

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 консольного
підлогового крана з дослідженням його НДС**

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МПм-62
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Ребрик Р.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Сенчишин В.С.

(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 консольного підлогового крана з дослідженням його НДС."

Робота присвячена розробленню та обґрунтуванню технології виготовлення консольного підлогового крана як зварної металоконструкції вантажопідіймального призначення з підвищеними вимогами до міцності, геометричної точності та надійності. У роботі розглянуто конструктивні особливості крана, умови його експлуатації та вплив технологічних факторів зварювання на формування напружено-деформівного стану елементів конструкції.

На основі аналізу фізико-механічних властивостей конструкційної сталі 20 обґрунтовано вибір способів механізованого та роботизованого зварювання у середовищі захисних газів. Для виконання складально-зварювальних операцій запропоновано застосування сучасного зварювального обладнання, зокрема напівавтоматів Kemppi X8 MIG Welder, роботизованого зварювального комплексу ARC Mate 120iC/12L, спеціалізованих складальних кондукторів і горизонтальних двостійкових зварювальних обертачів, що забезпечують стабільність режимів зварювання та зменшення зварювальних деформацій.

Розроблено детальний технологічний процес виготовлення основних вузлів крана, який включає заготівельні, складальні, зварювальні та контрольні операції. Для оцінювання працездатності конструкції проведено чисельне моделювання напружено-деформівного стану методом скінченних елементів у програмному середовищі SolidWorks Simulation, за результатами якого підтверджено достатній рівень міцності та жорсткості металоконструкції.

Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні та виготовленні консольних підлогових кранів, а також у виробничій практиці підприємств машинобудівного та зварювального профілю.

Ключові слова: КОНСОЛЬНИЙ КРАН, ЗВАРНА КОНСТРУКЦІЯ, РОБОТИЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНІ ОБЕРТАЧІ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Конструкція виробу та умови роботи	8
1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції	16
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу	19
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	23
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
3.1 Обґрунтування способу зварювання	33
3.2 Опис технологічного процесу	54
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	63
4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань	63
4.2 Розрахунок гвинтових притискачів складального кондуктора	66
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	69
5.1 Охорона праці	69
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	74
ВИСНОВКИ	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	80
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

Сучасний етап розвитку машинобудівного виробництва характеризується зростанням вимог до гнучкості технологічних процесів, раціональної організації вантажопідіймальних операцій та підвищення рівня механізації допоміжних робіт. Особливої актуальності набуває застосування локальних вантажопідіймальних пристроїв, які забезпечують ефективне обслуговування окремих робочих місць без залучення стаціонарних кранових систем. До таких пристроїв належать консольні підлогові крани, які широко використовуються в машинобудівних цехах, ремонтних дільницях, складських зонах і на підприємствах дрібносерійного та одиничного виробництва [1]].

Консольний підлоговий кран є вантажопідіймальною машиною періодичної дії, призначеною для піднімання та переміщення вантажів у межах обмеженої робочої зони. Його конструкція, як правило, включає вертикальну опору, консольну балку та вантажопідіймальний механізм, що дозволяє здійснювати обертання консолі в горизонтальній площині. Завдяки простоті конструкції, компактності та можливості встановлення без складних фундаментних робіт такі крани є ефективним засобом механізації вантажно-монтажних операцій на окремих технологічних ділянках.

Виробництво консольних підлогових кранів пов'язане з вирішенням комплексу інженерних завдань, що охоплюють вибір конструктивної схеми, матеріалів несучих елементів, технології виготовлення та способів з'єднання деталей. Особливу роль у цьому процесі відіграє зварювання, оскільки основні елементи крана виконуються у вигляді зварних металоконструкцій. Якість зварних з'єднань, рівень залишкових напружень і деформацій безпосередньо впливають на міцність, жорсткість та експлуатаційну надійність виробу.

Раціонально організований технологічний процес виробництва консольного підлогового крана повинен забезпечувати відповідність конструкції вимогам нормативної документації з вантажопідіймального

обладнання, мінімізацію трудомісткості та матеріаломісткості, а також стабільність геометричних параметрів готового виробу. В умовах сучасного виробництва особливої уваги потребує впровадження механізованих і автоматизованих способів зварювання, застосування спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань та ефективних методів контролю якості.[1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Конструкція виробу та умови роботи

Консольний підлоговий кран (рис.1.1 та 1.2) належить до класу локальних вантажопідіймальних машин періодичної дії, призначених для механізації вантажно-монтажних операцій у межах обмеженої робочої зони. Основною функціональною особливістю даного типу кранів є можливість обслуговування окремого робочого місця або групи суміжних технологічних позицій без залучення стаціонарних мостових чи козлових кранових систем [2-6].



Рис.1.1. Конструкція консольного підлогового крана [4]

На відміну від підвісних і пересувних кранів, консольний підлоговий кран має автономну несучу систему, яка сприймає всі експлуатаційні навантаження та передає їх безпосередньо на підлогову основу або фундамент. Така конструктивна схема забезпечує високу компактність, простоту монтажу та можливість інтеграції крана в існуючі виробничі приміщення без суттєвої перебудови інфраструктури.

Залежно від конструктивного виконання консольні підлогові крани можуть забезпечувати обертання вантажопідіймальної консолі в горизонтальній площині в межах кута від 180° до 360° , що істотно розширює функціональні можливості обладнання та підвищує ефективність виконання допоміжних операцій [5].

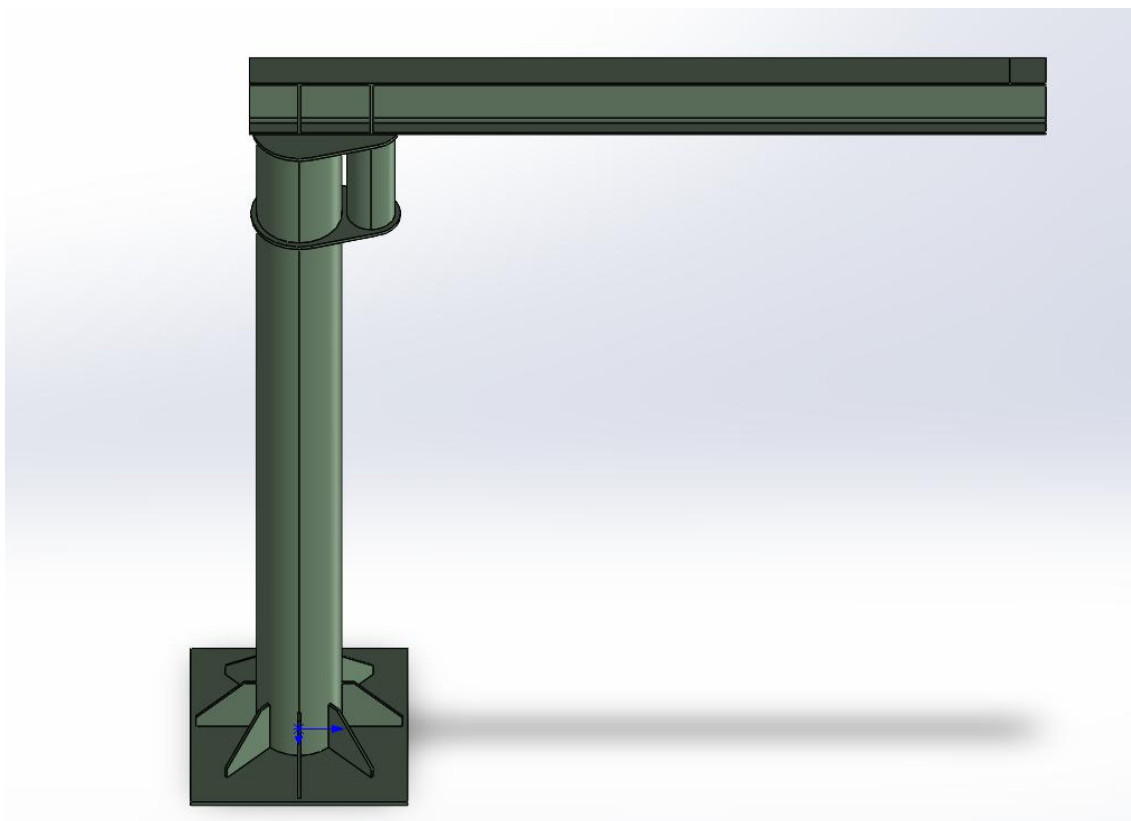


Рис. 1.2 – 3D-модель консольного підлогового крана

Конструкція консольного підлогового крана зазвичай має модульний характер і включає такі основні елементи:

- опорну колону (стояк);
- консольну балку;
- вузол обертання;
- вантажопідіймальний механізм;
- основу кріплення до підлоги або фундаменту;
- допоміжні елементи жорсткості та безпеки.

Кожен із зазначених елементів виконує визначену функцію та працює в умовах складного напруженого стану, що обумовлює необхідність їх узгодженого конструктивного та технологічного проектування.

Опорна колона є основним несучим елементом консольного підлогового крана, який сприймає вертикальні, горизонтальні та крутильні навантаження, що виникають під час піднімання та переміщення вантажу. Колона, як правило, виконується у вигляді сталевий труби круглого або багатокутного перерізу, рідше — у вигляді зварного коробчастого профілю.

Вибір типу поперечного перерізу визначається розрахунковими навантаженнями, висотою крана та вимогами до його жорсткості. Круглий переріз забезпечує рівномірний розподіл напружень і підвищену стійкість до крутіння, що є особливо важливим для кранів з повним круговим обертанням консолі.

Нижня частина колони з'єднується з опорною плитою, яка передає навантаження на підлогову основу або фундамент. З'єднання колони з плитою зазвичай виконується зварним способом із подальшим контролем якості швів, оскільки даний вузол є одним із найбільш відповідальних з погляду безпеки експлуатації.

Консольна балка призначена для безпосереднього сприйняття навантаження від вантажопідіймального механізму та вантажу. Вона працює переважно на згин у вертикальній площині, а також зазнає додаткових крутильних і динамічних навантажень.

Конструктивно консольна балка може виконуватися у вигляді:

- прокатного двотавра;
- зварного двотаврового профілю;
- коробчастого зварного перерізу.

Найбільш поширеним є застосування двотаврових балок, які забезпечують оптимальне співвідношення між масою та несучою здатністю. При цьому нижній пояс балки використовується як напрямна для переміщення вантажного візка або талі.

Довжина консолі визначає робочий радіус крана та безпосередньо впливає на величину згинального моменту в місці з'єднання балки з колоною. У зв'язку з цим особливу увагу приділяють конструкції вузла кріплення консолі, який повинен забезпечувати не лише міцність, а й достатню жорсткість для обмеження прогинів.

Вузол обертання забезпечує можливість повороту консольної балки навколо вертикальної осі колони. Залежно від вантажопідймальності та конструктивного виконання крана обертання може здійснюватися:

- вручну оператором;
- за допомогою механічного приводу;
- із використанням електромеханічного поворотного механізму.

У конструкціях малої та середньої вантажопідймальності переважно застосовується ручний поворот, який реалізується через підшипниковий вузол ковзання або кочення. Для зменшення зусилля, необхідного для повороту, використовують роликові або кулькові підшипники, а також спеціальні антифрикційні вставки.

Вузол обертання повинен забезпечувати плавність руху, мінімальний люфт і стабільність положення консолі під навантаженням. Наявність стопорних або гальмівних пристроїв дозволяє фіксувати консоль у заданому положенні під час виконання вантажних операцій.

Вантажопідймальний механізм консольного підлогового крана зазвичай виконується у вигляді ручної або електричної талі, яка переміщується вздовж консольної балки. Тип талі вибирається залежно від вантажопідймальності, інтенсивності роботи та вимог до продуктивності.

Ручні талі характеризуються простотою конструкції та високою надійністю, однак обмежують швидкість і зручність виконання операцій. Електричні талі забезпечують вищу продуктивність і зменшують фізичне навантаження на оператора, що є доцільним у разі регулярного використання крана.

Кріплення вантажопідіймального механізму до балки здійснюється за допомогою візка, який забезпечує його поздовжнє переміщення. Конструкція візка повинна гарантувати стійке положення талі та рівномірний розподіл навантаження на пояс балки.

Передавання навантажень від крана на опорну поверхню здійснюється через опорну плиту та анкерні з'єднання або фундаментний блок. Тип кріплення визначається вантажопідіймальністю крана, характеристиками підлогового покриття та умовами експлуатації.

У виробничих приміщеннях із залізобетонними перекриттями зазвичай застосовують анкерне кріплення до підлоги. При значних навантаженнях або недостатній міцності перекриття передбачають окремий фундамент, який забезпечує необхідну стійкість і запобігає перекиданню крана.

Консольний підлоговий кран експлуатується в умовах змінних статичних і динамічних навантажень, що виникають під час піднімання, опускання та переміщення вантажів. Основними чинниками, які впливають на напружений стан конструкції, є:

- маса вантажу;
- довжина вильоту консолі;
- швидкість піднімання та переміщення;
- характер пуску і гальмування механізмів;
- нерівномірність розподілу навантаження.

Додатково на конструкцію можуть впливати вібрації, температурні коливання та зношування елементів у процесі тривалої експлуатації.

Конструкція консольного підлогового крана повинна забезпечувати безпечну експлуатацію протягом усього нормативного строку служби. Це досягається шляхом дотримання вимог до міцності, жорсткості, стійкості та якості виготовлення зварних з'єднань.

Особливе значення мають:

- обмеження прогинів консольної балки;
- забезпечення стійкості колони;

- надійність вузлів з'єднання та обертання;
- справність гальмівних і стопорних пристроїв.

Дотримання регламентованих умов експлуатації та періодичний контроль технічного стану є обов'язковими умовами безпечної роботи консольного підлогового крана.

Несучі елементи консольного підлогового крана доцільно виготовляти з конструкційної низьковуглецевої сталі марки 20, яка широко застосовується у виробництві відповідальних зварних металоконструкцій вантажопідіймального призначення. Вибір зазначеного матеріалу зумовлений необхідністю забезпечення стабільної роботи конструкції в умовах тривалої дії статичних і змінних навантажень за одночасного збереження технологічної простоти виготовлення.

Хімічний склад сталі 20 характеризується пониженим вмістом вуглецю та відсутністю значної кількості легуючих елементів, що визначає її належність до добре зварюваних сталей. Наявність марганцю і кремнію в регламентованих межах сприяє формуванню дрібнозернистої феритно-перлітної структури з рівномірним фазовим розподілом. Така мікроструктура забезпечує поєднання достатньої міцності з високою пластичністю та стійкістю до крихкого руйнування.

Обмежений рівень легування знижує чутливість матеріалу до термічного циклу зварювання, зменшує ймовірність утворення загартованих або крихких структур у зоні термічного впливу та дозволяє виконувати зварні з'єднання без застосування попереднього підігріву і спеціальних післязварювальних термічних обробок. Зазначені властивості роблять сталь 20 технологічно доцільною для виготовлення консольних підлогових кранів, у конструкції яких переважають протяжні та відповідальні зварні з'єднання [7].

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

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

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 20 [8]

Показник	Позначення	Значення
Тимчасовий опір розриву, МПа	σ_B	410–550
Межа текучості, МПа	σ_T	≥ 245
Відносне подовження, %	δ_5	≥ 25
Відносне звуження, %	ψ	≥ 55
Ударна в'язкість, Дж/см ²	KCU	≥ 78
Твердість за Брінеллем	HB	131–163

Зварюваність сталі 20 визначається її здатністю формувати якісні зварні з'єднання без виникнення тріщин кристалізаційного та холодного походження в металі шва і зоні термічного впливу. Для кількісної оцінки цієї властивості використовують узагальнені критерії, що враховують хімічний склад матеріалу та його вплив на процеси кристалізації й охолодження зварної ванни.

Оцінювання схильності до утворення гарячих тріщин здійснюється за допомогою критерію HCS, який відображає сумарний вплив вуглецю, шкідливих домішок і легуючих елементів на кристалізаційну міцність металу шва. Для сталі 20 значення зазначеного показника визначається за залежністю [7]:

$$HCS = \frac{C(S + P + 0,04Si)}{3Mn + Cr} \quad (1.1)$$

При підстановці граничних значень елементного складу отримано:

$$HCS = \frac{0,24(0,04 + 0,04 + 0,04 \cdot 0,37)}{3 \cdot 0,35 + 0,25} = 0,0175$$

Низьке значення критерію HCS свідчить про відсутність схильності сталі 20 до гарячого тріщиноутворення. Імовірність появи таких дефектів може зростати лише за умови перевищення допустимого вмісту сірки та фосфору, що в промисловій практиці контролюється шляхом перевірки сертифікатів на металопрокат.

Ймовірність формування холодних тріщин оцінюється на основі еквівалентного вмісту вуглецю, який характеризує загартовуваність сталі та її чутливість до термічного циклу зварювання. Для несприятливого поєднання легуючих елементів еквівалентний вуглець визначається за формулою [7]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{15} \quad (1.2)$$

За максимальних значень складу сталі 20:

$$C_{\text{екв}} = 0,24 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,15}{5} + \frac{0,25}{15} = 0,395$$

Оскільки отримане значення $C_{\text{екв}}$ не перевищує граничного рівня 0,40, сталь 20 належить до групи матеріалів, не схильних до утворення холодних тріщин. Це дозволяє виконувати зварювання без попереднього підігріву за умови дотримання раціональних режимів і використання зварювальних матеріалів з контрольованим вмістом водню.

За сукупністю наведених показників сталь 20 класифікується як легкозварюваний конструкційний матеріал, що є принципово важливим для виготовлення вантажопідіймальних металоконструкцій із великою кількістю відповідальних зварних з'єднань, зокрема консольних і портативних козлових кранів.

Під час зварювання низьковуглецевих сталей одним із найпоширеніших дефектів є газова пористість зварного шва. Її виникнення пов'язане з надходженням газів у зварювальну ванну, зокрема:

- азоту — за недостатнього екранування дуги захисним газом;
- водню — з вологи повітря, зварювальних матеріалів або поверхневих забруднень;
- оксиду вуглецю — внаслідок окислювальних реакцій у зоні дуги.

Запобігання пористості забезпечується поєднанням металургійних і технологічних заходів, серед яких ключовими є ретельна підготовка поверхонь, сушіння та прокалювання зварювальних матеріалів, а також стабільний газовий захист зварювальної ванни.

Кристалізаційні тріщини можуть утворюватися внаслідок появи легкоплавких евтектичних фаз типу FeS. Зниження цього ризику досягається легуванням металу шва марганцем, який зв'язує сірку в сульфід марганцю (MnS) з вищою температурою плавлення, що підвищує кристалізаційну міцність металу шва.

При зварюванні елементів консольних і козлових кранів особливо важливо уникати надмірно глибокого та вузького проплавлення, оскільки така геометрія зварної ванни сприяє локальній концентрації напружень і створює умови для тріщиноутворення під час охолодження.

Механічні властивості зварних з'єднань сталі 20 визначаються структурою металу шва та зони термічного впливу, яка формується залежно від хімічного складу присадного матеріалу, величини тепловкладення та швидкості охолодження. Характерним є певне зменшення вмісту вуглецю в металі шва порівняно з основним металом, що може призводити до зниження міцності.

Компенсація цього ефекту досягається вибором зварювальних матеріалів, легованих марганцем і кремнієм, а також оптимізацією теплового режиму зварювання. При цьому надмірне охолодження є небажаним, оскільки воно може знизити пластичність і ударну в'язкість з'єднання, що є критичним для вантажопідіймальних конструкцій.

