

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: **Удосконалення технології виготовлення трубчастих ферм
покриття з дослідженням НДС**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПзм-61
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Ошурко А.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Підгурський М.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Удосконалення технології виготовлення трубчастих ферм покриття з дослідженням НДС", що включає 63 аркуші розрахунково-пояснювальної записки та 6 аркушів графічної частини формату А1, структура роботи передбачає такий розподіл частин: аналітична частина, технологічних частина, конструкторська частина, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

У роботі було здійснено детальне дослідження структурних характеристик трубчастих ферм покриття та виконано аналіз їхньої робочої здатності в умовах навантаження за допомогою програми SolidWorks. Використання методу скінченних елементів дозволило оцінити напруження та вигини, що виникають при статичному навантаженні, та визначити максимально допустимі значення цих параметрів. На базі отриманих даних було скориговано параметри зварювального процесу та розроблено вдосконалені конструкції зварювальних пристосувань, що сприяє підвищенню точності монтажу ферм і зростанню виробничої ефективності.

Внесені технологічні новації оптимізують зварювальні процедури та забезпечують більш високу надійність готових конструкцій.

Ключові терміни: НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, НАПІВАВТОМАТ, ТРУБЧАСТА ФЕРМА, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, АНАЛІЗ НАПРУЖЕННЯ-ДЕФОРМАЦІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи.....	7
1.2 Технічні умови до конструкції виробу.....	11
1.3 Аналіз технологічного процесу	13
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	16
2.1 Розрахунок сталевий зварної кроквяної ферми.....	16
2.2 Моделювання і конструювання зварних вузлів кроквяної ферми	20
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	27
3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.....	27
3.2 Опис технологічного процесу	38
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	45
4.1 Розрахунок елементів кондуктора	45
4.2 Опис складально-зварювальної установки.....	47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	50
5.1 Вимоги безпеки, що ставляться до виробничого процесу	50
5.2 Розрахунок захисного заземляючого пристрою установки	52
5.3 Розрахунок витяжної вентиляції для спроектованого цеху	56
5.4 Вимоги до стійкості функціонування промислового підприємства	58
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61
ДОДАТКИ.....	63

ВСТУП

У сучасному світі зварні конструкції є невід'ємною складовою більшості промислових і будівельних галузей. Їх застосування охоплює широкий спектр об'єктів, починаючи від простих металевих елементів і закінчуючи складними інженерними спорудами. Такі конструкції відрізняються за розмірами, формою, принципами роботи та технологією виготовлення, що визначає їхню універсальність і важливість у різних сферах виробництва.

Особливе значення зварні конструкції мають у будівництві, де вони використовуються для створення несучих і допоміжних елементів конструкцій, таких як балки, колони, резервуари, трубопроводи, котли та посудини під тиском. Висока якість зварних з'єднань, яка досягається завдяки сучасним технологіям, дозволяє застосовувати новітні матеріали, включаючи леговані сталі підвищеної міцності та сплави кольорових металів.

Сучасний розвиток зварювальних технологій спрямований на підвищення ефективності виробничих процесів. Індустріалізація та автоматизація є ключовими напрямками вдосконалення зварювальних робіт. Це дозволяє мінімізувати трудомісткість, скоротити витрати на монтаж у польових умовах і підвищити точність виготовлення складних конструкцій.

Особливу роль відіграють зварні конструкції, для яких, окрім міцності, важливим є забезпечення герметичності. Такі вимоги висуваються до резервуарів, трубопроводів та інших апаратів, які зварюються безпосередньо на об'єкті будівництва. Забезпечення високої точності та надійності таких з'єднань є одним із головних викликів сучасних технологій.

Актуальність роботи полягає у необхідності впровадження прогресивних зварювальних методів, автоматизації та роботизації виробничих процесів та використання інноваційних підходів для підвищення якості, зменшення витрат і підвищення довговічності зварних конструкцій.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи

У даній роботі розглянуто трубчасту ферму покриття, конструкція якої призначена для сприйняття згинальних навантажень. Ферма формується з окремих елементів — стержнів, які об'єднані в вузлах, створюючи стійку геометрично незмінну структуру. Особливістю ферми є те, що при її згині в стержнях виникають виключно осьові зусилля — стиснення або розтяжка, що забезпечує ефективне використання матеріалів у порівнянні з використанням балок [1].

Ферма — це жорстка решітчаста конструкція, утворена стержнями, які з'єднуються у вузлах. Основні елементи ферм включають пояси, що формують її зовнішній контур, та решітку, що складається з розкосів і стояків.

Ферми виявляються економічнішими за витратами металу на одиницю довжини, однак їх виробництво є більш трудомістким. Це обумовлює їх застосування здебільшого для перекриття значних пролітів за умов помірних навантажень.

Конструкція ферми включає три основні елементи: верхній та нижній пояси та решітку, що складається з розкосів та стійок. Відстань між вузлами решітки називається панеллю, а відстань між опорами ферми — прольотом.

Відстань між сусідніми вузлами поясів називається панеллю. Ферми є більш ефективними, ніж конструкції з суцільними стінками, особливо зі збільшенням прольоту, висоти або вильоту. Однак процес їх виготовлення потребує значно більше трудових ресурсів. Конструктивні форми ферм варіюються залежно від їхнього призначення та характеру навантажень, які на них діють [2].

Ферми поділяються за такими критеріями:

- ✓ За статичною схемою: балкові (розрізні, нерозрізні, консольні), аркові, рамні та комбіновані конструкції.
- ✓ За формою поясів: з паралельними поясами, трапецоїдні, трикутні, полігональні, сегментні тощо.
- ✓ За типом решітки: трикутні, розкісні, хрестові, ромбічні та інші системи.

До комбінованих решітчастих конструкцій відносяться ті, які поєднують елементи балки й ферми, наприклад, балки, підкріплені знизу шпренгелями або розкосами, чи арками зверху. Такі системи мають простішу конструкцію завдяки меншій кількості елементів і є оптимальним вибором для важких металоконструкцій або конструкцій, які піддаються змінним навантаженням.

Найбільш раціональним профілем елементів ферм вважається трубчастий переріз. Круглі труби забезпечують оптимальний розподіл матеріалу відносно центра ваги, що є надзвичайно важливим для стислих елементів. У порівнянні з іншими профілями тієї ж площі перерізу, круглі труби мають найбільший радіус інерції ($0,353D$), рівний у всіх напрямках, що дозволяє зменшити гнучкість стержня та заощадити до 20–25% металу.

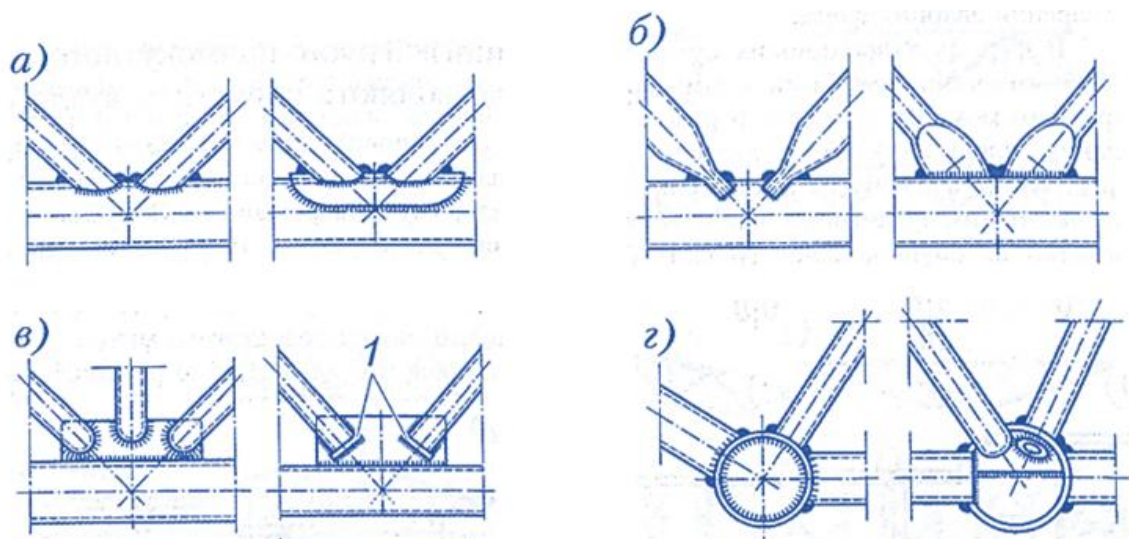
Додаткові переваги трубчастих конструкцій:

- ✓ Обтічна форма, яка зменшує вплив вітрового навантаження.
- ✓ Відсутність затримки вологи на поверхні, що полегшує очищення та фарбування.
- ✓ Висока стійкість до корозії за умови герметизації внутрішніх порожнин.

У конструкціях ферм із труб найбільш раціональними вважаються безфасонкові вузли, де стержні решітки безпосередньо примикають до поясів (рис., 1.1а). Виконання фігурного різання кінців труб (рис. 1.2) за допомогою спеціалізованого обладнання дозволяє із мінімальними затратами праці та матеріалу забезпечити високоякісні з'єднання для зварювання вузлів із безпосереднім примиканням елементів. Центрування стержнів зазвичай виконується за їх геометричними осями. У випадках, коли несуча здатність поясної труби використовується не повністю, допускається ексцентриситет примикання, що не перевищує чверті діаметра поясної труби.

Форма зварного шва, виконаного без зняття фаски, змінюється залежно від кута примикання труб: при гострих кутах шов наближається до кутового, тоді як при тупих — до стикового. Якщо на виробництві відсутнє обладнання для фігурного оброблення торців труб, вузли трубчастих ферм можуть виконуватися шляхом сплющування кінців стержнів решітки (рис., 1.1б) або із застосуванням фасонки (рис., 1.1в). Сплющування кінців є допустимим лише для труб, виготовлених із низьковуглецевої чи іншої пластичної сталі.

Вузли в місцях зміни напрямку осі поясу, а також у випадках великої кількості стержнів, які сходяться в одному вузлі, можуть виконуватися із використанням циліндричних або багатокутних вузлових вставок (рис., 1.1г). Для просторових вузлів такі вставки виготовляють у вигляді кульових елементів, що забезпечує необхідну жорсткість і зручність монтажу [2].



а — з безпосереднім примиканням; б — із сплющуванням кінців стержнів;
в — на фасонках; г — із вставками; 1 — заглушка

Рис. 1.1 - Схеми вузлів трубчастих ферм

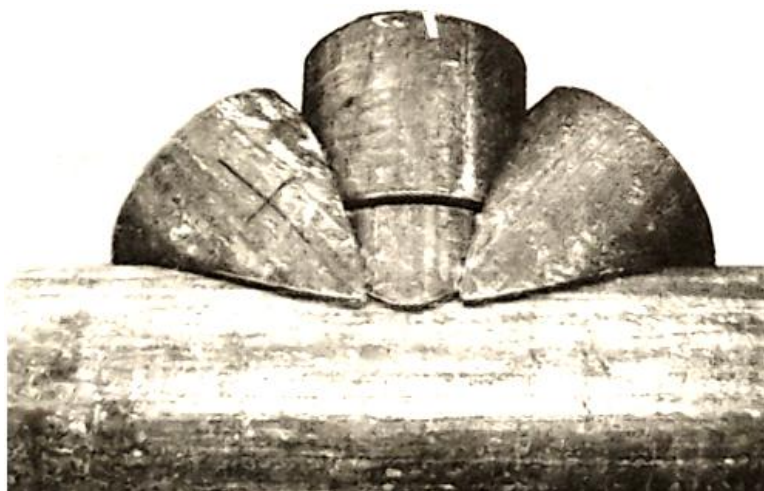


Рис. 1.2. - Фігурне підрізання кінців труб

У конструкції ферм часто використовується трикутна решітка, яка є найпростішою у виконанні. Додаткові стійки встановлюються в місцях прикладення концентрованих сил або для зменшення довжини панелей у стиснутому верхньому поясі. Щодо статичної схеми, ферми поділяють на нерозрізні, розрізні та консольні типи. Залежно від навантажень на елементи, ферми класифікують як легкі або важкі. Відповідно до конструктивних рішень вирізняють стандартні, комбіновані та попередньо напружені ферми.

Зазвичай у місцях з'єднань елементів ферми використовують спарені куточки. Однак ферми, виготовлені з відкритих гнутих або гнуто-зварних профілів, на 15-20% легші порівняно з фермами, що мають парні куточки. Трубчастий переріз елементів ферм є раціональним з точки зору витрат металу.

При виготовленні зварних ферм покриття застосовують сталь 09Г2С. Дані по сталі приведено в табл. 1.1 та 1.2.

Таблица 1.1 Хімічний склад [3]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
до 0.12	0.5 - 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.035	до 0.03	до 0.3	до 0.12	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості [3]

Сортамент	Розмір	Напр.	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
Труби, ГОСТ 10705-80			490	343	20		

Для аналізу схильності вказаної сталі та зварних сполук до формування гарячих і холодних тріщин необхідно виконати оцінку. Оцінка технологічної міцності зварних з'єднань, а зокрема основного металу, здійснюється на основі хімічного складу. Це передбачає визначення вуглецевого еквівалента - C_e , відповідно до методології, яку рекомендує Міжнародний інститут зварювання [4-5]:

$$C_e = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60}; \quad (1.1)$$

$$C_e = 0.12 + \frac{0.8}{30} + \frac{1.7 + 0.3 + 0.3}{20} + \frac{0.3}{60} + \frac{0.12}{10} + \frac{0.035}{600} + \frac{2.5}{60} = 0.32$$

Сталі з вмістом вуглецевого еквіваленту (C_e) в межах 0,2 до 0,35% характеризуються відмінною зварюваністю. У випадках, коли C_e знаходиться в діапазоні від 0,45 до 0,5%, зварювання можливе без додаткового підігріву для елементів товщиною до 10 мм. Однак, при вищому вмісті вуглецю може знадобитися застосування підігріву на різних рівнях або ж зварювання стає неможливим через високий ризик утворення тріщин.

Враховуючи показник C_e для даної сталі, то вона зварюється відмінно.

1.2 Технічні умови до конструкції виробу.

Стандарт ДСТУ Б В.2.6-74:2008 встановлює вимоги до виготовлення ферм, які включають детальні технічні умови і процедури контролю якості.

Для виготовлення стержнів і поясів ферм повинні використовуватися низьковуглецеві, низьколеговані або конструкційні сталі, які забезпечують необхідну міцність, пластичність і корозійну стійкість.

