

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 стріли малого підйимального модуля з дослідженням її напружено-деформівного стану**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПм-62  
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Мурза В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Сенчишин В.С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дячун А.Є.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2023

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Розроблення технології виготовлення стріли малого підйимального модуля з дослідженням її напружено-деформівного стану" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 67 аркуші формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, дослідницька, технологічна, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

В роботі розроблено технологію виготовлення стріли малогабаритного підйимального модуля та досліджено її НДС. Для зварювання даного виробу вибираємо: для тривалих лінійних та ободових швів – автоматичне зварювання в  $\text{CO}_2$ , а для коротких – механізоване в  $\text{CO}_2$ .

Для виготовлення стріли запропоновано механізовані та автоматизовані складально-зварювальні пристосування та сучасне зварювальне обладнання що дозволить підвищити ефективність виробництва та її якісні показники.

Виходячи з отриманих результатів можна побачити, що при застосуванні конструкції виготовленої із профільного прокату (в нашому випадку швелерів №180 та №140), максимальні напруження які виникають в балці стріли становлять 100 МПа, а запас міцності за межею текучості 4,0 при навантаженні 800 кг, при цьому прогин стріли не перевищує 25 мм вільної сторони. На основі результатів проведених досліджень можна стверджувати, що використання обраного типу конструкції стріли навантажувача є обґрунтованим та забезпечує необхідні міцнісні характеристики.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, ЗАХИСНИЙ ГАЗ, НАПІВАВТОМАТ, СТРІЛА НАВАНТАЖУВАЧА, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	7
1.1 Конструкція виробу та умови роботи .....	7
1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції.....	11
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу .....	18
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....	20
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	29
3.1 Обґрунтування способу зварювання .....	29
3.2 Опис технологічного процесу.....	43
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	47
4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань.....	47
Рис. 3.1. Кондуктор складання та зварювання короба стріли.....	47
4.2 Розрахунок зварювального маніпулятора .....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	55
5.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників у спроектованому цеху .....	55
5.2 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці.	57
5.3 Розрахунок штучного освітлення для спроектованого цеху .....	58
5.3 Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта до ударної хвилі.....	61
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65
ДОДАТКИ.....	67

## ВСТУП

Останнім часом, через збільшення кількості будівельних робіт, відбувається збільшення потреби в специфічних транспортних засобах та апаратах. Це призвело до необхідності створення допоміжного устаткування для цих пристроїв.

Серед найважливіших пристроїв виділяються компактні ліфтингові системи, які вживаються для здійснення завдань у складських середовищах, труднодоступних локаціях, а також для піднімання та переміщення невеликих предметів, коли використання вантажних автомобілів не є ефективним, а великі крани виявляються занадто витратними. Як приклад можна навести багатофункціональний трактор, призначений для виконання зварювальних завдань в екстремальних умовах, наприклад на основних трубопроводах. Ключовим компонентом цього трактора є спеціальний механізм для ліфтингу вантажів.

Узявши до уваги обсяг завдань, на які розрахований цей компактний ліфтинговий агрегат, ми зазначаємо, що існує значний інтерес до них (особливо до механізму виліту). Таким чином, виникає нагальна потреба в механізації та автоматизації процесу виробництва цього компонента, адже його ручне виготовлення без спеціального обладнання є нераціональним (у зв'язку з високою трудомісткістю кваліфікованих робітників, а також значною кількістю допоміжних операцій при обробці досить великих конструкцій).

Для вирішення цих завдань необхідно створити додаткове зварювальне устаткування, розробити ефективну та економічно вигідну методику його створення та інтегрувати її у виробничий процес.

Окремі аспекти цих завдань розглядаються у даній магістерській кваліфікаційній роботі, зокрема питання, пов'язані з методами виробництва механізму виліту стріли малого підйимального модуля.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Конструкція виробу та умови роботи

Стріла малого підйимального модуля (рис. 1.1) працює у складі системи спеціалізованого обладнання по підйманні та переміщенні невеликих вантажів у складних умовах. Цей компонент зазвичай монтується на тракторі (1.2), що забезпечує його пересувність і здатність до експлуатації у польових умовах. Малий підйимальний модульний пристрій призначений для роботи у складі трактора, здатний піднімати різні предмети вагою до 800 кг. Конструкція механізму виліту дозволяє йому обертатися навколо своєї осі, підніматися та опускатися за допомогою ліфтингового гідроциліндра. Крім того, завдяки розсувній структурі корпусу та гідроциліндра, вмонтованого всередині, механізм може витягуватися на відстань до 4 метрів.

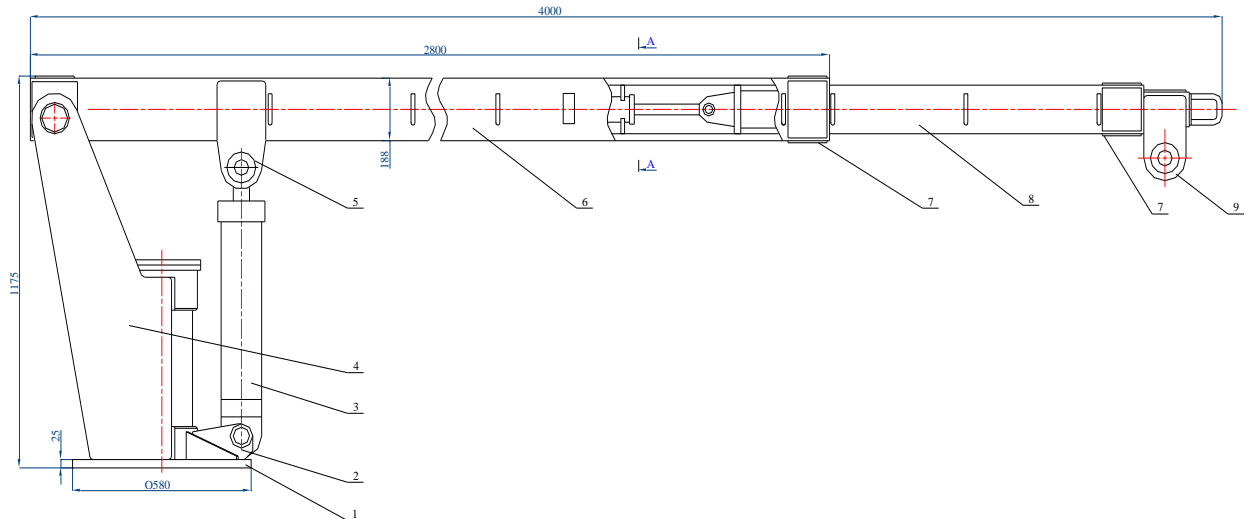


Рис.1.1. Конструкція малого підйимального модуля.

Механізм виліту малого підйимального модуля монтується на трактор за допомогою своєї базової плити, яка закріплюється болтовими з'єднаннями.

Цей механізм (рис. 1.1.) складається з базової плити 1, нижньої кріпильної петлі для гідроциліндра 2, самого гідроциліндра 3, опорної

конструкції механізму 4, верхньої кріпильної петлі для гідроциліндра 5, основи механізму 6, елементів жорсткості 7, мобільної частини механізму 8, петлі для закріплення троса 9 та гідроциліндра для висування мобільної частини 10.



Рис. 1.2 – Загальний вигляд тракторного навантажувача

Умови використання. Структура використовується на відкритому просторі, тому важлива є вплив атмосферної корозії.

Основний фактор зношування – динамічні навантаження під час завантажувальних операцій.

Обмеження щодо маси підніманого вантажу – потенційна деформація та ламкість механізму.

Для створення цього виробу застосовується сталь 20 – це нелегована сталь з низьким вмістом вуглецю.

Інформація про хімічний склад основного матеріалу (сталь 20) приведена нижче [1] у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Складові елементи сталі 20

вміст хімічних елементів, %						
C	Mn	Si	Cr	Cu	S	P
0.17-0.24	0.35-0.65	0.17-0.37	0.25	0.25	0.04	0.04

На основі хімічного аналізу та перегляду наукових джерел [1], сталь 20 класифікується як низьковуглецева (вуглець <0.24%), нелегована, з феритно-перлітною структурою. Ця сталь не містить у своєму складі хімічно активних домішок. Механічні характеристики цієї сталі вказані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Механічні характеристики сталі 20 [1]

Тимчасовий опір розриву $\sigma_B$ , МПа	Межа текучості $\sigma_T$ , МПа	Відносне подовження $\delta_5$ , %	Відносне звуження $\psi$ , %
Не менше			
420	250	25	55

Здатність до зварювання. Оцінюється тенденція металу зварного шва до утворення гарячих тріщин за умов максимально несприятливих обставин.

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

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

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

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

$C_{екв} = 0,395 < 0.4 \dots 0.45$ , - метал не схильний до формування холодних тріщин.

Таблиця 1.3 – Групи зварюваності сталей

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент Се, %	Технологічні заходи			
			підігрів		термооброблення	
			перед зварюванням	під час зварювання	перед зварюванням	після зварювання
1	Добра	< 0,38	-	-	-	бажано
2	Задовільна	0,38 - 0,45	необхідний	-	бажано	необхідне
3	Обмежена	0,46 - 0,6	необхідний	бажано	бажано	необхідне
4	Погана	> 0,6	необхідний	необхідний	необхідне	необхідне

Загалом, цю сталь можна класифікувати як легко зварювальну за умови помірного рівня легуючих компонентів.