1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

Виготовлення конструкції консольного підлогового крана повинно здійснюватися відповідно до робочих креслень, технологічної документації та чинних нормативних документів у галузі машинобудування, зварювання і вантажопідіймального обладнання. Конструктивні та технологічні рішення мають забезпечувати працездатність, міцність, жорсткість і стійкість металоконструкції за дії розрахункових статичних і динамічних навантажень, а також безпечну експлуатацію крана протягом усього нормативного строку служби.

У разі внесення змін до конструкції або технології виготовлення необхідно виконувати додаткові розрахунки та підтверджувати відповідність змінених рішень вимогам міцності й безпеки [3].

Для виготовлення несучих і допоміжних елементів консольного підлогового крана застосовується конструкційна низьковуглецева сталь марки 20 або інші матеріали з еквівалентними механічними та зварювальними

властивостями. Матеріал повинен мати сертифікат якості та відповідати вимогам стандартів щодо хімічного складу, механічних характеристик і внутрішньої чистоти металу.

Металопрокат не допускається до використання за наявності:

- тріщин, розшарувань або підповерхневих дефектів;
- залишкових напружень, що викликають помітні викривлення;
- корозійних пошкоджень, які зменшують розрахунковий переріз.

Зварювальні матеріали (дріт, електроди, флюси, захисні гази) повинні бути сумісними з основним металом і забезпечувати отримання зварних з'єднань з міцністю не нижчою за міцність основного матеріалу [9-10].

Розкрій і різання заготовок для елементів крана допускається виконувати механічними або термічними способами, які забезпечують необхідну точність геометричних розмірів і якість крайок. Після термічного різання крайки повинні бути очищені від окалини, шлаку та напливів.

Глибина зони термічного впливу на крайках, призначених для зварювання, повинна бути видалена механічною обробкою не менше ніж на 1,5–2,0 мм. Нерівності крайок висотою понад 1 мм не допускаються та мають бути усунуті до початку складання.

Граничні відхилення лінійних розмірів заготовок повинні відповідати прийнятому класу точності та не перевищувати значень, установлених робочими кресленнями.

Складання консольного підлогового крана необхідно виконувати з використанням складально-зварювальних пристосувань або кондукторів, які забезпечують точне базування елементів, дотримання взаємного розташування осей та мінімізацію зварювальних деформацій.

Перед складанням поверхні деталей у зоні зварювання мають бути очищені від мастил, іржі, фарби, вологи та інших забруднень на ширину не менше 20 мм від лінії шва. Зазори між зварюваними елементами повинні відповідати технологічним вимогам для обраного способу зварювання.

Тимчасова фіксація деталей здійснюється прихватками, довжина і кількість яких мають забезпечувати стабільність положення елементів без створення локальних концентрацій напружень.

Зварювання конструкції консольного підлогового крана повинно виконуватися відповідно до затвердженого технологічного процесу з урахуванням послідовності накладання швів, спрямованої на зменшення залишкових напружень і деформацій. Перевагу слід надавати механізованим і автоматизованим способам зварювання [9].

Зварні з'єднання повинні бути суцільними, без:

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

Геометричні параметри зварних швів (катет, підсилення, ширина) мають відповідати вимогам креслень і технологічної документації.

У разі виникнення зварювальних деформацій допускається виконання правки механічним або термічним способом за умови, що такі операції не призводять до утворення тріщин і не знижують міцність металу.

Необхідність післязварювальної термічної обробки визначається конструктивними особливостями елементів і умовами експлуатації крана. Для сталі 20 в більшості випадків допускається експлуатація без термічної обробки за умови дотримання раціональних режимів зварювання.

Контроль якості виготовлення конструкції консольного підлогового крана повинен здійснюватися на всіх стадіях виробництва та включати:

- вхідний контроль матеріалів і зварювальних матеріалів;
- візуальний і вимірювальний контроль зварних з'єднань;
- перевірку геометричних параметрів конструкції;
- за потреби — застосування неруйнівних методів контролю.

Елементи, що не відповідають установленим вимогам, підлягають виправленню або бракуванню.

Готова конструкція консольного підлогового крана повинна забезпечувати стійкість і працездатність за дії номінальних і випробувальних навантажень. Усі поверхні металоконструкції мають бути очищені та захищені антикорозійним покриттям.

Кран повинен бути укомплектований паспортом і маркуванням із зазначенням вантажопідймальності, дати виготовлення та ідентифікаційних даних. Конструкція має унеможливлювати перекидання або втрату стійкості під час експлуатації.

1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

Існуючий технологічний процес виготовлення консольного підлогового крана ґрунтується на традиційних підходах до виробництва зварних вантажопідймальних металоконструкцій і, як правило, реалізується в умовах дрібносерійного або одиничного виробництва. Основною метою такого процесу є отримання працездатної конструкції з дотриманням вимог міцності, жорсткості та безпеки за мінімальних капіталовкладень у спеціалізоване обладнання.

Типовий процес включає послідовне виконання заготівельних, складально-зварювальних, правочних, контрольних та оздоблювальних операцій. При цьому технологічні рішення значною мірою залежать від наявного виробничого обладнання, кваліфікації персоналу та рівня механізації зварювальних робіт.

На заготівельному етапі виконують розкрій металопрокату для виготовлення основних елементів конструкції: опорної колони, консольної балки, опорної плити та допоміжних елементів жорсткості. Різання заготовок у більшості випадків здійснюється термічними методами (газове або плазмове різання), що забезпечує достатню продуктивність, але супроводжується утворенням зони термічного впливу та нерівностей крайок.

Підготовка крайок під зварювання часто виконується вручну шляхом шліфування або механічної обробки, що призводить до варіативності геометрії з'єднань і залежності якості від людського чинника.

Складання конструкції консольного підлогового крана зазвичай виконується на універсальних стендах або безпосередньо на підлозі цеху з використанням простих пристосувань. Фіксація елементів здійснюється прихватками, після чого виконується основне зварювання.

Зварювальні роботи переважно проводяться ручним дуговим або напівавтоматичним зварюванням у захисних газах. Вибір ручного способу зумовлений його універсальністю та низькими вимогами до спеціалізованого обладнання.

Після завершення зварювальних робіт проводиться перевірка геометричних параметрів конструкції, зокрема вертикальності опорної колони, прямолінійності консольної балки та відповідності взаємного розташування елементів кресленням. У разі виявлення відхилень застосовують механічну або термічну правку.

Правка, як правило, виконується після завершення основного зварювання, що пов'язано з додатковими витратами часу та енергії.

Контроль якості в існуючому технологічному процесі обмежується, як правило, візуальним і вимірювальним контролем зварних швів. Неруйнівні методи контролю (ультразвуковий, магнітопорошковий) застосовуються вибірково або лише для найбільш відповідальних з'єднань.

Такий підхід дозволяє виявити лише поверхневі дефекти і не завжди забезпечує достовірну оцінку внутрішньої якості шва.

Завершальним етапом є очищення поверхонь, нанесення антикорозійного покриття та маркування готової конструкції. Ці операції, як правило, виконуються вручну з використанням стандартних лакофарбових матеріалів.

Основними недоліками існуючої технології є:

1. Існуючі методи заготівлі забезпечують прийнятну точність лише за умови додаткової обробки крайок. Відсутність автоматизованих систем різання та

фаскознімання підвищує трудомісткість процесу й створює передумови для нестабільної якості зварних з'єднань.

2. Ручне та напівавтоматичне зварювання в умовах відсутності жорстких складальних пристосувань призводить до нерівномірного тепловкладення, значних залишкових напружень і зварювальних деформацій. Якість зварних швів істотно залежить від кваліфікації зварника, що знижує відтворюваність результатів і ускладнює серійне виготовлення конструкцій.

3. Застосування правки як коригувальної операції свідчить про недостатню ефективність попередніх етапів складання і зварювання. Термічна правка може негативно впливати на структурний стан металу та сприяти виникненню локальних зон з підвищеного напруження.

4. Обмежений обсяг контролю знижує рівень гарантії надійності конструкції та не відповідає сучасним вимогам до виготовлення вантажопідіймального обладнання, особливо в частині прогнозування ресурсу та безпеки експлуатації.

5. Ручне нанесення покриттів не забезпечує стабільної товщини захисного шару та може знижувати довговічність конструкції в умовах підвищеної вологості або агресивного середовища.

Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення консольного підлогового крана показує, що він характеризується:

- високою трудомісткістю складально-зварювальних операцій;
- значною залежністю якості від кваліфікації персоналу;
- недостатнім рівнем механізації та автоматизації;
- підвищеними зварювальними деформаціями та потребою в правці;
- обмеженими можливостями контролю якості зварних з'єднань.

Разом з тим, перевагою існуючого процесу є його технологічна гнучкість і можливість реалізації в умовах обмежених виробничих ресурсів.

Результати аналізу свідчать про доцільність удосконалення технологічного процесу виготовлення консольного підлогового крана шляхом:

– впровадження спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань;

- розширення застосування механізованого та роботизованого зварювання;
- оптимізації послідовності зварювальних операцій;
- підвищення рівня неруйнівного контролю;
- зменшення частки коригувальних операцій після зварювання.

Реалізація зазначених заходів дозволить підвищити якість зварних з'єднань, знизити трудомісткість виготовлення та забезпечити стабільні експлуатаційні характеристики консольного підлогового крана.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Для оцінювання міцності, жорсткості та працездатності конструкції консольного підлогового крана виконано чисельний аналіз напружено-деформівного стану методом скінченних елементів у програмному середовищі SolidWorks Simulation. Розрахунок проведено в статичній постановці з урахуванням геометричних особливостей конструкції, фізико-механічних властивостей матеріалу та прикладених експлуатаційних навантажень [11-14].

Розрахункова модель представлена суцільним твердотілим об'єктом, який відображає реальну геометрію консольного підлогового крана без спрощення основних несучих елементів. Загальна маса моделі становить 677,7 кг, що відповідає реальній масі металоконструкції. Матеріал моделі задано як ізотропний лінійно-пружний з граничною межею текучості 245 МПа та модулем пружності $2,05 \cdot 10^{11}$ Н/м², що відповідає конструкційній сталі.

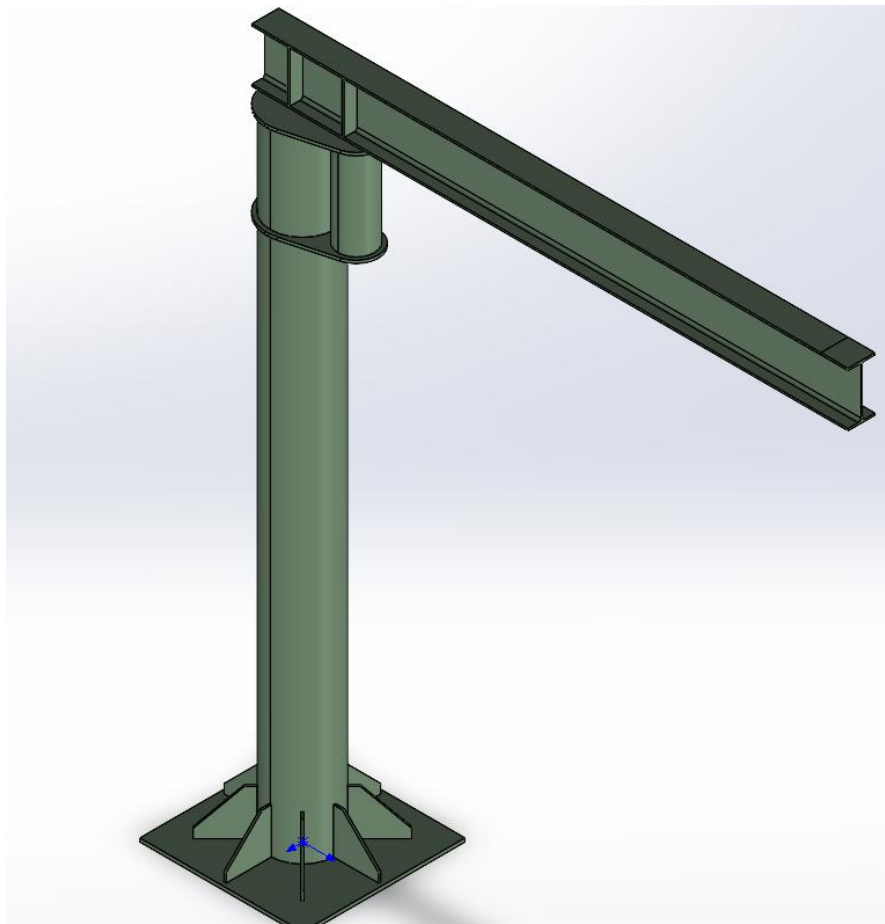


Рис. 2.1 – 3D модель конструкції портативного козлового крана

Для моделювання використано об'ємну скінченно-елементну сітку високої якості, сформовану за криволінійно-адаптивним алгоритмом. Загальна кількість вузлів перевищує 73 тис., а кількість скінченних елементів — 37 тис., що забезпечує достатню точність чисельного аналізу та коректний опис локальних концентрацій напружень.

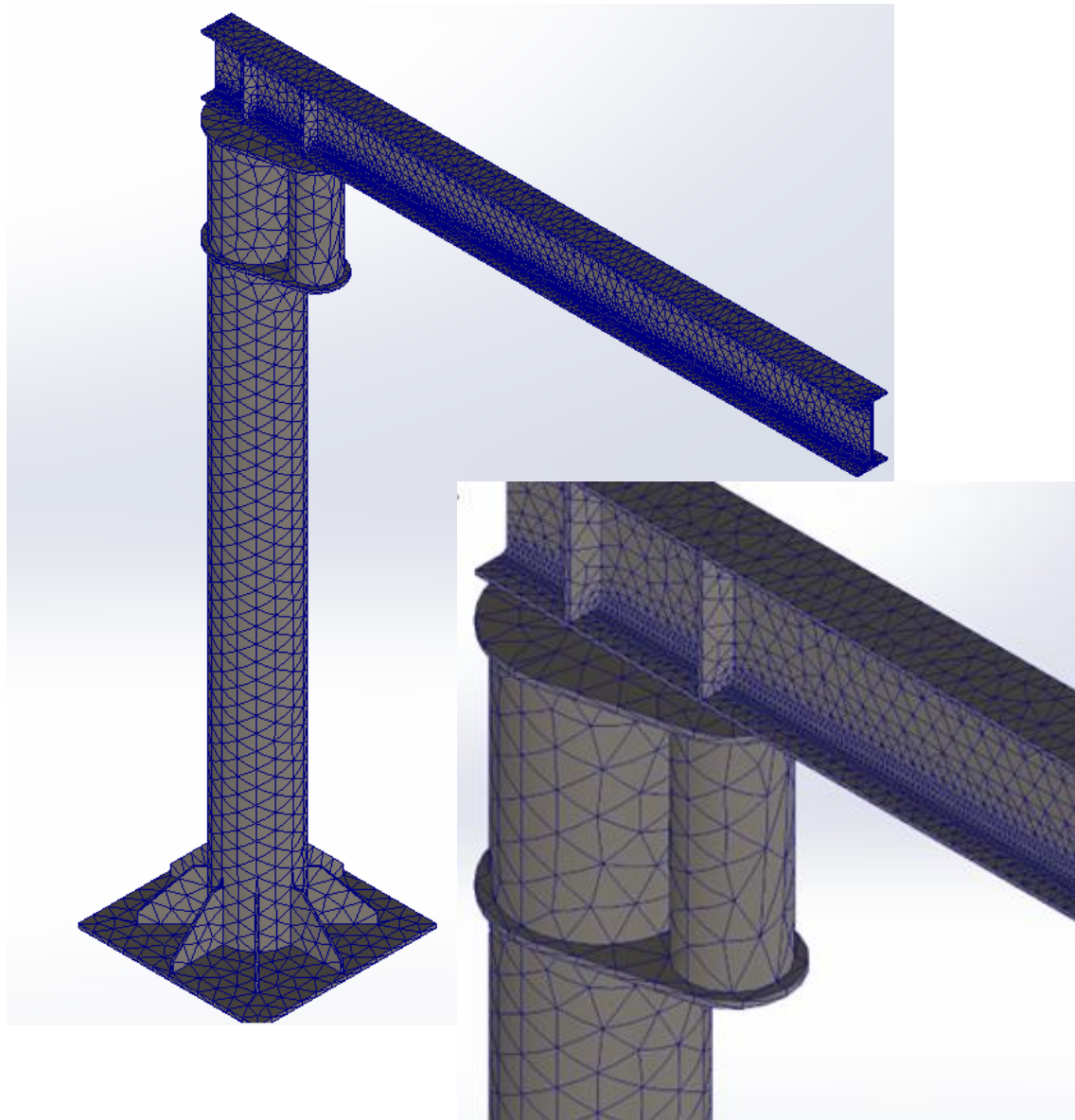


Рис. 2.2 – Скінченно-елементна дискретизація геометричної моделі консольного підлогового крана

Закріплення конструкції реалізовано шляхом повної фіксації опорної поверхні, що моделює жорстке закріплення колони крана до підлогової основи або фундаменту. Таке закріплення виключає можливість переміщень і

обертань у зоні опори та відповідає реальним умовам експлуатації підлогових кранів.

Навантаження задано у вигляді зосередженої сили величиною 10 000 Н, прикладеної до консольної частини конструкції. Це навантаження імітує дію вантажу разом із динамічними складовими, які прийнято враховувати шляхом коефіцієнтів запасу під час статичного аналізу.

Сумарні реакції опор підтверджують коректність постановки задачі, оскільки результуюча реакційна сила практично дорівнює прикладеному навантаженню, що свідчить про статичну рівновагу системи.