Труби повинні відповідати стандартам ДСТУ за хімічним складом, механічними властивостями та якістю поверхні [6].

Усі матеріали мають супроводжуватися сертифікатами якості.

Вузли трубчастих ферм повинні виконуватись з мінімальними ексцентриситетами для зменшення впливу згинальних моментів.

Різання труб повинно виконуватись спеціалізованими машинами для фігурної обробки кінців труб із забезпеченням високої точності та чистоти обробки.

Центрування елементів у вузлах здійснюється за геометричними осями. Допускається ексцентриситет не більше чверті діаметра поясної труби за неповного використання її несучої здатності.

Зварювання вузлів має проводитися відповідно до стандартів якості зварних з'єднань (ISO, ДСТУ).

Зварювальні роботи повинні виконуватись автоматизованими або напіваавтоматичними способами в середовищі захисних газів (аргон, вуглекислий газ або їх суміші).

Типи зварних швів: стикові, кутові або комбіновані в залежності від кута примикання труб.

Контроль зварних швів здійснюється методами неруйнівного контролю (ультразвуковий, рентгенографічний, капілярний тощо).

Форма швів повинна забезпечувати герметичність конструкції, якщо це передбачено технічним завданням.

Дробоструминна або піскоструминна обробка повинна забезпечити очищення поверхонь від окалини, іржі, зварювальних бризок та інших забруднень.

Перед фарбуванням повинно бути виконане знежирення поверхонь спеціальними розчинами.

Поверхня елементів трубчастих ферм повинна бути захищена від корозії шляхом нанесення ґрунтовок і фарб, що відповідають умовам експлуатації.

За необхідності, внутрішні порожнини труб мають бути герметизовані для уникнення корозії зсередини.

Відхилення розмірів та форми повинні відповідати вимогам технічної документації.

Відхилення у геометрії поясів і стержнів не повинні перевищувати ± 1 мм для довжини панелі до 3 м та ± 2 мм для довших елементів.

Кутові відхилення при примиканні стержнів до поясів не повинні перевищувати $0,5^\circ$.

Елементи ферм повинні транспортуватися в положенні, яке виключає деформацію чи механічні пошкодження.

Зберігання конструкцій має забезпечувати захист від атмосферних опадів та дії агресивних середовищ.

На кожному етапі виробництва повинна здійснюватись перевірка відповідності технічним вимогам, що включає вхідний контроль матеріалів, проміжний контроль на етапах складання та фінальну перевірку готової продукції.

Усі результати контролю мають бути задокументовані.

Трубчасті ферми повинні забезпечувати необхідну несучу здатність, жорсткість та довговічність відповідно до розрахункових навантажень.

Конструкції повинні витримувати вплив експлуатаційних і природних факторів (вітер, сніг, вологість) без втрати працездатності.

1.3 Аналіз технологічного процесу

Процес виготовлення ферм часто включає використання методу шаблонного копіювання з використанням універсальних складальних установок. Технологічний ланцюг складання до зварювання, особливо для

кроквяних та підкроквяних ферм, передбачає наступні етапи: спочатку відбувається збірка за допомогою шаблону (копіра), потім — асемблювання напівферм згідно з цим копіром, і на завершення — збірка цілісної ферми.

Складання копіра кроквяної ферми здійснюється згідно з встановленою розміткою. По завершенню збірки копіра на кожному з його кінців монтуються та закріплюються кінцеві шаблони, що фіксують висоту ферми і забезпечують коректне їх розташування одна відносно одної. Як шаблон може використовуватись опорний стояк, до якого мають кріпитися кроквяні ферми під час монтажу. Після встановлення шаблонів проводиться корекція положення кінцевих вузлових фасонки, після чого їх остаточно закріплюють до поясів затисками. Отвори на плитках кінцевих фасонки верхнього поясу мають збігатися з отворами на фасонках шаблону.

Після завершення складання копіра обов'язково проводиться контроль його геометричних характеристик. Відхилення габаритних розмірів та відстаней між монтажними групами отворів від проектних значень не повинні перевищувати встановлених норм. Зокрема, допустимі відхилення становлять:

- для розмірів до 2,5 м — не більше 2 мм;
- для розмірів від 2,5 до 4,5 м — не більше 3 мм;
- для розмірів від 4,5 до 9 м — не більше 4 мм;
- для розмірів від 9 до 15 м — не більше 7 мм.

Складання ферм методом копіювання виконується для всієї серії, за винятком останньої, яка збирається безпосередньо з копіра-ферми. Процес збірки починається з укладання відповідних фасонки та прокладок на вузлові фасонки та прокладки копіра. Далі слід збіг контурів фасонки і прокладок, а також зіставлення отворів на фасонках верхнього поясу та горизонтальних стикових накладках. Потім на нижні шаблони встановлюються кінцеві плити опорних вузлів зі збігом відповідних отворів за допомогою точених пробок, до яких прихоплюються кінцеві вузлові фасонки нижніх поясів. Наступний крок — укладання кутиків поясів, стояків і розкосів, їх полиці сполучаються з полицями копіра та стягуються з уже встановленими фасонками та прокладками.

Складання кроквяних та підкроквяних ферм потребує значних зусиль для стиснення деталей, при цьому зазвичай використовуються ексцентрикові затискачі та складальні струбцини. Складену площину ферми, яка ще не має других кутиків поясів, розкосів та стояків, знімають з копіра за допомогою крана, обертають на 180° і укладають на складальні стелажі кутиками вниз. На наступному етапі виробничого процесу на другій площині ферми виконують встановлення та прихоплювання відсутніх кутиків і інших необхідних деталей. Для забезпечення точності конструкції перетин геометричних осей кутиків поясів та елементів решітки в одній точці досягається шляхом точного поєднання полиць цих елементів з відповідними полицями, що були закріплені на першій площині згідно з копіром.

Цей метод складання ферм є на 30-40% продуктивнішим порівняно з традиційним складанням за розміткою і забезпечує вищу точність габаритів ферм. У серійному виробництві елементів каркасів для промислових будівель застосовуються промислові потокові лінії, які дозволяють виробляти кілька типів прогонів одночасно. Деталі верхнього і нижнього поясів подаються на автоматизовану лінію у в'язках, розкоси — у стопах, а вузлові фасонки, діафрагми та опорні планки — в контейнерах. Складання здійснюється у спеціалізованому кондукторі без застосування додаткових прихоплень. З'єднання деталей виконується за допомогою контактного та механізованого зварювання в захисному газі.

Кожен з описаних вище методів виготовлення ферм має свої особливості, переваги та обмеження. Враховуючи це, важливо здійснити обґрунтування технологічного процесу та внести необхідні модернізації до складально-зварювальних пристроїв. Це вимагає проведення детального аналізу напружено-деформованого стану конструкції для визначення оптимальних параметрів виробництва та забезпечення високої якості та довговічності ферм.

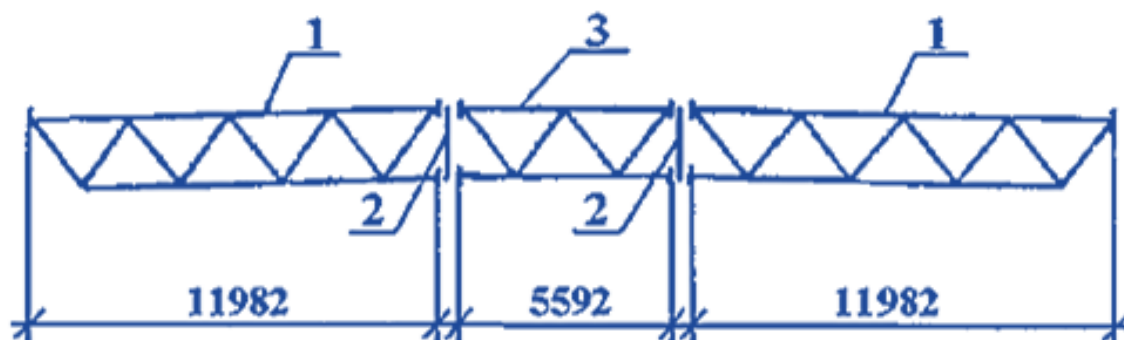
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок сталеві зварної кроквяної ферми

На даний час методи зварювання, їхня якість та точність досягли високого рівня, що дозволяє виконувати зварні шви з достатньою міцністю. Це посприяло виникненню нової форми кроквяної ферми з паралельними поясами, де замість прокатних профілів використовують зварні або гнуто зварні профілі круглого, квадратного або прямокутного поперечного перерізу.

Розглянемо сталеву зварну кроквяну ферму довжиною 30 м та висотою 2 м із круглих труб.

Для ферми такої довжини виконують три відправних елементи (рис. 2.1). Крайні відправні елементи мають по три вузли з'єднання: перший – опорний, другий – проміжний у верхньому поясі, третій – проміжний у нижньому поясі. Тоді центральний елемент має чотири проміжних вузли з'єднання, два у верхньому поясі і два у нижньому.



1 – крайній відправний елемент; 2 – проміжна стійка; 3 – центральний відправний елемент

Рис. 2.1 – Схема поділу сталеві зварної кроквяної ферми на відправні елементи

Між відправними елементами, для більшої жорсткості всієї конструкції ферми, встановлені вертикальні стійки. Зусилля в цих елементах близькі до нульових, вони виконують лише конструктивні функції.

Кількість розкосів решітки приймаємо з умови, що кут між ним та поясом, верхнім або нижнім, повинен знаходитись в межах $30-60^\circ$, найбільш оптимальне значення – 45° .

Всі вузли ферми проєктуються шарнірними, це правило відноситься і до опорного вузла. Рішення по проєктуванні шарнірного з'єднання ферми з колоною має ряд переваг: найбільш навантажений опорний розкіс працює на розтяг і через це має менший перетин, аніж при додатковому згинальному моменті, який виникав би при жорсткому з'єднанні; спрощується монтаж ферм і поліпшується їх стійкість в процесі монтажу.

Відстань між розкосами, у вузлі з'єднання, повинна бути мінімальною, для зменшення ексцентриситету прикладання сили, але в той же час забезпечувати достатню кількість місця для виконання якісного зварного шва з відповідним катетом, а також зменшити температурний вплив одне на одного при зварюванні.

Для проєктування сталевोї кроквяної ферми приймаємо сталь наступного класу міцності – С345 (09Г2С).

Для розрахунку ферми використовуємо програмний комплекс ПК ЛІРА-САПР, який є одним з найкращих саме для такого типу конструкцій.

Відповідно до геометричних характеристик, створюємо розрахункову схему ферми використовуючи стержневі елементи (рис. 2.2). Для цього по відповідних координатах задаємо вузли ферми, а далі з'єднуємо їх за допомогою команди «Створення стержнів». Після створення схеми задаємо шарнірне з'єднання елементів, а на опорах задаємо – шарнірне обпирання.

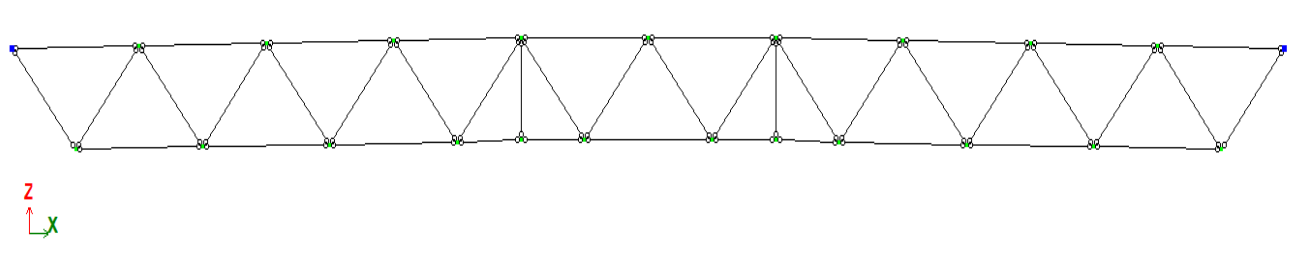


Рис. 2.2 – Розрахункова схема кроквяної ферми

Для подальшого аналізу призначимо нумерацію вузлів та стержнів ферми (рис. 2.3).

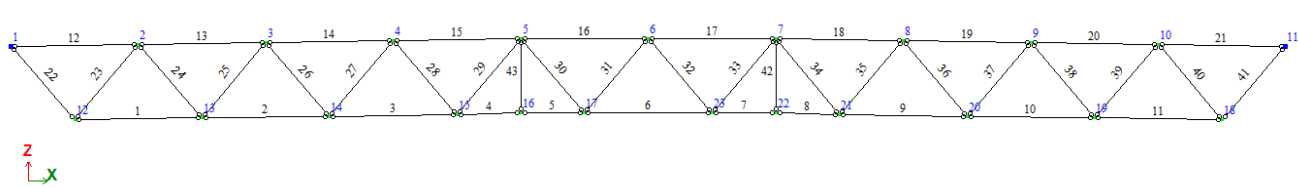


Рисунок 3 – Нумерація вузлів та елементів ферми

Створюємо відповідні жорсткості (поперечні перерізи) та задаємо їх відповідним елементам ферми.

Також задаємо конструктивні умови, а саме клас сталі та розрахункові характеристики елементів.

Ферму розраховуємо на зосереджене навантаження: в проміжних вузлах – 17,472 кН, а в опорних – 8,736 кН.

Задаємо навантаження на ферму. Навантаження прикладаємо у відповідних вузлах.

Після кількарразового розрахунку отримаємо перерізи елементів ферми та аналізуємо результати підбору за першим та другим граничним станом (рис. 2.4, 2.5).

