з'єднання з товщиною металу 6 мм, а також таврові з'єднання елементів різної товщини — 25 та 8 мм. Таке поєднання зумовлює необхідність застосування універсального способу зварювання, здатного забезпечити стабільне формування шва як у тонкостінних, так і у більш масивних елементах.

Основний матеріал конструкції — сталь 20 — належить до низьковуглецевих нелегованих сталей з доброю зварюваністю. Вона не потребує спеціальних заходів щодо попереднього підігріву або складних післязварювальних термічних обробок, що істотно розширює спектр допустимих технологічних рішень. Проте з урахуванням серійності

виготовлення та вимог до стабільної якості зварних з'єднань перевага надається способам зварювання з вищим рівнем механізації.

Способи зварювання в інертних газах та аргонодугове зварювання неплавким електродом, незважаючи на високу якість зварних швів, не розглядаються як основні через їх економічну недоцільність при виготовленні конструкцій із нелегованих сталей. Автоматичне зварювання під флюсом та електрошлакове зварювання також мають обмежене застосування у даному випадку, оскільки конструкція містить зони з малим радіусом кривизни, короткі шви та тонкостінні елементи, для яких зазначені способи є технологічно складними або неефективними (табл. 3.1) [15].

Таблиця 3.1 – Оцінка доцільності застосування методів зварювання

Спосіб зварювання	Технологічна придатність для сталі 20	Якість зварного з'єднання	Продуктивність процесу	Економічна доцільність	Загальна оцінка
Ручне дугове зварювання покритими електродами (Е)	Висока	Задовільна–висока	Низька	Середня	Допустимий
Механізоване зварювання плавким електродом у CO ₂ (УП)	Висока	Висока	Середня–висока	Висока	Рекомендований
Автоматизоване зварювання плавким електродом у CO ₂ (УП)	Дуже висока	Висока та стабільна	Висока	Дуже висока	Оптимальний
Зварювання плавким електродом в інертних газах (П)	Технологічно можливе	Дуже висока	Середня	Низька	Недоцільний
Автоматичне зварювання під шаром флюсу (Ф)	Обмежена	Висока	Дуже висока	Середня	Обмежено допустимий
Електрошлакове зварювання (Ш)	Непридатне для даних товщин	Висока	Дуже висока	Низька	Неприйнятний
Газополуменеве зварювання (Г)	Обмежена	Низька–середня	Низька	Низька	Нерекомендований
Аргонодугове зварювання неплавким електродом (ІН)	Можливе	Дуже висока	Низька	Низька	Економічно недоцільний

Другим визначальним чинником є товщина зварюваних елементів. Для діапазону товщин від 6 до 25 мм найбільш доцільними є механізоване та автоматизоване зварювання плавким електродом у середовищі активних газів, а також, у допоміжних операціях, ручне дугове зварювання покритими електродами. Газополуменеве зварювання ефективне лише для тонколистових матеріалів і при зростанні товщини металу швидко втрачає свою економічну доцільність, тоді як електрошлакове зварювання застосовується, як правило, для товщин понад 30–40 мм [15]. Таким чином, обидва ці способи виключено з подальшого розгляду

Важливу роль у виборі технології відіграє протяжність і доступність зварних швів. У досліджуваній конструкції всі з'єднання є відкритими та зручними для виконання. Довжина основних лінійних стиків досягає 2800 мм і 1200 мм, тоді як кутові, накладні та ободові шви з катетами 5 і 8 мм належать до коротких. Така різнорідність швів обумовлює доцільність диференційованого підходу до вибору рівня автоматизації зварювального процесу.

Для виконання протяжних лінійних і ободових швів раціонально застосовувати автоматизоване зварювання, яке забезпечує високу продуктивність, повторюваність параметрів і стабільну якість швів. Короткі зварні з'єднання доцільніше виконувати механізованим зварюванням, що дозволяє зберегти гнучкість процесу без істотного зниження ефективності.

Таким чином, на підставі комплексного аналізу прийнято рішення застосовувати автоматизоване зварювання у середовищі CO_2 для виконання довгих лінійних і ободових швів, а механізоване зварювання у середовищі CO_2 — для коротких зварних з'єднань.

З урахуванням серійності виробництва та кількості зварювальних постів постачання захисного газу прийнято централізованим, що забезпечує стабільність технологічних параметрів, підвищує безпеку праці та знижує експлуатаційні витрати.

Обґрунтування вибору захисного газового середовища здійснюється з урахуванням металургійних особливостей основного матеріалу, характеру

зварювального процесу та вимог до якості сформованого шва. Основний метал конструкції — сталь 20 — належить до низьковуглецевих нелегованих сталей з порівняно низькою хімічною активністю, що допускає застосування активних захисних газів, зокрема вуглекислого газу.

Разом з тим зварювання у середовищі чистого CO_2 супроводжується низькою небажаних технологічних явищ. Внаслідок дисоціації вуглекислого газу у зоні дуги відбувається її стиснення, що зумовлює переважно крупнокрапельний перенос електродного металу. Це, у свою чергу, призводить до інтенсивного розбризкування, підвищеної лускатості поверхні зварного шва та погіршення металургійної якості металу шва через посилені окислювальні процеси.

З метою мінімізації зазначених недоліків та підвищення стабільності зварювального процесу доцільним є використання багатокомпонентного газового середовища. У даній роботі запропоновано застосовувати захисну газову суміш складу $75\% \text{ Ar} + 20\% \text{ CO}_2 + 5\% \text{ O}_2$, яка забезпечує перехід до дрібнокрапельного переносу металу, зменшення втрат електродного металу на розбризкування та формування рівномірного, гладкого валика шва. Використання такої суміші є особливо важливим для конструкцій з підвищеними вимогами до зовнішнього вигляду зварних з'єднань.

Окрім покращення формування шва, зазначена газова суміш позитивно впливає на властивості металу зварного з'єднання. Зменшення окислювального потенціалу газового середовища сприяє зниженню вигорання легуючих елементів, що забезпечує більш сприятливий хімічний склад металу шва порівняно зі зварюванням у чистому CO_2 . З урахуванням організації виробничого процесу та кількості зварювальних постів постачання захисного газу прийнято централізованим, що гарантує стабільність параметрів зварювання та підвищує рівень безпеки праці.

Вибір зварювального дроту здійснювався з урахуванням хімічного складу та зварюваності основного матеріалу. Для зварювання сталі 20 доцільно застосовувати зварювальні дроти з аналогічної групи

низьковуглецевих сталей, що забезпечує сумісність металургійних процесів у зварній ванні [18-20].

З огляду на схильність сталі 20 до утворення гарячих тріщин за несприятливих умов зварювання, у складі зварювального дроту передбачається підвищений вміст елементів-розкислювачів, насамперед марганцю та кремнію. Ці елементи сприяють зв'язуванню сірки й кисню у менш шкідливі сполуки та знижують імовірність формування легкотопких евтектик у зоні кристалізації шва.

При зварюванні в активному газовому середовищі необхідно враховувати утворення значної кількості вільного кисню у газовій фазі. У зв'язку з цим зварювальний дріт має містити достатню кількість легуючих елементів з високою спорідненістю до кисню, насамперед Si та Mn, які забезпечують ефективне розкислення металу шва. Найбільш поширеним і технологічно доцільним для даних умов є застосування зварювального дроту Св-08Г2С, який забезпечує стабільний хімічний склад і належні механічні властивості зварних з'єднань.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С, % [18]

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,05–0,11	1,80–2,10	0,70–0,95	≤0,025	≤0,030	≤0,20	≤0,30	≤0,25

Під час виготовлення конструкції застосовуються різні типи зварних з'єднань, вибір яких здійснюється з урахуванням товщини з'єднуваних елементів, конструктивного призначення вузлів та вимог до міцності зварних швів [19]. Основна частина таврових і напусткових з'єднань використовується для приварювання ребер і пластин жорсткості до несучих елементів. Товщина листів у зазначених з'єднаннях становить 5 мм.

Прямокутні труби приварюються до опорних основ за допомогою таврових з'єднань із кутовими швами, катет яких прийнято рівним $k = 5$ мм. Такий розмір катета забезпечує необхідну несучу здатність з'єднання за умов дії робочих навантажень.

Для зварювання напусткових з'єднань прийнято конструктивне виконання Н1, для якого основні геометричні параметри шва становлять: катет $k = 5$ мм та підсилення $g = 1$ мм, причому виконується умова $g \leq 0,3k$.

Аналогічні розміри характерні й для таврових з'єднань типу Т1, що застосовуються для зварювання елементів конструкції з тією ж товщиною металу. Таким чином, як таврові, так і напусткові з'єднання формуються кутовими швами з однаковими геометричними параметрами. Це дозволяє використовувати однакові режими зварювання для зазначених типів з'єднань без зниження якості швів.