*Особливості зварювання конструкційних сталей:*

Пористість. Можливі причини її появи:

Азот  $N_2$  – може проникнути у зварювальну ванну з атмосфери через ненадійний захист;

Водень  $H_2$  – з'являється від вологи у повітрі або з вологи у зварювальних матеріалах. Волога ( $H_2O$ ) може бути на поверхні електродів, у флюсі, або у балоні з  $CO_2$ . Крім того, джерелами водню можуть бути іржа або мастильні речовини (вуглеводні  $C_nH_m$ ), які знаходяться в області зварювання;

Оксид вуглецю  $CO$  – утворюється внаслідок окислення вуглецю.

Методи запобігання пористості:

- а) Металургійні: Додавання до зварювальної ванни елементів, що поглинають водень.
- б) Технічні: Грунтовне очищення поверхонь від іржі, масел, фарби; ефективний захист області зварювання від азоту; відпал зварювальних матеріалів. Гарячі тріщини можуть з'являтися через формування легкотопкої евтектики  $FeS$ , яка утворюється при умові ( $T_{пл} FeS < T_{пл} сталі$ ), що призводить до появи рідких шарів, які викликають тріщини. Щоб уникнути цього, у зварювальну ванну додають  $Mn$ , який об'єднується з  $S$ , формуючи менш топкий сульфід ( $Mn+S \rightarrow MnS$ ), що перешкоджає формуванню рідких шарів.



Для сталей з високим вмістом вуглецю (понад 0.20%), при зварюванні кутових та корневих швів, особливо зі значним зазором, існує ризик утворення гарячих тріщин через вузьку та глибоку форму провару з високим коефіцієнтом форми проплавлення 0,8...1,2..

Вразливість зварних з'єднань до крихкості. Сталі з низьким та середнім вмістом вуглецю можуть ставати крихкими при низьких температурах (-20...-70°C). Цей процес сприяється збільшенням рівнів N<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>. Щоб уникнути крихкості в сталях, кількість N<sub>2</sub> обмежується до менше ніж 0.08% та O<sub>2</sub> до менше ніж 0.05%. Схильні до крихкості такі сталі, як ВСт2кп, ВСт3кп, 10кп, 20кп.

Для забезпечення однакової міцності зварного з'єднання та основного металу, механічні властивості металу шва та зварного з'єднання залежать від його структури, яка формується за рахунок хімічного складу, режиму зварювання, а також попередньої та наступної термообробки. Хімічний склад металу шва при зварюванні сталей з низьким та середнім вмістом вуглецю трохи відрізняється від складу основного металу. Це відмінність виявляється у зниженні вмісту вуглецю в металі шва, що призводить до зниження його міцності. Зі зростанням вмісту вуглецю в металі підвищується його міцність. Додавання марганцю або кремнію підвищує міцність металу шва. Збільшення швидкості охолодження металу шва також підвищує його міцність, але водночас знижуються його пластичність та ударна в'язкість.

## **1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції**

Усі матеріали, вживані при виготовленні вантажопідйомних механізмів, мають бути у відповідності зі стандартами або технічними умовами. Метал, використовуваний для створення ключових елементів несучих зварних конструкцій та компонентів, повинен мати відповідні сертифікати якості від постачальників. Обрані марки сталі та типи прокату для виготовлення

вантажопідійомних машин повинні забезпечити їхню функціональність навіть у найхолодніших умовах, з температурою повітря до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

При виготовленні конструктивних елементів зварних несучих металоконструкцій, які включають в себе вежі, стріли, ходові рами, поворотні платформи тощо, необхідно використовувати металопрокат (листовий, фасонний куточок, двотаврові балки, швелер тощо), а також сортовий метал (квадрат, шестигранник, смуга, круг). Вміст вуглецю у цих сталях не має перевищувати 0,22%. Поверхня прокату не повинна мати тріщин, полонів, неметалічних включень, та інших дефектів. Розшарування прокату у виробничих елементах та деталях не допускається.

В процесі виробництва, прокат чорних металів потрібно подавати після очищення та виправлення. Його обробка без попереднього виправлення допустима лише за умови, що відхилення від норм не перевищують встановлених допусків. Виправлення прокату повинно проводитися за допомогою вальців, пресів або інших пристроїв, що забезпечують плавне навантаження, і лише у випадку дрібних деталей допускається вручну через гладилку. Поверхня прокату після виправлення повинна бути без вм'ятин, вибоїн та інших пошкоджень і відповідати стандартам на прокат. Холодне виправлення дозволяється, якщо залишкові деформації не перевищують 1%.

При викривленнях прокату з низьковуглецевих сталей виправлення допускається лише в гарячому стані при загальному або місцевому нагріванні металу до температури не нижче  $1100^{\circ}\text{C}$ , з закінченням виправлення при температурі не нижче  $700^{\circ}\text{C}$ . Виправлення прокату шляхом наплавлення валиків дуговим зварюванням проводити забороняється.

Різання деталей для вантажопідіймальних машин має виконуватися за допомогою ножиць, зубчастих пил, а також із застосуванням газо-кисневих автоматів та напіваавтоматів і інших механізованих засобів термічного та механічного різання, що забезпечують відповідну якість різку. Після різання киснем або дуговим методом кромки деталей мають бути очищені, а також не повинні мати зарізів не більше 20% загальної довжини кромки. Допустима

довжина кожного зарізу - до 150 мм, глибина – до 2 мм. Нерівності різу понад 1 мм та напливи повинні бути видалені та зачищені.

Після дугового різання кромки перед зварюванням повинні оброблятися на глибину 1,5-2 мм від найбільшої западини різу. Кромки, відрізані ножицями, не повинні мати задилок та завалів, що перевищують 1 мм, а також тріщин чи розшарувань.

Кромки деталей з вуглецевих та низьколегованих сталей, які не зварюються в розрахункових елементах, що працюють на розтягування, а також у деталях, розташованих у напрямку зусилля в розтягнутій зоні елементів, що згинаються, після кисневого і дугового різання і після різання на ножі мають бути піддані механічній обробці. Необхідність механічної обробки кромки повинна бути зазначена в кресленнях чи технологічній документації.

Після машинного кисневого різання при висоті нерівностей різу до 0,3 мм не обов'язково проводити обробку кромки. Граничні відхилення розмірів металоконструкцій, виготовлених різними методами, повинні відповідати 16 квалітету. Кромки під зварювання можуть бути підготовлені будь-яким способом, що забезпечує необхідні форми, розміри та шорсткість поверхонь, вказані в робочих кресленнях, з урахуванням необхідних зазорів під зварювання у відповідності до стандарту на застосовуваний спосіб.

Величина припуску при зварюванні листів встик повинна дорівнювати 0,1 товщини деталей, що зварюються на кожен стик.

При розташуванні стиків у металоконструкціях необхідно дотримуватися наступних правил:

- у конструкціях, виготовлених з листового металу, куточків, швелерів, двотаврових балок чи труб, відстань між стиками має становити не менше 4 метрів; довжина приєднуваного елемента має бути як мінімум 0,5 метра і встановлюватися біля кінця основного елемента;

- у коробчатих і двотаврових зварних балках та стрижнях стики верхніх і нижніх поясів повинні бути зміщені від стиків стінок на відстань не менше 300 мм;
- мінімальна відстань між перетинами, де розташовані стики поясів, – 600 мм;
- стики поясів та стінок повинні бути розташовані від діафрагм або ребер жорсткості на відстані не менше 100 мм;
- стики листів, куточків, швелерів та двотаврових балок, якщо вони не передбачені кресленнями, повинні бути прямими без накладок.

У коробчатих та двотаврових балках допускається горизонтальне стикування вертикальних листів (вздовж ширини листа) з розташуванням стику у розтягнутій половині балки. Відстань від стику до нижнього пояса балки повинна бути не менше 20% її висоти.

Обробка отворів у металевих конструкціях повинна проводитися після завершення зварювання та коригування конструкцій. Така обробка до зварювання допускається, якщо зварювальні пристосування дозволяють закріплювати деталі через вже оброблені отвори, а також якщо деформації після зварювання не виходять за межі допустимих відхилень для розташування отворів.

Зварювання металоконструкцій має виконуватися відповідно до розробленого технологічного процесу збирання та зварювання. Під час складання для зварювання слід забезпечити точність розташування деталей відповідно до вимог робочих креслень та стандартів. Для досягнення необхідної точності варто використовувати спеціальні складально-зварювальні пристрої та кондуктори, які запобігають деформаціям і не ускладнюють зварювальні роботи.

Пристосування та обладнання, що використовуються під час підготовки до зварювання, мають періодично проходити перевірку.

Деталі, що передаються на складання, повинні бути сухими, очищеними та вирівняними. Перед складанням кромки для зварювання та прилеглі зони металу шириною не менше 20 мм необхідно очистити. При складанні

конструкцій для зварювання деталі встановлюють так, щоб зварні шви були здійснені переважно у нижньому положенні. Під час складання конструкцій для зварювання потрібно дотримуватися необхідних зазорів між деталями, які зварюються, згідно із стандартами. Локальні відхилення у зазорах слід виправити перед початком загального зварювання з'єднань. Якщо усунення зазорів шляхом стискання деталей неможливо, то одну з деталей слід замінити на таку, що дозволяє отримати потрібний зазор, або допускається виконати наплавлення, якщо довжина зазору не перевищує 10% загальної довжини шва і ширина не більше 0,6 найменшої товщини зварюваних деталей. Заповнення збільшених зазорів шматками дроту, електродами чи смужками тонкого листового металу заборонено. Всі локальні виступи та нерівності, які перешкоджають правильному складанню, повинні бути видалені.