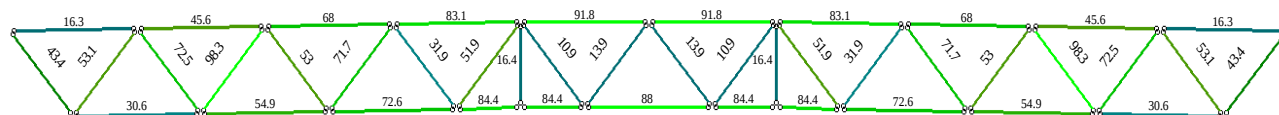
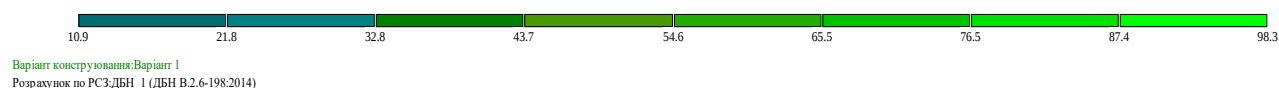


Рис. 2.4 – Коефіцієнт запасу міцності підібраних перерізів елементів ферми за першим граничним станом

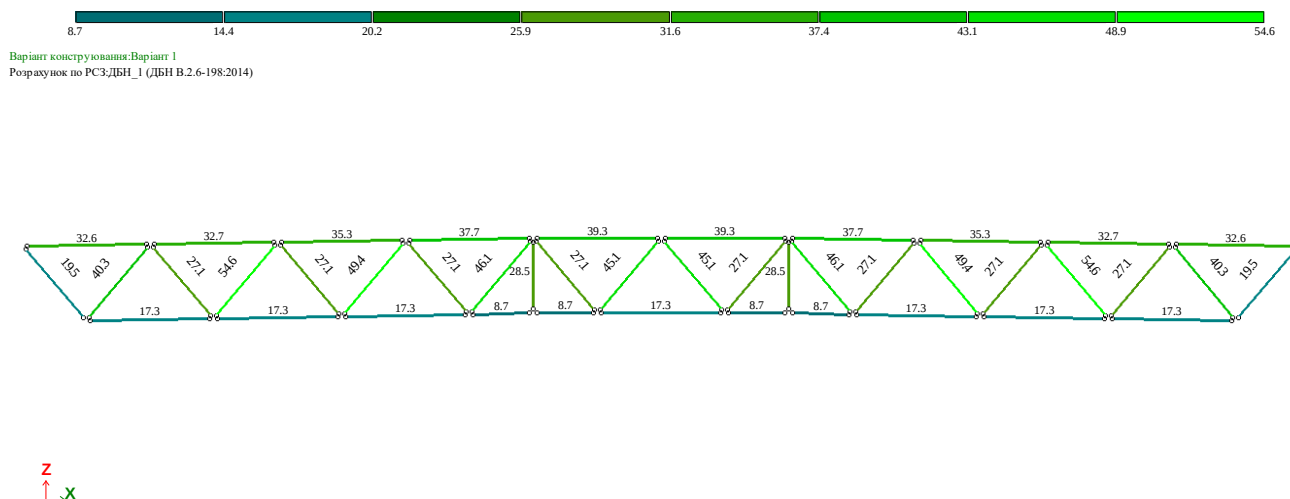


Рис. 2.5 – Коефіцієнт запасу міцності підібраних перерізів елементів ферми за другим граничним станом

Встановлено, що елементи ферми мають близькі до оптимальних поперечні перерізи. Перевірка другого граничного стану елементів не передбачає визначення прогину конструкції, тому визначимо його додатково.

Прогин конструкції визначається від дії розрахункових експлуатаційних навантажень (рис. 2.6).

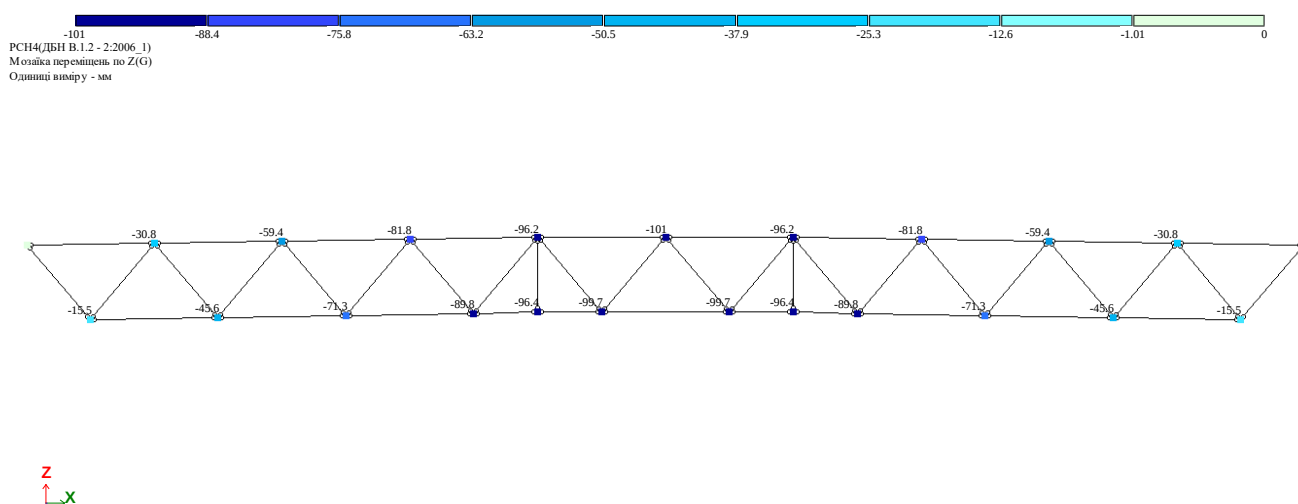


Рис. 2.6 – Прогин кроквяної ферми

За результатами розрахунку на експлуатаційні розрахункові навантаження, максимальний прогин ферми становить 101 мм. Відповідно ДСТУ Б В.1.2-3:2006,

для конструкцій довжиною 30 м, граничне значення прогину визначається з естетико-психологічних умов і становить $l/275$, що становить 109,1 мм.

Тоді значення прогину ферми – 101 мм є меншим від граничного значення 109,1 мм для таких конструкцій. Умова за другим граничним станом для ферми виконується.

У результаті розрахунку отримали такі конструктивні елементи: нижній пояс з труби 168x5 мм; верхній пояс з труби 177,8x6 мм; стінки з труби 60x3 мм; розкоси з труби 89,0x4,0 мм. Матеріал труби – сталь 09Г2С ($\sigma_y = 350$ МПа; $\sigma_u = 530$ МПа).

2.2 Моделювання і конструювання зварних вузлів кроквяної ферми

Для ферм із паралельними поясами із круглих труб недостатньо виконати перевірку міцності їх елементів. Для них необхідно також виконувати розрахунок та перевірку зварних швів. Ця перевірка виконується для вузлів, у яких виникають найбільші зусилля: крайні опорні вузли, проміжні вузли для верхнього та нижнього поясу.

Перевірка та підбір зварних вузлів для сталевих елементів виконується в підсистемі СТК-САПР для ПК ЛПРА-САПР.

Для розрахунку зварних швів призначаємо вид зварювання «Автоматичне при $d = 3-5$ мм», положення шва – у човник (з відповідними коефіцієнтами), а марку зварного дроту призначаємо Св-08Г2С. У результаті розрахунку підібрані шви з катетом 3,0 мм.

2.2.1 Моделювання напружено-деформівного стану проміжного вузла нижнього поясу ферми.

Моделювання напружено-деформівного стану зварних вузлів ферм (рис. 2.7) з'єднано за допомогою спеціалізованого пакету програм SolidWorks на основі даних отриманих при розрахунку у спеціалізованій програмі ЛІРА-САПР.

Загальний вигляд проміжного вузла нижнього пояса ферми представлено на рис. 2.7, верхнього на рис. 2.12.

Умови закріплення та навантаження зварного вузла нижнього пояса ферми представлено на рис. 2.8.

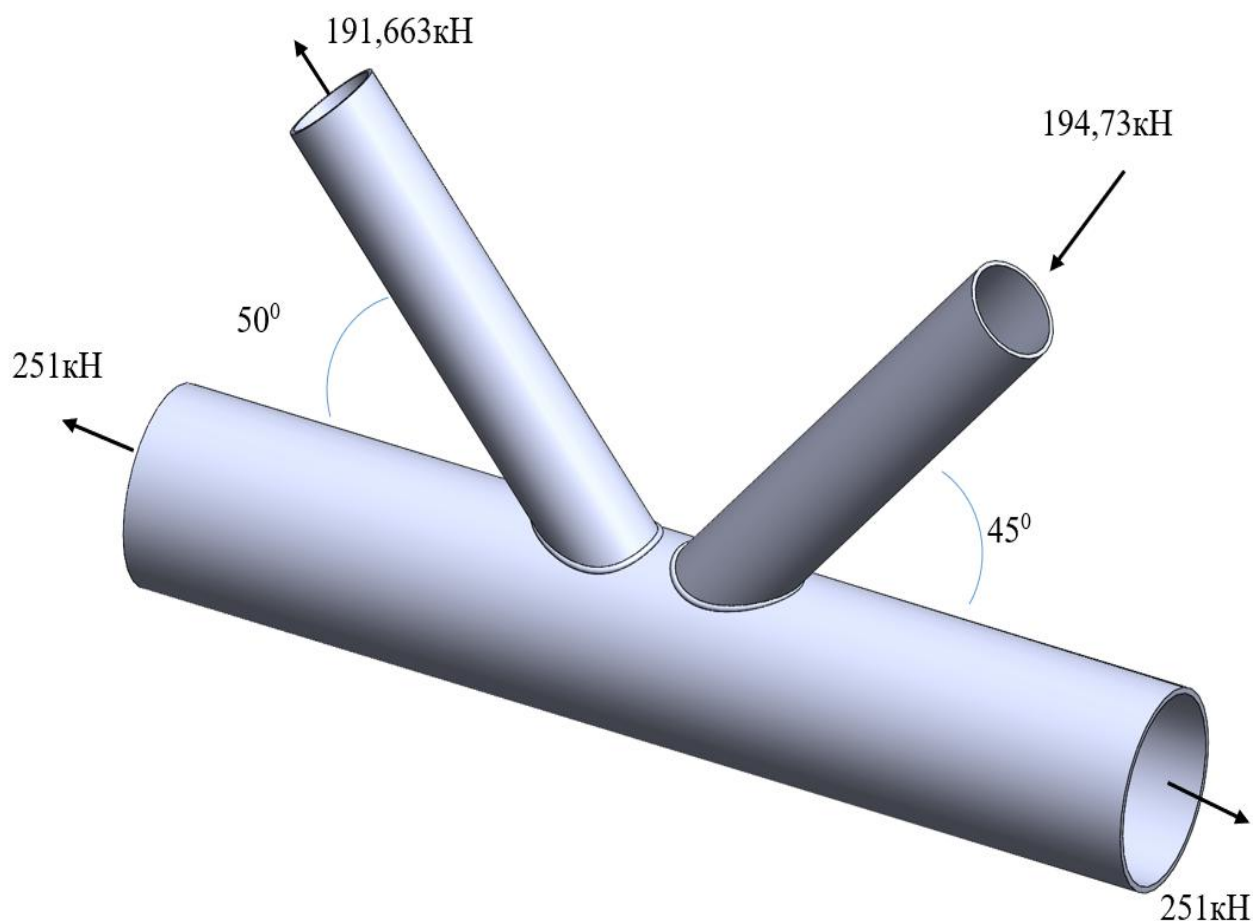


Рис. 2.7 Загальний вигляд зварного вузла нижнього пояса ферми

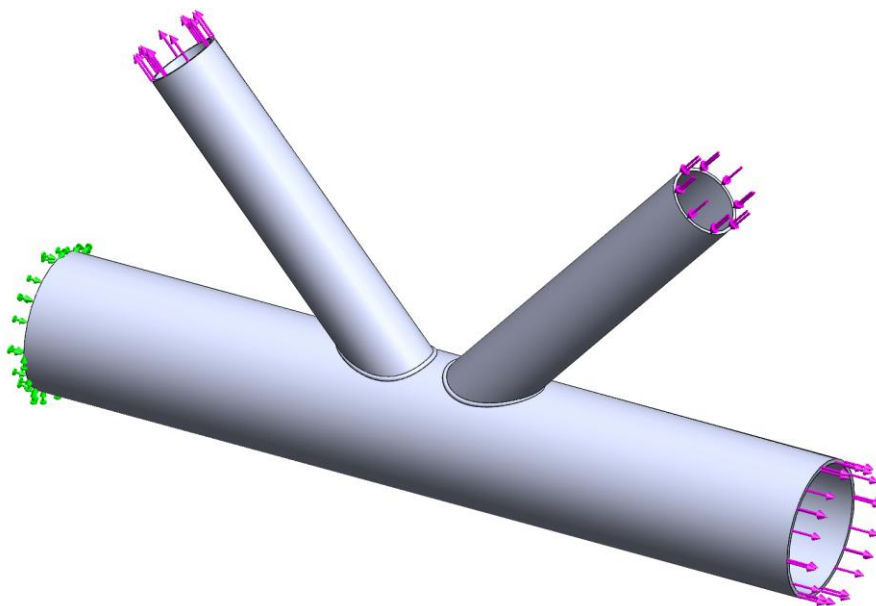


Рис. 2.8 Умови закріплення та навантаження зварного вузла нижнього пояса ферми

Сітка скінченних елементів вузлів побудована на основі змішаної кривизни з максимальним розміром елемента 5 мм та мінімальним розміром елемента 0,5 мм (рис. 2.9 – нижній пояс, рис. 2.13 – верхній пояс).

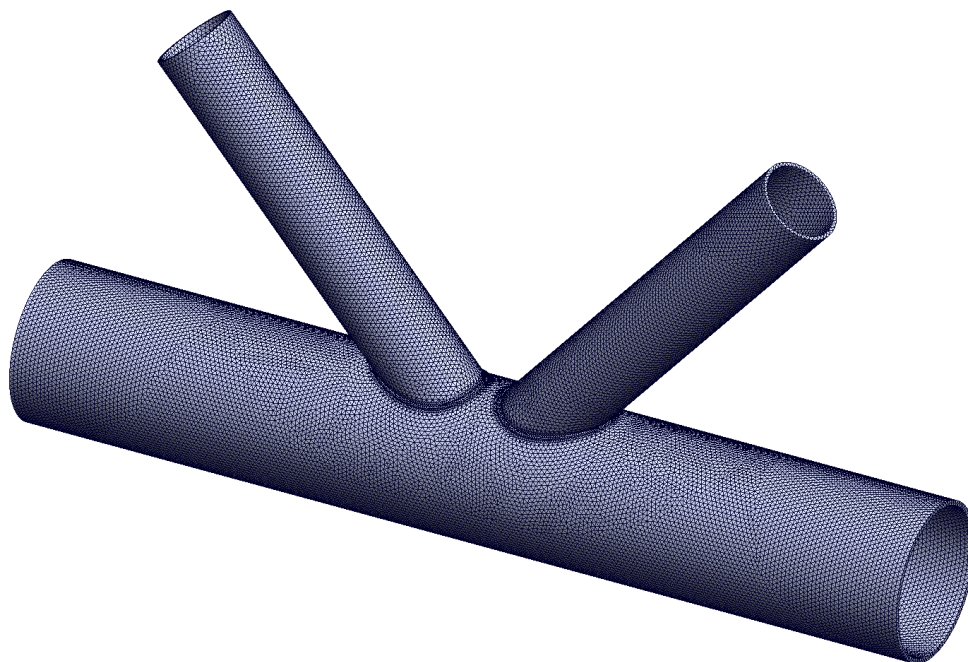


Рис. 2.9 Сітка скінченних елементів зварного вузла нижнього пояса

Епюра розподілу еквівалентних напружень (за фон Мізесом) для вузла нижнього пояса ферми приведена на рис. 2.10.