Для виконання кільцевого таврового шва, яким труба стійки приварюється до опорної пластини, також застосовується з'єднання типу Т1 з параметрами $k = 5$ мм та $g = 1$ мм. Схеми розташування і типи зварних швів показано на рис. 3.1.

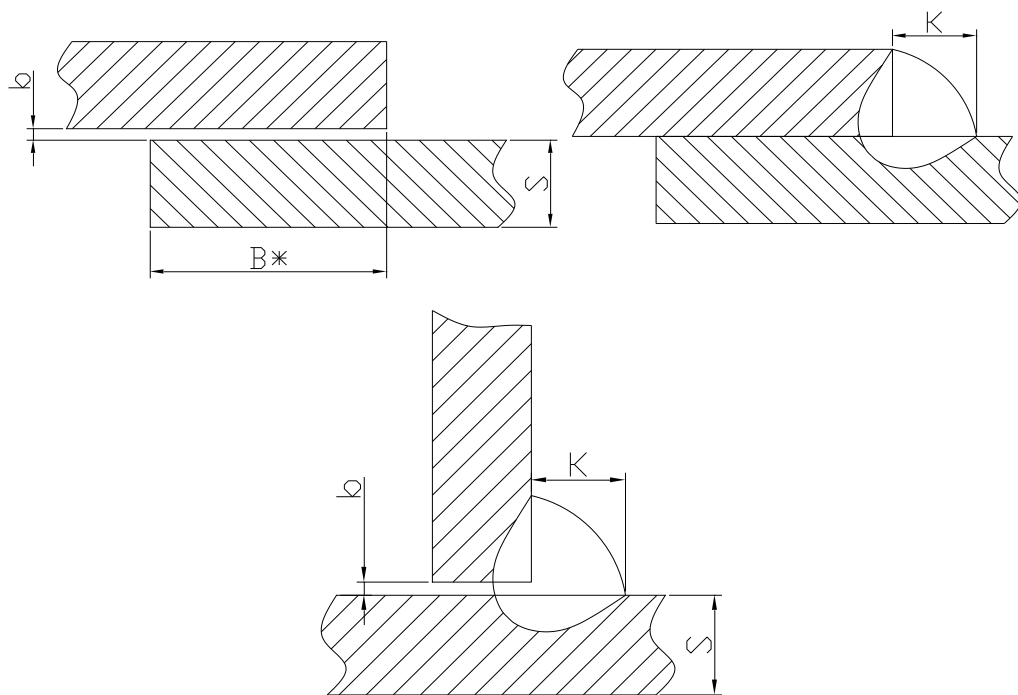


Рис.3.1. Конструктивні зображення таврового (Т1) та напусткового (Н1) зварних з'єднань

Розрахунок режимів зварювання виконується для механізованого способу зварювання кутових швів із катетом $k = 5$ мм. Для цього попередньо визначається площа поперечного перерізу зварного шва.

Площа шва складається з двох складових і визначається за формулою:

$$F_H = F_{H1} + F_{H2} = 0,5k^2 + 0,7 \cdot e \cdot g. \quad (3.1)$$

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$F_H = 0,5 \cdot 25 + 0,7 \cdot 7 \cdot 1 = 17,4 \text{ мм}^2.$$

Діаметр електродного дроту визначається залежно від площі поперечного перерізу шва:

$$d_{ед} = K_d \cdot F_H^{0,625}, \quad (3.2)$$

де коефіцієнт K_d залежить від положення шва та ступеня механізації процесу. Для механізованого зварювання у нижньому положенні $K_d = 0,149 \dots 0,264$.

Підставляючи значення:

$$d_{ед} = (0,149 \dots 0,264) \cdot 17,4^{0,625} = 0,89 \dots 1,57 \text{ мм}.$$

З урахуванням стандартного ряду діаметрів приймаємо:

$$d_{ед} = 1,2 \text{ мм}.$$

Виліт електродного дроту визначається за співвідношенням:

$$L_{ед} = 10 \cdot d_{ед} = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Швидкість зварювання обчислюється за формулою:

$$V_{зв} = \frac{8,9 \cdot d_{ед}^2 + 50,6 \cdot d_{ед}^{1,5}}{F_H}. \quad (3.4)$$

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$V_{зв} = \frac{8,9 \cdot 1,2^2 + 50,6 \cdot 1,2^{1,5}}{17,4} = 4,56 \text{ мм/с} = 16,41 \text{ м/год}.$$

Швидкість подачі дроту визначається за формулою:

$$V_{под} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{зв}}{\pi \cdot d_{ед}^2 \cdot (1 - \psi_p)}. \quad (3.5)$$

За умови $\psi_p = 0,1$:

$$V_{под} = \frac{4 \cdot 17,4 \cdot 4,56}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot (1 - 0,1)} = 77,99 \text{ мм/с} = 280,8 \text{ м/год}.$$

Зварювальний струм визначається за емпіричною залежністю:

$$I_{зв} = d_{ед} (\sqrt{1450 \cdot d_{ед} \cdot V_{под} + 145150} - 382). \quad (3.6)$$

Підставляючи значення:

$$I_{зв} = 1,2 (\sqrt{1450 \cdot 1,2 \cdot 77,99 + 145150} - 382) = 177,5 \text{ А.}$$

Приймаємо робоче значення зварювального струму:

$$I_{зв} = 180 \text{ А.}$$

Перевірка допустимого значення:

$$I_{зв} \leq 180 \cdot d_{ед}^{1,5} = 236 \text{ А,} \quad (3.7)$$

що підтверджує коректність вибору струму.

Напруга зварювальної дуги:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} = 14 + 0,05 \cdot 180 = 23 \text{ В.} \quad (3.8)$$

Витрати захисного газу визначаються за формулою:

$$q_{з.г.} = 0,0033 \cdot I_{зв}^{0,75} = 0,0033 \cdot 180^{0,75} = 0,16 \text{ л/с} = 9,73 \text{ л/хв.} \quad (3.9)$$

Таблиця – Розраховані параметри режиму зварювання

Параметр	Позначення	Одиниці	Розраховане / прийняте значення
Катет кутового шва	k	мм	5
діаметр дроту	d _{ед}	мм	1,2
Виліт електродного дроту	L _{ед}	мм	12
Швидкість зварювання	V _{зв}	м/год	16,41
Коефіцієнт втрат (розбризкування)	ψ _р	—	0,1
Швидкість подачі дроту	V _{под}	м/год	280,8
Робочий струм	I _{зв}	А	180
Допустиме значення струму	I _{доп}	А	236
Напруга дуги	U _d	В	23
Витрата захисного газу	q _{з.г.}	л/хв	9,73

З урахуванням прийнятого механізованого способу зварювання, розрахованих режимів та підвищених вимог до якості виготовлення елементів

портативного пересувного козлового крана, технологічно доцільним є впровадження роботизованих зварювальних систем. Такий підхід забезпечує відтворюваність параметрів процесу, стабільність теплового циклу та мінімізацію впливу суб'єктивних чинників, що в сукупності сприяє підвищенню продуктивності та відповідності зварних з'єднань сучасним вимогам міцності, герметичності й експлуатаційної надійності [20–21].

Автоматизація зварювання дозволяє зменшити кількість технологічних відхилень, скоротити допоміжний час і покращити умови праці персоналу шляхом усунення безпосереднього контакту з дугою та зварювальними аерозолями. Крім того, роботизовані комплекси забезпечують високу гнучкість виробництва завдяки можливості швидкого перепрограмування під різні типи з'єднань і геометрію деталей.

Для реалізації автоматизованого процесу у складі виробничого комплексу передбачено застосування шестивісного промислового зварювального робота QRC 410 виробництва компанії CLOOS (рис. 3.2). Дана модель спеціально орієнтована на виконання високоточних зварювальних операцій під час виготовлення великогабаритних та відповідальних металоконструкцій.