Для деталей, що входять до складу готових зварних конструкцій, відсутність вказаних допусків для форми та розташування поверхонь має відповідати 16 класу якості.

Граничні лінійні відхилення для готових складових одиниць повинні дотримуватися 16 класу точності та мати клас точності «грубий».

Під час складання деталей для зварювання можливі такі відхилення від проектного положення:

- у стикових з'єднаннях – зміщення кромки до 0,5 мм при товщині менше 4 мм, до 1 мм при товщині 4-10 мм, і до 0,1 товщини стикуваних деталей (але не більше 3 мм) при товщині понад 10 мм;
- уступ кромки у площині з'єднання для деталей шириною до 400 мм - не більше 3 мм, а для деталей шириною понад 400 мм - не більше 4 мм;
- у з'єднаннях замкнутого контуру уступ кромки не повинен перевищувати 2 мм;
- у таврових з'єднаннях відхилення полиці від заданого положення не має перевищувати 1:100.

Під час підготовки до зварювання, на початку та в кінці стикових швів, як правило, слід встановлювати вивідні планки. Потреба в таких планках та їх

розміри, які повинні бути не менші за 60 мм на 80 мм, мають бути визначені заздалегідь. Вивідні планки мають розміщуватися у тій самій площині, що й зварювані деталі, та міцно прилягати до їх очищених кромки. Точність розміщення вивідних планок повинна відповідати тим же допускам, що й при складанні деталей для зварювання. Для захисту металу від бризок під час зварювання рекомендується застосовувати рідкий концентрат лігносульфонату або інші захисні засоби з подібними властивостями, які не погіршують якість зварювання. Всі металоконструкції, зібрані для зварювання, разом з їх окремими частинами, які підлягають зварюванню, мають бути представлені для перевірки ВТК.

Зварювання металевих конструкцій слід здійснювати, використовуючи переважно високопродуктивні методи зварювання. Для запобігання появи реактивних напружень у конструкціях під час зварювання, рекомендується спочатку зварювати стикові шви, які розташовані перпендикулярно до напрямку навантаження, у вільному стані. Після цього слід зварювати решту стикових швів, а вже на завершальному етапі - кутові та таврові шви. Зварювання у суміші аргону з вуглекислим газом може проводитися за допомогою дроту Св-08Г2С діаметром до 2 мм. Шви, які функціонують у конструкціях на розтягування та піддаються змінним навантаженням, і мають місцеві виступи, утворені у зонах доварювання та перехрещення окремих ділянок, мають бути зачищені механічно для створення плавних переходів до основного металу та суміжного шва.

Автоматизоване зварювання елементів із вуглецевих та низьколегованих сталей можливе при температурі повітря не нижче  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для стикових швів існують особливі вимоги. Зварювання металу товщиною понад 16 мм при температурі повітря нижче  $-15^{\circ}\text{C}$  перші два шари зварюються з додатковим підігрівом до  $180-200^{\circ}\text{C}$ . У випадку асиметричних швів і металу товщиною до 35 мм спочатку заварюється основна частина шва. При зварюванні металу товщиною 36-60 мм обов'язково потрібно кантування для

нанесення підварочного шару з протилежного боку після зварювання перших 4-5 шарів. Повне зварювання шва з одного боку не допускається.

Зварювання листів об'ємних металоконструкцій зі сталі товщиною понад 20 мм рекомендується проводити каскадним методом, двостороннім зварюванням. Зачистка кореня шва має виконуватися вирубуванням або шліфуванням.

Видалення металу зубилом дозволено лише після підігріву до 100-150 °С. Зварювання дефектних ділянок швів рекомендується проводити лише після підігріву металу до 180-200 °С. Для усіх видів зварювання слід використовувати джерела живлення постійного струму для забезпечення стабільності дуги, хоча використання змінного струму допускається, якщо коливання напруги не перевищують  $\pm 6\%$ . Видалення дефектних ділянок перед заваркою повинно виконуватися механічним шляхом (фрезеруванням, вирубуванням, пневматичним зубилом, абразивним інструментом тощо) на довжину дефекту плюс 10 мм з кожного боку, з урахуванням збереження основного металу.

У зварних швах з'єднань не допускаються наступні дефекти:

1. Непровари на поверхні швів у з'єднаннях, доступних для зварювання з обох сторін, глибиною понад 5% товщини основного металу (для металу до 40 мм) і більше 2 мм (для металу понад 40 мм). Довжина непровару не має перевищувати 50 мм, а загальна довжина непровару не більше 200 мм на 1 м шва.
2. Непровари в корені шва у з'єднаннях, доступних для зварювання лише з одного боку, глибиною понад 15% товщини основного металу (для металу до 20 мм) і більше 3 мм (для металу понад 20 мм).
3. Розміри окремих шлакових включень або пор, або їх скупчень у швах, глибина яких більше 10% при товщині металу до 20 мм і більше 3 мм при товщині металу понад 20 мм.
4. Шлакові включення, розташовані ланцюжком або суцільною лінією, при їх сумарній довжині, що перевищує 200 мм на 1 м шва.

5. Скупчення газових пор у кількості понад 5 на 1 см<sup>2</sup> майданчика шва.
6. Сумарна величина непроварів, шлакових включень і пор, розташованих окремо або ланцюжком, що перевищує в перерізі 10% товщини зварюваного металу при двосторонньому зварюванні, або 2 мм, або 15% або 3 мм при односторонньому зварюванні без підкладок.
7. Наявність подрізів та напливів.

### 1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

Технологія виготовлення включає в себе такі основні етапи:

1. Контроль вхідного матеріалу, його очистка та правка.
2. Розмітка листового прокату труби та швелерів за кресленнями.
3. Різання металу за розміткою механічним способом.
4. Зварювання зовнішнього та внутрішнього коробів стріли (балок коробчастого перерізу).
5. Виготовлення опори стріли:
6. Контроль розмірів та якості зварювальних швів коробів стріли та опори стріли.
7. Очистка заготовок від після зварювання.
8. Ґрунтування заготовок стріли.
9. Складання стріли в готовий виріб.
10. Транспортування стріли на склад готової продукції.

До недоліків існуючого процесу можна віднести:

- ✓ конструкція стріли передбачає виготовлення коробів із листового металу з'єднаного із застосуванням зварювання у балку коробчастого перерізу, що призводить до деформації конструкції в процесі виготовлення та значним затратам при виконанні складально-зварювальних і різальних операцій;
- ✓ існуюча зварювальна оснастка не забезпечує належного рівня механізації та автоматизації виконуваних робіт.



Тому для їх усунення необхідно:

- ✓ запропонувати нову конструкцію коробів стріли, а саме виготовлення їх із стандартних швелерів з'єднаних у коробчасту балку. Це дозволить зменшити час на заготівельні та складально-зварювальні операції, а також мінімізувати залишкові деформації після зварювання;
- ✓ необхідно розробити технологію зварювання виготовлення запропонованої конструкції стріли;
- ✓ модернізувати існуючі конструкції оснастки та підібрати сучасне зварювальне обладнання.

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

При проектуванні і виробництві зварних конструкцій необхідно забезпечити їх міцнісні показники.

В роботі розглядається конструкція стріли малого підйомального модуля (рис. 2.1). Вона працює в статичних і динамічних умовах навантаження. Найбільші навантаження сприймають такі елементи стріли, як рама та рухома висувна стріла.

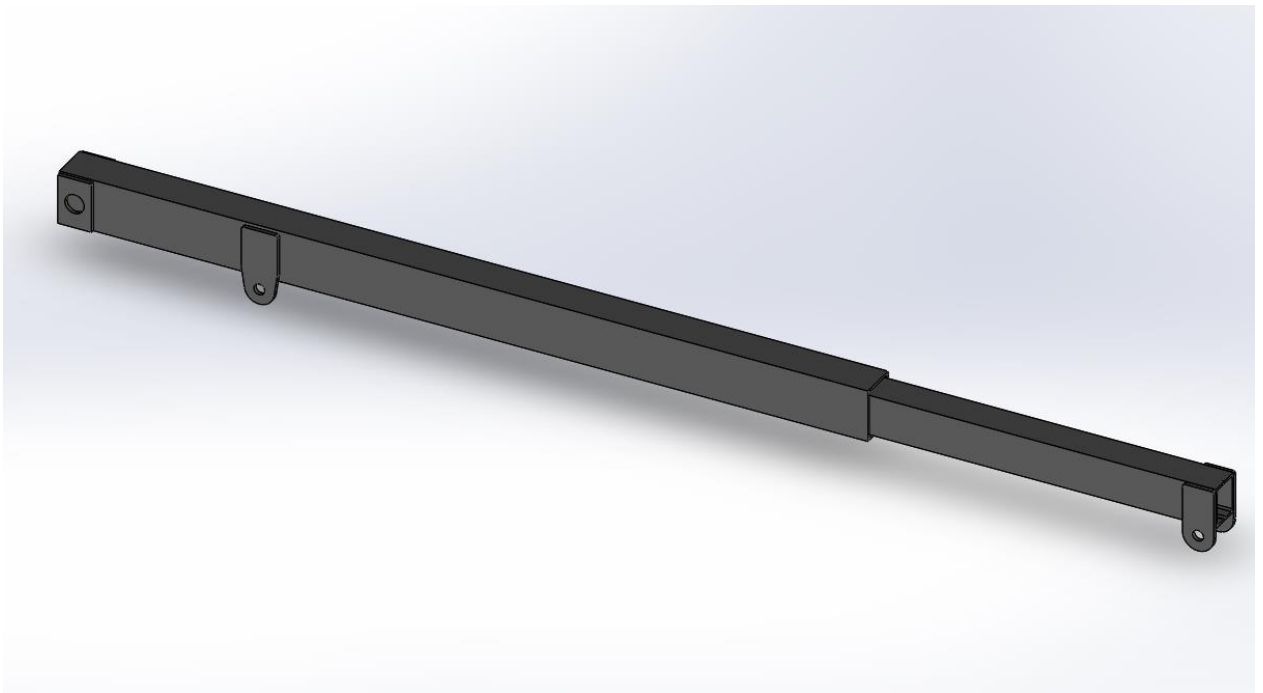


Рис. 2.1 – 3D модель конструкції стріли

Рама стріли та її висувна частина представляють собою балки коробчастого перерізу виготовлені із швелерів, які з'єднані за допомогою автоматичного зварювання. Переріз конструкції показано на рис. 2.2.