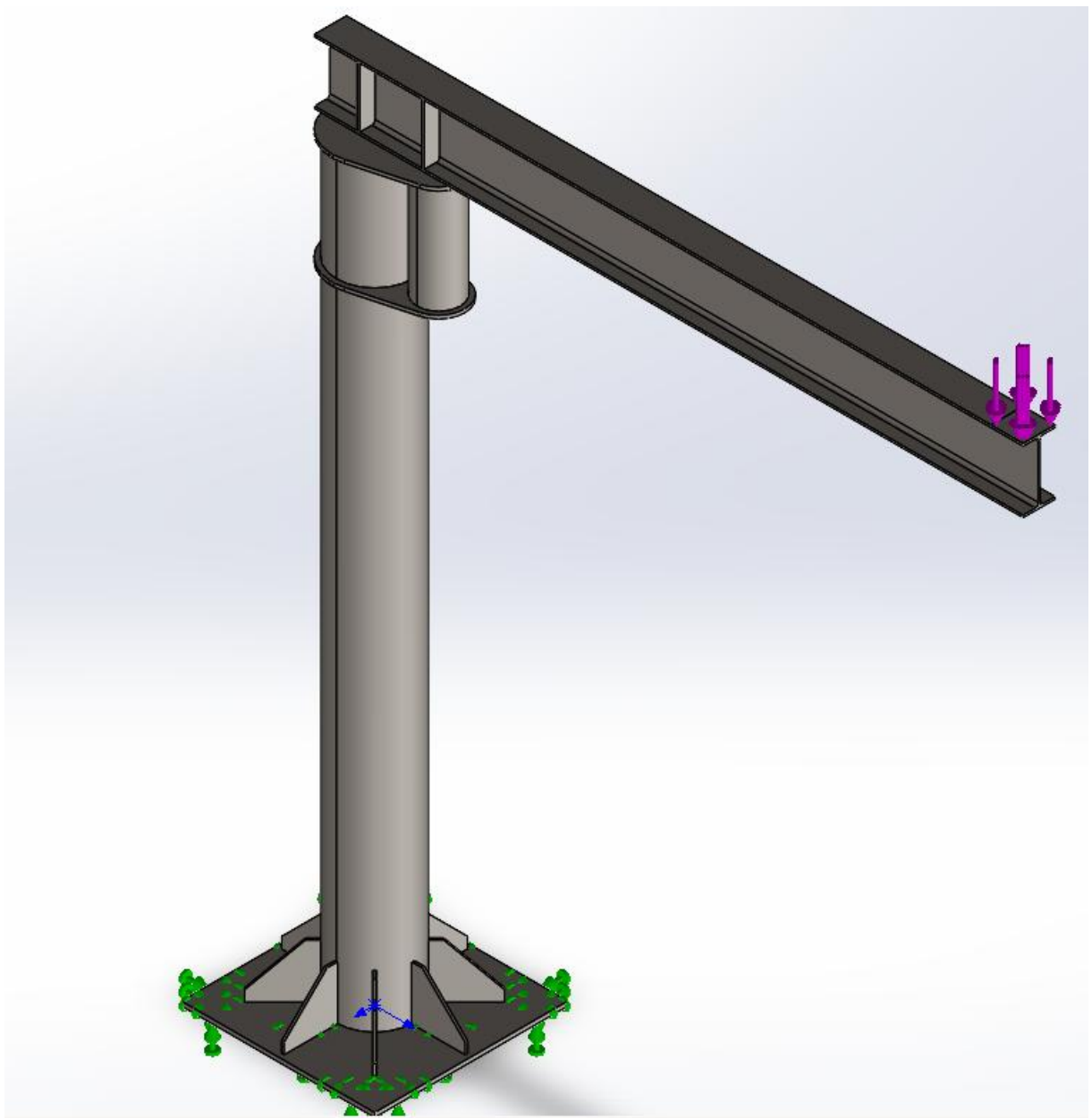


Рис. 2.3 – Розрахункова схема задання граничних умов і прикладення навантаження до чисельної моделі

Результати розрахунку еквівалентних напружень за критерієм Мізеса показали, що максимальні напруження в конструкції досягають значення 141,3 МПа. Локалізація максимальних напружень спостерігається в зоні з'єднання консольної балки з опорною колоною, що є характерним для конструкцій консольного типу та зумовлено значними згинальними моментами в цій області.

В інших елементах конструкції рівень напружень істотно нижчий, що свідчить про рівномірний розподіл навантаження та відсутність перевантажених ділянок поза зоною концентрації. Отримані значення напружень є значно меншими за межу текучості матеріалу, що підтверджує роботу конструкції в межах пружної деформації.

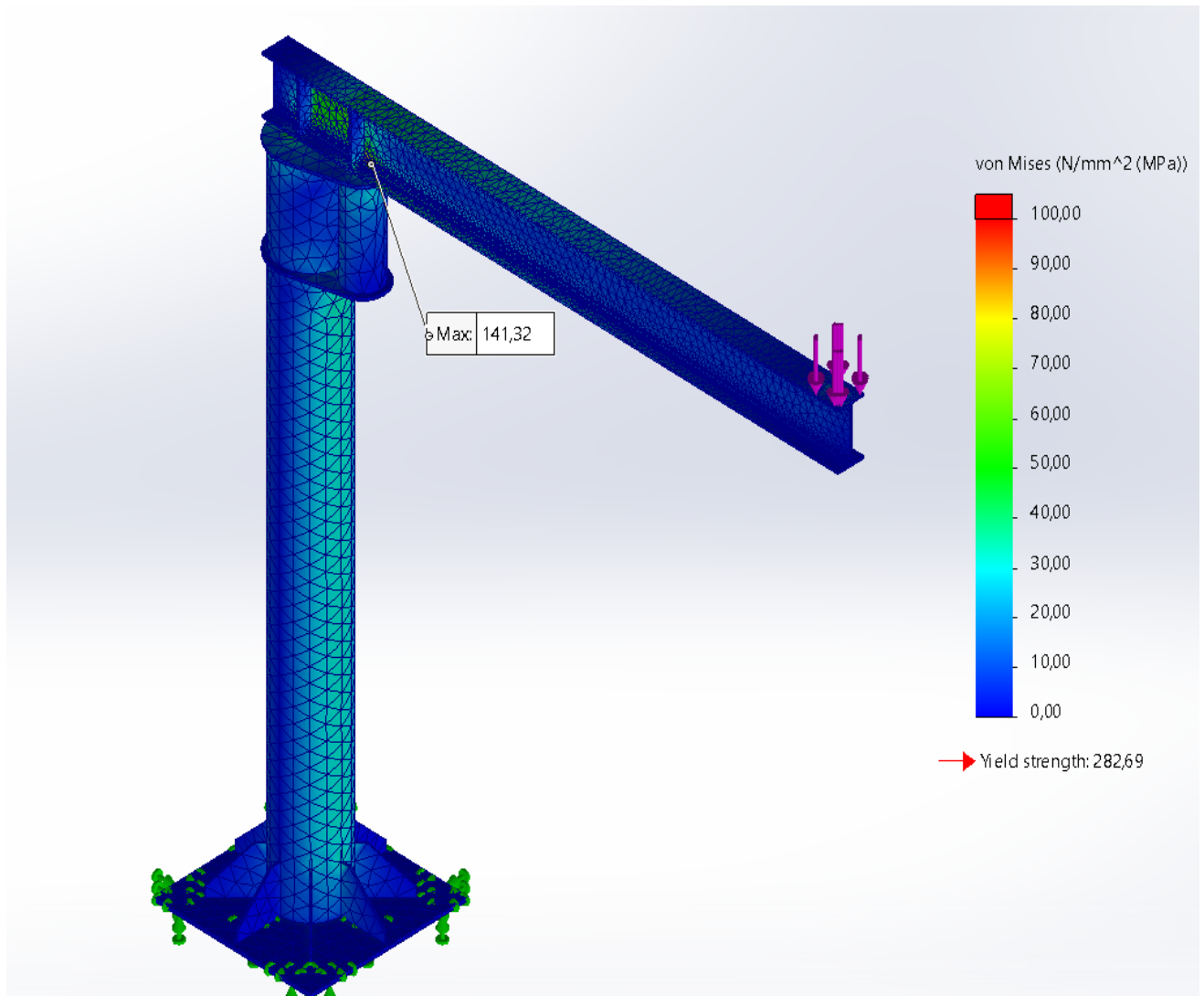


Рис. 2. 4 – Поле розподілу еквівалентних напружень за критерієм Мізеса в елементах конструкції консольного підлогового крана

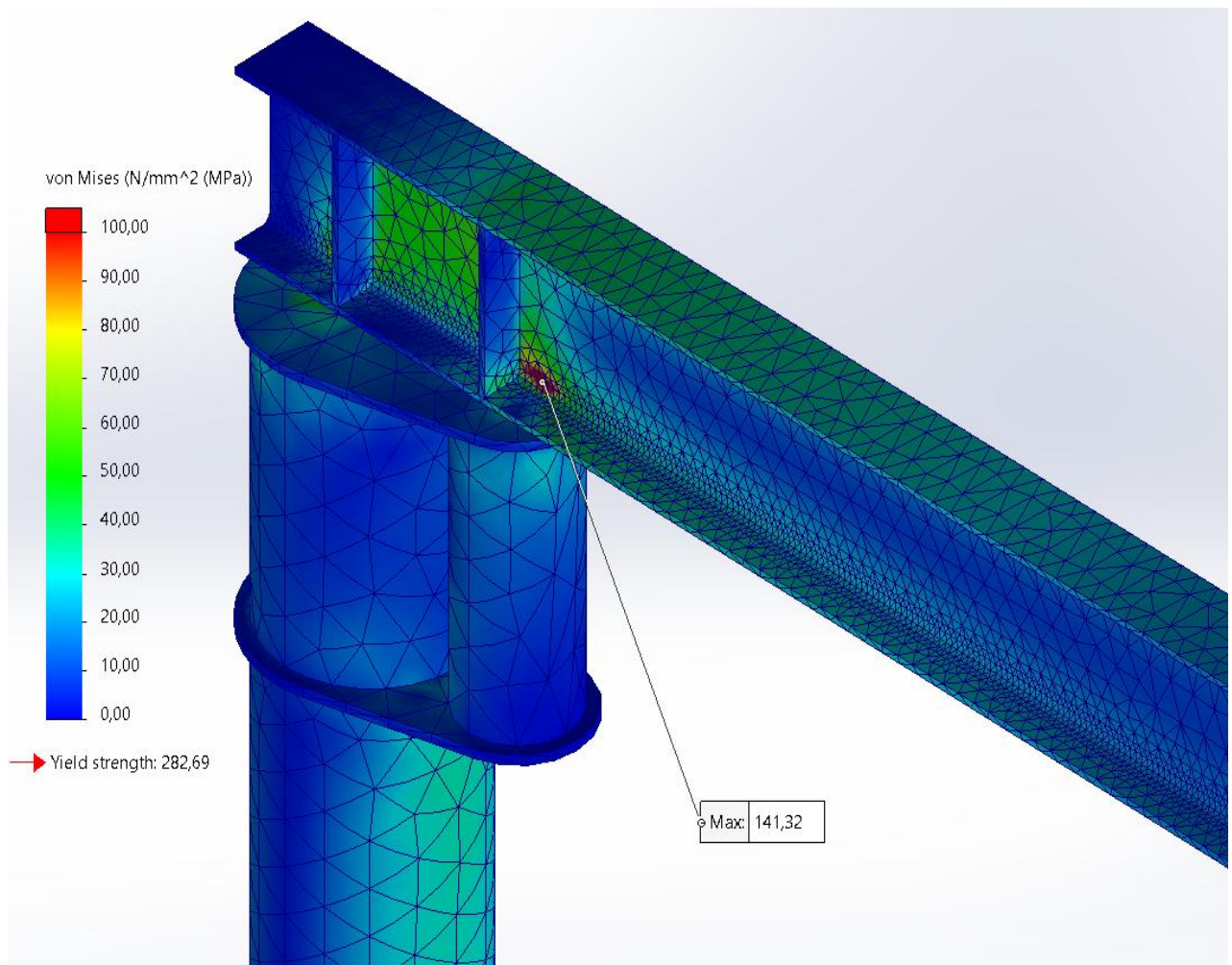


Рис. 2.5 - Область концентрації максимальних еквівалентних напружень у розрахунковій моделі

Максимальні результуючі переміщення конструкції становлять 17,45 мм і спостерігаються на вільному кінці консольної балки. Така картина переміщень є типовою для консольних систем і обумовлена згинальною роботою балки під дією вертикального навантаження.

Зона закріплення характеризується нульовими переміщеннями, що підтверджує коректність задання граничних умов. Значення переміщень не перевищують допустимі рівні для вантажопідіймального обладнання даного типу та не призводять до втрати функціональності або порушення умов безпечної експлуатації.

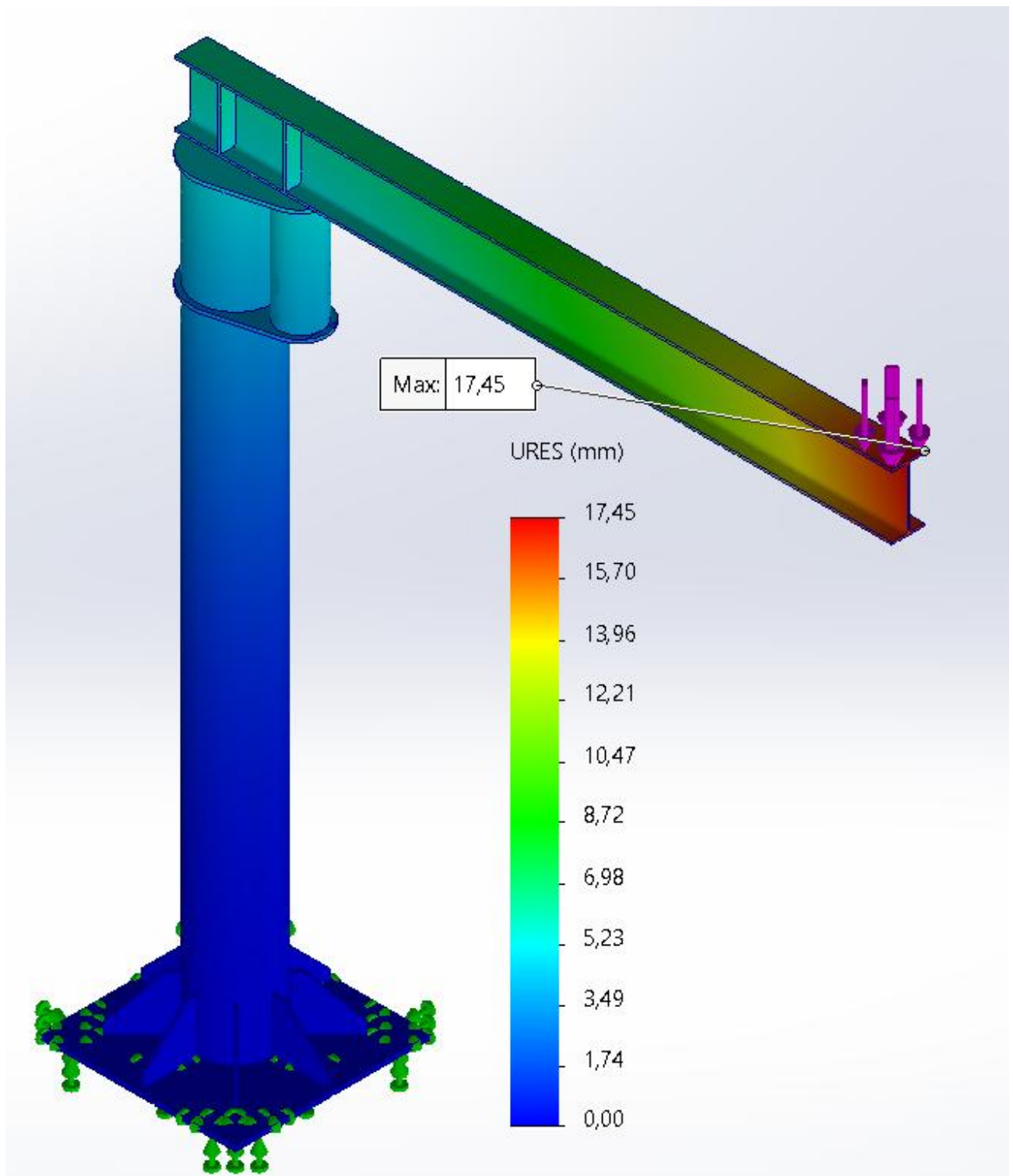


Рис. 2.6 – Поле результируючих переміщень елементів конструкції консольного підлогового крана

Еквівалентні деформації досягають максимального значення $5,3 \cdot 10^{-4}$ і зосереджуються в тих самих зонах, що й максимальні напруження. Це свідчить

про узгодженість результатів напруженого та деформованого станів і відсутність локальних аномалій у поведінці матеріалу.

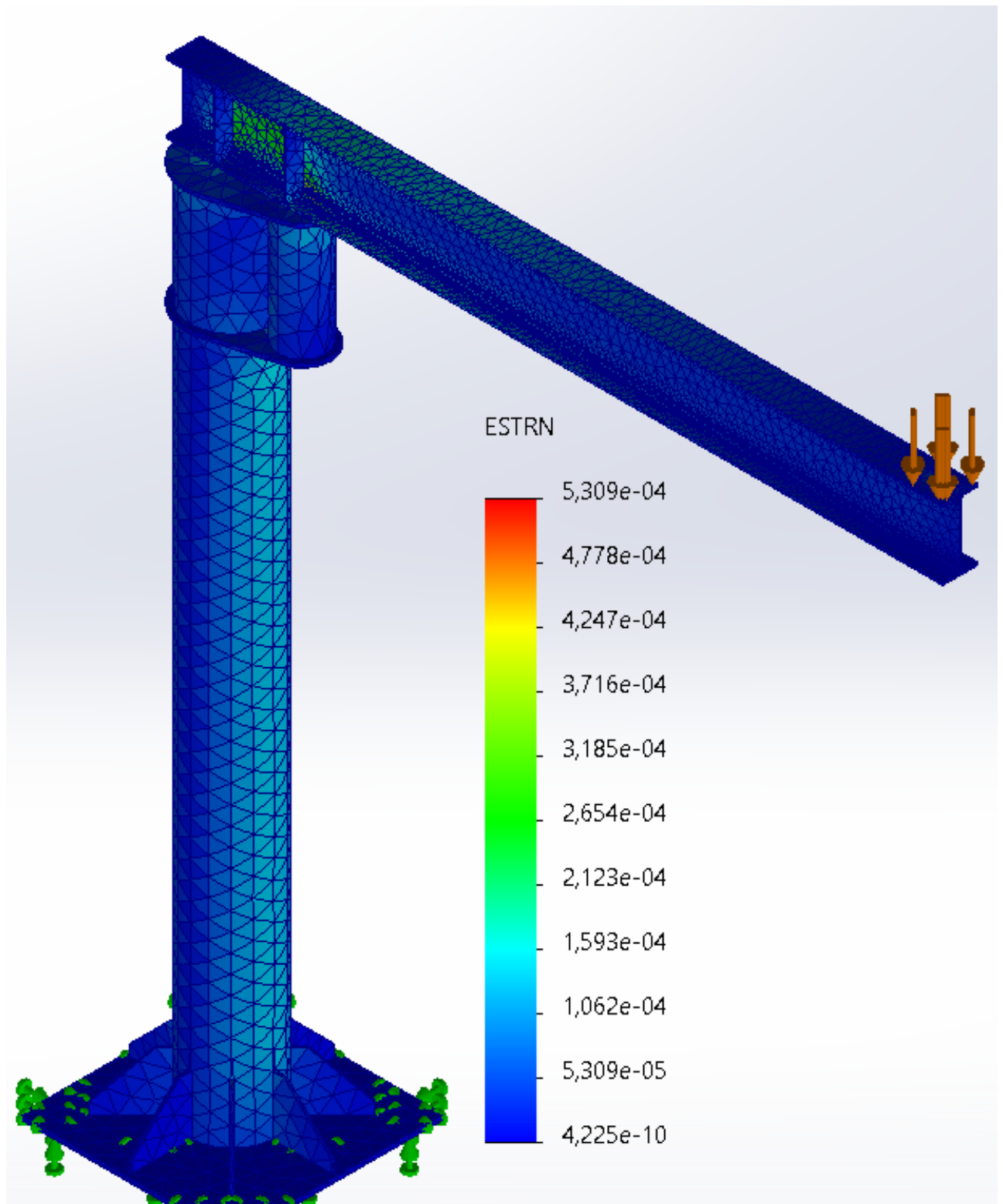


Рис. 2.7 - Поле еквівалентних деформацій у розрахунковій моделі консольного підлогового крана