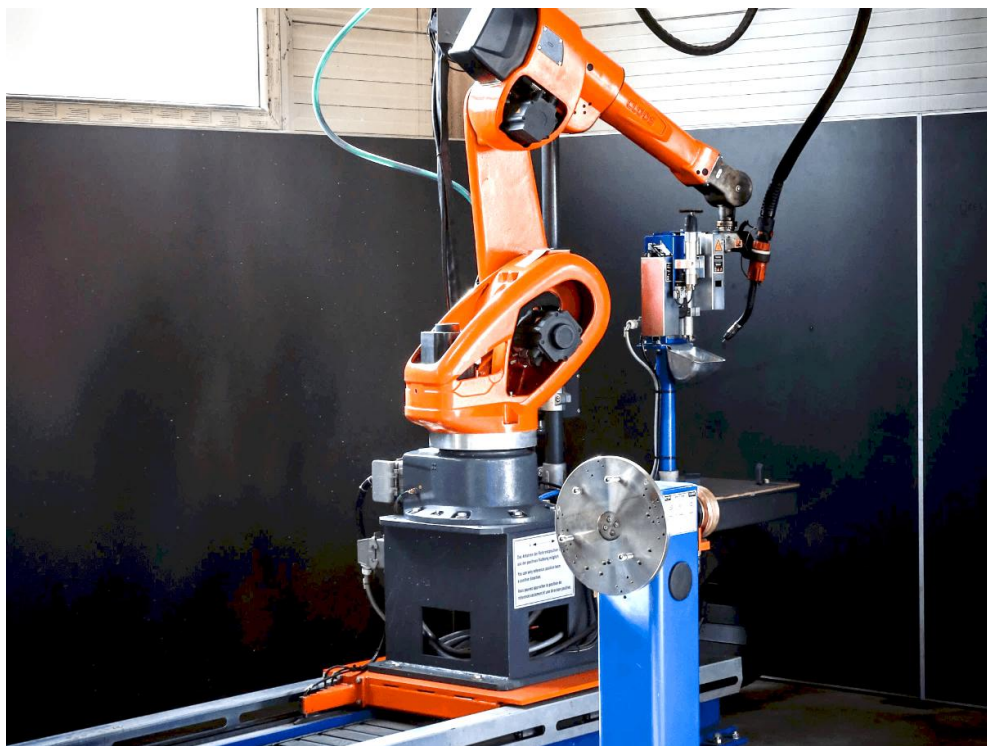


Рис. 3.2 – Робот QRC 410 для MIG/MAG-зварювання [22]

Ключові технічні характеристики робота QRC 410:

- кінематична схема з 6 ступенями свободи, що забезпечує високу маневровість і доступ до складних зон зварювання;
- робочий радіус до 2810 мм, який дозволяє формувати шви за просторово складними траєкторіями;
- повторюваність позиціонування $\pm 0,1$ мм, що гарантує стабільну геометрію зварних з'єднань;
- вантажопідйомність на фланці до 10 кг, достатня для встановлення різних типів зварювальних пальників і допоміжного оснащення;
- інтегровані системи повітряного та рідинного охолодження пальника;
- підтримка offline-програмування з 3D-візуалізацією, що суттєво зменшує час підготовки виробництва;
- повна сумісність із сучасними джерелами живлення CLOOS.

Застосування робота QRC 410 забезпечує рівномірність формування зварного шва по всій його довжині, скорочення підготовчо-завершальних операцій та підвищення загальної ефективності зварювального виробництва. Для живлення роботизованого зварювального комплексу обґрунтовано використання джерела зварювального струму Qineo Step 600 C (рис. 3.3), яке характеризується високою стабільністю дуги, широким діапазоном регулювання параметрів та повною інтеграцією з автоматизованими системами керування.

У процесі виготовлення відповідальних металоконструкцій із низьколегованих і високоміцних сталей особливе значення має стабільність теплового циклу та повторюваність результатів. У цьому контексті Qineo Step 600 C є одним із найбільш ефективних сучасних джерел для зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів (MIG/MAG).

Апарат оснащений силовим модулем з максимальним зварювальним струмом до 600 А при ПН = 60 %, що дозволяє виконувати як зварювання значних товщин, так і наплавлувальні операції. Реалізація синергійного режиму керування забезпечує автоматичне узгодження напруги, швидкості подачі дроту та індуктивності залежно від типу матеріалу, діаметра електрода

й складу захисного газу, що істотно зменшує ймовірність помилок налаштування [23].



Рис. 3.3 - Джерело зварювального струму Qineo Step 600 C для механізованого та роботизованого MIG/MAG-зварювання [23]

Для реалізації зварювально-складального процесу елементів коромисла екскаватора обґрунтовано вибір напівавтоматичного джерела TransSteel 4000 Pulse (рис.3.4), яке відповідає вимогам до зварювання конструкцій із низьколегованих сталей та забезпечує високий рівень керованості процесу [24]



Рис. 3.4 - Напівавтомат TransSteel 4000 Pulse для MIG/MAG-зварювання в пульсуючому режимі [24]

Джерело підтримує пульсуючий режим MIG/MAG-зварювання, що дозволяє зменшити тепловкладення, покращити формування валика та знизити ризик утворення дефектів, пов'язаних із перегрівом або пористістю. Інтелектуальна синергійна система автоматично підбирає оптимальні параметри залежно від дроту, газу та матеріалу, а зручний графічний інтерфейс забезпечує ефективну експлуатацію навіть за інтенсивних виробничих навантажень.

Зниження рівня розбризкування, стабільність дуги та збереження мікроструктури основного металу роблять TransSteel 4000 Pulse доцільним рішенням для відповідальних зварних з'єднань, де якість поверхні та структурна цілісність мають критичне значення.

3.2 Опис технологічного процесу

Виробництво портативного козлового крана охоплює низку ключових етапів, таких як випрямлення матеріалу, його різання, підготовка кромки до зварювання, очищення поверхонь, складання деталей, сам процес зварювання, а також перевірка якості зварних з'єднань та готової конструкції. Весь процес складається із ряду послідовно-виконуваних операцій приведених у таблиці 3.3

Таблиця – Послідовність технологічних операцій виготовлення портативного козлового крана

№ п/п	Найменування операції	Зміст операції	Основне обладнання	Вид контролю
010	Вхідний контроль і підготовка матеріалу	Перевірка сертифікатів, очищення поверхонь від корозії та забруднень, правка листового прокату	Листопрямуюча машина Bendmak BPSM	Візуальний, вимірювальний
020	Розмітка заготовок	Розмітка листів, труб і двотаврових балок за робочими кресленнями	Розміслювальний інструмент, шаблони	Візуальний
030	Різання металопркату	Розкрій листів, труб і двотаврів до	Лазерна установка Mitsubishi	Вимірювальний

		заданих розмірів термічним і механічним способами	ML3015eX-S, відрізний верстат	
040	Вирізання монтажних отворів	Формування отворів у плиті та двотавровій балці для болтового кріплення	Лазерна установка	Вимірювальний
050	Складання та зварювання стояків (колон)	Установлення опорної плити та профільної труби 100×100×6 мм	Складальний стенд, Напівавтомат TransSteel 4000 Pulse, Робот QRC 410	Візуальний
060	Встановлення та зварювання ребер жорсткості	Приварювання ребер між опорною плитою та стійкою	Напівавтомат TransSteel 4000 Pulse, Робот QRC 410	Оперативний
070	Зварювання вузла стояка	Установлення вузла в кондуктор, зварювання з нижньою опорою та додатковими ребрами	Зварювальний кондуктор, Напівавтомат TransSteel 4000 Pulse	Оперативний
080	Контроль геометрії та швів	Перевірка розмірів, форми та якості зварних швів	Шаблони УШС-4	Візуальний, вимірювальний
090	Очищення після зварювання	Видалення бризок, зачистка зварних швів	Шліфувальний інструмент	Візуальний
095	Грунтування, та фарбування	Нанесення антикорозійного ґрунтового покриття	Фарбувально-ґрунтувальне обладнання	Візуальний
100	Транспортування	Переміщення готового виробу на склад	Вантажопідіймальні механізми	Заключний

Для реалізації операцій підготовки металопрокату у технологічному процесі виготовлення портативного козлового крана використовується листопрямильна машина Bendmak BPSM (рис. 3.5), призначена для виправлення листового металу після транспортування, складування та попередніх технологічних операцій.

Принцип роботи даного обладнання ґрунтується на багаторазовому знакозмінному згині заготовки між системою робочих роликів, унаслідок чого відбувається вирівнювання залишкових напружень і усунення хвилястості листа. Це забезпечує стабільність геометричних параметрів заготовок і

створює необхідні умови для точної розмітки, різання та подальшого складання конструктивних елементів.

Застосування машини Bendmak BPSM у технологічному процесі дозволяє:

- зменшити початкові деформації листового прокату;
- підвищити точність наступних операцій різання й свердління;
- мінімізувати зварювальні деформації під час складання вузлів;
- забезпечити рівномірність формування зварних швів і підвищити їхню якість.