Враховуючи те, що конструкція стріли повинна забезпечувати підймання вантажу масою 800 кг, було запропоновано для виготовлення рами застосувати швелер №180, а її висувної частини швелер №140.

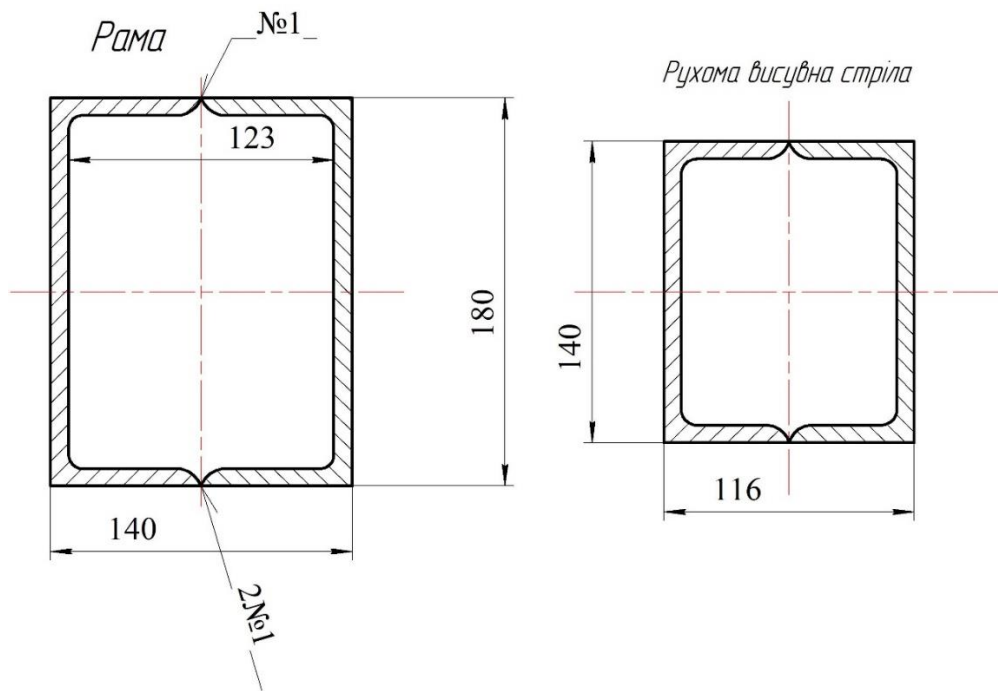


Рис. 2.2 – Поперечний переріз конструкції рами та висувної частини стріли

Розрахунок міцності запропонованої конструкції стріли проводили методом скінченних елементів (МСЕ).

Основна ідея методу скінченних елементів (МСЕ) полягає в поділі досліджуваної області на визначену кількість простіших підобластей, відомих як скінченні елементи. Цей підхід дозволяє замінити неперервну область з нескінченною кількістю ступенів вільності на систему дискретних підобластей зі скінченною кількістю ступенів вільності. Рівняння, які описують стан кожного окремого елемента, формують систему рівнянь для всієї області. У цьому процесі умови сумісності задовольняються лише в дискретних точках, відомих як вузли.

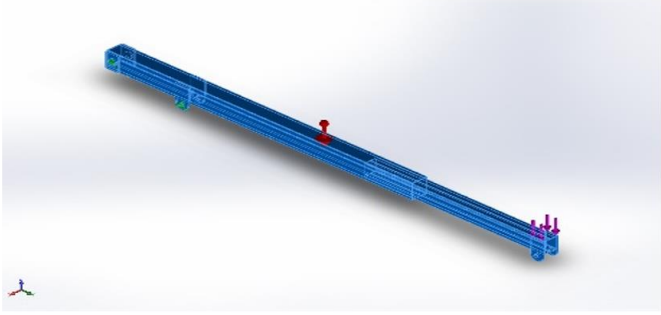
У конкретному випадку для розрахунку була обрана сталь 20. Розрахунок міцності проводився за допомогою програмного комплексу SolidWorks Simulation, що використовує МСЕ з побудовою тетраедральної сітки високої точності.

Аналіз напружено-деформованого стану рами здійснюється на базі її тривимірної моделі, яка ділиться на просторові твердотільні скінченні елементи (СЕ) у формі тетраедрів, кожен з яких має шість ступенів вільності у своїх вузлах. Поверхні цих СЕ сформовані за допомогою поліномів,

заснованих на параболічних функціях. Розміри елементів поділу варіюються від 34 до 174 мм, зі скороченням у областях, де концентруються напруження. Кінцева елементна модель складається з 11796 елементів (рис. 2.3). Оцінка напружено-деформованого стану стріли модуля, який моделюється в режимі експлуатації, включає аналіз статичних навантажень з врахуванням ваги вантажу (0,8 т).

В табл. 2.1 приведено властивості матеріалу досліджуваної 3D моделі, а 2.2.-2.4 – інформація про побудовану сітку та схему кріплення і прикладання сил.

Таблиця 2.1 Властивості матеріалу

Model Reference	Properties
	<p><b>Name:</b> 1023 Листова вуглецева сталь (SS)</p> <p><b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic</p> <p><b>Default failure criterion:</b> Max von Mises Stress</p> <p><b>Yield strength:</b> 2,82685e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Tensile strength:</b> 4,25e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Elastic modulus:</b> 2,05e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Poisson's ratio:</b> 0,29</p> <p><b>Mass density:</b> 7 858 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Shear modulus:</b> 8e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Thermal expansion coefficient:</b> 1,2e-05 /Kelvin</p>

Таблиця 2.2 - Інформація про накладену сітку елементів

Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	4 Points
Maximum element size	174,448 mm
Minimum element size	34,8895 mm
Mesh Quality	High
Total Nodes	24544
Total Elements	11796
Maximum Aspect Ratio	500,27
% of elements with Aspect Ratio < 3	6,1
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	41,3
Percentage of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:13
Computer name:	

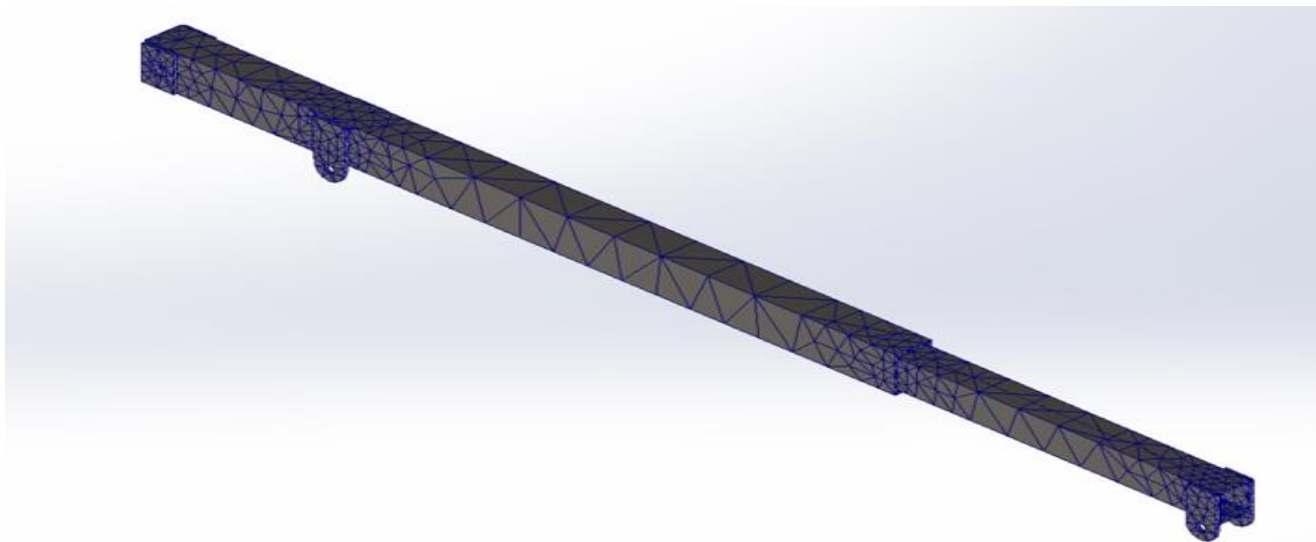
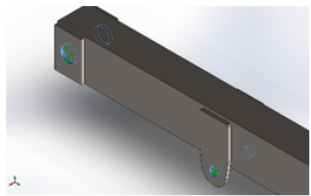
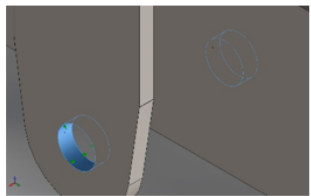
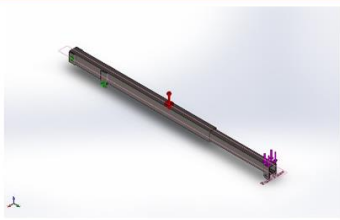
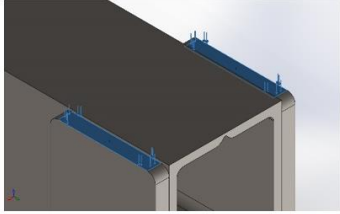