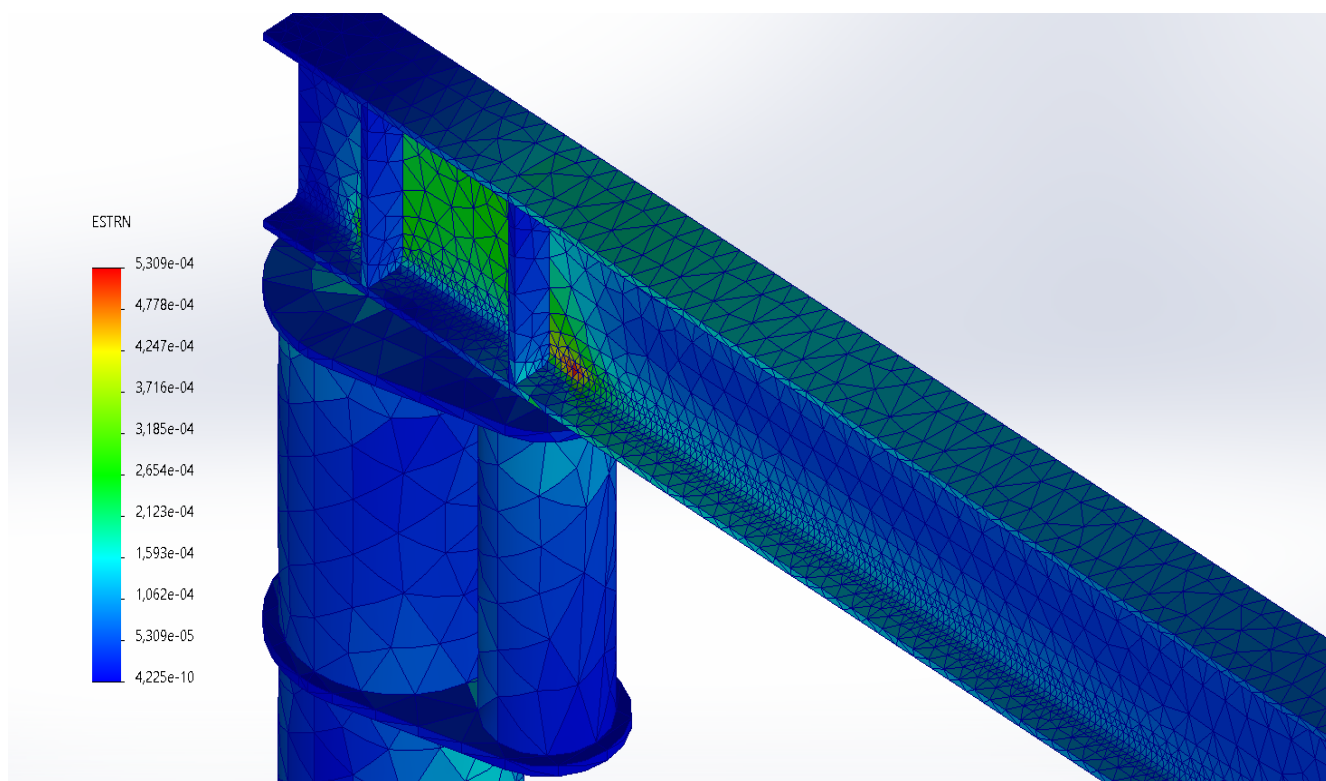


Рис. 2.8 - Область локалізації максимальних еквівалентних деформацій у елементах розрахункової моделі

Розрахунок коефіцієнта запасу міцності показав, що мінімальне його значення в конструкції дорівнює 2,0 та відповідає зоні максимальних напружень. Такий запас міцності є достатнім для вантажопідіймальних металоконструкцій, що працюють у режимі повторюваних навантажень, і відповідає вимогам безпечної експлуатації.

У менш навантажених ділянках конструкції коефіцієнт запасу міцності значно перевищує мінімальне значення, що вказує на наявність конструктивного резерву та потенціал для подальшої оптимізації маси або геометрії окремих елементів.

Аналіз результатів чисельного моделювання показує, що конструкція консольного підлогового крана має раціональний розподіл напружень і деформацій, а найбільш відповідальною є зона з'єднання консолі з опорною колоною. Це визначає підвищені вимоги до якості зварних з'єднань у цій області та до вибору технологічних режимів зварювання.

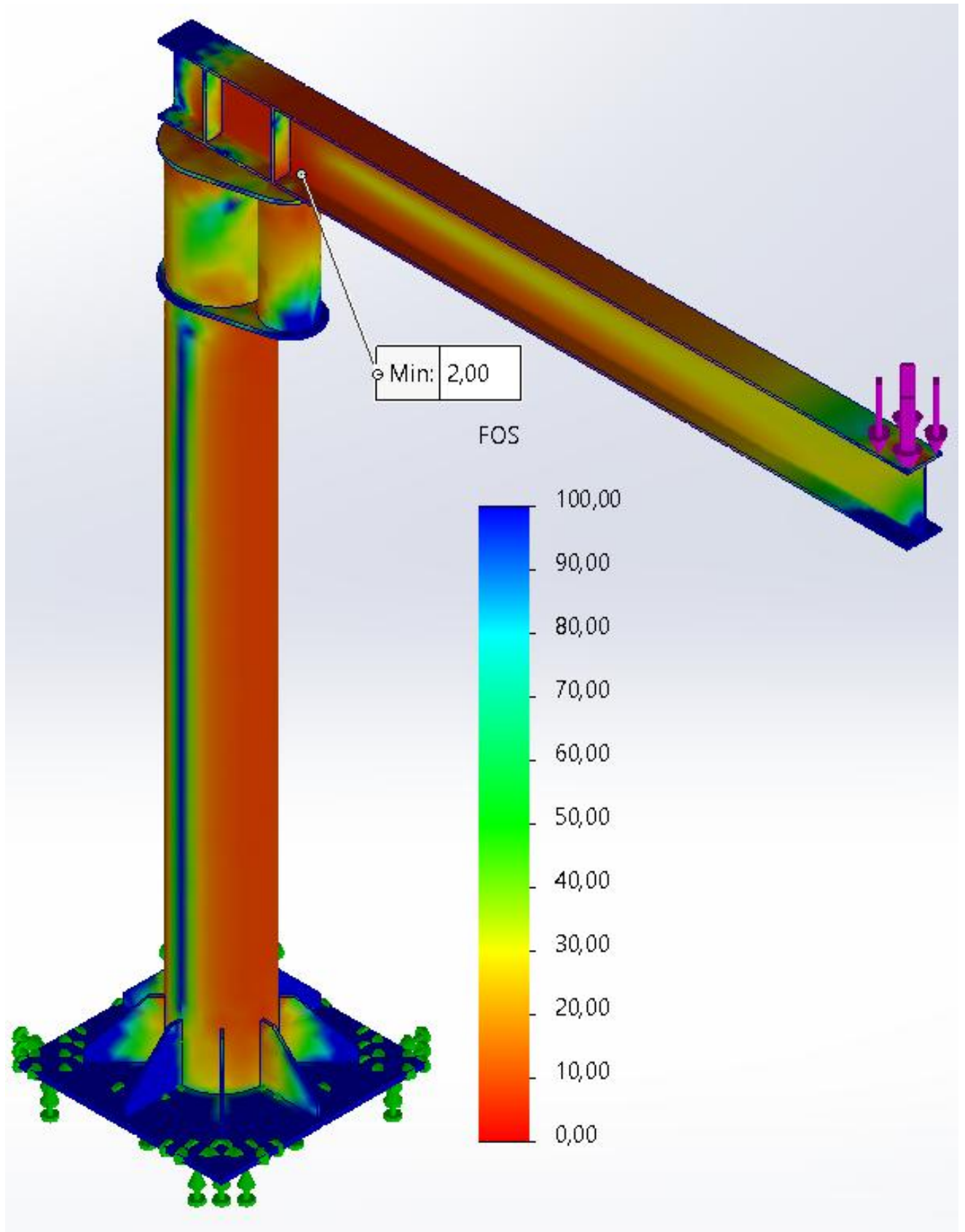


Рис. 2.10 - Карта коефіцієнта запасу міцності

Відсутність зон, у яких напруження перевищують допустимі значення, а також помірні величини переміщень свідчать про достатню жорсткість конструкції та її здатність працювати в умовах номінального навантаження без виникнення небезпечних деформацій.

Результати моделювання напружено-деформівного стану консольного підлогового крана показали, що конструкція відповідає вимогам міцності, жорсткості та експлуатаційної надійності. Робота елементів відбувається в пружній області деформування, а наявний запас міцності забезпечує безпечну експлуатацію крана за дії розрахункових навантажень.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування способу зварювання

Висока зварюваність сталі 20 зумовлює можливість отримання зварних з'єднань, які за рівнем міцності не поступаються основному металу, а також забезпечує мінімальну ймовірність виникнення дефектів під час зварювання. Разом із тим метал зварного шва, як правило, характеризується дещо зниженим вмістом вуглецю та підвищеною концентрацією кремнію й марганцю, що пов'язано з особливостями складу зварювальних матеріалів. Такі зміни хімічного складу можуть впливати на опірність металу шва кристалізаційному тріщиноутворенню. Однак за умови раціонального вибору зварювальних матеріалів і дотримання оптимальних режимів процесу сталі 20 зварюється без технологічних обмежень усіма основними способами дугового зварювання [15-17].

Зварні з'єднання опорної колони консольного підлогового крана відзначаються відносною простотою геометрії та доброю доступністю для виконання зварювальних робіт. Це створює передумови для застосування різних способів зварювання, зокрема ручного дугового зварювання покритими електродами, механізованого зварювання у середовищі захисних газів, а також автоматичного зварювання під флюсом.

Для обґрунтованого вибору раціонального способу зварювання типових з'єднань колони доцільно виконати аналіз переваг і недоліків зазначених технологій з урахуванням конструктивних особливостей елементів, умов виконання робіт і вимог до якості зварних швів [16-17].

Сутність процесу ручного дугового зварювання полягає в утворенні та підтриманні електричної дуги між металевим електродом і поверхнею основного металу при підведенні зварювального струму постійної або змінної полярності. Теплова енергія дуги спричиняє плавлення стрижня електрода, його покриття та кромки зварюваних деталей з утворенням зварювальної ванни.

Перенесення розплавленого металу електрода в зварювальну ванну відбувається у вигляді крапель через дуговий проміжок. Покриття електрода в процесі плавлення утворює газову оболонку, яка захищає зону дуги та розплавлений метал від впливу атмосферного повітря, а також формує шлакову ванну. У міру переміщення дуги розплавлений метал кристалізується, утворюючи зварний шов, поверхня якого після охолодження покривається шлаковою кіркою (рис. 3.1)

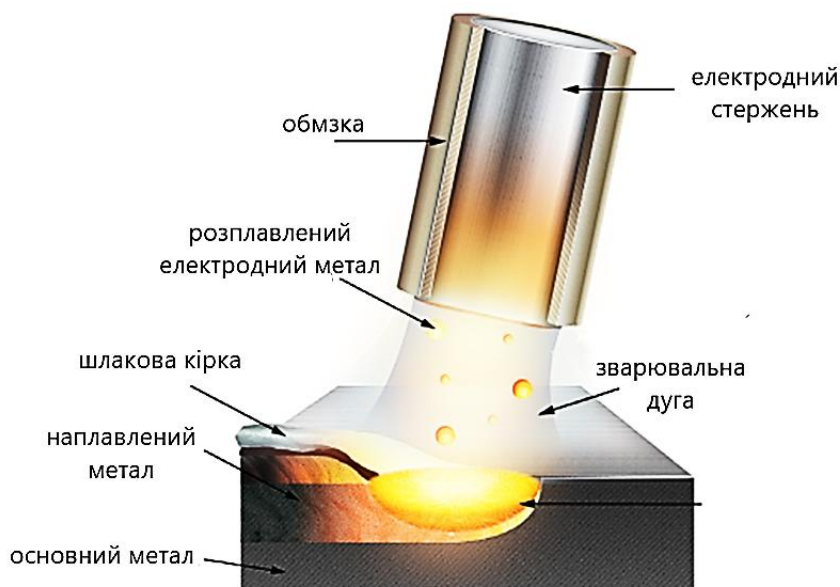


Рис. 3.1 Процес РДЗ

Переваги та обмеження ручного дугового зварювання зумовлені специфікою реалізації процесу та рівнем механізації зварювальних операцій.

До основних переваг способу належать:

- 1) можливість виконання зварювання у всіх просторових положеннях без додаткових пристосувань;
- 2) ефективність застосування в умовах обмеженого доступу до зони зварювання;
- 3) універсальність щодо зварювання різних марок сталей, що забезпечується широким асортиментом покритих електродів;
- 4) простота обладнання та висока мобільність зварювального поста, що полегшує його переміщення в межах виробничої ділянки.

Водночас даний спосіб має низку недоліків. Ручне дугове зварювання характеризується значним фізичним навантаженням на зварника та порівняно низькою продуктивністю, що обумовлено ручним керуванням процесом і необхідністю частих допоміжних операцій. У зв'язку з цим під час виготовлення опорної колони консольного підлогового крана доцільно обмежувати застосування цього способу виконанням складальних і прихваточних операцій. Для формування основних, особливо протяжних, зварних швів його використання є технологічно недоцільним з огляду на підвищену трудомісткість і знижену ефективність процесу.

Автоматичне дугове зварювання під флюсом належить до високопродуктивних способів зварювання, у яких захист розплавленого металу від впливу атмосферного середовища забезпечується шаром гранульованого флюсу. У процесі зварювання до зони з'єднання безперервно подається електродний дріт, а флюс подається окремо та рівномірно покриває ділянку формування шва. Електрична дуга горить під шаром флюсу між кінцем електродного дроту та основним металом у замкненому газовому об'ємі, утвореному парами присадного й основного металів, а також продуктами термічного розкладу компонентів флюсу.

Розплавлений флюс утворює навколо дуги захисну оболонку та формує рідку шлакову фазу, яка вкриває поверхню зварювальної ванни. Такий механізм забезпечує ефективну ізоляцію розплавленого металу від кисню й азоту повітря, що істотно знижує окиснення та газонасичення металу шва. Після завершення процесу та охолодження шлакова кірка легко відділяється від наплавленого металу, а невикористаний флюс за допомогою спеціальних флюсовідсмоктувальних пристроїв повертається в бункер для повторного використання [16].

Просторове положення електрода і виробу під час зварювання під флюсом суттєво впливає на форму та геометричні параметри зварного шва, аналогічно до ручного дугового зварювання. Зважаючи на високу рідинотекучість розплавленого флюсу, застосування цього способу можливе переважно в нижньому положенні. Допускається незначний нахил

зварюваного виробу, як правило, не більше $10\text{--}15^\circ$, що дозволяє запобігти витіканню флюсу із зони зварювання [16].

До основних технологічних переваг автоматичного зварювання під флюсом належать:

1) істотне підвищення продуктивності процесу — у $10\text{--}15$ разів порівняно з ручним дуговим зварюванням, що досягається завдяки безперервності процесу та можливості застосування значно більших зварювальних струмів [2]. Якщо для ручного зварювання характерні струми порядку $500\text{--}600$ А, то при зварюванні під флюсом допустиме підвищення сили струму до $3000\text{--}4000$ А без погіршення якості формування шва. Для запобігання перегріву електродного дроту струм підводять безпосередньо поблизу дуги на відстані $30\text{--}70$ мм [16];

2) зменшення витрат електродного металу внаслідок практичної відсутності розбризкування, вигару та недогарків. Втрати металу при цьому, як правило, не перевищують $1,5\text{--}2\%$, тоді як при зварюванні відкритою дугою вони можуть досягати $20\text{--}30\%$;

3) покращення умов праці зварника, оскільки процес є автоматизованим і не потребує постійного ручного керування дугою.

Поряд із суттєвими перевагами автоматичне зварювання під флюсом має і певні обмеження:

1) зона зварювання повністю закрита шаром флюсу товщиною до $50\text{--}60$ мм, що ускладнює візуальний контроль процесу та підвищує вимоги до точності підготовки кромки і складання елементів;

2) технологічні труднощі при виконанні коротких швів, а також неможливість зварювання в різних просторових положеннях, що обмежує сферу застосування способу [16].

З урахуванням наведених особливостей автоматичне зварювання під флюсом є найбільш доцільним для виконання протяжних швів. Формування таких швів може здійснюватися за двома основними схемами: способом «у човник» або з використанням похилого електрода.

Зварювання способом «у човник» може реалізовуватися як за симетричного, так і за асиметричного розташування зварюваних елементів відносно осі шва. У разі симетричної схеми забезпечується рівномірний розподіл тепловкладення, тоді як несиметричне розташування використовується для покращення умов проплавлення крайок або при зварюванні елементів різної товщини.

За положення «у човник» формування кутових швів із катетом до 14 мм можливе за один прохід. Під час складання з'єднання під зварювання необхідно забезпечити мінімальний зазор між елементами з метою запобігання витіканню розплавленого металу зі зварювальної ванни. Якщо ширина зазору перевищує 1,5 мм, виникає потреба у виконанні підварювального шва з тильного боку з'єднання ручним або механізованим способом. Підварювальний шов повинен бути повністю переплавлений під час накладання основних швів. У ряді конструктивних рішень для стабілізації формування кореня шва допускається застосування мідних підкладок.

Для забезпечення гарантованого провару крайок можливе виконання зварювання в асиметричному положенні «у човник», за якого кут між віссю електрода та полицею таврового елемента зменшується до приблизно 30° . Аналогічний прийом використовується при зварюванні елементів різної товщини, коли електрод орієнтують із меншим кутом до тоншої деталі. Водночас формування кутових швів способом «у човник» потребує впровадження спеціальних технологічних заходів, спрямованих на запобігання витіканню розплавленого металу в зазори з'єднання [16]

Застосування зварювання під флюсом із нахиленим електродом спрямоване на підвищення швидкості процесу, зокрема в умовах багатодугового зварювання. Попередній підігрів основного металу до температури $100\text{ }^\circ\text{C}$ і вище сприяє збільшенню глибини проплавлення та розширенню зварного шва, що позитивно впливає на формування з'єднання [16].

Для зменшення ризику утворення підрізів на вертикальних поверхнях зварювання з нахиленим електродом виконують за знижених значень

зварювального струму порівняно зі способом «у човник». Однак саме ймовірність утворення підрізів обмежує можливість формування кутових швів із катетом понад 6 мм при даній схемі зварювання. У зв'язку з цим особливого значення набуває точне спрямування електрода в зону підготовлених крайок.

За наявності різної товщини зварюваних елементів процес може здійснюватися з асиметричним нахилом електрода, що дозволяє вирівняти умови тепловкладення та забезпечити повноцінний провар. Для зменшення ймовірності утворення підрізів при цьому застосовують зміщення електрода відносно осі шва [16].

З метою запобігання напливам і підрізам по всій довжині зварного шва до початку зварювання доцільно формувати флюсовий бар'єр висотою близько 15 мм. У такому разі розплавлений флюс, перебуваючи між вертикальною стінкою зварюваного елемента та флюсовим бар'єром, утримується в межах зони зварювання і не розтікається.

Важливою перевагою зварювання похилим електродом є відсутність необхідності у додатковій операції кантування балки та застосуванні спеціальної оснастки. Крім того, за рахунок можливості одночасного обслуговування кількох зварювальних постів продуктивність процесу зростає у 2,5–3 рази при роботі з 3–4 постами.

Зварювання в захисних газах належить до групи дугових способів зварювання, у яких зона горіння дуги та зварювальна ванна ізольовані від атмосферного повітря потоком спеціально підібраного газу. Процес може здійснюватися з використанням неплавкого електрода, найчастіше вольфрамового, або з плавким електродом, який одночасно виконує функцію присадного матеріалу (рис. 3.2).