Рис. 3.5 - Листоправильна машина Bendmak BPSM [25]

Виправлення двотаврових балок виконують на спеціалізованому верстаті Bendmak BPS500 (рис. 3.6), який призначений для відновлення геометричної точності прокатних профілів. Принцип роботи обладнання ґрунтується на прикладанні дозованого механічного зусилля до полиць балки з використанням роликів або гідравлічних робочих елементів, що дозволяє усувати локальні та загальні викривлення без пошкодження структури металу.

Застосування верстата Bendmak BPS500 у технологічному процесі виготовлення несучих елементів портативного козлового крана є технологічно обґрунтованим, оскільки дозволяє забезпечити:

- стабільну паралельність і співвісність фланців двотаврової балки;
- відповідність геометричних параметрів профілю вимогам проєктної документації;
- точне та безперекосне сполучення балки з опорною плитою і стояками конструкції;
- зменшення рівня залишкових напружень у зонах подальшого зварювання;
- підвищення експлуатаційної надійності зварних вузлів і загальної жорсткості металоконструкції.

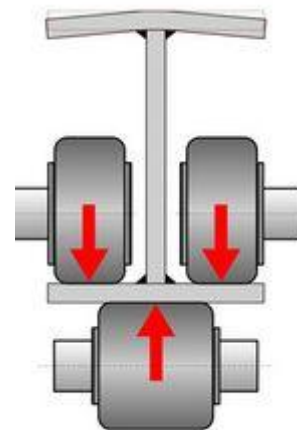


Рис. 3.6 – Правильний верстат Bendmak BPS500 [25]

Різання листового металу здійснюють методом лазерного різання з використанням установки Mitsubishi ML3015eX-S (рис. 3.7). Лазерна установка Mitsubishi ML3015eX-S забезпечує високоточний розкрій листового прокату з мінімальною шириною різку та незначною зоною термічного впливу. Це дозволяє отримувати кромки з високою якістю поверхні без потреби в додатковій механічній обробці, що є особливо важливим для елементів, які з'єднуються зварюванням або болтовими з'єднаннями.



Рис. 3.7 - Установка Mitsubishi ML3015eX-S [25]

Розкрій профільних труб і двотаврових балок виконують механічним способом на автоматизованому відрізному верстаті Workline 410.280 DG (рис. 3.8), призначеному для механічного різання металопродукції різного профілю, зокрема труб, двотаврових балок, швелерів, які використовуються під час виготовлення несучих вузлів портативного козлового крана. Верстат працює за принципом стрічкочного різання, що забезпечує високу точність і стабільність геометричних параметрів заготовок.

Різнання здійснюється з використанням автоматизованої системи подачі та фіксації заготовки, яка дозволяє витримувати задану довжину різку з мінімальними відхиленнями та забезпечує перпендикулярність торцевих поверхонь. Наявність програмного керування дає змогу виконувати серійний розкрій елементів із високою повторюваністю результатів і зниженням трудомісткості операцій.

Застосування верстата Workline 410.280 DG у технологічному процесі виготовлення портативного козлового крана забезпечує такі переваги:

- високу точність різання профільного прокату, зокрема двотаврових балок та труб;
- стабільність довжин заготовок, що є критичним для подальшого складання у кондукторах;
- чистоту та рівність торців, що зменшує потребу в додатковій механічній обробці;

- підвищення продуктивності підготовчих операцій за рахунок автоматичного режиму роботи;
- зменшення впливу людського фактора на якість різання.

Завдяки використанню автоматизованого відрізного верстата Workline 410.280 DG забезпечується технологічна узгодженість між операціями різання, складання та зварювання, що сприяє підвищенню точності монтажу, зниженню внутрішніх напружень у зварних з'єднаннях та загальному підвищенню надійності конструкції портативного козлового крана.



Рис. 3.8 Станок відрізний автоматизований Workline 410.280 DG [25]

Для реалізації операцій складання і зварювання портативного козлового крана використовується спеціалізоване зварювально-складальне обладнання, що забезпечує фіксацію елементів у проєктному положенні та стабільність їх просторового взаємного розташування.

Складання та зварювання окремих вузлів і конструкції в цілому виконуються із застосуванням зварювальних кондукторів і технологічних пристосувань, які:

- забезпечують точне позиціонування двотаврових балок, профільних труб і опорних плит;

- зменшують зварювальні деформації;
- гарантують дотримання заданих геометричних допусків;
- підвищують відтворюваність результатів у серійному виробництві.

Зварювальні операції виконуються механізованим способом із використанням напівавтоматичного обладнання, що дозволяє підтримувати стабільні параметри режиму зварювання та формувати шви з рівномірною геометрією і високими міцнісними характеристиками.

Конструкція, принцип дії та особливості експлуатації зварювальних кондукторів і допоміжних пристосувань детально розглянуті в розділі 4 даної роботи, де наведено їх інженерне обґрунтування та функціональні можливості.

Забезпечення належного рівня якості зварних з'єднань є невід'ємною складовою технологічного процесу виготовлення металоконструкцій. Саме стан зварних швів і зон термічного впливу визначає міцність, довговічність і експлуатаційну безпеку виробу. Тому контроль якості організовується як багаторівнева система, інтегрована безпосередньо в технологічний процес.

Процедура контролю передбачає три взаємопов'язані етапи:

- I. контроль матеріалів і зварювальних витратних матеріалів до початку виробництва;
- II. оперативний контроль у процесі виконання технологічних операцій;
- III. заключний контроль якості готових зварних з'єднань і конструкції в цілому.

Застосування такої міжопераційної схеми виключає можливість переходу до наступного етапу у разі виявлення браку на попередньому, що запобігає накопиченню дефектів і підвищує загальну надійність виробництва.

До початку зварювальних робіт усі зварювальні матеріали (дріт, електроди, захисні гази) підлягають обов'язковому вхідному контролю та повинні супроводжуватися сертифікатами якості. Використання матеріалів без маркування або з невстановленими характеристиками не допускається.

Контроль на кожному етапі виготовлення є обов'язковим і передбачає дотримання всіх вимог технологічних інструкцій та проєктної документації. Особлива увага приділяється:

- точності взаємного розташування елементів під час складання в шаблонах або на зварювальних агрегатах;
- надійності їх фіксації;
- відповідності положення деталей установленим допуском.

Застосування пневматичних затискачів дозволяється лише після підтвердження правильності базування та геометричної точності складального вузла.

Після завершення зварювання проводиться оцінювання якості сформованих швів, що включає:

- перевірку повноти виконання швів і їх фактичної довжини;
- контроль відсутності недопустимих дефектів (у межах вимог нормативної документації);
- вимірювання геометричних параметрів поперечного перерізу шва.

Очищені від бризок і шлакових залишків шви піддаються суцільному візуальному та вимірювальному контролю. У разі виявлення дефектів зварні шви повністю видаляються механічним способом, після чого виконуються повторне зварювання та повторна перевірка.

Для реалізації візуально-вимірювального контролю застосовуються шаблони типу УШС-4, які дозволяють оперативно оцінювати катети кутових швів і відповідність геометричних параметрів з'єднання.



Рис. 3.9 – Шаблон для контролю зварних швів УШС-4 [26]

Інтеграція візуального та вимірювального контролю безпосередньо в технологічний процес забезпечує своєчасне виявлення відхилень, які можуть негативно вплинути на подальші етапи складання та експлуатаційні характеристики виробу.

Одним із найбільш інформативних методів неруйнівного контролю зварних з'єднань несучих елементів конструкції є ультразвукова дефектоскопія. Даний метод дозволяє з високою достовірністю виявляти внутрішні дефекти металу шва та зон термічного впливу без порушення цілісності виробу [27].

Контроль здійснюється за комбінованою схемою з використанням одного перетворювача в режимах випромінювання і приймання ультразвукових хвиль. Перед початком перевірки перетворювач установлюють на очищену поверхню в зоні контролю перпендикулярно до осі шва та переміщують уздовж нього поступально-обертальними рухами. Кут відхилення під час сканування становить $10\text{--}15^\circ$ у кожен бік, а крок переміщення не перевищує половини ширини п'єзокристалу.

Для підвищення достовірності результатів контроль доцільно проводити з обох боків зварного з'єднання. У випадку відсутності доступу з однієї сторони відповідні ділянки фіксуються в технічній документації.

Ознакою наявності дефекту є реєстрація ехо-сигналу, амплітуда якого перевищує встановлений рівень чутливості. Під час аналізу результатів важливо відрізнити справжні сигнали від хибних, що можуть бути спричинені поверхневими нерівностями, отворами або змінами геометрії виробу. За наявності підтвердженого сигналу визначають координати дефекту та його просторове положення.

До основних параметрів оцінювання належать:

- амплітуда ехо-сигналу або еквівалентна площа дефекту;
- умовна протяжність дефекту;
- кількість дефектів на одиницю довжини зварного шва [27].