Рис. 2.3 - Скінчено-елементна сітка

Таблиця 2.3 – Інформація про кріплення

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
<u>Зафіксований шарнір-5</u>		Entities: 4 face(s) Type: Fixed Hinge		
<b>Resultant Forces</b>				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-5,57683	-2,36133	9 709,74	9 709,74
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0
<u>Зафіксований шарнір -4</u>		Entities: 2 face(s) Type: Fixed Hinge		
<b>Resultant Forces</b>				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-3,24418	100 449	33 895,1	106 014
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Таблиця 2.4 - Навантаження

Load name	Load Image	Load Details
Сила тяжіння-1		<b>Reference:</b> Front Plane <b>Values:</b> 9,81 <b>Units:</b> m/s <sup>2</sup>
Сила-1		<b>Entities:</b> 2 face(s) <b>Type:</b> Apply normal force <b>Value:</b> 8 000 N

Кріплення конструкції при розрахунку встановлювали в місцях шарнірного з'єднання стріли із основою та циліндром.

Прикладання зусиль навантаження (рис. 2.4) стріли здійснювали на вільному кінці висувної частини модуля. Схема прикладання навантаження приведена на рис. 2.4

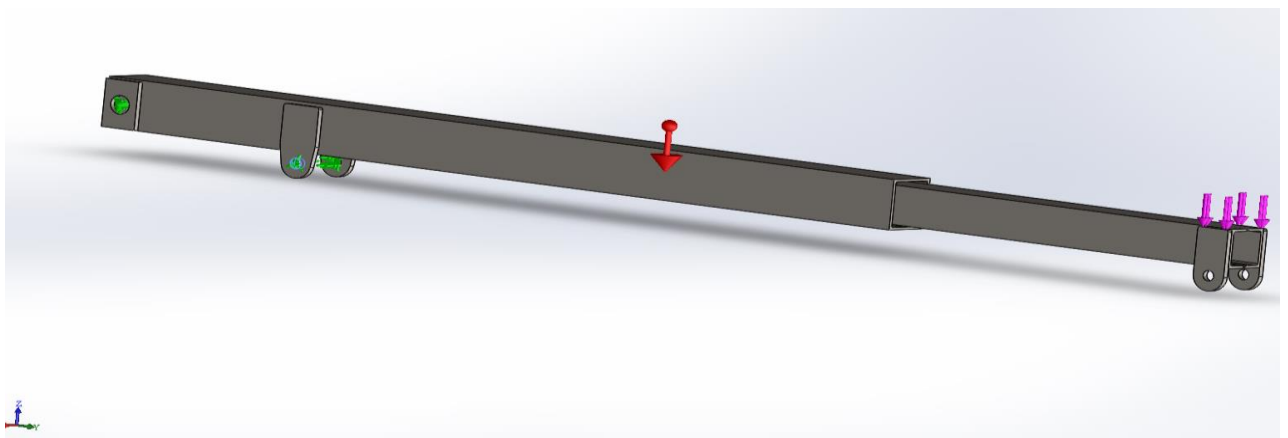


Рис. 2.4 - Схема навантаження стріли модульного навантажувача

Результати розрахунків можна візуалізувати графічно або представити у вигляді таблиці даних для обраних точок на моделі. Візуалізація результатів на моделі стріли відображається за допомогою різнобарвного забарвлення поверхонь. Кожен колір у цьому забарвленні символізує окремий діапазон значень параметра, що аналізується.

Результати моделювання напружень, що виникають в конструкції стріли в процесі експлуатації приведено на рис. 2.5.

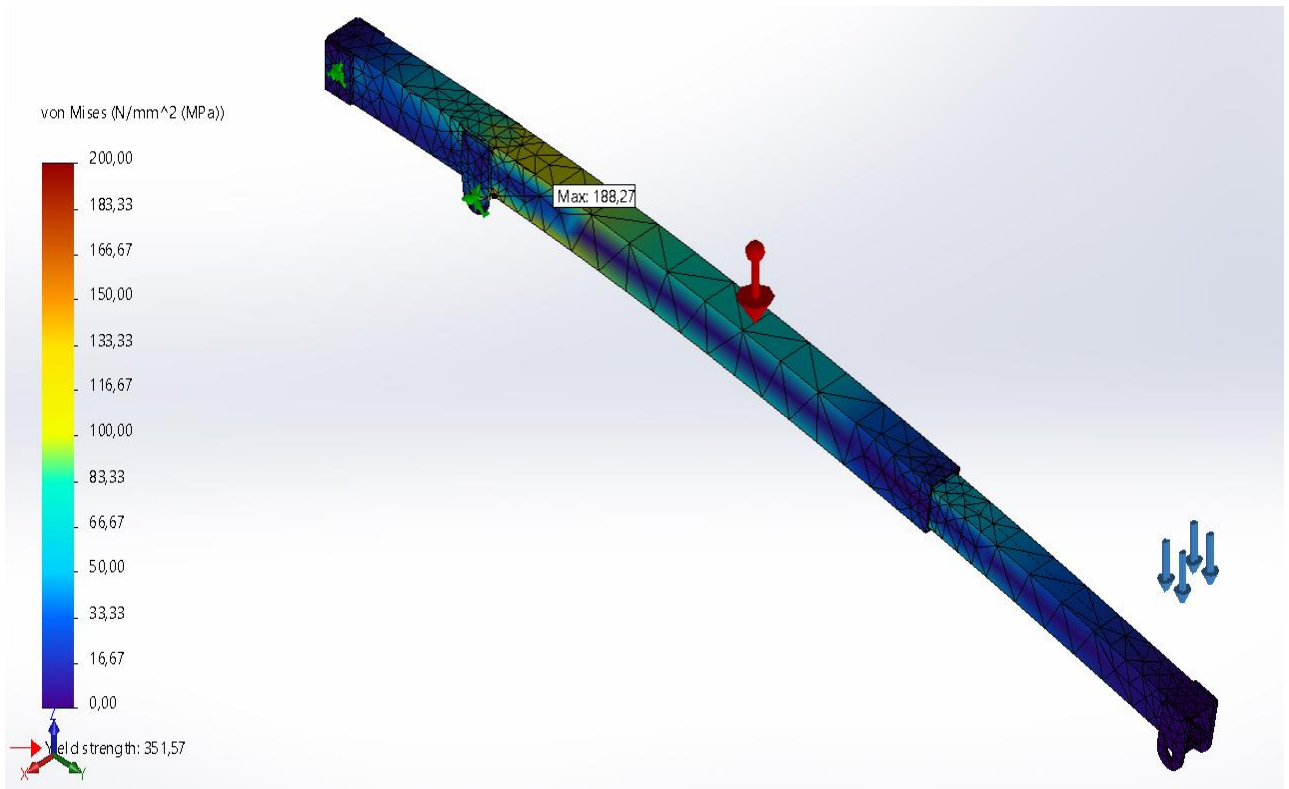


Рис. 2.5 – Розподіл напружень в стрілі навантажувача

За графічними даними можемо спостерігати максимальне напруження рівне 188 МПа. Локальні максимальні напружень зосереджені у місці з'єднання балки із вухами кріплення гідроциліндра. Максимальні напруження які виникають у балці стріли не перевищують 100 МПа, і зосереджені у верхній та нижній частині рами стріли від місця кріплення циліндра у сторону вільного кінця рами і не несуть за собою жодних небезпечних наслідків, так як межа текучості матеріалу становить 250 МПа.

Моделювання дало можливість поділити матеріал стріли на зони за рівнем внутрішніх напружень (рис. 2.6): 1 - зони з напруженнями 100-57 МПа, які займають біля 15% від об'єму матеріалу стріли і розташовані в центральній частині з верхньої та нижньої сторони основної рами; 2 - зони з навантаженнями 25-55 МПа, які займають біля 32% та розташовані у верхній та нижній поверхнях основної рами та висувної частини ; 3- зони з напруженнями 6-22 МПа, які займають 53%, які розташовані на кінцях стріли та в середній частині балок.