При зварюванні неплавким електродом формування зварного шва відбувається внаслідок плавлення кромки основного металу, а за потреби — з додатковим введенням присадного дроту в зону дуги. У разі застосування плавкого електрода його метал безперервно розплавляється та бере безпосередню участь у формуванні металу шва, що підвищує продуктивність процесу.

Для захисту зони зварювання використовують три основні групи газів:

- інертні (аргон, гелій),
- активні (вуглекислий газ, азот, водень тощо),
- газові суміші, що поєднують інертні та активні компоненти.

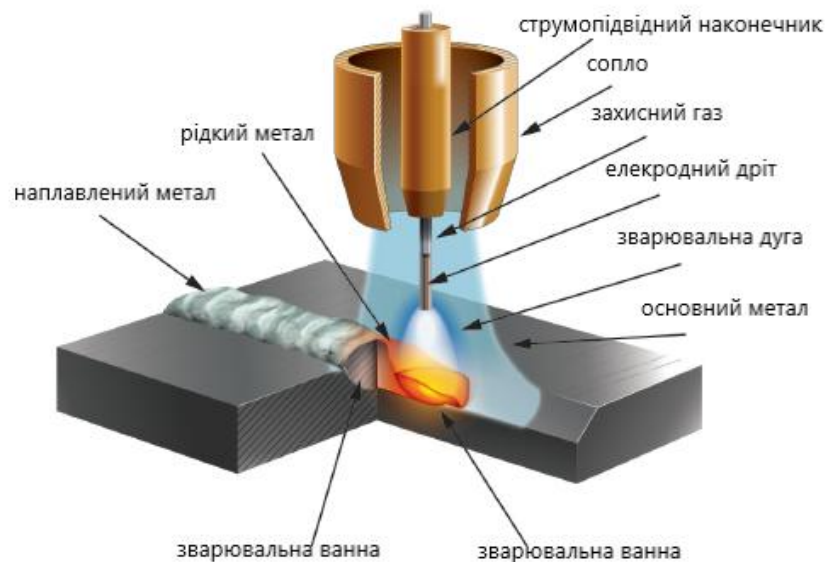


Рис. 3.2 - Процес MAG/MIG зварювання

Вибір конкретного захисного середовища визначається хімічним складом основного металу, вимогами до механічних і металургійних властивостей зварного з'єднання, умовами експлуатації виробу та економічною доцільністю технологічного процесу.

Використання газових сумішей, що поєднують інертні й активні компоненти, дозволяє підвищити стабільність горіння дуги, збільшити глибину проплавлення, змінити геометрію шва та покращити металургійні умови кристалізації зварювальної ванни. Крім того, при зварюванні в сумішах газів зростає коефіцієнт переходу електродного металу в зварний шов, що позитивно впливає на ефективність процесу.

До основних переваг зварювання в захисних газах належать:

- можливість отримання високоякісних зварних з'єднань на широкому спектрі металів і сплавів різної товщини, особливо при застосуванні інертних газів, які мінімізують вигорання легуючих елементів;

- придатність до виконання зварювальних робіт у різних просторових положеннях;
- відсутність операцій, пов'язаних із засипанням, збиранням флюсу та видаленням шлакової кірки;
- можливість безпосереднього візуального контролю процесу формування шва, що є особливо важливим при механізованому та автоматизованому зварюванні;
- висока продуктивність і добра пристосованість процесу до механізації та автоматизації;
- відносно низька собівартість процесу при використанні активних захисних газів.

Поряд із суттєвими перевагами зварювання в захисних газах має низку обмежень, до яких належать:

- необхідність застосування спеціальних засобів захисту персоналу від інтенсивного світлового та теплового випромінювання дуги;
- чутливість газового захисту до зовнішніх повітряних потоків і можливе його порушення при забризкуванні або засміченні сопла зварювального пальника;
- втрати металу внаслідок розбризкування, причому бризки можуть міцно приєднуватися до поверхні шва та основного металу;
- наявність газової апаратури та, у ряді випадків, потреба у використанні систем водяного охолодження зварювальних пальників [16].

З урахуванням конструктивних особливостей консольного підлогового крана встановлено, що в його металоконструкції домінують зварні з'єднання невеликої протяжності, розташовані у різних просторових положеннях. Така конфігурація зумовлює підвищені вимоги до універсальності зварювального процесу, стабільності формування шва та можливості оперативного виконання робіт без застосування складної спеціалізованої оснастки. Матеріал консольного крана — сталь 20 — характеризується високою зварюваністю та не накладає обмежень щодо вибору способу дугового зварювання, що

дозволяє застосовувати різні способи дугового зварювання без обмежень щодо попереднього підігріву або післязварювальної термічної обробки.

З огляду на наведені чинники, для виконання різно-орієнтованих зварних швів обґрунтовано дугове зварювання у середовищі суміші захисних газів. Даний спосіб забезпечує поєднання достатньої продуктивності з високою якістю формування шва, а також дозволяє ефективно виконувати зварювання у важкодоступних зонах і в різних просторових положеннях, що є принципово важливим для виготовлення елементів опорної колони крана.

Як присадний матеріал для реалізації зазначеного способу зварювання використовується зварювальний дріт марки Св-08Г2С, який рекомендований для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, що працюють у складі відповідальних зварних конструкцій. Для забезпечення стабільності механізованого процесу дріт повинен відповідати вимогам щодо чистоти поверхні — бути вільним від слідів корозії, мастильних матеріалів і механічних забруднень, а також не мати різких деформацій, які можуть порушувати рівномірність подачі в зону зварювання [17].

Хімічний склад дроту Св-08Г2С (табл. 3.1) є металургійно сумісним зі сталлю 20 та забезпечує формування металу шва з підвищеними механічними характеристиками (табл. 3.2). Використання цього присадного матеріалу сприяє стабільному горінню дуги, зменшенню ймовірності залипання електрода та зниженню інтенсивності розбризкування металу. Крім того, дріт Св-08Г2С сумісний із широким спектром сучасного зварювального обладнання, що підвищує технологічну гнучкість процесу та спрощує його впровадження у виробничих умовах [17].

Таблиця 3.1. Нормований хімічний склад дроту Св-08Г2С, % [17]

С	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
0,05 - 0,11	1,8 - 2,1	0,7 - 0,95	0,20	0,25	0,025	0,03

Таблиця 3.2. Механічні характеристики металу наплавлення при використанні зварювального дроту Св-08Г2С [17]

Б _Т , МПа	Б _В , МПа	δ, %	ψ, %
300	500	22	50

Підвищений вміст марганцю та кремнію у складі дроту виконує функцію ефективного металургійного рафінування зварювальної ванни, сприяючи розкисненню металу шва та зменшенню кількості неметалевих включень. У результаті метал шва характеризується підвищеною стійкістю до утворення гарячих тріщин, рівномірною структурою та мінімальним вмістом шлакових включень. Це забезпечує формування щільного, геометрично правильного і високоякісного зварного шва, що відповідає вимогам до відповідальних елементів вантажопідіймальних конструкцій, які працюють під дією змінних і повторюваних навантажень [17].

Зварювальний дріт марки Св-08Г2С належить до числа найбільш поширених і технологічно універсальних присадних матеріалів, що широко застосовуються у складних зварювальних процесах суднобудування, машинобудування, будівельної індустрії та при виготовленні просторових металоконструкцій. Його використання у проєктних рішеннях дозволяє отримувати зварні з'єднання з високими показниками міцності, пластичності та експлуатаційної надійності, що підтверджено практикою застосування у відповідальних конструкціях [17].

До основних технологічних переваг зварювального дроту Св-08Г2С слід віднести економічну доцільність застосування, стабільне горіння зварювальної дуги та низьку інтенсивність розбризкування металу в процесі зварювання. Важливою особливістю є також сталість хімічного складу наплавленого металу, що забезпечує відтворюваність властивостей зварних швів. Дріт характеризується широким діапазоном допустимих режимів зварювання та може ефективно використовуватися з обладнанням різного рівня складності — від універсальних напівавтоматів до сучасних механізованих комплексів. Крім того, його застосування супроводжується

зменшеною зношуваністю струмопідвідних елементів, зокрема мідних контактних наконечників [17].

Як захисне середовище для механізованого зварювання обрано газову суміш аргон–вуглекислий газ у співвідношенні 82 % Ar + 18 % CO₂. Зазначений склад газового середовища створює сприятливі умови для реалізації струменевого перенесення електродного металу, що дозволяє підвищити швидкість зварювання та стабільність процесу. Використання такої суміші сприяє зменшенню кількості оксидних включень у металі шва, подрібненню зернистої структури та формуванню однорідної мікроструктури наплавленого металу.

Крім того, застосування суміші Ar + CO₂ забезпечує збільшення глибини проплавлення зварюваного з'єднання та підвищення щільності металу шва, що безпосередньо впливає на зростання міцності та довговічності зварної конструкції. Суттєвою технологічною перевагою є різке зниження налипання металевих бризок у зоні зварювання, що, у свою чергу, дозволяє скоротити трудомісткість операцій з очищення поверхонь перед нанесенням захисних або декоративних покриттів до 95 % [17].

Слід зазначити, що зварювальний дріт Св-08Г2С може ефективно використовуватися як у середовищі чистого вуглекислого газу, так і в газових сумішах. Однак застосування суміші 82 % Ar + 18 % CO₂ дозволяє повною мірою реалізувати його технологічний потенціал, зокрема у частині підвищення якості поверхні зварних швів і зменшення обсягу підготовчих робіт перед фарбуванням [17].

Під час виготовлення металоконструкції консольного підлогового крана застосовується декілька типів зварних з'єднань, вибір яких визначається товщиною з'єднуваних елементів, функціональним призначенням вузлів, а також вимогами до міцності та надійності зварних швів [19]. З урахуванням конструктивної схеми крана для з'єднання його елементів використовуються стикові та таврові з'єднання.

Таврові з'єднання є найбільш поширеними та застосовуються, зокрема, для приварювання опорної плити до колони, кріплення опорної плити

двотаврової балки, а також для встановлення пластин жорсткості на несучі елементи конструкції. Товщина листових елементів у зазначених з'єднаннях становить 5 мм і 12 мм, що обумовлює вибір відповідних геометричних параметрів зварних швів.

Колона, виготовлена з труби діаметром 355 мм із товщиною стінки 6 мм, приєднується до опорних основ за допомогою таврових з'єднань, виконаних кутовими зварними швами. Катет кутового шва прийнято рівним $k = 5\text{ мм}$, а підсилення шва — $g = 1\text{ мм}$, при цьому дотримується умова $g \leq 0,3k$, що відповідає вимогам нормативної документації та забезпечує сприятливі умови роботи з'єднання.

Обрані геометричні параметри кутових швів гарантують необхідну несучу здатність зварних з'єднань за дії розрахункових експлуатаційних навантажень. Уніфікація розмірів кутових швів у таврових з'єднаннях дозволяє застосовувати однакові режими зварювання для різних вузлів конструкції, що сприяє стабільності якості швів і спрощенню технологічного процесу виготовлення.

Схеми розташування зварних з'єднань і типи застосованих зварних швів наведено на рис. 3.1.

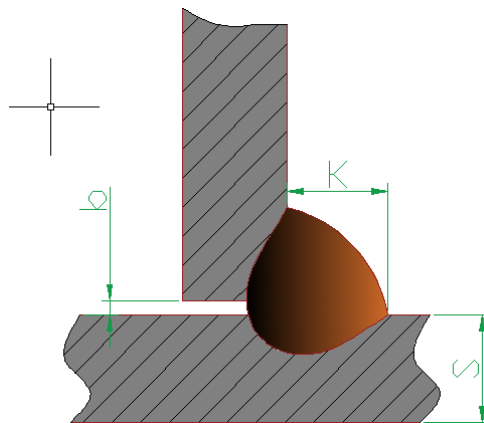


Рис.3.1. Конструктивні зображення таврового (Т1) зварних з'єднань

Розрахунок технологічних параметрів режиму зварювання виконано для кутових зварних швів таврових з'єднань із катетом $k = 5\text{ мм}$, які застосовуються в несучих вузлах консольного підлогового крана. Обраний розмір катета забезпечує необхідну несучу здатність з'єднання за умов дії

розрахункових експлуатаційних навантажень, а також відповідає конструктивним і технологічним вимогам.

Метою розрахунку є визначення раціональних параметрів режиму механізованого зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів, які забезпечують стабільність процесу, повний провар з'єднання, мінімізацію дефектів і формування зварного шва з необхідними геометричними та механічними характеристиками.

Для таврового з'єднання з листів малої та середньої товщини (6 мм) у виробничих умовах доцільно застосовувати однобічне зварювання без розроблення кромek, що спрощує підготовку деталей і підвищує продуктивність.

Приймаємо технологічний зазор між деталями: $e = 0 \dots 1,5$ мм.

Зазор потрібний для стабілізації кореня шва і зменшення ризику непровару, однак його значення обмежують, щоб не викликати пропалів та надмірного провисання металу.

Площа поперечного перерізу визначається за залежністю:

$$F_H = 0,5k^2 + 0,7 \cdot e \cdot g, \quad (3.1)$$

де k — катет кутового шва, мм;

e — ефективна ширина проплавлення, мм;

g — висота підсилення шва, мм.

Підставляючи прийняті геометричні параметри, отримаємо:

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

Глибина проплавлення визначається як різниця між загальною висотою шва та висотою наплавленого металу:

$$h_0 = H - a = 7,07 - 3,54 = 3,53 \text{ мм}. \quad (3.2)$$

Це значення задає необхідний рівень тепловкладення та, відповідно, струм зварювання.

Діаметр електродного дроту істотно впливає на стабільність процесу зварювання, глибину проплавлення, формування шва та продуктивність процесу. Для його визначення використовується емпірична залежність, яка

враховує площу поперечного перерізу шва, просторове положення з'єднання та ступінь механізації процесу:

$$d_{\text{ед}} = K_d \cdot F_H^{0,625}, \quad (3.3)$$

де K_d — коефіцієнт, що залежить від умов зварювання. $K_d = 0,264$.

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

З урахуванням стандартного ряду діаметрів, а також вимог до стабільності подачі та якості формування шва, приймаємо: $d_{\text{ед}} = 1,6 \text{ мм}$.

Виліт електродного дроту впливає на величину електричного опору дроту, стабільність горіння дуги та тепловий баланс процесу. Рекомендований виліт визначається пропорційно діаметру дроту:

$$L_{\text{ед}} = 10 \cdot d_{\text{ед}}. \quad (3.4)$$

$$L_{\text{ед}} = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ мм.}$$

Швидкість зварювання визначає продуктивність процесу та впливає на тепловкладення, ширину шва й характер кристалізації металу. Для механізованого зварювання швидкість зварювання визначається за формулою:

$$V_{\text{зв}} = \frac{8,9 \cdot d_{\text{ед}}^2 + 50,6 \cdot d_{\text{ед}}^{1,5}}{F_H}. \quad (3.5)$$

$$V_{\text{зв}} = \frac{8,9 \cdot 2,56 + 50,6 \cdot 2,024}{17,4} = \frac{22,78 + 102,41}{17,4} = \frac{125,19}{17,4} = 7,19 \text{ мм/с}$$

$$V_{\text{зв}} = 25,9 \text{ м/год.}$$

Отримана швидкість забезпечує достатній провар і стабільне формування кутового шва без перегріву металу.

Швидкість подачі дроту визначається з урахуванням об'єму наплавленого металу, швидкості зварювання та втрат металу на розбризкування. Розрахунок виконується за формулою:

$$V_{\text{под}} = \frac{4 \cdot F_H \cdot V_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_{\text{ед}}^2 \cdot (1 - \psi_p)}, \quad (3.6)$$

де ψ_p — коефіцієнт втрат металу. $\psi_p = 0,1$.

$$V_{\text{под}} = 69,1 \text{ мм/с} = 248,8 \text{ м/год}$$

Сила зварювального струму є визначальним параметром режиму зварювання, оскільки вона безпосередньо впливає на глибину проплавлення та форму шва. Струм визначається за емпіричною залежністю:

$$I_{зв} = d_{ед} (\sqrt{1450 \cdot d_{ед} \cdot V_{под}} + 145150 - 382). \quad (3.7)$$

$$I_{зв} \approx 270-275 \text{ А}$$

З урахуванням рекомендацій щодо округлення та стабільності процесу приймаємо робоче значення: $I_{зв} = 270 \text{ А}$.

Перевірка допустимості:

$$I_{зв} \leq 180 \cdot d_{ед}^{1,5} = 364 \text{ А}, \quad (3.8)$$

що підтверджує правильність вибору струму.

Напруга дуги визначається залежно від сили струму та приймається за емпіричною формулою:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} = 28 \text{ В}. \quad (3.9)$$

Витрати захисного газу визначаються залежно від зварювального струму за формулою:

$$q_{з.г.} = 0,0033 \cdot I_{зв}^{0,75}. \quad (3.10)$$

$$q_{з.г.} = 13,3 \text{ л/хв.}$$

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення параметрів режиму зварювання

Найменування параметра	Позначення	Розрахункове значення	Прийняте значення
Площа поперечного перерізу шва	F_H	17,4 мм ²	17,4 мм ²
Коефіцієнт умов зварювання	K_d	0,264	0,264
Діаметр електродного дроту	$d_{ед}$	1,57 мм	1,6 мм
Виліт електродного дроту	$L_{ед}$	16 мм	16 мм
Швидкість зварювання	$V_{зв}$	7,19 мм/с	25,9 м/год
Коефіцієнт втрат металу	ψ_p	0,10	0,10
Швидкість подачі дроту	$V_{под}$	69,1 мм/с	248,8 м/год
Зварювальний струм	$I_{зв}$	272,9 А	270–275 А
Напруга дуги	U_d	27,7 В	28 В
Витрата захисного газу	$q_{з.г.}$	13,3 л/хв	13,3 л/хв

З урахуванням обраного способу зварювання та розрахованих параметрів режиму, з метою підвищення стабільності якості зварних з'єднань і загальної ефективності виробництва, доцільним є впровадження роботизованих зварювальних комплексів. Автоматизація зварювальних операцій дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, знизити трудомісткість процесів і забезпечити високу повторюваність геометричних та металургійних характеристик швів [20-21].

Для реалізації зварювальних операцій у роботизованому режимі обрано промисловий зварювальний робот ARCMate120iC/12L (рис. 3.2), виробництва FANUC, у поєднанні з інтегрованою системою живлення та керування KempArcPulse, розробленою компанією Kemppi. Зазначене поєднання обладнання забезпечує високий рівень керованості процесу дугового зварювання, а також створює передумови для підвищення продуктивності та зменшення експлуатаційних витрат [22].



Рис. 3.2 – Промисловий зварювальний робот ARCMate120iC/12L, призначений для роботизованих процесів дугового зварювання [22]

Промисловий робот ARCMate120iC/12L є спеціалізованим високоточним маніпулятором, орієнтованим на виконання операцій дугового зварювання та суміжних технологічних процесів. Його конструкція поєднує компактність, високу кінематичну точність і значну швидкодію, що робить дану модель ефективним елементом сучасних автоматизованих виробничих систем.

Завдяки ергономічному виконанню та оптимізованій геометрії робочої зони робот легко інтегрується у виробничі лінії з обмеженим монтажним простором. Наявність ступеня захисту IP67 забезпечує стійкість до впливу пилю, вологи та агресивних середовищ, що є особливо важливим для умов зварювального виробництва.