При контролі кутових і таврових з'єднань особливу увагу приділяють кореню шва, де ймовірність утворення непровару є найбільшою. Перевірка

виконується прямими та одноразово відбитими променями з використанням нахилених і комбінованих перетворювачів, підібраних відповідно до товщини контрольованої зони.

Налаштування чутливості та розгортки приладу здійснюється на еталонних зразках, геометрія яких відповідає контрольованій конструкції та містить штучні відбивачі, еквівалентні допустимим дефектам.

Для ультразвукового контролю застосовується дефектоскоп HARFANG WAVE, який характеризується високою роздільною здатністю, стабільністю сигналу та можливістю точного визначення координат внутрішніх порушень структури металу.



Рис 3.12 — Дефектоскоп HARFANG WAVE [28].

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань

Під час виготовлення несучих елементів портативного пересувного козлового крана важливу роль відіграє застосування спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань, які забезпечують точне взаємне розташування елементів, стабільність геометрії конструкції та повторюваність результатів. Запропонований технологічний комплекс обладнання включає стенд для складання поясів і установку для їх механізованого зварювання.

Складання стійки з опорною плитою виконується на спеціалізованому стенді (рис. 4.1), конструкція якого передбачає жорстке базування профільних трубчастих заготовок і можливість їх регулювання у просторі. До складу стенда входять дві опори: переставна нерегульована базова опора та рухома регульована опора, оснащені притискними елементами для фіксації фланців поясу. Для розміщення труб застосовуються чотири регульовані фіксатори з призматичними опорними поверхнями.

Відмінною особливістю розробленого стенда є використання фіксаторів із розсувною опорою, що суттєво підвищує універсальність пристосування. Таке конструктивне рішення дозволяє виконувати складання труб поясів із зовнішніми діаметрами в широкому діапазоні — від 90 до 425 мм — без необхідності заміни основних елементів оснащення.

Технологічний процес роботи на стенді передбачає наступну послідовність операцій. За допомогою мостового крана профільну трубну заготовку з попередньо обробленими та підготовленими крайками встановлюють на регульовані призми. Після цього пневматичні притиски здійснюють охоплення труби та її точне центрування відносно осі конічної опори.

Далі в роботу вводиться пневмоциліндр, який переміщує рухома опору вздовж напрямних, забезпечуючи контрольоване зближення профільної труби

кулачкових патронах обертача. Зварювальна каретка, яка перед початком процесу знаходиться у крайньому положенні, за допомогою електроприводу підводиться безпосередньо до зони стику.

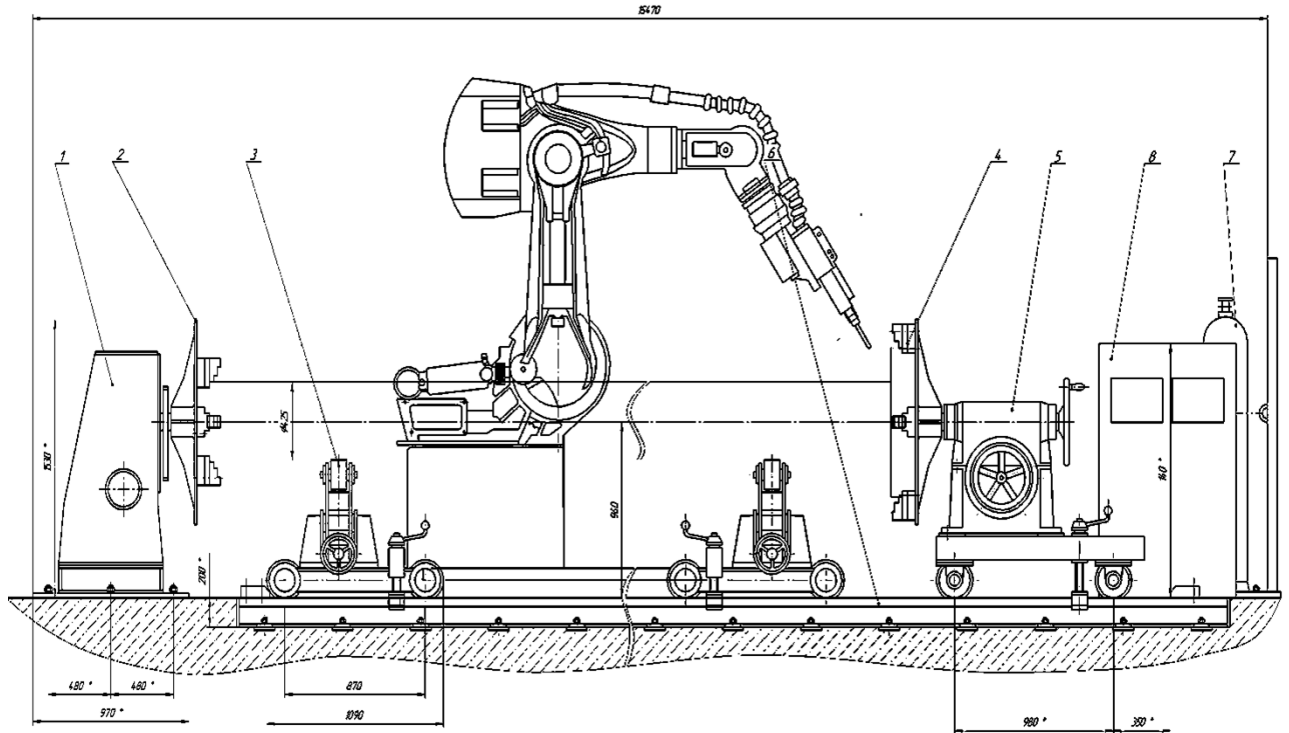


Рис. 4.2 Установка для зварювання

Консоль зі зварювальним роботом розміщується над виробом, при цьому здійснюється налаштування положення електродного дроту зі зміщенням відносно зеніту приблизно на 40 мм, що сприяє формуванню рівномірного та якісного зварного шва. Точне позиціонування пальника здійснюється автоматично.

Швидкість обертання планшайби плавно регулюється шляхом зміни частоти обертання електродвигуна за допомогою потенціометра, що дозволяє адаптувати режим зварювання до геометричних параметрів виробу та технологічних вимог.

Для виконання операцій кінцевого складання колони (стійки) портативного козлового крана використовується універсальний складальний

кондуктор, конструкція якого забезпечує високу точність взаємного розташування елементів та адаптивність до різних типорозмірів виробів. Кондуктор оснащений позиціонером, що включає привідний та ведений стояки. На зазначених стояках закріплюється несуча рама, на якій змонтовано систему фіксаторів, здатних переміщуватися вздовж напрямних. Таке конструктивне рішення дозволяє оперативно переналагоджувати оснащення під широку номенклатуру плоских та просторових зварних конструкцій.

Технологічний процес виготовлення стійки козлового крана здійснюється у визначеній послідовності. На початковому етапі до кондуктора встановлюють попередньо зварену стійку з опорною плитою, після чого її положення жорстко фіксують за допомогою гвинтових притискачів. Далі з протилежного боку від опорної плити монтують нижню опору, виготовлену з профілю, ідентичного профілю основної стійки. Нижню опору також закріплюють гвинтовими притискними елементами.

Після завершення базування виконують прихваткове зварювання нижньої опори зі стійкою із застосуванням зварювального напіваавтомата. На наступному етапі встановлюють розкоси, виготовлені з профільної труби перерізом 60×60 мм зі стінкою товщиною 6 мм, які фіксують у проектному положенні за допомогою притискачів. Проводиться прихватка та зварювання швів, доступних у поточному положенні виробу.

Для забезпечення повного провару всіх зварних з'єднань конструкцію стійки за допомогою позиціонера повертають у оптимальне положення, після чого виконують остаточне зварювання всіх швів. По завершенні зварювальних робіт зварну конструкцію звільняють від притискачів і передають на подальші технологічні операції, зокрема контроль якості зварних з'єднань, механічну обробку або підготовку до фарбування.



Рис. 4.3 – Універсальний кондуктор складання колони портативного козлового крана

4.2 Розрахунок гвинтових притискачів складального кондуктора

Метою розрахунку є обґрунтування основних геометричних і силових параметрів гвинтового притискача, призначеного для фіксації заготовки з розрахунковим притискним зусиллям $Q = 10 \text{ кН}$. [29]

Необхідно визначити:

- діаметр різьбового гвинта та допустимий момент його затягування;
- раціональну форму головки гвинта для ручного затягування;
- довжину та діаметр рукоятки;
- кількість робочих витків різьби й висоту гайки;
- розміри поперечного перерізу корпусу притискача.