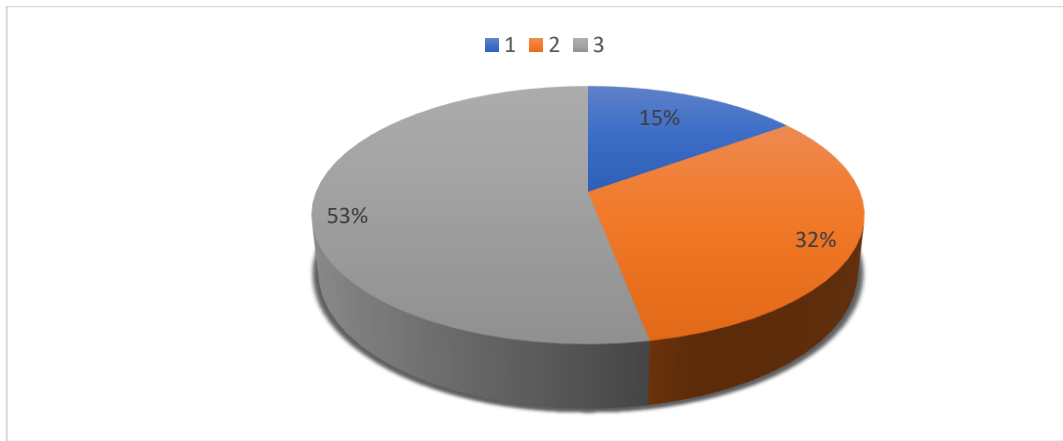


Рис. 2.6. Об'єми матеріалу стріли з різними рівнями напружень

На рис. 2.7 приведено результати моделювання запасу міцності стріли навантажувача. Мінімальний коефіцієнт запасу становить 1,9 і спостерігається у місці з'єднання рами стріли з привареними петлями для кріплення циліндра. Найменший коефіцієнт запасу міцності балок стріли становить 4,0. Тому в процесі експлуатації даної конструкції при тривалій її роботі з максимальним навантаженням необхідно здійснювати контроль небезпечних зон, а саме місця приєднання петель до балки стріли.

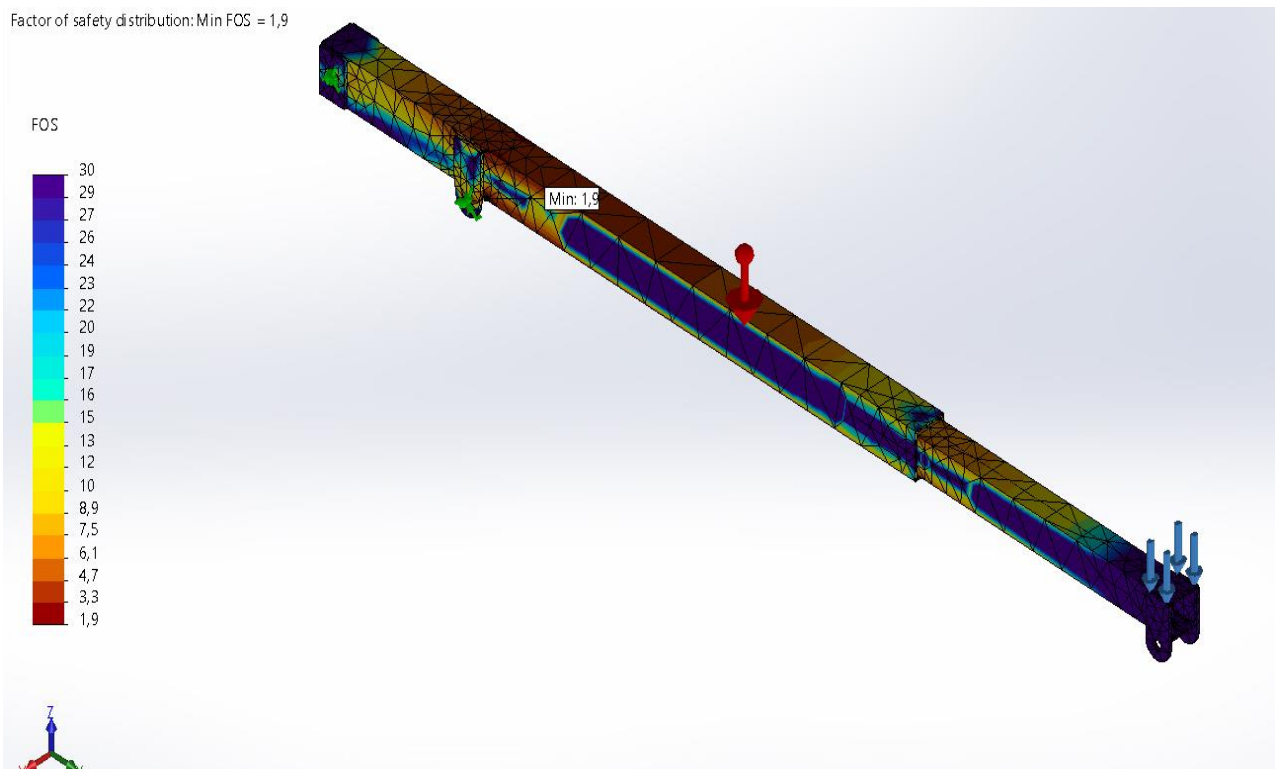


Рис. 2.6 – Запас міцності стріли навантажувача



За результатами моделювання НДС на рис. 2.7 представлено результати переміщень, які виникають в елементах стріли при її максимальному навантаженні.

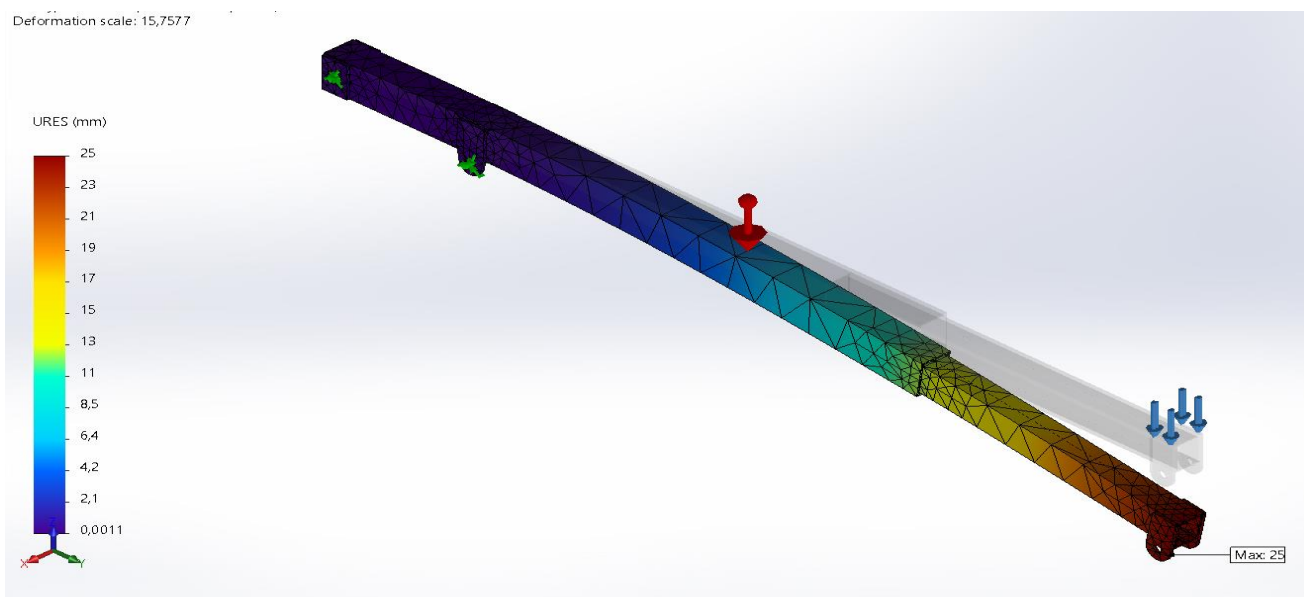


Рис. 2.7 – Переміщення в стрілі навантажувача

Деформування стріли навантажувача представлено на рис. 2.8. За отриманими результатами можна побачити, що найбільші деформації виникають у місці зосередження найбільших напружень, і розташовані в місці з'єднання рами стріли із петлями кріплення циліндра і становлять  $6,9.8 \cdot 10^{-4}$ .

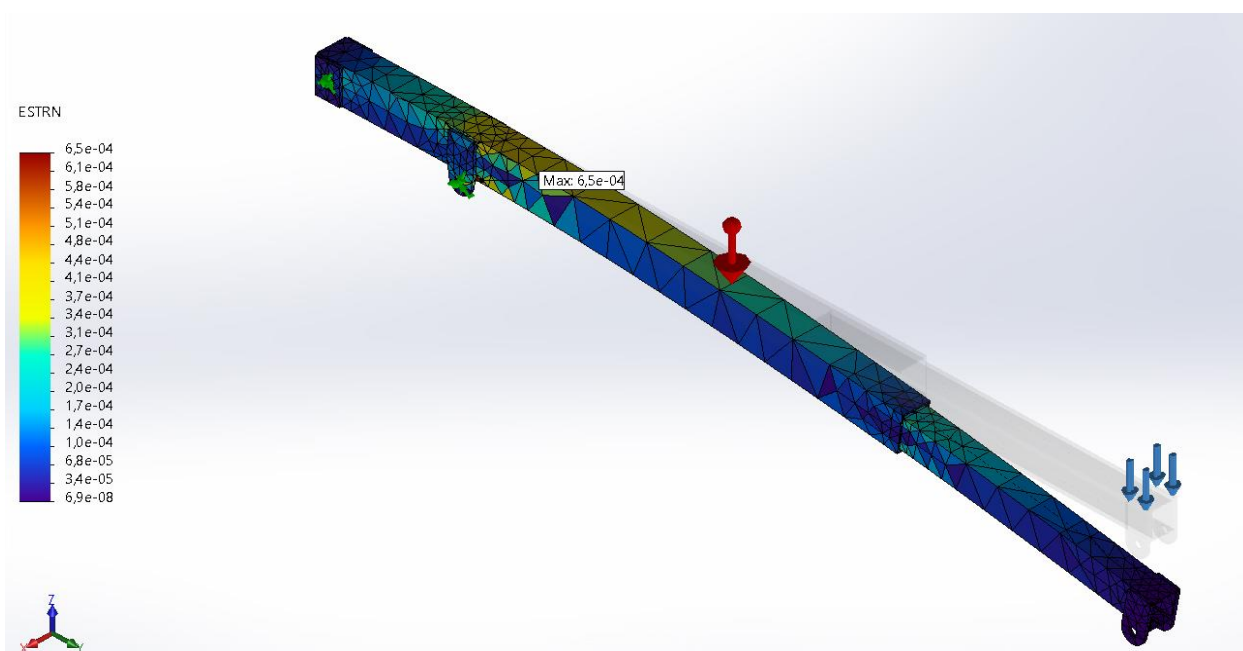


Рис. 2.8 Деформації стріли навантажувача

Висновок. Виходячи з отриманих результатів можна побачити, що при застосуванні конструкції виготовленої із профільного прокату (в нашому випадку швелерів №180 та №140), максимальні напруження становлять 100 МПа, а запас міцності за межею текучості 4,0 при навантаженні 800 кг, при цьому прогин стріли не перевищує 25 мм вільної сторони.