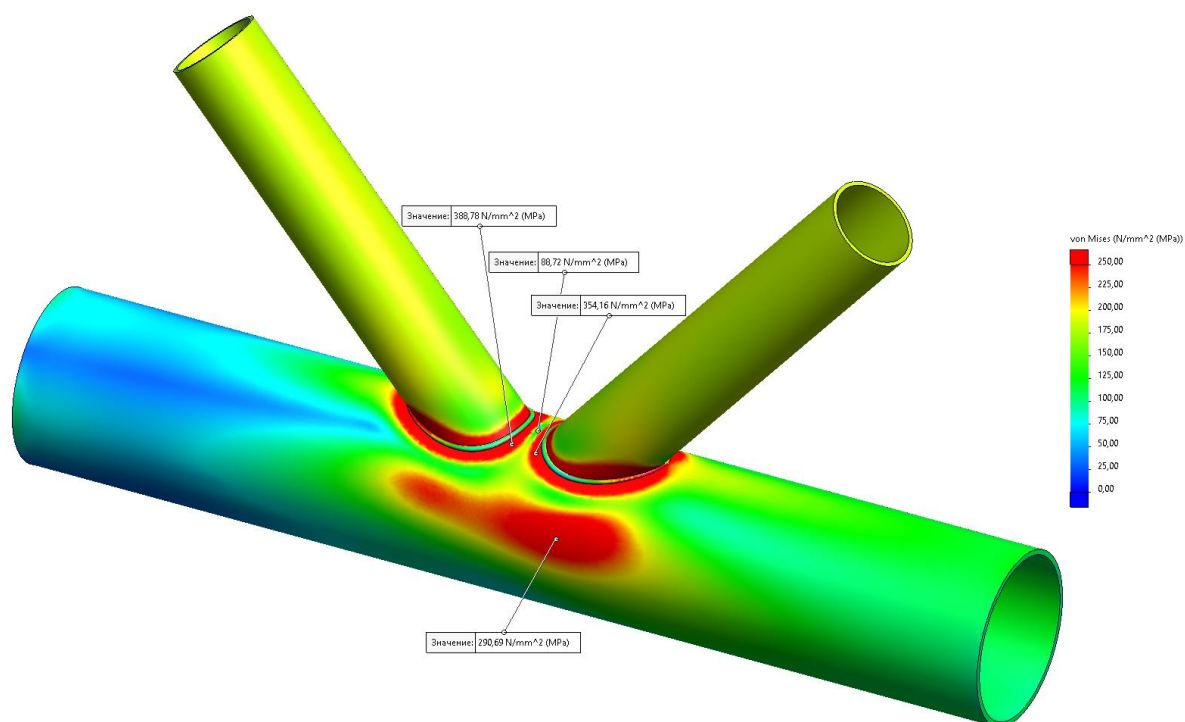


Рис. 2.10 Епюра розподілу еквівалентних напружень зварного вузла нижнього пояса ферми

Епюра розподілу переміщень для вузла нижнього пояса ферми приведена на рис. 2.11.

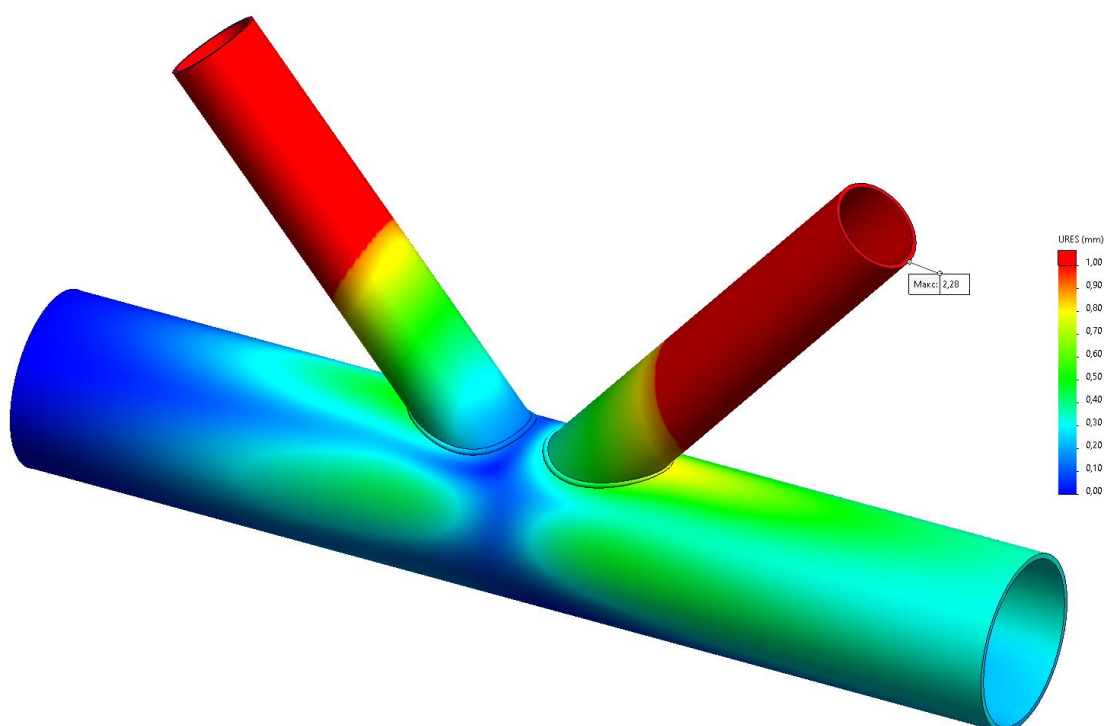


Рис. 2.11 Епюра розподілу переміщень зварного вузла нижнього пояса ферми

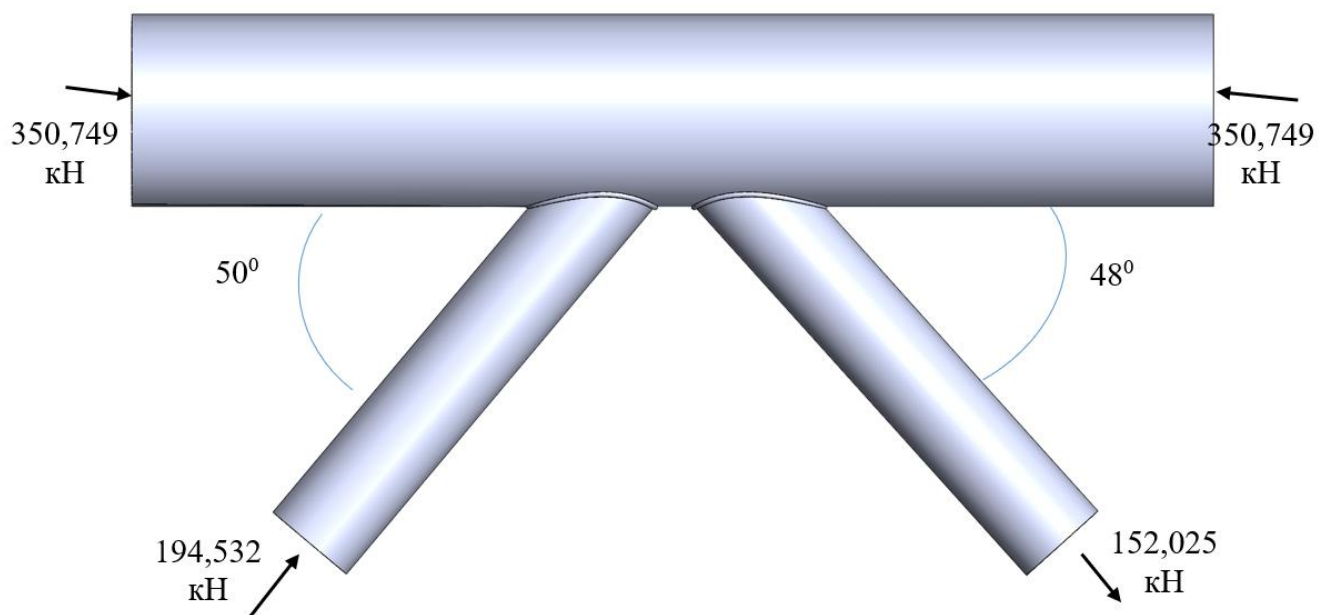


Рис. 2.12 Загальний вигляд зварного вузла верхнього пояса ферми

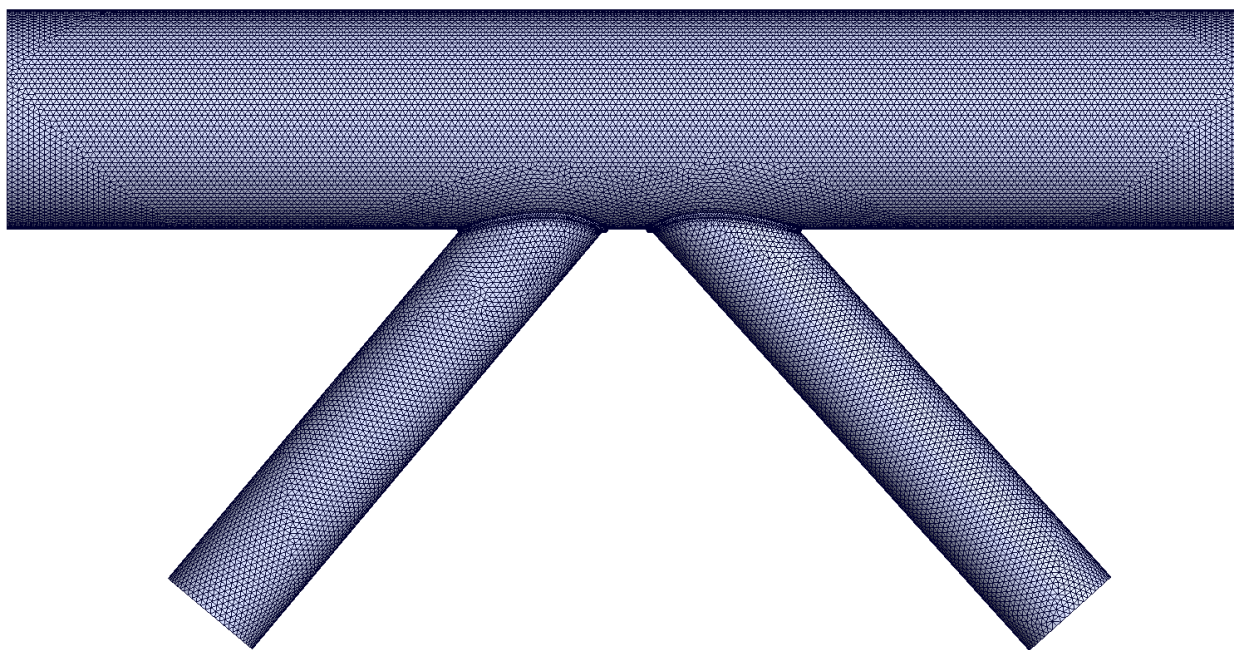


Рис. 2.13 Сітка скінченних елементів зварного вузла верхнього пояса

Епюра розподілу переміщень для вузла верхнього пояса ферми приведена на рис. 2.14.

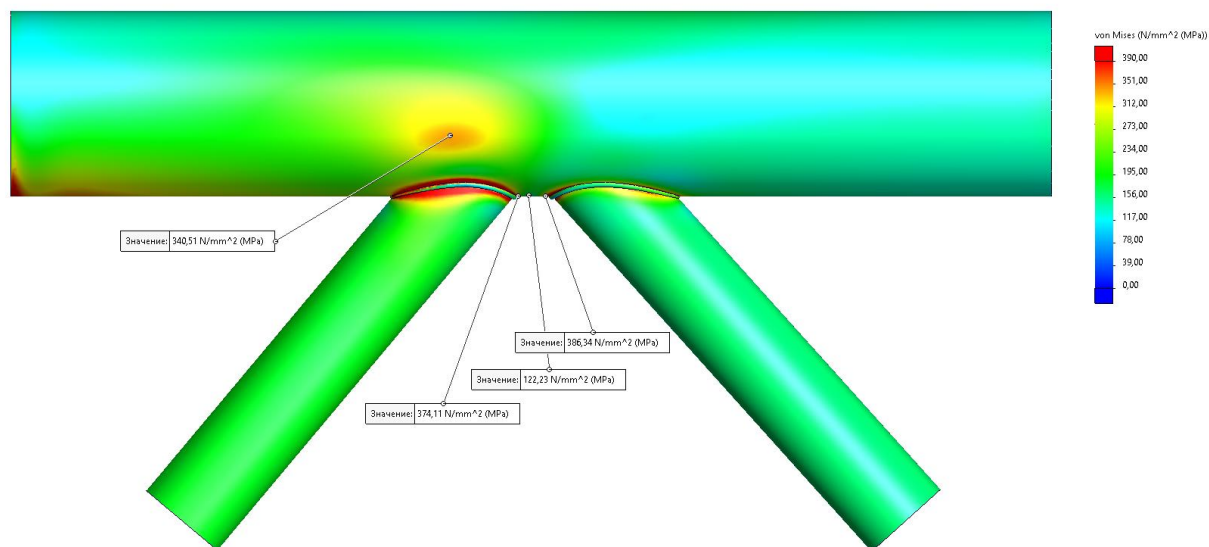


Рис. 2.14 Епюра розподілу еквівалентних напружень зварного вузла верхнього пояса ферми

Епюра розподілу переміщень для вузла верхнього пояса ферми приведена на рис. 2.15.