Важливою перевагою ARCMate120iC/12L є його висока адаптивність. Робот підтримує інтеграцію з різними типами зварювальних джерел і систем керування, що дозволяє застосовувати його для широкого спектра виробничих завдань. Високі швидкості переміщення осей у поєднанні з інтуїтивно зрозумілими засобами програмування значно скорочують час налаштування та переналагодження, знижуючи вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Програмне забезпечення робота забезпечує точне регулювання траєкторії руху та параметрів зварювання, що сприяє оптимізації тепловкладення, зменшенню витрат електроенергії та зварювальних матеріалів. У результаті досягається стабільна якість зварних з'єднань і зниження рівня браку.

Для живлення та керування роботом застосовано модульну систему KempArcPulse (рис. 3.3), призначену для автоматизованого імпульсного MIG/MAG-зварювання. Дана система є комплексним технічним рішенням, орієнтованим на роботу в роботизованих і автоматизованих зварювальних осередках.

Система KempArcPulse характеризується високою стабільністю горіння дуги, швидким обміном керуючими сигналами та надійною роботою у широкому діапазоні режимів. Її використання дозволяє реалізувати сучасні

імпульсні процеси зварювання, що забезпечують покращене формування шва, зменшення розбризкування та більш контрольоване перенесення металу.



Рис. 3.2 – Джерело живлення KempArcPulse 350 для автоматизованого імпульсного MIG/MAG-зварювання в складі роботизованих комплексів [23]

До ключових переваг застосування роботизованого комплексу на базі ARCMate120iC/12L та системи KempArc Pulse належать:

- інтеграція інтерфейсу керування автоматизованою зварювальною системою безпосередньо в джерело живлення;
- підтримка передових зварювальних процесів і функцій Kemppi Wise;
- високошвидкісний обмін даними через промислові шини Fieldbus, що спрощує інтеграцію в сучасні автоматизовані платформи;
- можливість вибору цифрового або аналогового виконання залежно від архітектури системи керування;
- компактна конструкція та зменшена маса механізму подачі дроту;
- реалізація дистанційного керування, що розширює функціональні можливості комплексу.

Таблиця 3.3 – Технічні дані джерела живлення *KempArcPulse 350* [23]

Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
Модель	KempArcPulse 350	—
Напруга живлення (мережа)	3~ AC 400 В $\pm 15...+20$ %	В
Номінальна потужність при 80 % ПВ	16,0	кВА
Номінальна потужність при 100 % ПВ	15,3	кВА
Діапазон вихідного зварювального струму	до 350 (80 % ПВ) / 330 (100 % ПВ)	А
Діапазон вихідної напруги	10...50	В
Напруга холостого ходу	50	В
Потужність без навантаження	100	Вт
Коефіцієнт потужності	0,85	—
ККД (ефективність)	88	%
Клас захисту корпусу	IP23S	—
Клас електромагнітної сумісності (ЕМС)	A	—
Робочий температурний діапазон	-20...+40	°C
Температура зберігання	-40...+60	°C
Габарити (Д×Ш×В)	590×230×430	мм
Маса (без додаткових опцій)	36	кг

Для виконання зварювально-складальних операцій під час виготовлення елементів консольного підлогового крана доцільно застосувати напіваавтоматичну зварювальну установку Kemppi X8MIG Welder (рис. 3.3). Зазначене обладнання повністю відповідає технологічним вимогам зварювання конструкцій із низьколегованих сталей та забезпечує стабільне формування зварного шва за рахунок точного регулювання основних параметрів режиму. Використання даного напіваавтомата дозволяє підвищити керованість зварювального процесу, зменшити коливання тепловкладення та забезпечити відтворюваність якості з'єднань у серійному виробництві [24].

Напіваавтоматична зварювальна установка Kemppi X8 MIG Welder належить до сучасного покоління інтелектуальних джерел живлення для процесів MIG/MAG-зварювання, орієнтованих на використання в умовах промислового та серійного виробництва. Конструктивно установка

реалізована за модульним принципом і поєднує в собі високоточне джерело живлення, цифрову систему керування та механізм стабілізації дугового процесу.



Рис. 3.3 - Напівавтомат Kemppi X8MIGWelder для MIG/MAG-зварювання [24]

Однією з ключових особливостей X8 MIG Welder є застосування цифрової платформи керування, що забезпечує точне та відтворюване налаштування основних параметрів режиму зварювання — сили струму, напруги дуги, швидкості подачі електродного дроту та характеристик імпульсного перенесення металу. Це дозволяє суттєво знизити чутливість процесу до змін положення пальника, коливань зазору та нестабільності мережевої напруги.

Установка підтримує синергетичні режими MIG/MAG-зварювання, що особливо важливо під час зварювання конструкцій із низьколегованих сталей. Завдяки автоматичній корекції параметрів дуги забезпечується стабільне формування шва, рівномірне проплавлення та зменшення розбризкування металу. Це позитивно впливає на якість зварних з'єднань і знижує обсяг післязварювальних операцій.

Висока енергоефективність джерела живлення, у поєднанні з сучасними алгоритмами керування тепловкладенням, дозволяє застосовувати Kemppi X8 MIG Welder як у ручному, так і в механізованому виконанні зварювально-складальних робіт. Установка добре інтегрується у виробничі дільниці, де висуваються підвищені вимоги до повторюваності параметрів та стабільності технологічного процесу.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики Kemppi X8MIG Welder [24]

Параметр	Значення
Тип зварювального процесу	MIG / MAG
Номинальна напруга живлення	3×400 (±10 %) В
Діапазон зварювального струму	20–400* А
Номинальний струм при ПВ 60 %	до 400* А
Номинальний струм при ПВ 100 %	до 300* А
Діапазон напруги дуги	10–44 В
Тип джерела живлення	Інверторне, цифрове
Підтримка синергетичних режимів	Є
Підтримка імпульсного MIG/MAG	Є
Діаметр електродного дроту	0,8–1,6 мм
Тип електродного дроту	Суцільний, порошковий
Система керування	Цифрова, процес-орієнтована
ККД джерела живлення	≥ 85%
Клас захисту	IP23S
Охолодження	Повітряне / рідинне (опція)
Можливість інтеграції в АСУ	Підтримується

3.2 Опис технологічного процесу

Виготовлення консольного підлогового крана є багатостадійним виробничим процесом, що включає комплекс заготівельних, складальних та зварювальних операцій. До основних етапів належать правка та підготовка металопрокату, різання заготовок заданих розмірів, механічна підготовка зварюваних кромок, очищення та знежирення поверхонь, складання елементів у спеціалізованих пристосуваннях, виконання зварних з'єднань, а також контроль якості зварних швів і перевірка геометричних параметрів готової конструкції.

Технологічний процес виготовлення крана реалізується у вигляді чітко визначеної послідовності операцій, що виконуються у встановленому порядку з використанням відповідного зварювального та допоміжного обладнання. Сукупність зазначених операцій, їх зміст, застосоване оснащення та вимоги до контролю наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Послідовність технологічних операцій виготовлення консольного підлогового крана

№ опер.	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання та інструмент	Контроль і технічні вимоги
010	Приймання металопрокату	Прийняти трубний, листовий та фасонний прокат згідно специфікації	Рулетка, штангенциркуль	Відсутність тріщин, розшарувань, значної корозії
015	Маркування заготовок	Розмітити заготовки з урахуванням припусків	Рулетка, маркер	Відповідність кресленням
020	Різання труб	Відрізати труби для колони, консолі та вузлів	Стрічкопилний верстат SPECIAL700DI-AMACC	Перекіс торця $\leq 1,5$ мм
025	Правка заготовок	Усунути залишкові деформації листів	Bendmak BPSM 20/18	Плоскість у допуску
030	Різання листових заготовок	Вирізати фланці, фасонки, ребра жорсткості	Гільйотинні ножиці HATS 3212	Прямолінійність кромки
035	Зачищення кромки	Видалити задирки та окалину після різання	КШМ, металева щітка	Чисті, рівні кромки
040	Формування фаски	Підготувати зварювальні фаски (за потреби)	КШМ, фаскознімач	Кут і притуплення згідно креслень
045	Очищення поверхні	Очистити поверхні від окалини та іржі	SK-9 ÇETİNGİL	Рівномірне очищення

050	Знежирення	Знежирити зварювані поверхні	Ганчір'я, уайт-спірит	Відсутність мастил
060.1	Складання колони з опорною плитою	Встановити трубу та плиту у кондуктор	Складальний пристрій	Співвісність, перпендикулярність
060.2	Прихватка опорної плити	Виконати прихватки	Kemppi X8 MIG Welder	Зазор ≤ 3 мм
060.3	Зварювання кільцевого шва	Зварити плиту з трубою на кантувачі	Робот ARCMate120 iC/12L, кантувач	Непровари, підрізи — не допускаються
060.4	Приварювання ребер жорсткості	Зварити ребра до колони	Робот ARCMate120 iC/12L	Катет шва згідно креслень
070.1	Складання консолі	Установити балку та заглушки у кондуктор	Складальний пристрій	Прямолінійність балки
070.2	Прихватка елементів консолі	Виконати прихватки	Kemppi X8 MIG Welder	Точність положення
070.3	Зварювання консолі	Виконати основні шви	Робот ARCMate120 iC/12L, кантувач	Дефекти не допускаються
070.4	Контроль геометрії	Перевірити прогин і прямолінійність	Рівень, лінійка	У межах допусків
080.1	Складання поворотного вузла	Установити фланці та втулки	Кондуктор, оправки	Співвісність отворів
080.2	Прихватка вузла	Виконати прихватки	Kemppi X8	Точність складання
080.3	Зварювання вузла	Виконати основні зварні шви	Робот ARCMate120 iC/12L, кантувач	Непровари не допускаються
090	Контрольне складання	Зібрати колону, вузол і консоль	Монтажний стенд, таль	Вільне обертання
095	Монтаж талі	Установити вантажопідіймальний механізм	Таль, ключі	Надійність кріплень
100	Контроль зварних швів	Суцільний ВВК	Шаблони, лупа	Відповідність ДСТУ
105	Фарбування	Ґрунтування та фарбування	Фарбопульт	Суцільність покриття
110	Приймальні випробування	Перевірка без та з навантаженням	Таль, вантаж	Працездатність

Нижче наведено детальний опис послідовності реалізації технологічного процесу виготовлення консольного підлогового крана, що охоплює заготівельні, складально-зварювальні та контрольні операції.

Заготівельний етап технологічного процесу виготовлення консольного підлогового крана включає комплекс операцій, спрямованих на підготовку металопрокату до подальшого складання та зварювання. На даному етапі здійснюється приймання, контроль, різання, механічна підготовка та очищення заготовок, що забезпечує необхідну точність виготовлення елементів конструкції та високу якість зварних з'єднань.

Підготовка металопрокату розпочинається з приймання трубного прокату, листової сталі та фасонних профілів відповідно до вимог специфікації. У процесі вхідного контролю перевіряють відповідність марки сталі проєктній документації, фактичні геометричні розміри заготовок, а також відсутність дефектів у вигляді тріщин, розшарувань і значних корозійних пошкоджень. Контроль здійснюють методом візуально-вимірювальної перевірки з використанням рулетки, штангенциркуля та металевої лінійки.

Після підтвердження придатності матеріалу виконують маркування заготовок. Розмічання труб, листів і профілів здійснюють згідно з робочими кресленнями з урахуванням необхідних припусків на операції різання та подальшу механічну обробку. Точність розмітки забезпечує дотримання проєктних розмірів елементів та зменшення втрат матеріалу.

Різання трубних і профільних заготовок для поясів, колони та розкосів виконують на стрічкопильному верстаті Workline 410.280 DG (рис. 3.4), що забезпечує рівномірність різку та перпендикулярність торців. Дане обладнання призначене для високоточного різання металопрокату різного профілю, зокрема труб, двотаврових балок і швелерів, що застосовуються під час виготовлення несучих елементів консольного підлогового крана.

Верстат працює за принципом стрічкопильного різання з використанням автоматизованої системи подачі та фіксації заготовок, що забезпечує стабільність заданої довжини різку та перпендикулярність торцевих поверхонь. Наявність програмного керування дозволяє виконувати серійний розкрій елементів з високою повторюваністю результатів і зменшенням трудомісткості підготовчих операцій.

Застосування верстата Workline 410.280 DG у технологічному процесі забезпечує високу точність геометричних параметрів заготовок, чистоту торців та узгодженість операцій різання з подальшим складанням і зварюванням, що позитивно впливає на точність монтажу та надійність конструкції крана.



Рис. 3.4 – Автоматизований стрікопильний відрізний верстат Workline 410.280 DG [25]

Після різання проводять контроль якості обробки торців, звертаючи увагу на відсутність задирок, підпалів і перекосів. Допустиме відхилення від перпендикулярності торця не повинно перевищувати 1,0–1,5 мм відносно діаметра труби. За необхідності торці заготовок зачищають від окалини та задирок із застосуванням кутових шліфувальних машинок та металевих щіток.

Листові заготовки, призначені для виготовлення фланців, ребер жорсткості та фасонних елементів, отримують шляхом застосування лазерного різання з використанням установки Mitsubishi ML3015eX-S (рис. 3.5). Дана лазерна система забезпечує високоточний розкрій листового прокату з мінімальною шириною різку та малою зоною термічного впливу. Це дає змогу отримувати рівні та чисті кромки з високою якістю поверхні без

необхідності додаткової механічної обробки, що є особливо важливим під час підготовки елементів до зварювання та болтових з'єднань.



Рис. 3.5 – Лазерна установка для різання листового металу Mitsubishi ML3015eX-S [25]

Після різання здійснюють контроль геометричних розмірів і прямолінійності кромки, а також зачищення кромки від задирок і шлакових включень.

Механічна підготовка зварюваних кромки передбачає формування фаски на трубних і листових заготовках відповідно до вимог креслень. Контролюють кут фаски, ширину притуплення та якість обробки поверхні з використанням вимірювальних шаблонів і штангенциркуля.

За наявності залишкових деформацій листових елементів виконують їх правку на листопрямильній машині Bendmak BPSM до досягнення допустимих значень плоскості. Для забезпечення належного стану поверхонь перед складанням і зварюванням заготовки піддають очищенню від окалини та корозійних нашарувань у дробоструминній установці. Очищені поверхні повинні бути рівномірними, без залишків іржі та продуктів окиснення.

Завершення заготівельного етапу створює необхідні умови для точного складання конструкції консольного підлогового крана та отримання якісних зварних з'єднань на наступних стадіях виробництва.

Для виконання операцій складання та зварювання консольного поворотного крана застосовують спеціалізоване зварювально-складальне обладнання, яке забезпечує надійну фіксацію елементів у проєктному положенні та стабільність їх просторового розташування. Складання вузлів здійснюють із використанням зварювальних кондукторів і технологічних пристосувань, що гарантують точне позиціонування елементів, зменшення зварювальних деформацій і дотримання заданих геометричних допусків. Зварювальні операції виконують механізованим та роботизованим способом, що забезпечує стабільність режимів зварювання та формування швів з рівномірною геометрією і високими міцнісними характеристиками. Детальний опис конструкції та принципу дії застосованих пристосувань наведено в наступному розділі роботи.

Після завершення заготівельних операцій виконують підготовку заготовок до складання, яка передбачає очищення та знежирення зварюваних поверхонь. Кромки деталей і прилеглі зони обробляють із застосуванням органічних розчинників (уайт-спірит, ацетон) з подальшим візуальним контролем чистоти поверхні. На зварюваних ділянках не допускається наявність мастильних матеріалів, вологи та механічних забруднень, які можуть негативно впливати на формування зварних з'єднань.

Складання та зварювання колони консольного підлогового крана розпочинають із підготовки трубної заготовки та фланцевих елементів. Перед складанням зварювані поверхні труби, опорної плити та верхнього фланця зачищають від окалини й іржі за допомогою кутових шліфувальних машинок і металевих щіток. Трубу колони встановлюють у вертикальний складальний кондуктор або призматичні опори, після чого опорну плиту монтують у проєктне положення з забезпеченням співвісності та перпендикулярності до осі труби.

Фіксацію елементів виконують прихватками, які здійснюють механізованим зварюванням у середовищі захисного газу (MIG/MAG) з використанням напівавтомата Kemppi X8 MIG Welder. Після зачистки прихваток контролюють геометричну точність складання, зокрема величину

засорів і перекіс площини опорної плити. Аналогічні операції виконують під час складання та прихватки верхнього фланця колони.

Основне зварювання кільцевих швів опорної плити та верхнього фланця виконують із застосуванням кантувача (позиціонера), що забезпечує зварювання у нижньому положенні. Для зварювання відповідальних кільцевих швів використовується роботизований зварювальний комплекс ARC Mate120iC/12L, який дозволяє підтримувати стабільні параметри режиму зварювання, рівномірну геометрію шва та високу повторюваність результатів. Після завершення зварювання шви зачищають і піддають візуально-вимірному контролю з оцінюванням форми валика, ширини шва та відсутності зовнішніх дефектів.

На наступному етапі виконують складання та зварювання ребер жорсткості колони. Ребра встановлюють між трубою колони та опорною плитою у складальному кондукторі, після чого виконують прихватку напівавтоматом Kemppi X8 MIG Welder, а зварювання роботизованими комплексом ARC Mate120iC/12L. Зварювання здійснюють у нижньому положенні з використанням кантувача, а якість швів контролюють за катетом і відсутністю подрізів та непроварів.

Складання та зварювання консолі (стріли) крана включає підготовку балки, торцевих заглушок, кронштейнів і монтажних елементів. Балку (двотаврову або коробчасту) встановлюють у горизонтальний складальний кондуктор, де виконують прихватку торцевих заглушок і кронштейнів напівавтоматичним MIG/MAG-зварюванням за допомогою Kemppi X8 MIG Welder. Основне зварювання елементів консолі здійснюють на кантувачі або роликів опорах, що забезпечує раціональне положення зварного шва та зменшує зварювальні деформації. Після зварювання виконують зачистку швів і контроль геометрії балки, зокрема прямолінійності та допустимого прогину.

Складання поворотного вузла консольного підлогового крана виконують із застосуванням спеціалізованих складальних пристосувань і центрувальних оправок, які забезпечують співвісність фланців, втулок і корпусних елементів. Прихватку виконують механізованим MIG/MAG-

зварюванням із використанням напіваавтомата Kemppi X8 MIG Welder, а основне зварювання поворотного вузла роботом ARC Mate120iC/12L з подальшою зачисткою та візуально-вимірювальним контролем зварних швів.

Остаточне складання крана передбачає монтаж колони на монтажний стенд, установлення поворотного вузла та приєднання консолі з використанням підйомних засобів (таль, монтажні стропи). Після цього монтують вантажопідіймальний механізм, вантажний візок і кінцеві упори.

Завершальним етапом є контроль якості виготовлення, який включає суцільний візуально-вимірювальний контроль усіх зварних з'єднань, а для відповідальних елементів — ультразвукову дефектоскопію з використанням дефектоскопа NOVOTEST УД-1 (рис. 3.6).