Матеріали:

- гвинт — сталь 45, допустиме напруження $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$;
- корпус притискача — сталь Ст3, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Розрахунок діаметра гвинта виконується з урахуванням сумісної дії осьового навантаження та крутіння. Для цього використовується коефіцієнт запасу за крученням $\gamma = 1,5$.

$$d_{\text{BH}} = \sqrt{\frac{4\gamma Q}{\pi[\sigma]}}$$

Підставляючи числові значення, отримаємо:

$$d_{\text{BH}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 10000}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,01565 \text{ м} \approx 15,7 \text{ мм.}$$

Отже, для забезпечення міцності доцільно прийняти стандартний різьбовий гвинт М20×2,5, для якого:

- зовнішній діаметр $d_3 = 20$ мм;
- внутрішній діаметр $d_{\text{BH}} = 17,294$ мм, що перевищує розрахункове значення.

Розрахунок моменту затягування гвинта. У цьому випадку враховується додатковий момент тертя ковзання між торцем гвинта та заготовкою:

$$M_{\text{пт}} = Q \left[r_{cp} \tan (\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + \frac{1}{3} \mu D \right],$$

де: $\mu = 0,1$ — коефіцієнт тертя ковзання; $D = 0,8d_3$.

$$M_{\text{пт}} = 10 \cdot 10^3 \left(0,45 \cdot 0,02 \cdot 0,1614 + \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot 0,8 \cdot 0,02 \right) = 19,86 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Довжина рукоятки визначається з умови створення необхідного моменту затягування при зусиллі оператора $P = 100$ Н.

$$l = \frac{19,86}{100} = 0,199 \text{ м} \Rightarrow l = 200 \text{ мм.}$$

Діаметр рукоятки визначається з умови міцності на згин:

$$\sigma = \frac{Pl}{W} \leq [\sigma], W \approx 0,1d_p^3.$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{Pl}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 0,15}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} \approx 0,012 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартне значення: $d_p = 12 \text{ мм.}$

Визначення кількості витків різьби та висоти гайки. Кількість робочих витків різьби:

$$n = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_{\text{BH}}^2)p_0},$$

де $p_0 = 10 \text{ МПа}$ — допустимий питомий тиск у різьбі.

$$n = \frac{10000}{0,785(0,02^2 - 0,017294^2) \cdot 10^7} \approx 12,6.$$

Приймаємо: $n = 13$ витків.

Висота гайки при однозахідній різьбі:

$$H = nS = 13 \cdot 2,5 = 32,5 \text{ мм.}$$

Розрахунок корпусу притискача. Приймаємо товщину корпусу $\delta = 10 \text{ мм.}$ Ширина визначається з умови міцності на згин:

$$\sigma = \frac{6Qb}{b^2\delta} \leq [\sigma], b = \sqrt{\frac{6Qb_0}{\delta[\sigma]}}$$

де $b_0 = 0,1$ м.

$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,01 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,061 \text{ м.}$$

Приймаємо $b = 60$ мм виконуємо перевірку:

$$\sigma = \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,06^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,06 \cdot 0,01} = 333 \text{ МПа} > [\sigma].$$

Умова міцності не виконується, тому збільшуємо ширину корпусу до $b = 70$ мм.

Повторна перевірка:

$$\sigma = 137,3 \text{ МПа} < [\sigma],$$

що підтверджує працездатність конструкції.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз і оцінювання небезпечних та шкідливих виробничих чинників у спроектованому виробничому цеху

Функціонування виробничого обладнання в умовах цеху супроводжується впливом комплексу шкідливих і небезпечних виробничих чинників, які за несприятливих умов можуть призводити до виникнення виробничого травматизму. Просторові ділянки, у межах яких такі чинники проявляються постійно або періодично, класифікуються як небезпечні зони, перебування в яких потребує дотримання підвищених вимог безпеки праці.

Під час виконання зварювальних робіт у середовищі вуглекислого газу відбувається інтенсивне забруднення повітряного середовища виробничих приміщень зварювальними аерозолями. До їх складу входять тверді частинки металевого пилу, а також токсичні газоподібні сполуки та пари, зокрема оксид вуглецю, оксиди азоту, фтористі сполуки та інші продукти термічного розкладу матеріалів. Тривале або систематичне вдихання таких речовин створює ризик розвитку професійних захворювань органів дихання та загальної інтоксикації організму.

Наявність у цеху рухомих механізмів, транспортних пристроїв і вантажів, що переміщуються, у поєднанні зі специфікою технологічних процесів значно підвищує рівень потенційної небезпеки. Основними джерелами травмування персоналу є захоплення або затягування працюючих рухомими частинами обладнання, падіння чи зміщення вантажів, а також утворення пилу і уламків матеріалів у процесі обробки. Недотримання встановлених правил охорони праці та вимог техніки безпеки може призводити до тяжких наслідків, зокрема термічних опіків різного ступеня, ураження електричним струмом і часткової або повної втрати зору [30].

Особливу небезпеку для органів зору становить інтенсивне світлове та ультрафіолетове випромінювання зварювальної дуги. Короткочасний вплив без належних засобів захисту може викликати електроофтальмію, тоді як тривале опромінення інфрачервоним спектром сприяє розвитку помутніння кришталика ока, що в подальшому може призвести до катаракти.

У процесі проектування та подальшої експлуатації підприємств із зварювальним виробництвом необхідно передбачати та реалізовувати комплекс профілактичних заходів, спрямованих на зниження рівня небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Пріоритетним завданням при цьому є мінімізація ризику виробничого травматизму та запобігання виникненню професійних захворювань шляхом раціональної організації робочих місць, застосування технічних засобів захисту та дотримання нормативних вимог охорони праці.

Для зниження ризику впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників у цеху застосовують систему колективних та індивідуальних засобів захисту працюючих. Залежно від функціонального призначення всі засоби безпеки доцільно класифікувати на чотири основні групи: огорожувальні, запобіжні, сигналізаційні та засоби дистанційного керування технологічним обладнанням. Такий підхід забезпечує комплексний характер захисту персоналу під час виконання виробничих операцій.

Робочі майданчики, сходові марші та переходи обладнують захисними перилами висотою не менше 1,0 м, при цьому нижня частина огорожень виконується суцільною на висоту близько 0,2 м з метою запобігання зісковзуванню або падінню предметів. Канали для прокладання трубопроводів, технологічні заглиблення, приямки та інші нерівності підлоги перекриваються міцними знімними трапами, що унеможливорює травмування персоналу під час пересування виробничими приміщеннями [30].

Обладнання, робота якого супроводжується підвищеним рівнем шуму та вібраційних навантажень, встановлюється на окремих фундаментах з ефективною ізоляцією від будівельних конструкцій. Для цього застосовуються

спеціальні віброізолювальні прокладки та шумопоглинальні матеріали, що дозволяє істотно знизити передачу коливань на робочі місця та навколишні приміщення.

Під час експлуатації ручних механізованих електричних або пневматичних інструментів персонал повинен використовувати індивідуальні засоби віброзахисту, зокрема віброізолювальні рукавиці, спеціальні рукоятки або демпфувальні прокладки. Для працівників, діяльність яких пов'язана з тривалим впливом вібрації, рекомендується впроваджувати регламентовані перерви тривалістю 10–15 хвилин після кожної години безперервної роботи з метою зниження функціонального навантаження на організм.

Найбільш ефективним напрямом зменшення вібраційного впливу є боротьба з ним безпосередньо в джерелі виникнення, що реалізується ще на стадії проектування та виготовлення машин, а також при розробленні технологічних процесів. Зниження рівня вібрації досягається шляхом застосування віброгасіння, зокрема встановленням вібруючих агрегатів на самостійні віброгасячі основи або фундаменти.

У зонах підвищеної небезпеки обов'язково розміщують попереджувальні написи, знаки та плакати безпеки, які інформують персонал про можливі ризики та правила безпечної поведінки.

Електричне обладнання, що використовується на виробничих підприємствах, належить до джерел підвищеної небезпеки, оскільки людина не здатна виявити наявності електричної напруги на відстані за допомогою органів чуття. У зв'язку з цим особлива увага приділяється застосуванню засобів електробезпеки [30].

Для індивідуального захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом використовуються ізолювальні штанги та кліщі, електроінструмент з ізольованими рукоятками, діелектричні рукавиці, боти або калоші, а також діелектричні килимки, мати й ізолювальні підставки. Усі зазначені засоби індивідуального захисту підлягають періодичним

випробуванням на електричну міцність і маркуються відповідно до вимог чинних нормативних документів.