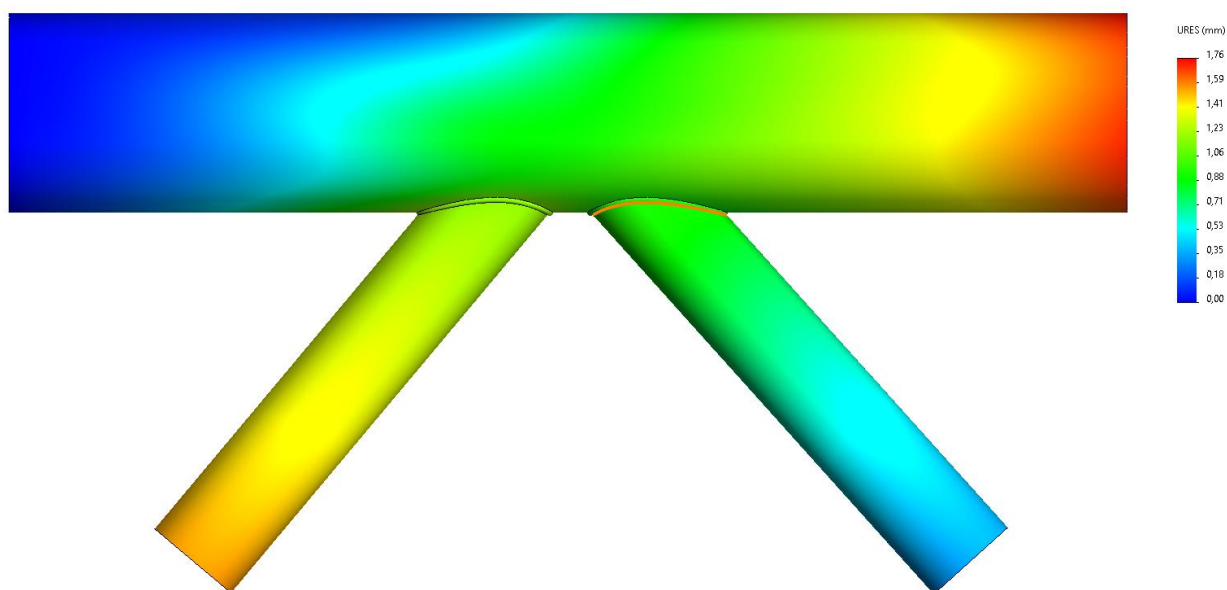


Рис. 2.15 Епюра розподілу переміщень зварного вузла верхнього пояса ферми

Аналіз напружено-деформівного стану вузлів як верхнього так і нижнього поясів показує, що в зонах зварних вузлів виникає суттєва концентрація напружень, які перевищують границю текучості сталі 09Г2С ($\sigma_y = 350\text{МПа}$). В зв'язку з цим важливою особливістю є збільшення мінімально допустимої відстані між привареними розкосами (не менше 20 мм).

2.8.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.

Виготовлення зварних ферм зазвичай виконують ручним дуговим зварюванням та зварюванням в захисних газах.

Метод зварювання у захисних газах здобув широке поширення у промисловому виробництві ферм різноманітних конструкцій та призначення. Цей метод є особливо ефективним при заводських умовах, але при виконанні монтажних робіт відкритому повітрі необхідно вжити додаткові заходи для забезпечення надійного газового захисту зварювальної ванни від потоків повітря. Фактори такі як тип зварювального з'єднання та швидкість зварювання значно впливають на ефективність газового захисту, при цьому із зростанням швидкості зварювання стабільність захисту може знижуватися [8-10].

Для забезпечення оптимального захисту зварювальної зони від зовнішніх впливів критично важливими є такі параметри, як відстань від сопла пальника до об'єкта зварювання, розміри сопла та розхід захисного газу. Надто близьке розташування сопла може спричинити забризкування, тоді як його занадто велика віддаленість може призвести до втрати газового захисту. Зазвичай відстань сопла до зварюваного виробу підтримується у межах 7-25 мм для досягнення найкращих результатів.

Зварювання в захисному середовищі газів (див. рис. 3.1) зазвичай виконується при напрузі дуги в діапазоні 22–34 В, що забезпечує надійний захист зони плавлення металу. У цьому процесі застосовуються електродні дроти суцільного перетину діаметром від 0,5 до 4 мм, а також порошкові дроти. Робота проводиться при силі струму в межах 50–700 А, що дозволяє досягати стабільності дуги та якісного формування зварного шва.

Для забезпечення захисного середовища під час зварювальних робіт використовують три основні категорії газів:

Інертні гази — наприклад, аргон або гелій, які не взаємодіють з металом і створюють стабільну захисну атмосферу.

Активні гази — такі як кисень чи вуглекислий газ, які можуть вступати в хімічні реакції з металом, сприяючи формуванню певних властивостей зварного шва.

Суміші газів — комбінації інертних і активних газів, які використовуються для оптимізації процесу зварювання залежно від типу металу та умов роботи.

Під час зварювання в середовищі інертних газів, таких як аргон, гази не вступають у хімічну реакцію з металом у зварювальній ванні, що дозволяє уникнути утворення небажаних сполук. Це створює ідеальні умови для формування якісного зварного шва. Проте головним недоліком інертних газів є їх висока вартість і обмежена доступність, що може ускладнювати широке застосування.

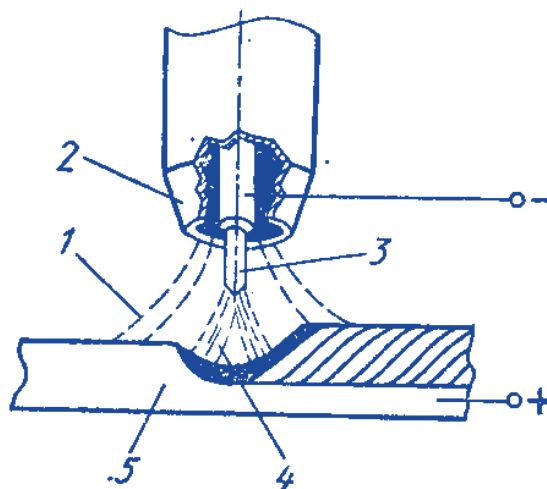
Під час зварювання в середовищі інертних газів, таких як аргон, забезпечується надійний захист зони плавлення, оскільки ці гази не вступають у хімічну взаємодію з металом зварювальної ванни. Це сприяє формуванню чистого та якісного зварного шва без утворення небажаних хімічних сполук.

Однак використання інертних газів має певні обмеження, зокрема високу вартість і складність забезпечення їх доступності, що зменшує можливості їх широкого впровадження в промисловість.

Серед усіх інертних газів аргон є найбільш поширеним завдяки його здатності забезпечувати стабільність зварювальної дуги, що значно полегшує контроль процесу зварювання і гарантує високу якість готового шва.

Зварювання аргоном виконується за допомогою дуги прямої дії, що використовує неплавкий вольфрамовий електрод або плавкий електрод, хімічний склад якого наближений до складу базового металу. Метод може застосовуватися з як змінним, так і постійним струмом прямої полярності. Ця техніка зварювання особливо ефективна при роботі з тонколистовими високолегованими сталями, а

також титановими та алюмінієвими сплавами, і широко використовується при виготовленні високоточних конструкцій та апаратів.



- 1- потік газу; 2 – сопло; 3 – електрод (дріт); 4 – зварювальна дуга;
5 – основний метал

Рис. 3.1 – Схема процесу зварювання

Зварювання із застосуванням активних газів, зокрема вуглекислого газу, є одним із найбільш поширених методів завдяки його доступності та ефективності. У процесі такого зварювання активні гази або продукти їх розпаду взаємодіють з металом у зварювальній ванні, утворюючи хімічні сполуки та впливаючи на властивості шва.

При використанні вуглекислого газу як захисного середовища застосовуються плавкі електроди суцільного перерізу та порошкові дроти. Особливо ефективним є використання низьколегованих дротів суцільного перерізу на постійному струмі зворотної полярності, що забезпечує стабільний процес і якісний результат.

Зварювання на постійному струмі прямої полярності характеризується підвищеним вмістом водню в металі шва, що часто стає причиною пористості. Саме тому вуглекислий газ найчастіше використовується для напіваавтоматичного та автоматичного зварювання маловуглецевих і низьколегованих сталей, де забезпечується висока якість і надійність зварного з'єднання. Напіваавтоматичне зварювання ефективне для виконання робіт у всіх просторових положеннях. Цей

метод зварювання вибирається замість ручного зварювання покритими електродами завдяки вищій продуктивності, кращим умовам праці та меншим вимогам до кваліфікації зварника. В порівнянні з напівавтоматичним під флюсом, зварювання у газі дозволяє здійснювати візуальний контроль за положенням електрода, відсутність необхідності у видаленні флюсу після зварювання, та можливість зварювати шви у будь-якому просторовому положенні.

Однією з істотних проблем зварювання у вуглекислому газі є інтенсивне розбризкування металу, що може призводити до забруднення зварювального обладнання та зварюваних деталей.

На сучасному етапі особливої популярності набув метод зварювання з використанням газових сумішей. На практиці використовують суміші інертних газів, комбінації інертних та активних газів, а також суміші виключно активних газів. Основною перевагою використання сумішей газів є значне покращення технологічних та металургійних властивостей захисної атмосфери. Широко відомі подвійні суміші, такі як $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{N}_2$ і $\text{Ar} + \text{H}_2$, а також потрібні суміші, які зазвичай включають аргон, вуглекислий газ та кисень у різних пропорціях [11].

Для зварювання також застосовують суміші активних газів $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ та $\text{CO}_2 + \text{N}_2$, причому суміш $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ є особливо популярною для виготовлення конструкцій з маловуглецевих і низьколегованих сталей. Відповідно до цього, для зварювання ферм буде застосовуватися газова суміш $\text{Ar} + \text{CO}_2$ у пропорції 75% Ar та 25% CO_2 .

Ураховуючи вищевказане, для зварювання сталі 09Г2С обрано кремніє-марганцевий дріт марки Св08Г2С (хімічний склад дроту представлено в таблиці 3.1).

У процесі зварювання зазвичай використовується зварювальний дріт як присадковий матеріал. Цей дріт виготовляється методом гарячого прокатування або волочіння після попереднього прокатування. На основі різних марок сталюгого дроту був розроблений державний стандарт, який регламентує хімічний склад 77 марок зварювального дроту. У цьому стандарті визначаються виключно хімічний

склад і розміри дроту, оскільки механічні властивості металу шва залежать від багатьох зовнішніх і технологічних факторів.

Вибір відповідного зварювального матеріалу базується на необхідності забезпечення бездефектної структури металу шва, яка відповідає вимогам експлуатації конструкції. Матеріал повинен гарантувати оптимальні властивості, що задовольняють умови надійності та довговічності виробу.

При зварюванні маловуглецевих та низьколегованих сталей найкращі результати у вигляді швів без пор досягаються завдяки використанню електродних матеріалів на основі кремнію та марганцю. Такі матеріали знижують рівень оксидних включень у металі шва, які можуть негативно впливати на його структуру, знижуючи міцність і довговічність.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад дроту Св08Г2С [11]

Вміст елементів, %						
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
			не більше			
0,05-0,11	0,70-0,95	1,8-2,1	0,20	0,25	0,025	0,03

Для забезпечення надійності та довговічності зварних з'єднань необхідно ретельно визначити параметри режиму зварювання, враховуючи тип з'єднання та обраний метод зварювання. У випадку, коли ферма покриття виготовляється із квадратної труби з товщиною стінки 6 мм, а зварювання виконується кутовими швами, розрахунок режиму зварювання слід проводити для катета шва розміром 3 мм.

Розрахунок режиму базується на використанні відповідної методики, яка враховує характеристики матеріалу, геометрію з'єднання та технологічні особливості процесу зварювання. Схематичне зображення кутового з'єднання, що використовується для розрахунку, наведено на рис. 3.2. Такий підхід гарантує відповідність зварних з'єднань проектним вимогам і забезпечує їх тривалу експлуатацію [5].

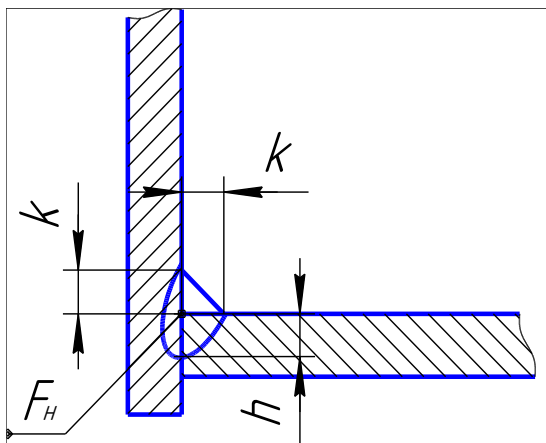


Рисунок 3.2 - Схема з'єднання

Глибина проплавлення:

$$h = 0.8 \cdot k, \quad (3.1)$$

де, k – катет шва, мм;

$$h = 0,8 \cdot 3 = 2.4 \text{ мм.}$$

Визначаємо вступ:

$$I_{36} = \frac{h}{Ka} \times 100\% \quad (3.2)$$

де, $Ka = 1,6$

$$I_{36} = \frac{2.4}{1.6} \cdot 100 = 150\%.$$

Діаметр дроту:

$$d_e = 1.13 \sqrt{\frac{I_{36}}{j}} \quad (3.3)$$

де, $j = 145 \text{ А/мм}^2$;

$$d_e = 1.13 \sqrt{\frac{150}{145}} = 1,15 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_e = 1.2 \text{ мм}$.

Величину вильоту приймаєм 15мм.

Напругу дуги:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot I_{36} \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \pm 1, \quad (3.4)$$

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 150 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1.2}} \pm 1 = 27 \pm 1 \text{ В.}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{n.\partial.} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{36}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot j}, \quad (3.5)$$

де, $\alpha_n = 14 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$; $j = 7.9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$;

$$V_{n.\partial.} = \frac{4 \cdot 14 \cdot 150}{3.14 \cdot 1.2^2 \cdot 7.9} = 235 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{36} = \frac{A}{I_{36}}, \quad (3.6)$$

де, $A = 3,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{год}}$;

$$V_{36} = \frac{3,5 \cdot 10^3}{150} = 23 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Таблиця 3.2. Режими реалізації процесу зварювання елементів ферми

Діаметр електродного дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Швидкість подачі дроту, м/год
1.2	150	27	23	235

Для виконання зварювальних робіт згідно із заданими параметрами необхідно ретельно підібрати зварювальне обладнання. Враховуючи, що зварювання виконується в напіваавтоматичному режимі, доцільно обрати відповідний напіваавтомат та джерело живлення, здатне забезпечити стабільний і контрольований процес зварювання відповідно до обраних режимів.