На основі результатів проведених досліджень можна стверджувати, що використання обраного типу конструкції стріли навантажувача є обґрунтованим та забезпечує необхідні міцнісні характеристики.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Обґрунтування способу зварювання

Для вибору способу зварювання користуємось даними, про склад основного металу, о конфігурації зварних з'єднань та умовах виробництва конструкції тощо. Виходячи з цих даних обираємо спосіб зварювання, що буде задовольняти технічним вимогам та буде економічно доцільним.

Способи, з яких будемо обирати - ручне дугове зварювання покритим електродом (Е), механізоване та автоматичне в CO<sub>2</sub> (УП), плавким електродом в інертних газах (ІП), автоматичне під флюсом (Ф), електрошлакове (Ш), газове (Г) та аргоно-дугове неплавким електродом (ІН).

В конструкції є наступні зварні з'єднання:

- з'єднання №1 – стикове, товщина металу 6 мм;
- з'єднання №2 –внапусток, товщина металу 6 мм;
- з'єднання №2 – таврове, товщина металу 25 та 8 мм;

Для зварювання сталі 20 підходять всі запропоновані способи, оскільки вона має добру зварюваність. Найбільша перевага у даному випадку віддається таким способам: ручне дугове зварювання (Е), механізоване та автоматичне в CO<sub>2</sub> (УП), автоматичне під флюсом (Ф), електрошлакове (Ш), газове (Г).

Інші способи зварювання являються недоцільними виходячі з економічних міркувань, тому не застосовуються для нелегованих конструктивних сталей. При цьому зважаючи на особливості виконання швів, а саме, наявність швів малого радіусу кривизни та тонкостінні елементи, такі способи зварювання як електрошлакове та зварювання під шаром флюсу також слід обмежити при виборі оптимального (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Оцінка методів зварювання за типом матеріалу

Е	УП	ІП	Ф	Ш	Г	ІН	ЕП	П	Л
++	+++	-	+	+	++	-	-	-	-

Другий важливий аспект – це товщина використовуваного матеріалу.

Для вибраного діапазону товщин розглядаємо такі методи зварювання: механізоване та автоматизоване в середовищі CO<sub>2</sub> (УП) та зварювання під захисним флюсом. Також можливе застосування ручного електродугового зварювання з покритим електродом. Ці методи забезпечують високу якість швів, хоча ручне електродугове зварювання з покритим електродом є менш ефективним порівняно з іншими згаданими методами. Газополум'яне зварювання в основному використовується для матеріалів товщиною до 4 мм, оскільки для більш товстих матеріалів цей метод економічно не вигідний і менш продуктивний порівняно з іншими зазначеними методами. А електрошлакове зварювання не використовується для матеріалів товщиною менше 30-40 мм.

Таблиця 3.2. Аналіз методів зварювання залежно від товщини кромок

Е	УП	Ш	Ф	Ш	Г	ІН	ЕП	П	Л
+	++	-	+	-	-	-	-	-	-

Таким чином, виключаємо з розгляду газополум'яне та електрошлакове зварювання.

Ключовим аспектом є доступність зварних стиків, їхня довжина та форма. У конструкції стріли трактора всі стики легко доступні, тому можливе використання не тільки ручного, але й механізованого зварювання.

Довжина лінійних стиків становить 2800 мм та 1200 мм.

Додатково, структура містить кутові та накладні стики із катетом 5 мм, а також кутове ободове з'єднання з катетом 8 мм, які класифікуються як короткі.

Ці деталі впливають на ступінь автоматизації процесу зварювання: для тривалих швів використовуємо автоматизовані методи, тоді як для коротких - механізовані.

Підсумовуючи вищевказане, остаточно вибираємо: для зварювання тривалих лінійних та ободових швів – автоматичне зварювання в  $\text{CO}_2$ , а для коротких – механізоване в  $\text{CO}_2$ .

**Вибір захисного газу.** Основний метал - Сталь 20 відноситься до матеріалу з низькою хімічною активністю. Тому допускається застосування активного захисного газу –  $\text{CO}_2$ . Але в нашому випадку краще застосовувати суміш газів, оскільки процес зварювання в  $\text{CO}_2$  характеризується крупно крапельним переносом металу шва внаслідок стиснення дуги при дисоціації вуглекислого газу, що значно збільшує розбризкування електродного металу, підвищує лускатість поверхні зварного шва, та погіршує якість металу шва.

Тому нами запропоновано використовувати замість  $\text{CO}_2$  суміш  $75\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2 + 5\% \text{O}_2$ , яка забезпечує дрібно крапельний перенос та вищу якість поверхні зварного шва, що особливо важно для зовнішнього виду конструкції. Окрім зовнішнього вигляду шва ця суміш забезпечує кращі властивості металу шва порівняно з  $\text{CO}_2$ , оскільки при зварюванні у даній суміші маємо менше окислення елементів як при зварюванні в чистому  $\text{CO}_2$ .

Спосіб постачання, враховуючи організацію зварювальних робіт, обираємо централізований.

**Вибір зварювального дроту.** Для зварювання матеріалу – сталь 20, треба обирати дріт з аналогічної групи сталей.

Оскільки сталь 20 має схильність до гарячих тріщин, то у складі зварювального дроту передбачаємо підвищений вміст розкислювачів марганцю та кремнію, які зменшують цю схильність.

Використовуючи вуглекислий газ слід враховувати, що в газовій фазі утворюється велика кількість вільного кисню. Тому зварювальний дріт повинен містити додаткову кількість легуючих елементів з великою спорідненістю до кисню, найчастіше Si і Mn. Найбільш широко застосовується зварювальний дріт Св-08Г2С.

На основі дослідів зварювання розроблені державні стандарти на основні марки сталі для зварювання. Стандарт регламентує лише хімічний склад і розміри дротів, так як механічні властивості металу шва залежать від

багатьох факторів (долі основного металу, захисного середовища, режиму зварювання, тощо. Хімічний склад дроту наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад дроту Св – 08Г2С

вміст хімічних елементів, %						
C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
0.05-0.11	1.8-2.1	0.7-0.95	≤0.20	≤0.25	0.025	0.030

При виготовленні стріли навантажувача будемо застосовувати наступні типи з'єднань із врахуванням товщини з'єднуваних кромок.

Товщина листів, які входять до стикового з'єднання – 6 мм; таврових з'єднань, та з'єднань в накладку – 5 мм (для приварювання ребер та пластин жорсткості). Катет таврового з'єднання, яким приварюється труба до опорної пластини – 8 мм.

Для зварювання стикових швів обираємо з'єднання С2 (рис. 3.1), оскільки це з'єднання призначене для зварювання односторонніх швів, без підварювання кореня шва, та без розробки крайок.

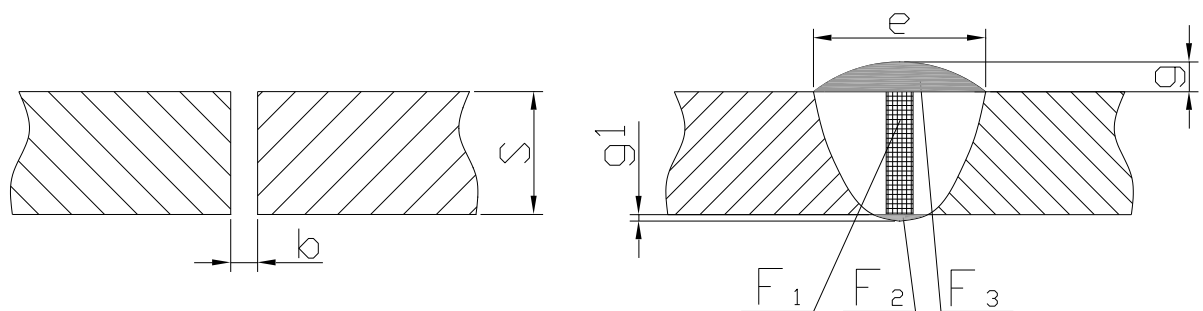


Рис. 3.1 Конструктивні елементи С2:  $S=6\text{мм}$ ;  $b=0\pm 2\text{мм}$ ;  $e\leq 12\text{мм}$ ;  $g=1,5\pm 0,5\text{мм}$ .