5.2 Заходи щодо збереження працездатності персоналу та підвищення продуктивності праці

До комплексу заходів, спрямованих на поліпшення умов праці зварювального персоналу, належать технічні й організаційні рішення, що забезпечують зниження впливу шкідливих і небезпечних виробничих чинників. Насамперед це автоматизація та механізація зварювальних операцій, удосконалення технологічних процесів, а також раціональна організація робочих місць. Важливе значення мають засоби захисту органів зору від інтенсивного променистого випромінювання, ефективне видалення пилю та шкідливих газів із робочої зони за допомогою вентиляційних систем, а також заходи, спрямовані на запобігання ураженню електричним струмом.

Істотний вплив на збереження працездатності зварника та підвищення продуктивності його праці мають допоміжні пристрої для фіксації й переміщення зварюваних виробів. Використання кондукторів, кантувачів, маніпуляторів, струбцин і затискних механізмів зменшує фізичне навантаження на працівника, підвищує точність виконання операцій і скорочує непродуктивні витрати часу [30].

Освітлення виробничих приміщень є одним із ключових чинників гігієни праці та безпеки виробничого процесу. У цехах застосовують природне та штучне освітлення, параметри яких повинні забезпечувати достатню видимість робочої зони без утворення різких тіней і сліпучого ефекту, що сприяє зниженню втомлюваності зварника та підвищенню якості виконуваних робіт.

Під час зварювання електрична дуга є джерелом інтенсивного ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, яке негативно впливає

на органи зору та шкіру людини. Найбільша небезпека виникає при виконанні робіт з відкритою дугою, зокрема під час ручного дугового зварювання або зварювання в середовищі вуглекислого газу. Захист шкіри зварника забезпечується спеціальним вогнестійким спецодягом, а захист очей – застосуванням щитків або масок зі світлофільтрами темного спектра, що знижують інтенсивність шкідливого випромінювання.

Для запобігання механічним ушкодженням очей під час видалення флюсу або відбивання шлаку зварник повинен користуватися захисними окулярами з прозорим склом. У разі незначних опіків очей рекомендується застосування холодних компресів і промивання слабким лужним розчином, тоді як при тяжких ураженнях необхідно негайно звернутися за медичною допомогою.

Висока температура зварювальної дуги спричиняє інтенсивне випаровування металів, пари яких, взаємодіючи з киснем повітря, утворюють дрібнодисперсні аерозолі у вигляді оксидів. Особливу небезпеку становлять сполуки цинку, свинцю, кадмію та міді, що виникають під час зварювання міді, латуні й бронзи. Крім того, при плавленні окремих флюсів у повітря робочої зони можуть виділятися оксиди марганцю, а також сполуки хлору та фтору.

Під час зварювання в середовищі вуглекислого газу можливе утворення оксиду вуглецю, який є токсичним для організму людини. Оскільки вуглекислий газ має більшу густину, ніж повітря, він може накопичуватися в замкнених або малопрівітрюваних приміщеннях, створюючи дефіцит кисню та підвищуючи ризик отруєння.

Для забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища у виробничих приміщеннях застосовують загальнообмінну та місцеву вентиляцію. Загальнообмінна вентиляція, як правило, виконується за приточно-витяжною схемою з підігрівом повітря в холодний період року і забезпечує повний повітрообмін у цехах і майстернях. Місцеві вентиляційні установки призначені для безпосереднього відсмоктування шкідливих газів і

пилу з місць їх утворення. При виконанні робіт у замкнених просторах використовують ізолювальні дихальні апарати або маски зі шланговою подачею свіжого повітря.

У разі виникнення отруєння зварювальними газами потерпілого необхідно негайно вивести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу та забезпечити спокій до прибуття медичного працівника. При припиненні дихання слід невідкладно застосувати заходи штучної вентиляції легень.

5.3 Обґрунтування та розрахунок системи штучного освітлення спроектованого цеху

У процесі зварювальних робіт працівники виконують операції, що істотно відрізняються за вимогами до точності зорового сприйняття, зокрема розмічання деталей, складання конструкцій, читання технічної документації, безпосереднє зварювання та контроль якості зварних з'єднань. Наявність у робочій зоні джерел підвищеної яскравості, зокрема зварювальної дуги, зумовлює необхідність частих процесів переадаптації зору. Це особливо проявляється під час переходу від допоміжних операцій, що виконуються без захисного щитка, до зварювання, яке обов'язково проводиться із застосуванням засобів захисту очей.

Створення надвисоких рівнів освітленості в зоні зварювання (порядку десятків тисяч люкс) з метою виконання всіх операцій без зняття щитка є технічно складним та економічно недоцільним. Тому нормативними документами встановлено раціональні значення освітленості для зварювальних робіт з урахуванням наявності в полі зору самосвітних елементів. Для систем освітлення з люмінесцентними лампами нормована освітленість становить 150 лк, тоді як при використанні ламп розжарювання – 50 лк [30].

Особливості технологічного процесу в складально-зварювальних цехах, зокрема виконання робіт на нефіксованих робочих місцях, зумовлюють доцільність застосування систем загального освітлення рівномірного або локалізованого типу з можливістю використання переносних світильників місцевого освітлення. За умови застосування газорозрядних джерел світла рекомендовано підвищувати рівень освітленості до 500 лк при поєднанні загального та місцевого освітлення і до 300 лк при використанні лише загального освітлення.

У зонах роботи мостових кранів передбачається встановлення додаткових світильників для компенсації затінення робочих місць. При виконанні зварювальних операцій усередині місткостей або замкнених об'ємів застосовують світильники спрямованої дії, розташовані зовні, або ручні переносні світильники із захисною сіткою. При цьому живлення повинно здійснюватися через трансформатор, встановлений поза небезпечною зоною, з обов'язковим заземленням вторинної обмотки; використання автотрансформаторів не допускається.

Для забезпечення стабільних світлотехнічних характеристик світильники, віконні прорізи та світлові ліхтарі необхідно очищати від забруднень у процесі експлуатації, але не рідше одного разу на три місяці. З метою підвищення ефективності освітлення стіни виробничих приміщень доцільно фарбувати матеріалами з високим коефіцієнтом відбивання у видимій частині спектра та зниженим коефіцієнтом відбивання для ультрафіолетового випромінювання.

Для виконання робіт зі зварювання труб із плоским фланцем за умов рівномірного розміщення світильників загального освітлення та горизонтального розташування робочої поверхні застосовується метод коефіцієнта використання світлового потоку.

Розрахунок необхідного світлового потоку виконується за формулою [30]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot Z \cdot K_3}{N \cdot \eta}, \quad (5.1)$$

де Φ – світловий потік, необхідний для забезпечення нормативної освітленості, лм;

E_n – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, м²;

$Z = 1,15$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$K_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу;

N – кількість ламп;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку визначається за світлотехнічними таблицями на основі індексу приміщення та коефіцієнтів відбивання поверхонь.

Індекс приміщення обчислюється за формулою:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (5.2)$$

де h – розрахункова висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м;

A, B – довжина і ширина приміщення, м.

За вихідними даними:

$S = 80 \text{ м}^2, h = 3,4 \text{ м}, A = 20 \text{ м}, B = 4 \text{ м},$

отримаємо:

$$i = \frac{80}{3,4 \cdot (20 + 4)} \approx 1,3.$$

За таблицями приймаємо коефіцієнти відбивання: стелі – 70 %, стін – 50 %, робочої поверхні – 30 %, що відповідає коефіцієнту використання світлового потоку $\eta = 0,65$.

Тоді необхідний світловий потік становить:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{0,65} = 63\,692,3 \text{ лм.}$$

Кількість ламп визначаємо за формулою:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot E_{\text{л}}}, \quad (5.3)$$

де $E_{\text{л}}$ – світловий потік однієї лампи.

$$N = \frac{63\,692,3}{2 \cdot 2105} \approx 15 \text{ шт.}$$

З урахуванням симетрії розміщення приймаємо 16 ламп.

Для освітлення зварювальної ділянки використовуються люмінесцентні лампи типу ЛД-40-4 з такими технічними характеристиками: світловий потік – 2105 лм, довжина – 1,213 м, потужність – 40 Вт, діаметр – 0,04 м. Як світильники застосовуються дволампові світильники типу ЛДГ з захисною решіткою, довжиною 1,3 м і шириною 0,27 м.

Світильники розміщуються у два ряди по вісім одиниць у кожному. Відстань між рядами та між світильниками в ряду визначається з урахуванням геометричних розмірів приміщення та забезпечує рівномірний розподіл освітленості по робочій зоні.