Джерело живлення має виконувати низку ключових функцій: забезпечувати надійне запалювання дуги, підтримувати стабільність її горіння та сприяти ефективному переносу металу. Водночас воно повинно мати можливість точно налаштовувати режими зварювання для досягнення оптимального результату.

Рекомендується використовувати постійний струм зворотної полярності, оскільки при прямій полярності спостерігається надмірне розбризкування металу навіть за невеликих струмів, що може знижувати якість шва та глибину проплавлення.

При зварюванні на постійному струмі у середовищі захисного газу та за високої густини струму статична характеристика дуги має зростаючий характер. У таких умовах джерело живлення повинно мати жорстку або зростаючу статичну характеристику, що дозволяє забезпечити саморегулювання процесу.

Для складання елементів ферми застосовуємо зварювальний напіваавтомат TransSteel 3500 (рис. 3.3, табл. 3.3) , а для зварювання робіт ARC Mate100iD (рис. 3.4, табл. 3.4).



Рис. 3.3 – Напівавтомат TransSteel 3500 [12]

Таблиця 3.3 – Технічні дані TransSteel 3500

Напруга мережі	380/ 400V
допуск мережевої напруги	-10% / +15%
Зварювальний струм мінімальний	10 A
Зварювальний струм максимальний	500 A
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	500A / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	420A / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	360A / 100%
Діапазон робочої напруги Мінімальний	14,5 V
Напруга холостого ходу	65 V
Клас захисту	IP23
Габаритні розміри / довжина	747 mm
Габаритні розміри / ширина	300 mm
Висота	497 mm
Вага	34,5 kg
Клас випромінювання перешкод	A



Рис. 3.2 – Робот ARC Mate100iD [13]

Таблиця 3.4 – Технічні дані ARC Mate100iD

Виробник	FANUC
Максимальне навантаження на кисть	12 кг
Досяжність	1441 мм
Керованих осей	6
Повторюваність	$\pm 0,02$ мм
Вага	145 кг
Середнє споживання енергії	1 кВт

Для забезпечення надійного живлення зварювального робота та стабільності параметрів зварювання застосовуємо KempArc SYN 500 (рис. 3.5, табл. 3.5). Дане джерело укомплектовується подаючим пристроєм KempArc DT400 (табл. 3.6) та пристроєм охолодження KempCool 10 (табл. 3.7).



Рис. 3.5 – Джерело живлення KempArc SYN 500 [13]

Таблиця 3.5 – Технічні дані KempArc Syn 500

Напруга трифазної мережі, 50/60 Гц	400 В -15...+20 %
Запобіжник (із затримкою спрацьовування)	35 А
Мінімальна вихідна потужність генератора	27 кВА (60 %)
	20 кВА (100 %)
Діапазон зварювального струму і напруги	10 ... 42 В
Напруга холостого ходу	50 В
Номінальна потужність при ПВ 60%	26,1 кВА
Номінальна потужність при ПВ 100%	20,3 кВА
Струм первинної обмотки, ПВ 50%, I ₁ макс.	40,0 А
Струм первинної обмотки, ПВ 100%, I ₁	31,0 А
Перетин з'єднувального кабелю	6 мм ²
Потужність холостого ходу (потужність без навантаження)	25 Вт
Продуктивність	87%
Коефіцієнт потужності	0,9
Напруга живлення периферійних пристроїв	50 В
Запобіжник допоміжного пристрою (X14, X15)	6,3 А, із затримкою спрацьовування
Напруга живлення блоку охолодження	1 фаза 400 В змін. струму / 250 ВА
Макс. зварювальна напруга	46 В
Макс. вихідний струм	500 А (60 %)
Діапазон робочих температур	-20...+40 °C
Габаритні розміри, ДхШхВ	590 × 230 × 500 мм
Маса (без додаткового обладнання)	37 кг
Клас захисту	IP23C
Клас електромагнітної сумісності	A
Діапазон температури зберігання	-40...+60 °C

Таблиця 3.6 – Технічні дані KempArc DT400

Номінальна потужність	100 W
Присадний дріт	0,8...1,6 мм
Швидкість подачі дроту	0...25 m/min
Робоча напруга	50 VDC
Діапазон робочих температур	-20...+40°C
Клас захисту	n IP23S
Габаритні розміри	269 x 175 x 169 mm
Клас електромагнітної сумісності	A
Маса	4.5 kg
Максимальне навантаження	40°C 100%ED 500 A
Роз'єм зварювального пальника	Euro

Таблиця 3.7 – Технічні дані пристрою охолодження KempCool 10

Напруга трифазної мережі, 50/60 Гц	400 В -15...+20 %
Номінальна потужність	250 Вт (100 %)
Номінальна потужність при ПВ 100%	250 Вт
Охолоджуюча рідина	20-40% монопропіленгліколь - вода
Макс. тиск на виході	0,4 МПа
Діапазон робочих температур	-20...+40 °С
Габаритні розміри, ДхШхВ	570 × 230 × 280 мм
Маса (без додаткового обладнання)	11 кг
Клас захисту	IP23S
Клас електромагнітної сумісності	A
Обсяг резервуара охолоджувача	3 л
Потужність охолодження	1 кВт
Діапазон температури зберігання	-40...+60 °С

3.2 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виробництва металевих конструкцій полягає у послідовному виконанні таких основних операцій: різання матеріалу, обробка кромки для зварювання, складання деталей, сам процес зварювання, а також перевірка якості зварних швів і загальний контроль якості готової конструкції.

Трубний прокат який поступає на виробництво, очищають за допомогою дробоструменевої установки (рис. 3.8).



Рис. 3.8 – Установка дробоструминава SK-3 ÇETİNGİL [14]

Враховуючи те, що ферма виготовляється з труб, різання заготовок вигідно проводити за допомогою механічного способу, який не вимагає додаткової очистки кромки перед зварюванням. Для цього використовують відрізний станок типу Bomar AL500ANC (рис.3.9, табл. 3.8). З метою забезпечення необхідного спряження між поясами ферми та торцями розкосів їх підгін виконують плазмовим різанням.

Після різання труби нарізають згідно із кресленнями, маркують і сортують для подальшого легкого доступу. Заготовки з належними кутами спряжень відкладають окремо, готуючи їх до наступної стадії складання.



Рис. 3.9 Установка Bomar AL500ANC [14]

Таблиця 3.5 Характеристика верстату Bomar AL500ANC [14]

Робочий інструмент	Дискова пила
Режим різання	автоматичний
Швидкість обертання полотна	50 м/хв
Максимальна ширина заготовки	325 мм
Максимальна висота заготовки	305 мм
Потужність	4 кВт
Діаметр розпилювального диска	500x30x4,0 мм
Швидкість обертання диска	50 м/с
Габаритні розміри	960x1794x1571 мм
Маса	550 кг

Наступний етап технологічного процесу включає складання зварної ферми у спеціалізованому кондукторі, як описано у пункті 4.

Спочатку монтується верхній пояс ферми, який фіксується за допомогою пневматичних притисків. Потім, відповідно до заданої послідовності технологічного процесу, встановлюються елементи решітки ферми. Завершальним кроком у складанні є монтаж нижнього пояса, де кожен елемент фіксується за допомогою притисків до рами кондуктора.

Коли всі компоненти ферми складені і надійно зафіксовані, починається процес зварювання. Для автоматизації зварювання використовується маніпулятор, що рухається уздовж кондуктора по направляючих. Зварювання швів виконується у строго визначеній послідовності згідно з технологічними вимогами. Після зварювання швів з одного боку, напівзварену ферму перевертають на 180 градусів за допомогою спеціального обладнання і продовжують зварювальні роботи.

Зварена ферма знімається з кондуктора та транспортується до місця, де відбувається зачищення швів та усунення будь-яких дефектів зварювання. Після зачищення проводиться ретельний контроль якості зварних з'єднань, щоб переконатися у відповідності всіх параметрів встановленим стандартам.

Даний контроль виконують на наступних стадіях виготовлення зварної конструкцій:

- I. вхідний контроль матеріалів;
- II. виготовлення деталей та елементів зварних вузлів;
- III. підготовка деталей зварних вузлів до складання та зварювання;
- IV. складання деталей під зварювання;
- V. зварювання;
- VI. контроль швів та зварних з'єднань;
- VII. виправлення дефектів.

Освітленість контрольованих поверхонь для створення оптимального контрасту з фоном у зоні контролю становити не менше 500 лк. Кут огляду контролюючої поверхні повинен становити понад 30° (рис. 3.10) з відстані, що не перевищує 600 мм [17].

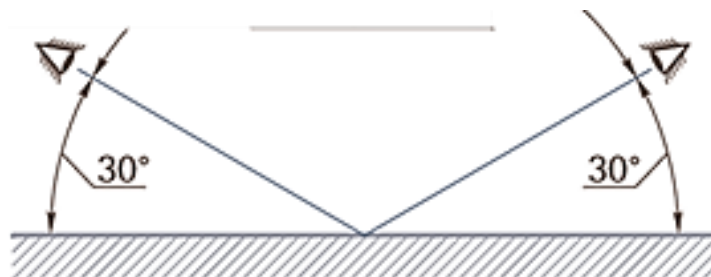


Рис. 3.10 Схема проведення візуального контролю

При візуальному та вимірювальному контролі використовують:

- ✓ лупи, у тому числі вимірювальні;
- ✓ металеві вимірювальні лінійки;
- ✓ шаблон зварника (рис. 3.11).
- ✓ Вимірювальний контроль включає перевірку:
 - ✓ розмірів прихватних швів тимчасових технологічних кріплень;
 - ✓ відстаней між технологічними кріпленнями та кромкою деталі;
 - ✓ зсув кромок;
 - ✓ перекриття деталей у з'єднанні;
 - ✓ розмірів прихваток та їх розташування;



Рис. 3.11 Шаблон КТЦ20 [15]

Дефекти, виявлені при візуальному та вимірювальному контролі, повинні усуватися до виконання наступної технологічної операції.

У готового зварного з'єднання візуально контролюють:

- наявність поверхневих дефектів;
- якість очищення металу після тимчасових технологічних кріплень;
- якість очищення поверхні зварного шва та прилеглих ділянок основного металу;
- розміри поверхневих дефектів;
- висота та ширина шва, а також увігнутість та опуклість зворотної сторони шва;
- глибина западин між валиками шва;
- глибина та довжина підрізів зони сплавлення;
- катет кутового шва.

Оскільки конструкція ферми є відповідальною несучою конструкцією, то обов'язково проводять ультразвукову дефектоскопію (3.12) всіх зварних швів на наявність внутрішніх дефектів.

Методика ультразвукового контролю, повинна забезпечувати виявлення будь-яких неприпустимих дефектів по всьому перерізу зварного шва і біляшовної зони. Зварні шви контролюються з одного після зовнішнього огляду та усунення виявлених при цьому неприпустимих поверхневих дефектів. Безпосередньо перед контролем підготовлену поверхню біляшовної зони ретельно протирають ганчіркою і покривають шаром контактного мастильного матеріалу.

При контролі кутових швів ультразвуковий промінь вводять у шов через основний метал стінки. Кут введення ультразвукових хвиль повинен забезпечувати напрямок променя, приблизно перпендикулярне перерізу, в якому площа дефекту очікується максимальною.

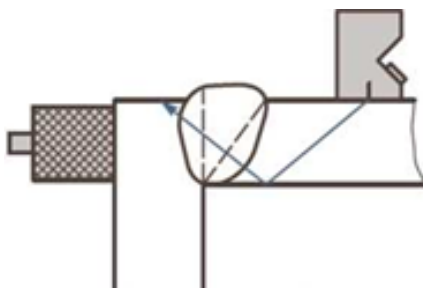


Рис. 3.12 Схеми «прозвучування» кутових швів [16]

Контроля якості зварних швів проводять ультразвуковим дефектоскопом A1212 MASTER (рис. 3.13).



Рис. 3.13 Ультразвуковий дефектоскоп A1212 MASTER [17]

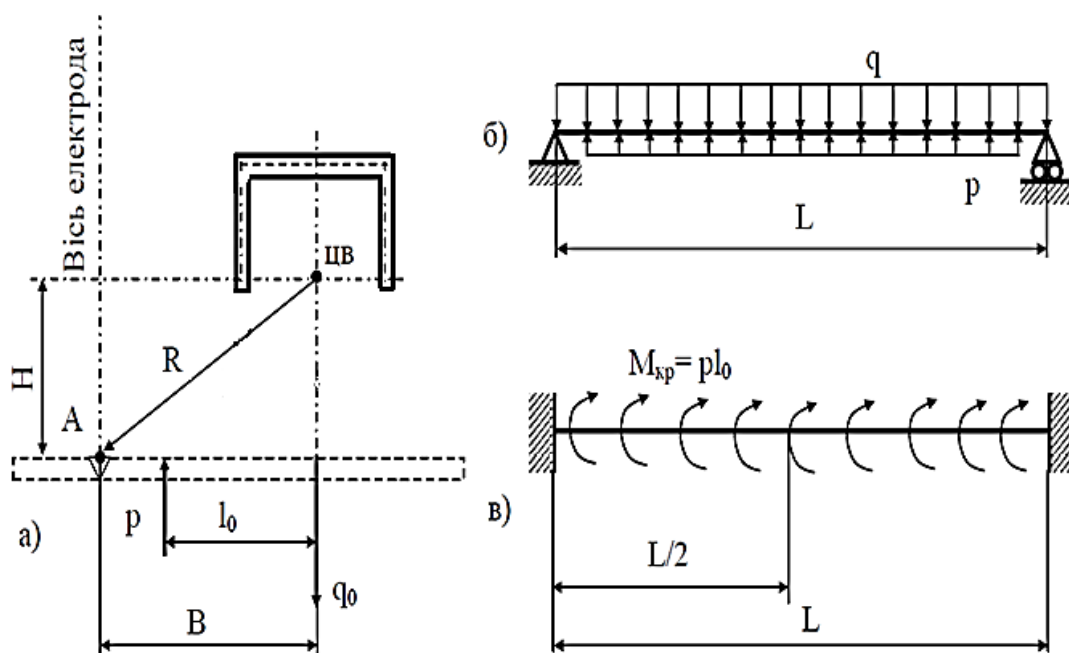
По завершенні контрольних операцій, конструкція ферми направляється на фарбування. Цей етап є фінальним у процесі виробництва металоконструкції, після чого процес може бути повторений для наступних виробів.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок елементів кондуктора

Розрахунок елементів кондуктора здійснюємо згідно літератури [18].

Розрахункова схема конструкції кондуктора приведена на рис. 4.1.