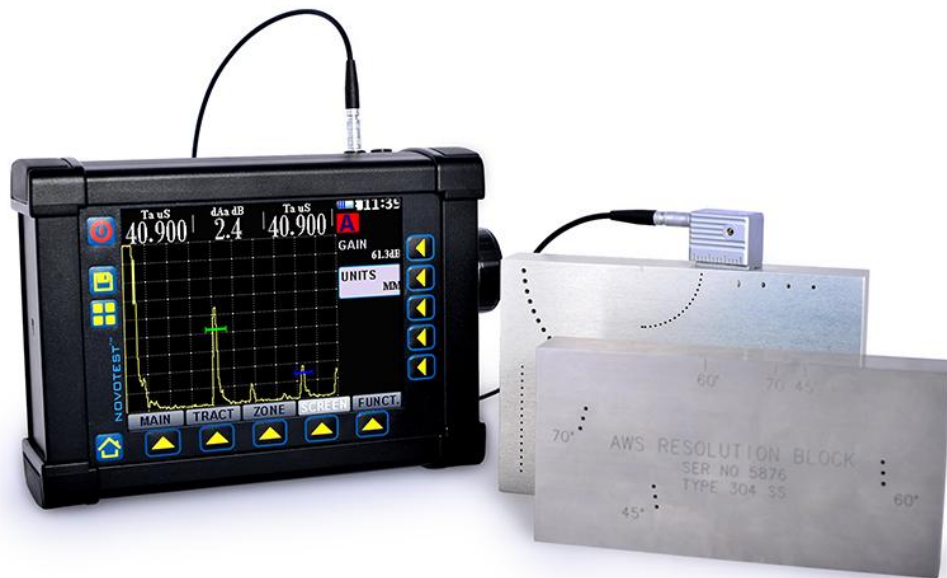


Рис. 3.6 – Дефектоскоп ультразвуковий типу NOVOTEST УД-1 [27].

Контрольні операції є невід'ємною складовою технологічного процесу виготовлення консольного підлогового крана та виконуються на всіх його етапах — від заготівельних операцій до остаточного складання і приймальних випробувань. Основною метою контролю є забезпечення відповідності виготовлених елементів і зварних з'єднань вимогам конструкторської документації, технічних умов і нормативних документів, а також попередження накопичення дефектів у процесі виробництва.

На етапах підготовки та складання елементів конструкції застосовують візуально-оптичний і візуально-вимірювальний контроль. За допомогою вимірювальних приладів, калібрів і шаблонів перевіряють геометричні розміри заготовок, взаємне розташування елементів у складальних пристосуваннях, дотримання заданих зазорів і допусків, а також правильність позиціонування деталей перед зварюванням. Окрему увагу приділяють виявленню поверхневих дефектів, таких як задирки, тріщини, деформації та сліди корозії.

Після виконання зварювальних операцій здійснюють суцільний візуальний контроль зварних швів. При цьому оцінюють форму і рівномірність валика, плавність переходу до основного металу, відсутність підрізів, напливів, пор, тріщин та інших зовнішніх дефектів. Візуальний контроль дозволяє своєчасно виявити порушення режимів зварювання та локальні дефекти, що можуть негативно вплинути на міцність і довговічність конструкції.

Завершальним етапом контролю є перевірка зібраної конструкції в цілому, що включає оцінку геометричних параметрів, правильності складання вузлів, а також контроль працездатності механізмів під час пробних пусків без навантаження та з контрольним навантаженням. Комплексне застосування візуального, вимірювального та ультразвукового контролю забезпечує високий рівень якості виготовлення консольного підлогового крана та його надійну експлуатацію в заданих умовах [26].

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань

Конструктивні схеми пристосувань, що застосовуються під час виготовлення колони консольного підлогового крана, забезпечують раціональну та послідовну реалізацію складально-зварювальних операцій. З цією метою для складання колони було обрано та спроектовано спеціалізоване складально-зварювальне обладнання, яке відповідає вимогам точності, жорсткості та стабільності геометричних параметрів виробу.

З урахуванням особливостей розробленого технологічного процесу складання елементів колони здійснюється шляхом установа трубної заготовки на опорні елементи з подальшою її фіксацією за допомогою важільних напівкільцевих притискачів. Опорні плити встановлюють у спеціальне пристосування, яке забезпечує їх притиск до труби колони з формуванням необхідного технологічного зазору. Складальні колони обладнані пневматичними висувними циліндрами, до яких приєднані механізми фіксації опорних плит (рис. 4.1).

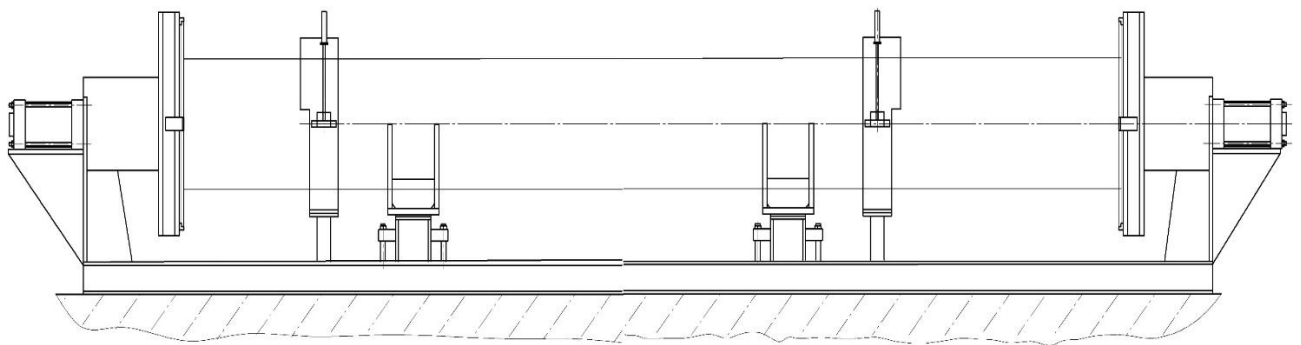


Рис. 4.1 - Установка для складання колони крана

Установка для складання колони крана складається з підйомних опор, постелі для укладання труби, несучої рами та механізмів установа опорних плит із пневматичними притискачами. Робота установки полягає в наступному: на підйомні опори та постіль укладають циліндричну частину колони, після чого з

обох боків труби встановлюють опорні плити. Підйомні опори та постіль оснащені пневматичними приводами, за допомогою яких у процесі складання здійснюють регулювання співвісності між кромками труби та опорними плитами. Після досягнення необхідного взаємного положення елементів виконують їх прихватку з використанням зварювального напівавтомата.

Після завершення операцій складання та виконання прихваток зібрану колону крана за допомогою спеціального перекидного пристрою (рис. 4.2) встановлюють у зварювальну установку (рис. 4.3).

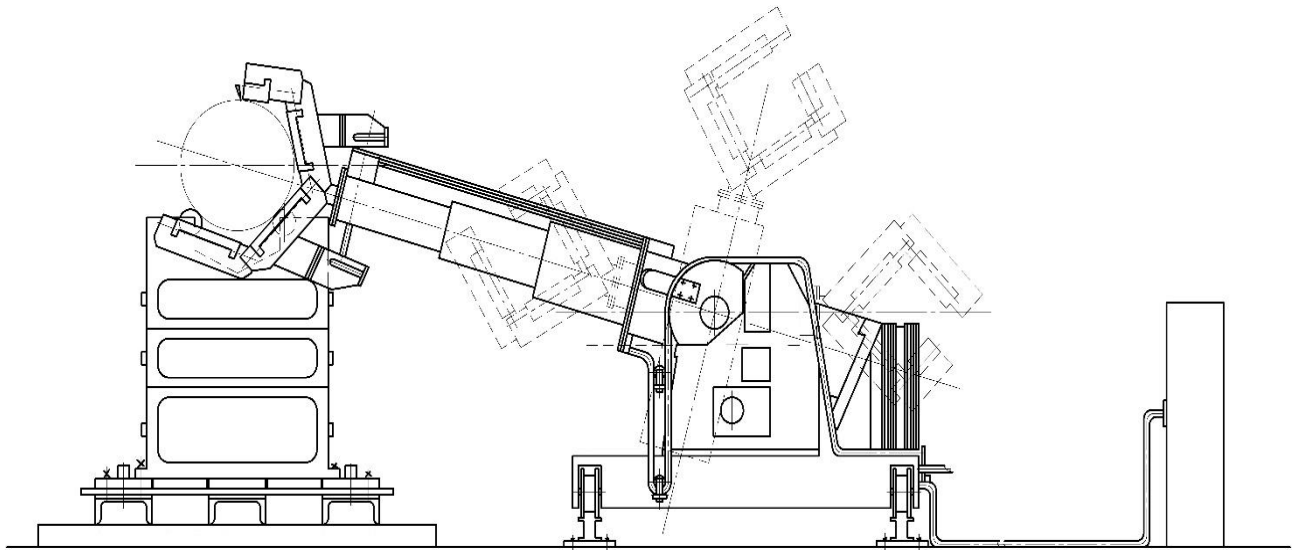


Рис. 4.2 Перекидний пристрій

Зварювальна установка включає перекидний пристрій, роликові опори, зварювальний обертач типу M31070 та пересувний візок, на якому розміщено зварювальний робот ARC Mate 120iC/12L. Принцип роботи установки полягає в тому, що зібрану колону за допомогою перекидного пристрою встановлюють на роликові опори, розташовані таким чином, щоб сформований зазор між трубою колони та опорними плитами знаходився між ними, тобто забезпечується окреме утримання труби та плит. Після цього колону фіксують у привідній бабці зварювального обертача.

Після встановлення виробу вмикають обертач, перевіряють співвісність усіх складальних елементів та задають швидкість обертання відповідно до заданої швидкості зварювання. Система керування зварювальним обертачем і

зварювальним роботом працює у синхронізованому автоматичному режимі. Після завершення налаштувань виконують програмування зварювального робота, який застосовують для зварювання кільцевих швів, а також для подальшого приварювання ребер жорсткості до труби та нижньої опори колони консольного підлогового крана. Необхідне положення виробу під час зварювання ребер жорсткості та відповідна швидкість зварювання забезпечуються шляхом керованого обертання колони на зварювальному обертачі.

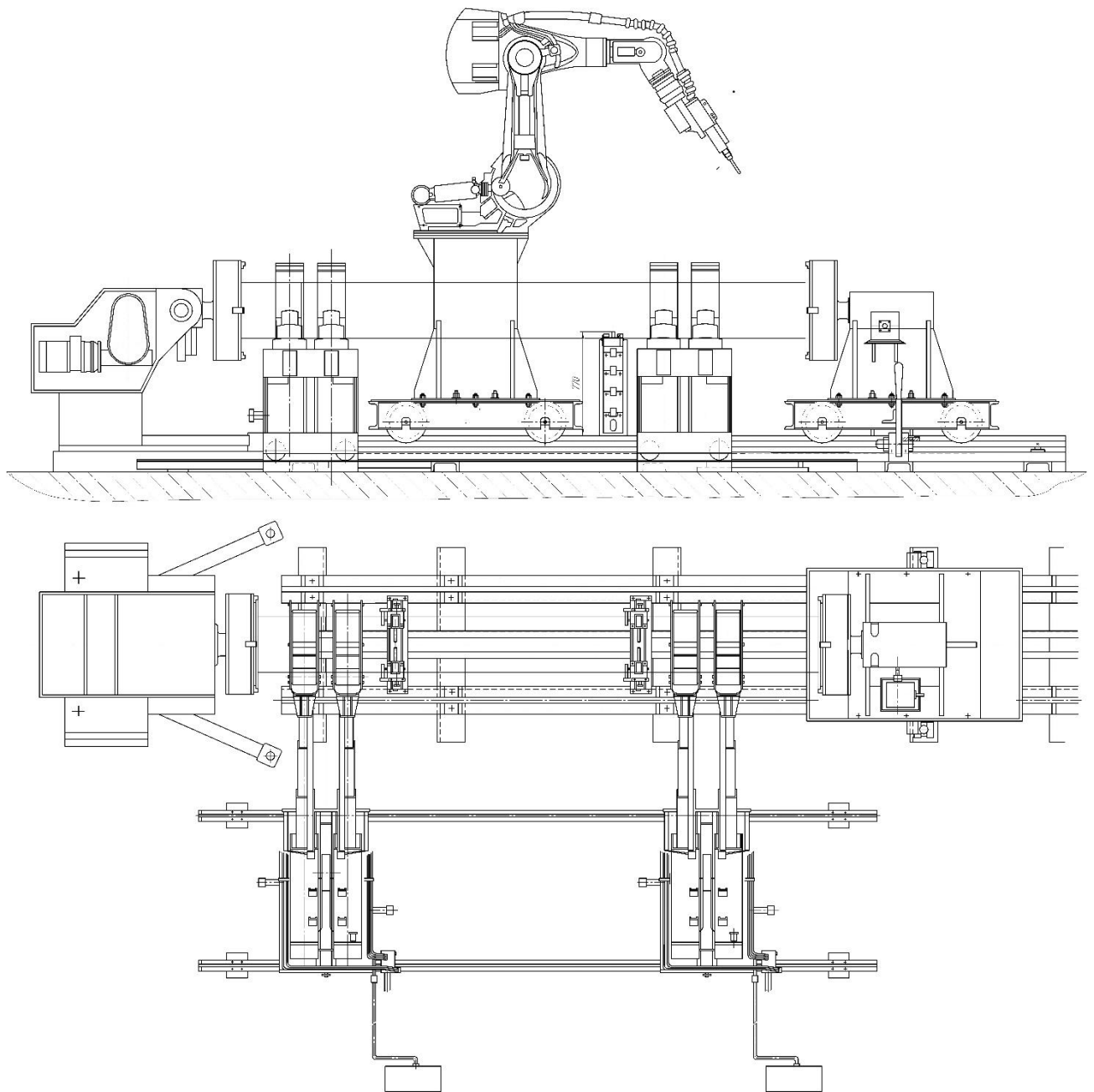


Рис. 4.3 Установка для зварювання колони крана

4.2 Розрахунок гвинтових притискачів складального кондуктора

Горизонтальні зварювальні обертачі призначені для обертання циліндричних виробів (труб, колон) під час зварювання, щоб забезпечити найсприятливіше положення шва (нижнє/горизонтальне) та стабільність режиму. Типова схема — дві стоякові бабки: привідна (передня) формує крутний момент і задає швидкість, неprivідна (задня) виконує підтримку й центрування виробу. Перевагами є зниження деформацій (завдяки рівномірному тепловкладенню по колу), підвищення повторюваності якості, а також можливість синхронізації з роботом (наприклад, ARC Mate 120iC/12L) під час зварювання кільцевих швів.

З метою забезпечення заданої швидкості обертання виробу з урахуванням режимів зварювання та маси конструкції необхідно виконати обґрунтований вибір приводу горизонтального обертача, для чого проводиться відповідний розрахунок [28].

Радіальні навантаження в підшипниках передньої (привідної) бабки, що виникають під дією окружної сили Q , визначаються з урахуванням розподілу сил у вузлах опори. Окружну силу без урахування впливу тертя обчислюють за залежністю:

$$Q = \frac{M_{\text{ВГ}}}{R} = \frac{3706}{0,35} = 1,029 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Відповідні радіальні складові в підшипниках передньої бабки становлять:

$$A_3 = Q \frac{l_1 + k}{l_1} = 10290 \cdot \frac{0,35 + 0,2}{0,35} = 1,617 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

$$B_3 = Q \frac{k}{l_1} = 10290 \cdot \frac{0,2}{0,35} = 5,88 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Сумарні навантаження в підшипниках визначають як геометричну суму вертикальних і радіальних складових. Для передньої бабки отримуємо:

$$A = \sqrt{A_B^2 + A_3^2} = \sqrt{6686^2 + 16170^2} = 1,75 \cdot 10^4 \text{ Н,}$$

$$B = \sqrt{B_B^2 + B_3^2} = \sqrt{3086^2 + 5880^2} = 6,641 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Для підшипників задньої (непривідної) бабки навантаження приймаються рівними:

$$C = C_B = 7,04 \cdot 10^3 \text{ Н}, D = D_B = 2,64 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Аксіальні сили в підшипниках у даній розрахунковій схемі не враховуються.

Згинальний момент у небезпечному перерізі шпинделя передньої бабки (поблизу підшипника А) визначають як геометричну суму двох складових: моменту від дії ваги виробу та моменту, спричиненого окружною силою на зубчастому колесі. При цьому:

$$M_1 = G_1 a_1 = 3600 \cdot 0,3 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_2 = Qk = 10290 \cdot 0,2 = 2,058 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_A = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{1080^2 + 2058^2} = 2,324 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Для шпинделя непривідної бабки (небезпечний переріз у точці С) згинальний момент визначається як:

$$M_C = G_2 a_2 = G \frac{a_2 h_1}{h_1 + h_2} = 8000 \cdot \frac{0,3 \cdot 2,2}{2,2 + 1,8} = 1,32 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахунок діаметрів шпинделів виконують з умови міцності на згин:

$$\sigma = \frac{M}{0,1d^3} \leq [\sigma].$$

За допустимих напружень для сталі 40Х $[\sigma] = 70 \dots 80 \text{ МПа}$ отримано:

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{M_A}{0,1[\sigma]}} = 0,066 \text{ м}, d_C = \sqrt[3]{\frac{M_C}{0,1[\sigma]}} = 0,055 \text{ м}.$$

З урахуванням конструктивного запасу приймаємо:

$$d_A = d_B = 70 \text{ мм}, d_C = d_D = 55 \text{ мм}.$$

Моменти сил тертя в підшипниках передньої та задньої бабок визначають за коефіцієнта тертя $f = 0,1$:

$$M_{\text{ТП1}} = 0,5(Ad_A f + Bd_B f) = 65,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\text{ТП2}} = 0,5(Cd_c f + Dd_d f) = 32,12 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Еквівалентні моменти для шпинделів відповідно дорівнюють:

$$M_{e1} = \sqrt{M_A^2 + M_{\text{ТП1}}^2} = 2,325 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{e2} = \sqrt{M_C^2 + M_{\text{ТП2}}^2} = 1,32 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Оскільки отримані еквівалентні моменти практично не перевищують розрахункові згинальні моменти, додатковий перерахунок діаметрів шпинделів не проводиться.