5.4 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта до дії ударної хвилі

Інженерно-технічна інфраструктура промислового підприємства охоплює сукупність будівель і споруд, технологічне обладнання, а також систему інженерних мереж і комунікацій, до яких належать

електропостачання, теплопостачання, водопровід, каналізація та газопроводи. Узгоджене функціонування цих елементів визначає можливість стабільної роботи об'єкта як у звичайних умовах, так і в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Визначальним чинником загальної стійкості підприємства є міцність і надійність будівель та споруд. Водночас підвищення стійкості всіх конструктивних елементів об'єкта є економічно недоцільним, оскільки супроводжується значними матеріальними витратами. Тому доцільно зосереджувати зусилля на посиленні найбільш відповідальних будівель і споруд, від функціонування яких безпосередньо залежить робота підприємства в цілому, але рівень стійкості яких є нижчим за необхідний. Підвищення міцності таких об'єктів досягається шляхом улаштування додаткових просторових зв'язків між несучими елементами, використання каркасних і рамних систем, підкосів та опор, що зменшують прольоти несучих конструкцій, а також застосування матеріалів із підвищеними міцнісними характеристиками [31].

Для збільшення опору дії ударної хвилі низькі будівлі та споруди доцільно частково обсіпати ґрунтом, що знижує рівень динамічного навантаження на огорожувальні конструкції. Високі інженерні споруди, зокрема димові труби, башти та колони, потребують додаткового закріплення за допомогою розтяжок, розрахованих на сприйняття нормативних вітрових і вибухових навантажень.

Захист резервуарів і ємностей для зберігання легкозаймистих і вибухонебезпечних рідин досягається шляхом їх заглиблення в ґрунт або розміщення в підземних сховищах. Підвищення механічної міцності таких ємностей забезпечується встановленням ребер жорсткості та застосуванням конструктивних рішень, що підвищують опір деформаціям.

Повний захист усього технологічного обладнання від дії ударної хвилі практично неможливий. Тому захисні заходи доцільно реалізовувати насамперед для устаткування, руйнування якого може призвести до зупинки

виробництва або втрати особливо цінної продукції. У межах комплексу інженерно-технічних заходів передбачається створення запасів вузлів і деталей, а також використання тимчасових захисних конструкцій, які можуть встановлюватися в період загрози для зменшення ймовірності виходу обладнання з ладу внаслідок обвалу будівельних конструкцій.

Сучасні промислові підприємства характеризуються значною протяжністю інженерних комунікацій для транспортування води, електроенергії, пари та газу. Часто такі мережі прокладаються відкрито — на естакадах або вздовж зовнішніх стін будівель, що спрощує їх обслуговування, однак істотно знижує їх стійкість до дії ударної хвилі. З метою підвищення надійності основні енергетичні та технологічні комунікації доцільно заглиблювати в ґрунт або розміщувати на низьких естакадах із подальшим обвалуванням землею. Додатково підвищення механічної міцності трубопроводів забезпечується встановленням ребер жорсткості та об'єднанням декількох труб у пучки за допомогою хомутів.

Система електропостачання займає ключове місце в забезпеченні безперебійної роботи промислового об'єкта, у зв'язку з чим підприємство повинно мати щонайменше два незалежні джерела живлення — основне та резервне. Для запобігання пошкодженню електричних мереж передбачаються пристрої автоматичного відключення при виникненні перенапруг, зокрема спричинених дією потужних електромагнітних полів.

Надійність газопостачання забезпечується використанням підземних резервуарів зберігання газу та прокладанням газопроводів під землею з підведенням до об'єкта з двох незалежних напрямків. Для зменшення наслідків аварій газові мережі обладнуються автоматичними відсічними пристроями, які локалізують пошкоджені ділянки.

Стійкість функціонування підприємства значною мірою залежить також від надійності систем паро- та теплопостачання. Для цього передбачається наявність двох джерел теплової енергії — зовнішнього

(теплоелектроцентрально) і внутрішнього (місцеві котельні), що дозволяє зберігати працездатність об'єкта в разі виходу з ладу одного з них.

Важливе значення має забезпечення стійкої роботи системи водопостачання. Промисловий об'єкт повинен отримувати воду щонайменше з двох джерел — основного та резервного, при цьому одне з них доцільно передбачати підземним. Водопровідні мережі прокладаються в ґрунті та оснащуються засувками для оперативного відключення окремих ділянок у разі аварійних ситуацій [31].

Підвищення надійності системи каналізації досягається шляхом улаштування роздільних мереж для відведення дощових, виробничих і господарсько-побутових стічних вод. Крім того, каналізаційна система повинна мати аварійні випуски для відведення стоків у разі пошкодження основних колекторів.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено конструктивно-технологічні рішення для виготовлення пересувного козлового крана, які забезпечують необхідний рівень міцності, жорсткості та експлуатаційної надійності зварної металоконструкції.

Чисельний аналіз напружено-деформівного стану підтвердив працездатність конструкції за дії розрахункових навантажень та відсутність умов для виникнення пластичних деформацій у несучих елементах.

Встановлено, що максимальні напруження зосереджуються в зонах передачі навантаження між основними елементами конструкції, що визначає підвищені вимоги до якості зварних з'єднань у зазначених ділянках.

Обґрунтовано раціональну технологію зварювання з використанням механізованих і роботизованих процесів, яка забезпечує стабільність параметрів зварювання, зменшення деформацій і підвищення повторюваності якості зварних швів.

Розроблені складально-зварювальні пристосування та виконані розрахунки їх елементів забезпечують точність складання, зниження залишкових деформацій і безпечні умови виконання зварювальних робіт.

Запропоновані заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях спрямовані на мінімізацію виробничих ризиків і забезпечення безпечної експлуатації вантажопідіймального обладнання.

Отримані результати можуть бути використані у практиці проєктування та виготовлення пересувних вантажопідіймальних зварних конструкцій, а також як методична основа для подальших інженерних досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Металеві конструкції. Загальний курс : підручник /О. О. Нілов та ін. 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Сталь, 2010.869 с.
2. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
3. БН В.2.6-163:2010 “Сталеві конструкції”, Держбуд України, 2010 – 96 с.
4. <https://kzpto.com.ua/>
5. <https://ua.kralkomplekt.com/grcran/kozlovye/>
6. <https://www.zoke-crane.com/uk/portable-gantry-cranes/>
7. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. - 263 с.
8. <https://www.splav-kharkov.com/main.php>
9. ДСТУ EN ISO 5817:2022 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (EN ISO 5817:2014, IDT; ISO 5817:2014, IDT).
10. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019 Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів (EN ISO 15614-1:2017, IDT; ISO 15614-1:2017, Corrected version 2017-10-01, IDT).
11. Титаренко В.Є. Напружено-деформований стан і довговічність рам напівпричепів / Дисерт. канд. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. – 180 с.
12. Підгурський М.І. Методи прогнозування ресурсу несучих і функціональних систем бурякозбиральних комбайнів / Дисерт. докт. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – 340 с.
13. Особливості дослідження напружено-деформівного стану будівельних сталевих перфорованих балок методом скінчених елементів / М.

- Підгурський, І. Підгурський, М. Сташків, В. Ігнат'єва, С. Данильченко, Д. Биків, О. Підлужний // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 126–138.
14. Investigation of the Stress Intensity Factor for the Edge Crack in I-beam Under Bending Moment Author links open overlay panel /Mykola Pidgurskyi, Mykola Stashkiv, Roman Rohatynskyi, Ivan Pidgurskyi, Viktor Senchyshyn, Andriy Mushak/ Procedia Structural Integrity. Vol. 59, P. 322-329. ISSN: 2452-3216
 15. Чертов І.М. Зварні конструкції: Підручник. – К.: Арістей, 2006. – 376 с.
 16. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
 17. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
 18. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
 19. 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.
 20. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
 21. Александров О.Г. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення [Текст]: навчальний посібник / О.Г. Александров, Д.А. Антонюк, Капустян О.Є. – Львів: Новий світ – 2000, 2013. – 224 с.
 22. <https://hydromarket.com.ua/ua/p566669856-svarochnye-roboty-cloos.html>
 23. <https://cloos-group.com/en/products/manual-welding/overview-manual-welding/>
 24. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/produkty/>
 25. <https://svartech.com.ua/>

26. <https://jasic.ua/ua/product/katetomer-wg-2-295>
27. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
28. <https://industry.hlr.ua/ru/node/structtest/ultrasonic-flaw-detection/ultrasonic-control/wave/>
29. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
30. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
31. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.
32. Окіпний І. Б., Сенчишин В. С., Ткаченко І. Г., Комар Р. В., Дячун А. Є. Кваліфікаційна робота магістра : методичні вказівки для здобувачів другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 Прикладна механіка галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 40 с.

ДОДАТКИ