а — схема сил в поперечному перерізі швелера ; б — згинання швелера;

в — кручення швелера

Рисунок. 4.1 . Схема навантаження верхньої опорної швелера [15]

$$q = q_0 - p, \quad (4.1)$$

$$q = 900 - 280 = 620 \text{ Н/м}$$

$$M_3 = \frac{q \cdot L^2}{8}, \quad (4.2)$$

$$M_3 = \frac{620 \cdot 24^2}{8} = 44640 \text{ Н/м}$$

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \leq [\sigma] \quad (4.3)$$

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W}, \quad W = \frac{M_3}{\sigma_3} = \frac{44640}{160} = 0,000279 \text{ м}^3$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}. \quad (4.4)$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{44640 \cdot 24^4}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 895} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$m_{\text{кр}} = p \cdot l_0 \quad (4.5)$$

$$M_{KP} = m_{KP} \frac{L}{2} = \frac{p \cdot l_0 \cdot L}{2} \quad (4.6)$$

$$M_{KP} = \frac{280 \cdot 0,004 \cdot 24}{2} = 13,4 \text{ Нм}$$

$$\tau = \frac{pl_0L}{4F\delta} \leq [\tau] \quad (4.7)$$

$$\tau = \frac{280 \cdot 1,911 \cdot 2,730}{4 \cdot 2,34 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0052} = 10,079 \cdot 10^7 \text{ МПа}$$

$$a = \frac{p \cdot l_0 \cdot s \cdot L^2}{32 \cdot F^2 \cdot G \cdot \delta} \quad (4.8)$$

$$a = \frac{280 \cdot 4 \cdot 4,380 \cdot 0,10}{32 \cdot 2,34 \cdot 10^{-3^2} \cdot 0,0052 \cdot 5,3846 \cdot 10^{10}} = 0,8988$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (4.9)$$

$$G = \frac{2,1 \cdot 10^{11}}{2 \cdot (1 + 0,95)} = 5,384 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

4.2 Опис складально-зварювальної установки

Установки для складання стандартних плоских кроквяних ферм довжиною 18, 24, 30 та 36 метрів зазвичай оснащені спеціальними кондукторами: один для складання першої площини ферми та інший, позначений як кондуктор 8, для складання другої площини. До комплектації також входять кантувальні пристрої та напівкозлові крани, що полегшують маніпуляцію деталями. Всі кондуктори укомплектовані засобами фіксації, такими як струбцини з гідравлічними

притискачами, які забезпечують точне розташування деталей відповідно до проектних вимог та їх надійне утримання під час складання.

Процес складання ферми ініціюється доставкою деталей ферми зі складу на місце складання за допомогою мостового крана, розташованого біля складального кондуктора у зоні дії напівкозлових кранів. Відтак, елементи ферми послідовно встановлюються в кондуктор, де їх фіксують і стискають. Завершальний етап складання включає зварювання ферми з одного боку за допомогою робота, який рухається вздовж кондуктора на направляючих.

Складально-зварювальний кондуктор (рис. 4.2) дозволяє ефективно складати ферми різних типорозмірів. Унікальність конструкції кондуктора полягає в тому, що всі ферми складаються однаковим методом, що виключає необхідність кантування. Технологічний процес складання включає послідовне розміщення компонентів ферми у вже зібраний кондуктор, де вони фіксуються за допомогою спеціальних складальних пристроїв. Перед закріпленням деталі додатково притискаються. По завершенню складання ферми проводиться візуальний контроль коректності з'єднань і правильності розташування елементів конструкції.

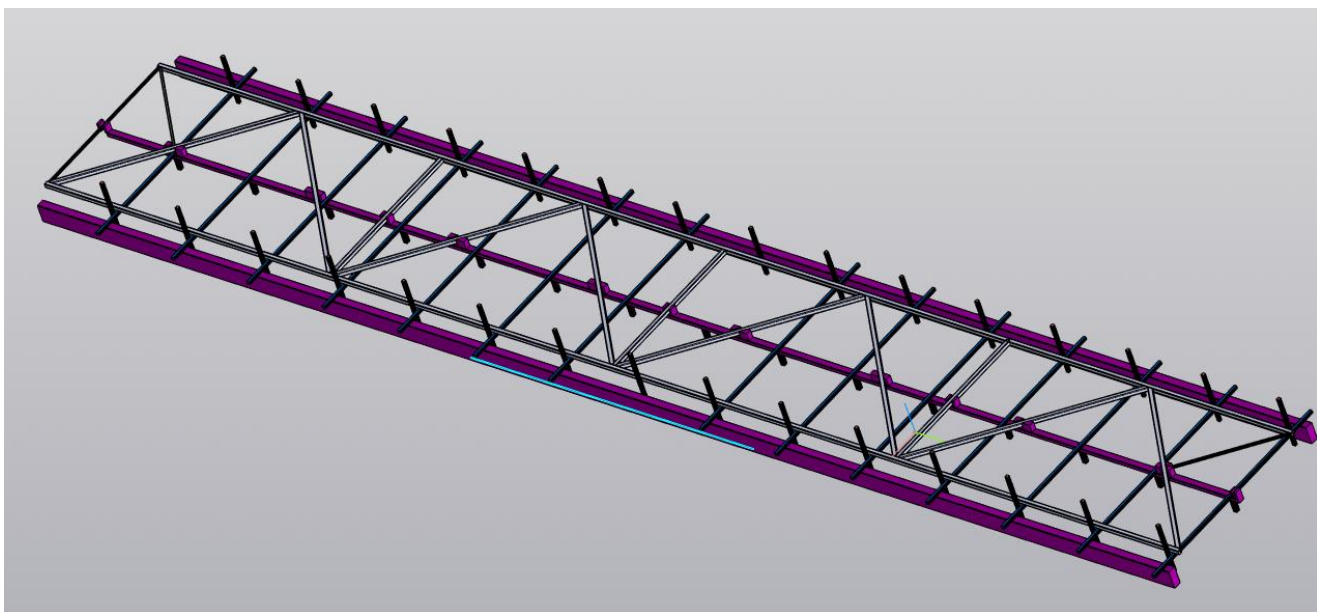


Рис. 4.3 – Кондуктор складально-зварювальний

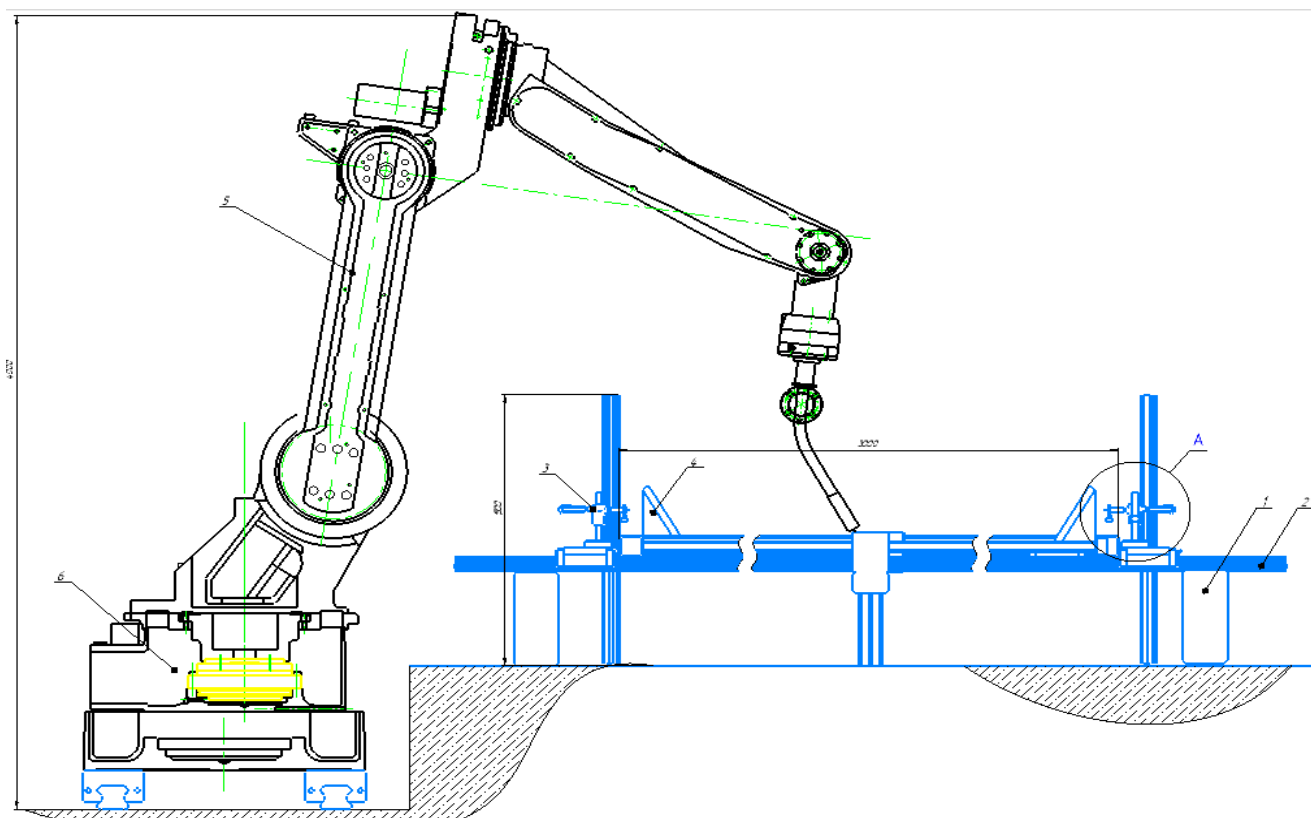


Рис. 4.3 – Складально-зварювальна установка

Кондуктор, призначений для складання та зварювання металевих ферм, являє собою вдосконалену конструкцію, що дозволяє ефективно здійснювати обидва процеси в єдиному просторовому аранжуванні. Він складається з міцної рами, на яку монтуються різноманітні кріпильні та притискні елементи, забезпечуючи надійне та точне позиціонування металевих елементів перед зварюванням.

Конструкція обладнана системою регульованих опор і напрямних, що дозволяє адаптувати кондуктор під різні розміри та конфігурації ферм. Додаткові гідравлічні притискачі забезпечують міцне та стабільне з'єднання деталей під час зварювання, що мінімізує помилки та знижує ризик дефектів у готовому виробі.

Ця універсальна і мультифункціональна установка оптимізує процес складання та зварювання, зменшуючи час виробництва та підвищуючи загальну продуктивність.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки, що ставляться до виробничого процесу

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкцій машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації.

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем елементів конструкцій;
- використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного керування;
- застосуванням в конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням в конструкції відповідних матеріалів.

Дотримання цих вимог в повному обсязі можливе лише на стадії проектування. Тому у всіх випадках проектної документації передбачаються вимоги безпеки.

Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються нормативними вимогами, які передбачають:

- усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, котрі спричиняють небезпечну дію;
- заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих факторів, процесами та операціями, при виконанні котрих ці фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;
- застосування дистанційного керування технологічними процесами та операціями за наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- герметизацію обладнання;

- застосування засобів колективного захисту працівників;
- раціональну організацію праці та відпочинку з метою профілактики монотонності та гіподинамії, а також зниження важкості праці;
- своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях;
- запровадження систем керування технологічними процесами, котрі забезпечують захист працівників та аварійне вимкнення виробничого обладнання;
- своєчасне видалення та знешкодження відходів виробництва, котрі є джерелом небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- забезпечення пожежо- та вибухобезпеки.

При застосуванні напіваавтоматичного зварювання у вуглекислому газі, основні заходи з техніки безпеки пов'язані з можливістю ураження зварника електричним струмом, опіків від розплавленого металу - бризок, що вилітають із зони зварювання, наявності рухомих частин приводу закріплення деталей у складально-зварювальному стенді і забруднення атмосфери.

Ураження струмом високої напруги можливе, коли зварювальне обладнання незаземлене, чи при пробії джерела живлення, при перемиканні напруги без вимкнення цього ж джерела живлення від мережі. Тому в обладнанні передбачаються системи блокування, що запобігають ураженню струмом високої напруги, наприклад закрито доступ до перемикача при не вимкненому первинному колі; дверцята шаф, пультів, станин з відкритими струмоведучими частинами, що перебувають під напругою, мають блокування, що забезпечує зняття напруги при їх відкриванні.

Уникнення випадкового контакту людини з струмоведучими частинами електрообладнання забезпечується ізоляцією струмоведучих частин. З метою запобігання ураження електричним сирумом здійснюється періодичний і безперервний контроль ізоляції. Вимірювання опору ізоляції здійснюється на вимкненій електроустановці за допомогою мегомметра.

Для уникнення небезпеки ураження електричним струмом при появі напруги на корпусах та інших частинах електрообладнання необхідно застосовувати захисне заземлення.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею або з її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, котрі можуть опинитись під напругою. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус.

Захисному заземленню підлягають металеві не струмоведучі частини обладнання, котрі через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до котрих можливий дотик людей.

Захист від бризок розплавленого металу і запобігання опіків оператора забезпечується роботою в спецодязі – це вогнестійка бавовняна чи брезентова куртка, рукавиці та окуляри з прозорим склом закритого типу.

Оскільки при зварюванні виділяються шкідливі речовини, тому для їх видалення з виробничого приміщення у даному випадку доцільно застосовувати місцеву витяжну вентиляцію, яка здійснюється за допомогою витяжних зонтів.

Згідно правил пожежної безпеки при виробництві зварювальних робіт передбачається комплекс заходів, які забезпечують зниження небезпеки виникнення пожежі і створення умов швидкої ліквідації пожежі.

При виборі принципу дії устаткування необхідно враховувати всі потенційно можливі небезпеки та шкідливі виробничі чинники.

5.2 Розрахунок захисного заземляючого пристрою установки

Захисне заземлення – передбачене з'єднання з землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть випадково бути під напругою.

Захисне заземлення є ефективною мірою захисту при живленні електроустаткування від електричних мереж напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю і напругою більше 1000 В з любым режимом нейтралі.

У відповідності ПУЕ захисне заземлення потрібно виконувати при паузі напруги змінного струму 380 В і більше і напруги постійного струму 440В і більше у всіх електроустановках; при номінальній напрузі змінного струму більше 42 В і напрузі постійного струму більше 110 В - тільки в електроустановках, які розміщені в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках; при будь-якій напрузі змінного і постійних струмів, у вибухонебезпечних установках.