Сумарний момент сил тертя в підшипниках обертача становить:

$$M_{\text{ТП}} = 106,29 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Максимальний крутний момент, який має забезпечувати привід кантувача:

$$M_{\text{КР}} = M_{\text{ВТ}} + M_{\text{ТП}} = 3812,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Загальний коефіцієнт корисної дії приводу визначають з урахуванням ККД циліндричного та черв'ячного редукторів:

$$\eta_0 = \eta_{\text{ц}} \eta_{\text{ч}} = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54.$$

Частота обертання шпинделя при швидкості кантування виробу $V_k = 24$ м/хві діаметрі $D = 2$ м дорівнює:

$$n = \frac{V_k}{\pi D} = \frac{24}{3,14 \cdot 2} = 3,82 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість обертання планшайби:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = 0,4 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність електродвигуна приводу обертача визначається за формулою:

$$N = \frac{M_{\text{КР}} \omega}{\eta_0} = 2,82 \text{ кВт.}$$

З урахуванням стандартного ряду електродвигунів приймаємо номінальну потужність приводу $N = 3$ кВт.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Характеристика системи вентиляції

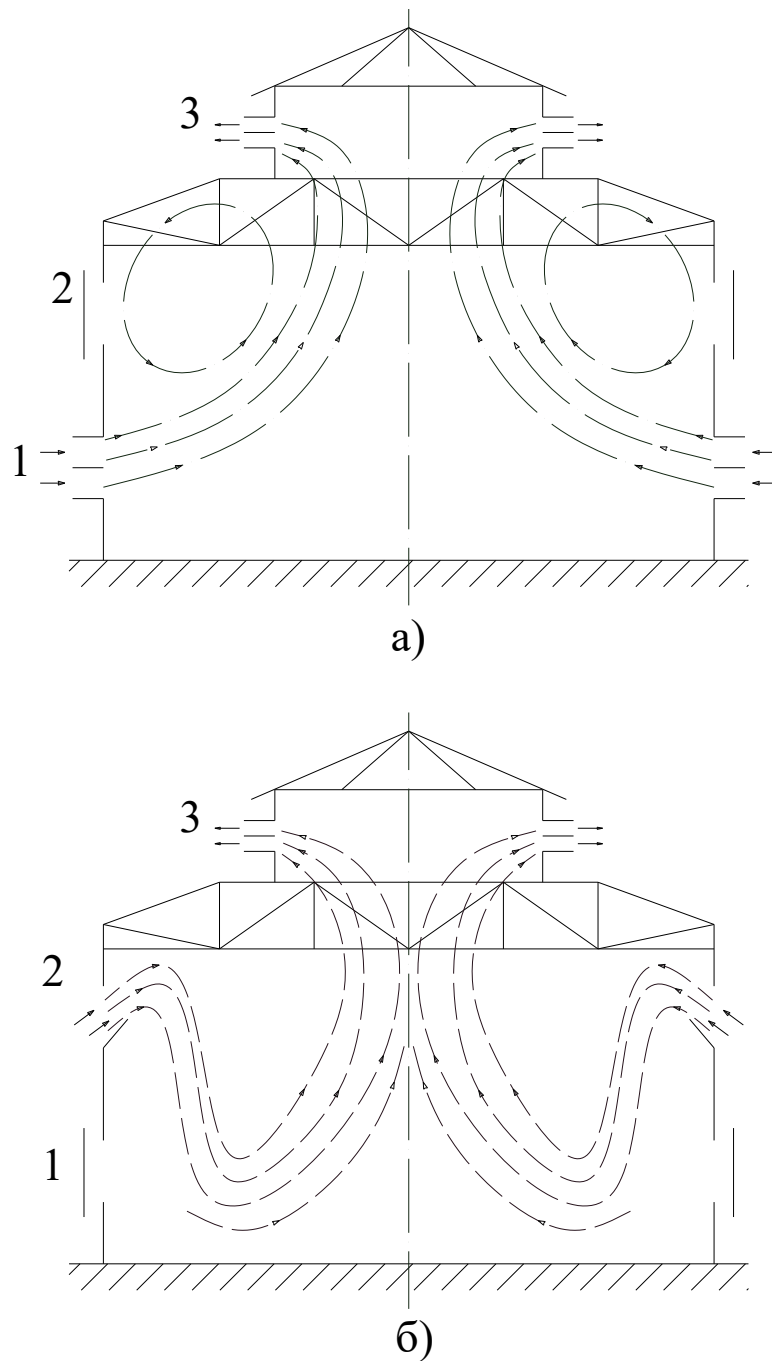
Вентиляція виробничих приміщень є одним із ключових елементів системи охорони праці, основним призначенням якого є підтримання нормативної якості повітряного середовища та забезпечення допустимих метеорологічних параметрів у робочій зоні. Ефективна вентиляція сприяє видаленню шкідливих домішок з повітря, зниженню температури перегрітого повітря та організованій подачі свіжого повітря до приміщення.

Залежно від способу переміщення повітря вентиляційні системи поділяють на природні та механічні. У виробничих умовах також широко застосовуються комбіновані варіанти, у яких поєднуються природні та механічні принципи повітрообміну. За функціональним призначенням вентиляція може бути приточною, витяжною або приточно-витяжною, тобто забезпечувати лише подачу повітря, лише його видалення або одночасне виконання обох функцій.

Природна вентиляція ґрунтується на різниці температур і густини повітря всередині приміщення та зовні, а також на дії вітрового тиску. Унаслідок температурного напору холодніше зовнішнє повітря надходить у приміщення, витісняючи тепліші повітряні маси назовні. Вітровий вплив спричиняє зниження тиску з навітряного боку будівлі, що інтенсифікує видалення забрудненого або нагрітого повітря, тоді як з підвітряної сторони створюються умови для припливу свіжого повітря. Ефективність роботи природної вентиляції значною мірою залежить від зазначених чинників [29].

Природна вентиляція виробничих приміщень може бути організованою або неорганізованою. За неорганізованої вентиляції повітрообмін відбувається через нещільності огорожувальних конструкцій, пори будівельних матеріалів, вікна, кватирки та спеціальні вентиляційні зазори. Організована

природна вентиляція реалізується шляхом аерації або застосування дефлекторів.



1, 2, 3 – вентиляційні отвори;

а, б – відкриті вентиляційні отвори в теплу і холодну пору року

Рис. 5.1 – Система вентиляції приміщення [29]

Аерація являє собою форму організованої природної вентиляції, яка в холодних приміщеннях здійснюється переважно за рахунок вітрового тиску, а

в гарячих цехах — унаслідок спільної або роздільної дії гравітаційного та вітрового напору. У виробничих приміщеннях з аераційною схемою, обладнаних кількома рядами вентиляційних отворів із кватирками, у теплий період року відкривають нижні та верхні отвори: приплив повітря відбувається через нижні отвори, розміщені на висоті приблизно 1–1,5 м від підлоги, а видалення — через отвори у верхній зоні приміщення. У холодний період приплив повітря організовується через верхні отвори, розташовані на значній висоті, що забезпечує його попереднє нагрівання за рахунок змішування з теплим повітрям у приміщенні. Регулювання інтенсивності повітрообміну досягається зміною положення кватирок [29].

Дефлектори є спеціальними аеродинамічними насадками, що встановлюються на витяжних каналах і використовують енергію вітру для підсилення тяги. Вони застосовуються для видалення забрудненого повітря з приміщень порівняно невеликої площі та об'єму, а також у системах місцевої вентиляції.

У системах механічної вентиляції переміщення повітря здійснюється за допомогою вентиляторів, а в окремих випадках — ежекторів. Типова приточна вентиляційна установка включає повітрязабірний пристрій, розміщений у зоні з мінімальним забрудненням зовнішнього повітря, мережу повітропроводів, фільтри для очищення повітря, калорифери для його підігріву в холодний період року, вентилятор та припливні решітки або дифузори для подачі повітря в приміщення.

Під час роботи витяжної вентиляції надходження свіжого повітря відбувається через нещільності огорожувальних конструкцій або спеціальні припливні отвори. У ряді випадків це є недоліком, оскільки неорганізований приплив холодного повітря може призводити до утворення протягів і негативно впливати на стан здоров'я працівників.

Розміщення елементів приточної та витяжної вентиляції, повітропроводів, отворів і насадок, а також обсяги повітря, що подається і видаляється, визначаються з урахуванням вимог охорони праці та виробничої

санітарії. Місце забору свіжого повітря вибирається з підвітряного боку відносно витяжних отворів, на відстані не менше 3 м від них та на безпечному віддаленні від джерел забруднення.

5.1.2 Захисне заземлення

Захисне заземленням називають навмисне електричне з'єднання з ґрунтом металевих неструмоведучих частин електроустаткування, які за нормальних умов не перебувають під напругою, однак можуть опинитися під нею внаслідок пошкодження ізоляції або аварійного режиму роботи електроустановки. До таких частин належать корпуси машин, кожухи, металеві каркаси, опори та інші конструктивні елементи.

Основним призначенням захисного заземлення є зниження небезпеки ураження людини електричним струмом у разі появи напруги на корпусах обладнання, тобто при виникненні так званого «замикання на корпус». Реалізація заземлення забезпечує відведення струму замикання в землю та створює умови для спрацювання захисних апаратів.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зменшенні до допустимих значень напруги дотику та крокової напруги, що виникають при пошкодженні ізоляції. Це досягається, з одного боку, зниженням електричного потенціалу заземленого обладнання, а з іншого — вирівнюванням потенціалів поверхні, на якій перебуває людина, шляхом наближення її потенціалу до потенціалу заземлених частин [29].

Заземлювальним пристроєм вважають сукупність заземлювача — елементів, що безпосередньо контактують із землею, та заземлювальних провідників, які з'єднують ці елементи з металевими частинами електрообладнання. За конструктивним виконанням розрізняють виносні (концентровані) та контурні (розосереджені) заземлювальні пристрої.

Виносні заземлювальні пристрої характеризуються тим, що заземлювачі розміщуються за межами площадки, на якій встановлено обладнання, або зосереджуються в окремій її частині. Недоліком такого

рішення є значна віддаленість заземлювача від устаткування, що призводить до підвищених значень напруги дотику. У зв'язку з цим виносне заземлення застосовується переважно в установках з відносно невеликими напругами замикання на землю. Водночас його перевагою є можливість вибору ділянки з мінімальним питомим опором ґрунту.

Контурне заземлення передбачає розміщення заземлювачів по периметру майданчика або рівномірно по всій його площі. Такий тип заземлення забезпечує ефективне вирівнювання потенціалів у зоні розташування обладнання, внаслідок чого напруга дотику та крокова напруга не перевищують допустимих значень. Безпека досягається раціональним розташуванням окремих заземлювальних електродів і їх електричним взаємозв'язком.

У межах виробничих приміщень додаткове вирівнювання потенціалів здійснюється через металоконструкції будівель, трубопроводи, кабельні оболонки та інші провідні елементи, з'єднані з розгалуженою системою заземлення.

За характером використання заземлювачі поділяють на штучні та природні. Штучні заземлювачі створюються спеціально для цілей заземлення, тоді як природні являють собою металеві предмети, що вже перебувають у ґрунті та виконують інші функції.

Для штучного заземлення зазвичай застосовують вертикальні та горизонтальні електроди. Як вертикальні електроди використовують сталеві труби діаметром 30–50 мм або сталеві кутики перерізом від 40×40 до 60×60 мм довжиною 2,5–3,0 м. Також поширеними є сталеві прутки діаметром 10–12 мм і довжиною до 10 м. Для з'єднання вертикальних електродів і як самостійні горизонтальні заземлювачі використовують смугову сталь перерізом не менше 4×12 мм або круглу сталь діаметром не менше 6 мм [29].

Установлення вертикальних заземлювачів здійснюється шляхом попереднього риття траншей глибиною 0,7–0,8 м з подальшим заглибленням електродів у ґрунт за допомогою механізованих засобів.

Як природні заземлювачі допускається використовувати прокладені в землі водопровідні труби та інші металеві конструкції, за винятком трубопроводів, призначених для транспортування пального, мастил або горючих газів. Природні заземлювачі, як правило, мають малий опір розтікання струму, що дозволяє використовувати їх з метою зниження витрат на влаштування спеціальних заземлювальних пристроїв.

Захисному заземленню підлягають усі металеві частини конструкцій і обладнання, які в нормальному режимі не повинні перебувати під напругою. У приміщеннях та цехах з підвищеною електробезпекою заземлення є обов'язковим уже при напрузі 86–110 В, тоді як у приміщеннях без підвищеної небезпеки — при напрузі до 500 В [29].

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.2.1 Безпека життєдіяльності людини на виробництві

Досвід функціонування виробничих систем свідчить, що жоден технічний об'єкт або технологічний процес не може бути абсолютно безпечним. Водночас сучасний підхід до безпеки життєдіяльності передбачає максимальне зниження рівня ризику шляхом упровадження інженерних, організаційних і управлінських заходів. У міру розвитку науки й техніки методи забезпечення безпеки постійно вдосконалюються, що розширює можливості ідентифікації небезпек, оцінювання ризиків та контролю потенційно небезпечних ситуацій з метою доведення їх до прийнятного рівня.

Важливим етапом забезпечення безпеки на виробництві є систематичний аналіз небезпек, який, як правило, розпочинається з узагальненого дослідження об'єкта. Такий початковий аналіз дозволяє виявити основні джерела небезпек і сформулювати уявлення про можливі загрози. За потреби подальші дослідження поглиблюються, що дає змогу виконати детальний якісний аналіз і розробити ефективні заходи з управління ризиками. Методи аналізу небезпек та відповідні прийоми їх реалізації відомі під різними назвами, серед яких виділяють такі основні інструменти:

- попередній аналіз небезпек (ПАН);
- системний аналіз небезпек (САН);
- підсистемний аналіз небезпек (ПСАН);
- аналіз небезпек робіт і технічного обслуговування (АНРО).

Попередній аналіз небезпек є базовим етапом у процесі забезпечення безпеки виробничих систем. Його метою є виявлення загальних груп небезпек, характерних для конкретного об'єкта, аналіз можливих напрямів їх розвитку та формування рекомендацій щодо запобігання або контролю небезпечних проявів. ПАН фактично є першою спробою структурованої ідентифікації та класифікації небезпек, притаманних системі, і в окремих випадках може ґрунтуватися на попередньо складеному переліку потенційних загроз [30].

Зазвичай попередній аналіз небезпек виконується за певною послідовністю. Спочатку вивчаються технічні характеристики об'єкта, системи або технологічного процесу, а також види енергії, що використовуються, умови виробничого середовища і властивості матеріалів, зокрема їх небезпечні та шкідливі параметри. Далі визначаються нормативно-правові акти, стандарти та правила, вимоги яких поширюються на даний об'єкт або процес. На наступному етапі здійснюється перевірка технічної документації щодо її відповідності чинним нормам і принципам безпеки. Завершальним кроком є складання систематизованого переліку небезпек, у якому зазначаються ідентифіковані джерела загроз, чинники, що можуть спричиняти шкоду, потенційно небезпечні ситуації та виявлені недоліки.

Після ідентифікації основних елементів об'єкта, які є джерелами підвищеної небезпеки, доцільно здійснювати їх подальше детальне дослідження із застосуванням системного або підсистемного аналізу, а також аналізу небезпек конкретних робіт і процесів обслуговування. Такий поетапний підхід дозволяє підвищити рівень безпеки виробництва та зменшити ймовірність виникнення надзвичайних ситуацій.

5.2.2 Особливості впливу електричного струму на організм людини при ураженні

Аналіз виробничого травматизму свідчить, що значна частка електротравм пов'язана з виникненням опіків, які належать до найбільш небезпечних видів уражень. Такі опіки характеризуються глибоким проникненням у тканини організму та складністю лікування. В електроустановках напругою до 1 кВ найчастіше спостерігаються контактні електричні опіки, що виникають унаслідок безпосереднього доторкання людини до струмопровідних частин [30].

Під час проходження електричного струму через тіло людини в тканинах виділяється теплова енергія, кількість якої визначається відповідно до закону Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (5.1)$$

де I — сила струму, що проходить через тіло людини, А; R — електричний опір тіла людини, Ом;

t — час дії струму, с.

Електричні опіки можливі за умови проходження через організм струму значної величини. За великих струмів уражені тканини нагріваються до температур 60–70 °С і вище, за яких відбувається згорання білків і руйнування клітинних структур, що призводить до тяжких термічних ушкоджень.

Під час зварювальних робіт рівень електричного струму значно перевищує значення, характерні для побутових електроустановок, тому небезпека ураження істотно зростає. У разі випадкового наближення частин тіла людини до струмопровідних елементів на небезпечну відстань різко підвищується напруженість електричного поля. Це може спричинити пробій повітряного проміжку внаслідок ударної іонізації та утворення електричної дуги, температура якої сягає приблизно 4000 °С. У такій ситуації електричний струм протікає одночасно через дугу та тіло людини, що супроводжується виділенням великої кількості тепла, сильним мимовільним скороченням м'язів

і виникненням тяжких опіків. Як правило, внаслідок цього дуга і електричний ланцюг обриваються.

У більшості випадків проходження електричного струму через організм на шкірі в місцях контакту утворюються так звані електричні знаки — плями сірувато-жовтого кольору округлої або овальної форми, які є характерною ознакою електротравми.

При ураженні електричною дугою можлива металізація шкіри, що полягає у впровадженні в її поверхневі шари дрібних частинок розплавленого металу з дугової плазми. Уражена ділянка шкіри при цьому ущільнюється та набуває характерного забарвлення, зумовленого хімічними властивостями металу.

Електричний струм чинить на організм людини комплексну дію, яка проявляється в кількох формах. Теплова дія пов'язана з нагріванням тканин і виникненням опіків. Електролітична дія проявляється в розкладанні органічних рідин, зокрема крові, що є електролітом, і супроводжується порушенням її фізико-хімічного складу. Біологічна дія струму полягає у збудженні та подразненні живих тканин, порушенні нормального перебігу біоелектричних процесів, що може призводити до судом, порушення дихання та серцевої діяльності. Механічна дія зумовлена електродинамічними силами та різким утворенням пари з тканинної рідини і крові, що спричиняє розриви тканин і порушення рухових функцій.

У результаті впливу електричного струму або електричної дуги виникає електротравма, яку за характером наслідків умовно поділяють на загальні, що впливають на функціонування всього організму, та місцеві, які проявляються у вигляді локальних ушкоджень тканин.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано аналіз конструкції консольного підлогового крана та умов його експлуатації, що дало змогу визначити найбільш навантажені елементи металоконструкції та сформулювати вимоги до технології їх виготовлення і зварювання.

Обґрунтовано вибір конструкційної сталі марки 20 як основного матеріалу металоконструкції, яка поєднує достатні показники міцності, пластичності та високу зварюваність, що є критично важливим для відповідальних вантажопідіймальних конструкцій.

Встановлено, що найбільш раціональним способом виготовлення зварних з'єднань є механізоване зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів з використанням напіваавтоматичного обладнання Kemppi X8 MIG Welder, яке забезпечує стабільність режимів зварювання, високу якість формування швів і зниження впливу людського фактора.

Для зварювання кільцевих і протяжних швів колони та консолі запропоновано застосування роботизованого зварювального комплексу ARC Mate 120iC/12L у поєднанні з горизонтальними двостійковими зварювальними обертачами, що дозволяє виконувати зварювання у нижньому положенні шва та мінімізувати зварювальні деформації.

Розроблений технологічний процес виготовлення передбачає використання спеціалізованих складально-зварювальних кондукторів, кантувачів і позиціонерів, які забезпечують точне позиціонування елементів, дотримання геометричних допусків і підвищення повторюваності результатів у серійному виробництві.

Контроль якості зварних з'єднань здійснюється шляхом візуально-вимірювального контролю та ультразвукової дефектоскопії з використанням дефектоскопа NOVOTEST УД-1, що забезпечує виявлення як поверхневих, так і внутрішніх дефектів зварних швів.

За результатами чисельного аналізу напружено-деформівного стану, виконаного в програмному середовищі SolidWorks Simulation, встановлено,

що максимальні еквівалентні напруження та переміщення не перевищують допустимих значень, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності підтверджує експлуатаційну надійність конструкції.

Запропоновані конструктивно-технологічні рішення та підібране обладнання дозволяють підвищити якість виготовлення консольного підлогового крана, знизити трудомісткість зварювальних операцій і можуть бути рекомендовані для впровадження у виробничих умовах машинобудівних підприємств.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О. Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
2. Металеві конструкції. Загальний курс : підручник /О. О. Нілов та ін. 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Сталь, 2010.869 с.
3. БН В.2.6-163:2010 “Сталеві конструкції”, Держбуд України, 2010 – 96 с.
4. <https://kzpto.com.ua/uk/konsolno-povorotni-krani/>
5. <https://ua.krانkomplekt.com/grcran/consol-povorot-kran/>
6. <https://www.zoke-crane.com/uk/jib-cranes/>
7. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ 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://kemppi.in.ua/catalog/svarochniy_robot/279.htm
 23. <https://kemppi.in.ua/catalog/avtomatizirovannayz-svarka-mig/240.htm>
 24. https://kemppi.in.ua/catalog/visokie_technologii/223.htm
 25. <https://svartech.com.ua/>

26. 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.
27. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/defektoskop-ultrazvukovoy-ud-1>
28. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
29. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
30. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.
31. 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