Захисна дія заземлення ґрунтується на зниженні напруги дотику, що досягається шляхом зменшення потенціалу на корпусі устаткування відносно поверхні землі.

Заземлюючим пристроєм називається наявність заземлювача (металевого провідника чи групи провідників, які безпосередньо знаходяться в контакті із землею) і заземлюючих провідників, які з'єднують частини електроустановки із заземлювачем.

Матеріалом захисного заземлюючого пристрою є сталь. В залежності від розміщення заземлювачів по відношенню до устаткування, яке заземлене – заземлення буває виносне і контурне.

Метою розрахунку є визначення кількості і розмірів заземлювачів і складання плану розміщення заземлювачів.

Розрахунок захисного заземлюючого пристрою проводимо за [19].

Завдання: розрахувати захисне заземлення ділянки з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380В з ізолюваною нейтраллю. В якості електродів – заземлювачів приймаємо сталеві трубки (кутники) довжиною l і діаметром d , які з'єднані між собою сталеною стрічкою шириною $b = 0,04$ м. Коефіцієнти використання заземлювачів η_z і з'єднувальної стрічки η_c . Крок між заземлювачами рівний d . Заглиблення верхнього кінця трубки і з'єднувальної стрічки $H = 0,8$ м. Питомий опір ґрунту ρ .

Дано: $\rho = 20 \text{ Ом м}$; $l = 3 \text{ м}$; $a = 0,8 \text{ м}$; $d = 6 \text{ м}$; $\eta_3 = 0,74$; $\eta_c = 0,75$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту ρ_p в якому має бути розміщений заземлювач за формулою:

$$\rho_p = \rho \cdot \psi, \quad (5.1)$$

де ψ - кліматичний коефіцієнт, який вибирається в залежності від вологості ґрунту, $\psi = 1,3$.

Звідси:

$$\rho_p = 20 \cdot 1,3 = 26 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (труби), заглибленого нижче рівня землі на $H = 0,7 \text{ м}$:

$$R_3 = \frac{\rho}{2 \times \pi \times \ell} \times \left(\ell_n \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ell_n \frac{4t+\ell}{4t-\ell} \right), \quad (5.2)$$

де, $t = H + 0,5 \times l$ - відстань від поверхні ґрунту до середини труби;

$$t = 0,8 + 0,5 \cdot 3 = 2,3 \text{ м}$$

Звідси:

$$R_3 = \frac{26}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ell_n \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} \ell_n \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 4,04 \text{ Ом}.$$

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_n}{R_3 \times \eta_3}, \quad (5.3)$$

де R_n – нормований опір заземлюючого пристрою (ПУЕ).

Звідси:

$$n = \frac{4.04}{4 \cdot 0.74} = 1.36.$$

Приймаємо $n=2$.

Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_c} \times \ell_n \frac{2 \times L_c}{6 \times H}, \quad (5.4)$$

Звідси:

$$R_3 = \frac{26}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \frac{2 \cdot 3,15}{0,05 \cdot 0,8} = 8,16 \text{ Ом}.$$

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги, якщо електроди розміщені в ряд:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot (n-1). \quad (5.5)$$

Якщо, смуги розміщені по контуру, то:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 2 = 12,6 \text{ м};$$

$$L_c = 1,05 \cdot 6 \cdot (2-1) = 6,3 \text{ м}.$$

Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою:

$$R_{zn} = \frac{R_3 \times R_c}{R_3 \times \eta_n + R_c \times \eta_3 \times n}, \quad (5.6)$$

$$R_3 = \frac{8,16 \cdot 4,04}{8,16 \cdot 0,46 + 4,04 \cdot 0,75 \cdot 2} = 3,36 \text{ Ом}$$

Величина опору штучних заземлювачів задовольняє вимогу $R_{zn} \leq 4 \text{ Ом}$.

5.3 Розрахунок витяжної вентиляції для спроектованого цеху

В даному технологічному процесі, при виготовленні відвалу бульдозера використовуємо напівавтоматичне зварювання в середовищі захисних газів. Вуглекислий газ сприяє утворенню шкідливих окислів при зварюванні. Щоб локалізувати шкідливе виділення, необхідно встановлювати витяжну вентиляцію.

Найбільш ефективним способом очищення повітря від пилу і газів є місцевий відсмоктувач безпосередньо від джерела їх виділення. Для цього використовуємо нахилену панель рівномірного всмоктування (рис. 5.1).

Всмоктуючий отвір розташований під кутом 45° до вертикалі. Встановлена в ньому решітка сприяє рівномірному розподілу повітря по площі всмоктуючого отвору. Панель встановлюють над столом з протилежного боку від зварника. Найбільш широко використовуються панелі розмірами 600 x 645; 750 x 645; 900 x 645.

Нахилена сторона панелей рівна $H = 645$ мм, живий переріз вхідного отвору панелей при коефіцієнті місцевого отвору панелей $E = 1,0$ складає 25% від габаритного.

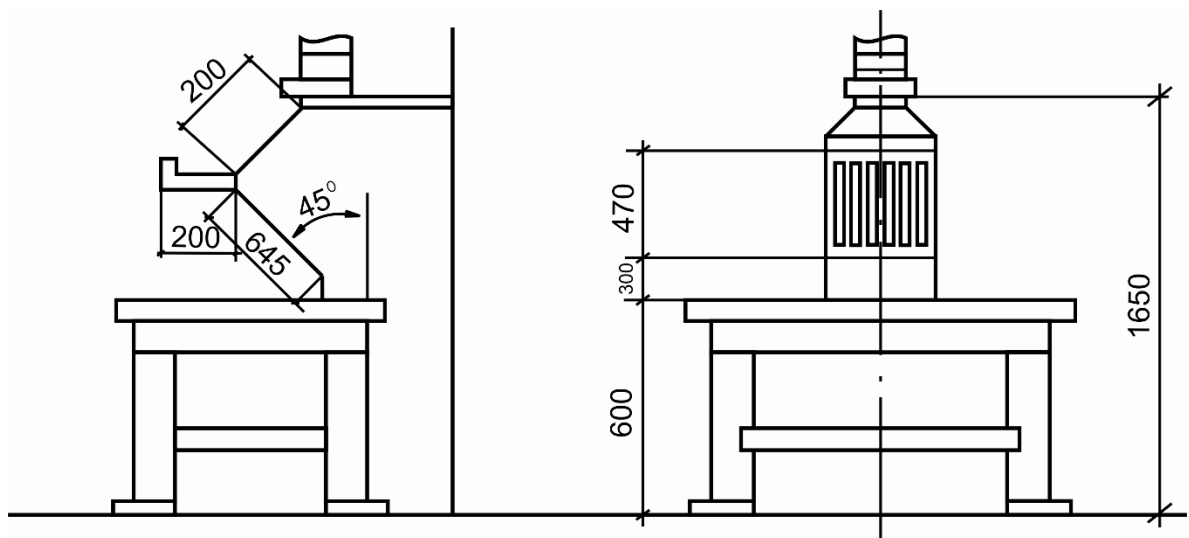


Рис. 5.1 — Панель рівномірного всмоктування [19]

Для того, щоб відсмоктувач зміг вловити пил і газу, швидкість руху повітря в всмоктуючому потоці в зоні зварювання повинен бути більше 0,2 м/сек, в той же час, для запобігання порушення газового захисту зварювальної ванни не повинна перевищувати при зварюванні в середовищі вуглекислого газу 0,5 м/с.

Необхідний повітрообмін можна визначити з умов наплавлення 1кг металу (таблиця 5.1).

При наплавленні 0,4 кг металу отримуємо:

$$Q = 0,4 \cdot 820 = 168 \text{ м}^3$$

Таблиця 5.1 - Необхідний повітрообмін при наплавленні 1кг металу

Спосіб зварювання	Загальна запиленість, г/кг	Необхідний повітрообмін, м ³
Зварювання в середовищі газів CO ₂ +O ₂ дротом діаметром до 2мм	4,1	820

Середня швидкість всмоктувача V_o по відношенню до габаритного розміру панелі рівна 0,9м/с.

Швидкість повітря V в місці розташування зварювальної дуги вибираємо 0,3 м/с:

$$\frac{l}{H} = 0.43 \quad (5.7)$$

де l – відстань виробу від всмоктуючої панелі ;

$$l = 645 \cdot 0,43 = 277 \text{ мм}$$

Для двох панелей 645 x 600 об'єм видаленого повітря при середній швидкості у всмоктуючому отворі рівне 0,9 м/с рівний:

$$V = v_o \cdot F_{\text{пер}} , \quad (5.8)$$

де $F_{\text{пер}}$ - площа поперечного перерізу панелі, м² ;

$$V = 0,9 \cdot 2 \cdot 0,387 = 0,7 \text{ м}^3/\text{год} \quad 2500 \text{ м}^3/\text{год}.$$

5.4 Вимоги до стійкості функціонування промислового підприємства

З метою забезпечення стійкості роботи виробничого підприємства в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу завчасно проводиться комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів цивільної оборони, спрямованих на забезпечення захисту населення і зменшення руйнувань, на підвищення стійкості роботи об'єкту, на утворення необхідних умов для проведення рятувальних і інших невідкладних робіт [20].

Основні заходи по підвищенню стійкості, які проводяться на об'єктах у мирний час, передбачають: захист робітників та службовців і інженерно-технічного комплексу від наслідків стихійного лиха, аварій (катастроф), а також первинних та вторинних факторів ураження ядерного вибуху; забезпечення надійності управління та матеріально-технічного забезпечення; світломаскування об'єкту; підготовку його до відновлення порушеного виробництва та переходу на режим в умовах надзвичайних ситуацій [20].

Кожний об'єкт в залежності від особливостей його виробництва і інших характеристик має свою специфіку. Але об'єкти мають багато спільного: виробничий процес здійснюється, як правило, в середині споруд і будівель, самі споруди в більшості випадків виконані з уніфікованих елементів, територія об'єкту насичена інженерними, комунальними і енергетичними лініями, густота забудови по багатьох об'єктах становить 30-60 %. Все це дає підставу вважати, що для всіх виробничих об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні фактори, які впливають на підготовку об'єкта до роботи в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. До цих факторів належать: район розміщення об'єкту, внутрішнє планування і забудова території об'єкту, системи енергопостачання, технологічний процес, виробничий зв'язок об'єкту, системи управління, підготовленість об'єкту до відбудови виробництва та інше [20].

Район розміщення об'єкту вивчається за картою. Проводиться аналіз топографічного розміщення об'єкту: характер забудови території, яка оточує

об'єкти; наявність на цій території підприємств, які можуть бути джерелами виникнення вторинних факторів ураження, природні умови навколишньої місцевості; наявність шляхів та інше.

При вивченні споруд і будівель об'єкту дається характеристика споруд основного і допоміжного виробництва; споруд, які не будуть використані у виробництві основної продукції в надзвичайних ситуаціях.

При оцінці внутрішнього планування території об'єкту визначається вплив густоти і типу забудови, можливість виникнення і розповсюдження пожежі, створення завалів входів у сховища і проходів між спорудами.

Вивчення технологічного процесу проводиться з розрахунком специфіки виробництва і змін у виробничому процесі в надзвичайних ситуаціях (можлива зміна технології, часткова зупинка виробництва, переключення на виробництво нової продукції) [20].

Дослідження системи управління об'єктів проводиться на основі вивчення стану пунктів управління і вузлів зв'язку, надійності системи управління виробництвом, надійності зв'язку з позаміською зоною, розстановки сил, забезпечення керівництва виробничою діяльністю об'єкту в усіх підрозділах підприємства.

При аналізі системи матеріально-технічного постачання дається коротка характеристика цієї системи в нормальних умовах і можливих змін в зв'язку з переходом на випуск нової продукції, встановлюється залежність виробництва від постачальників, виявляються найбільш важливі поставки сировини, деталей і комплектуючих виробів, без яких виробництво не може продовжуватись.

Підготовка об'єкту до відбудови виробництва визначається на основі вивчення характеру виробництва, складності його устаткування, підготовленості персоналу до відбудовних робіт, запасів матеріалів, деталей та устаткування [20].

ВИСНОВКИ

У роботі обґрунтовані параметри процесу зварювання ферми перекриття, а також проведені дослідження її напружено-деформівного стану за допомогою моделювання. Результати моделювання в програмі SolidWorks показали, що в зонах зварних вузлів виникає суттєва концентрація напружень, які перевищують границю текучості сталі 09Г2. В зв'язку з цим важливою особливістю є збільшення мінімально допустимої відстані між привареними розкосами (не менше 20 мм).

Також були визначені статичні коефіцієнти запасу міцності з урахуванням напружень. Згідно з результатами статичного розрахунку методом скінчених елементів, максимальні значення прогинів ферми не перевищують встановлених нормативних вимог, що підтверджує її надійність і допустимість використання в конструктивних рішеннях.

Для оптимізації процесу зварювання ферми було запропоновано нове складально-зварювальне устаткування. Ці інновації мають на меті значно покращити якість та ефективність складально-зварювальних робіт. Впровадження цього устаткування дозволить забезпечити більш точне та швидке виконання зварювальних робіт, що сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню витрат на виробництво. Такі технологічні зміни спрямовані на забезпечення вищої надійності конструкцій і відповідності їх всім сучасним стандартам якості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Підгурський М.І., Підгурський І.М. Навчальний посібник “Проектування металевих конструкцій. Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі. Теоретичні основи проектування з прикладами розрахунку” – Тернопіль: ФОП Паляниця В.М, 2021. – 236 с.
2. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.- 896 с.
3. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=993
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізвуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. - 263 с.
5. 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.
6. ДСТУ Б В.2.6-74:2008 Конструкції будинків і споруд .ФЕРМИ СТАЛЕВІ КРОКВЯНІ З ГНУТОЗВАРНИХ ПРОФІЛІВ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ. Технічні умови.
7. Підгурський І.М. Аналіз напружено-деформівного стану сталевих балок з гофрованою стінкою / І.М. Підгурський, Віт.С. Сенчишин, А.М. Кос, Д.І. Дробочський, А.М., Ковбасовський, А.С. Ошурко // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 11-12 грудня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С.51.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.

9. Биковский, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
10. 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.
11. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
12. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryuvalni-tekhnologiyi/produkty/>
13. https://kemppi.in.ua/catalog/svarochniy_robot/284.htm
14. <https://svartech.com.ua/ua>
15. https://metrolog.com.ua/ua/shablони_svarshika
16. 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.
17. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/ultrazvukovoi-defektoskop-ud3701.html>
18. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
19. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
20. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.

ДОДАТКИ