Для зварювання напусткових з'єднань обираємо з'єднання Н1 (рис.3.2.). Основні розміри наведено в табл. 3.4.

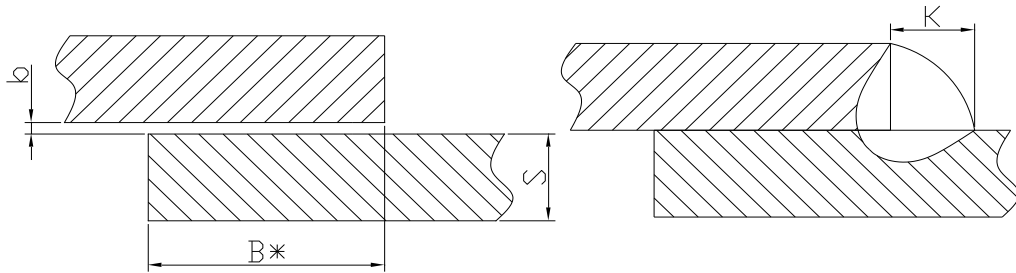


Рис.3.2. Конструктивні елементи Н1:  $k=5\text{мм}$ ;  $g=1\text{мм}$ ,  $g \leq 0,3 k$

Таблиця 3.4 - Розміри з'єднання Н1

s	b	
	Номінальне	Граничне відхилення
6,0 - 20,0	0	+ 1,5

Для зварювання таврових швів обираємо з'єднання Т1 (рис.3.3), його основні конструктивні розміри наведено в табл. 3.5.

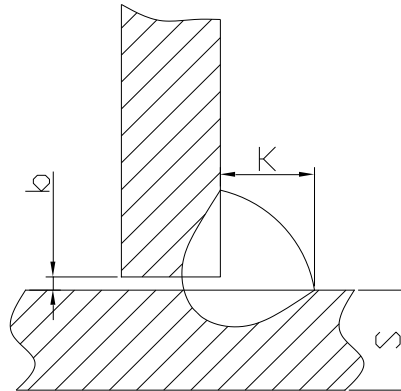


Рис.3.3. Конструктивні елементи Т1:  $k=5\text{мм}$ ;  $g=1\text{мм}$ ,  $g \leq 0,3 k$

Таблиця 3.5 - Розміри з'єднання Т1

s	b	
	Номінальне	Граничне відхилення
6,0 - 20,0	0	+ 1,5

Як бачимо, розміри елементів шва таврового та напусткового з'єднання однакові, аналогічно однаковий тип шва – кутовий. Звідси, режими зварювання для цих з'єднань також однакові.

Для зварювання таврового кільцевого шва, яким приварюється труба стійки стріли до опорної пластини обираємо також з'єднання Т1 (рис.3.2.). Катет та підсилення шва для даного шва дорівнюють відповідно  $k=5\text{мм}$ ;  $g=1\text{мм}$ . Типи та місця виконання швів стріли малого підйимального модуля показані на рис. 3.4.

**Розрахунок режиму зварювання стикового з'єднання.** Діаметр електродного дроту  $d_{ед}$  залежить від товщини матеріалу та глибини проплавлення  $h$ . Однак, глибина проплавлення залежить від величини зазору ( $b=1,5$ ) та форми підготовки кромки. Щоб врахувати ці фактори вводимо розрахункову глибину проплавлення  $h_p$ .

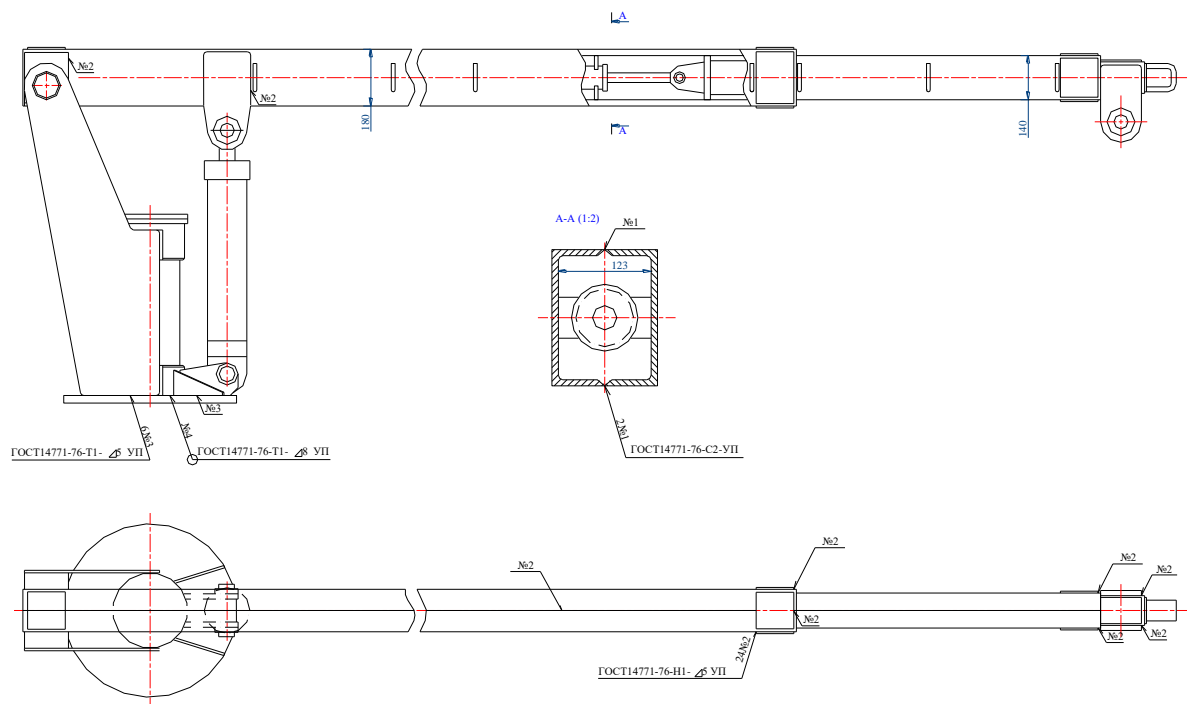


Рис.3.4. Зварні з'єднання конструкції стріли

Для нашого випадку  $h_p=S-0,5b$ , де  $S$  – товщина металу. Тоді,  $h_p=6-0,5 \cdot 1,0=5,5$  мм.  $d_{ед} = \sqrt[4]{h_p} \pm 0,05h_p = \sqrt[4]{5,5} \pm 0,05 \cdot 5,5 = 1,256 \dots 1,86$  мм

Значення діаметру електродного дроту обмежуються способом зварювання по рівню автоматизації та положенню шва. Отриманий



розрахунковим шляхом  $d_{ед}$  округляємо до найближчого із стандартного ряду (0.8; 1.0; 1.2; 1.4; 1.6; 2; 2.5; 3) Обираємо діаметр дроту 2 мм.

Швидкість зварювання  $V_{ЗВ}$  розраховуємо по залежності:

$$V_{ЗВ} = K_V \frac{h_P^{1.61}}{e^{3.36}} = 1120 \frac{5.5^{1.61}}{12^{3.36}} = 4,12 \text{ мм/с} (14,84 \text{ м/с}) \quad (3.1)$$

Приймаємо швидкість  $V_{ЗВ} = 4 \text{ мм/с} = 14,4 \text{ м/г}$

Коефіцієнт  $K_V$  залежить від діаметру електродного дроту; його значення, отриманні експериментальним шляхом та для дроту 2 мм  $K_V=1120$ .

Зварювальний струм  $I_{ЗВ}$ :

$$I_{ЗВ} = K_I \frac{h_P^{1.32}}{e^{1.07}} = 440 \frac{5.5^{1.32}}{12^{1.07}} = 314,2 \text{ А} \quad (3.2)$$

Приймаємо значення сили струму  $I_{ЗВ} = 290 \text{ А}$

Значення  $K_I$ , отримане експериментальним шляхом, залежить від діаметру електродного дроту, (для  $d_{ед}=2$ )  $K_I=440$ . Значення  $I_{ЗВ}$  обмежується діаметром електродного дроту, положенням шва та рівнем автоматизації процесу:

для автоматизованого зварювання, положення нижнє:

$$60 \text{ А} \leq I_{ЗВ} \leq 1440 \text{ А}$$

Напруга зварювання  $U_{ЗВ}$ :

$$U_{ЗВ} = 14 + 0.05 \cdot I_{ЗВ} = 14 + 0.05 \cdot 290 = 28.5 \text{ В} \quad (3.3)$$

Виліт дроту:

$$l_{вил} = 10d_{ед} \pm 1.4d_{ед} = 10 \cdot 2 \pm 2 \cdot 2 = 16 \dots 24 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{\text{нод}}^+ = 0.53 \frac{I_{3B}}{d_{\text{ед}}^2} + 6.94 \cdot 10^{-4} \frac{I_{3B}^2}{d_{\text{ед}}^3} = 0.53 \frac{290}{2^2} + 6.94 \cdot 10^{-4} \frac{290^2}{2^3} = 45 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad (3.5)$$

Витрати захисного газу:

$$q_{\text{зг}} = 0.2 \cdot I_{3B}^{0.75} \text{ л/хв} = 0.2 \cdot 290^{0.75} = 14.05 (\text{л/хв}) = 0,23 \text{ л/с} \quad (3.6)$$

Розрахунок режиму зварювання таврового та напусткового з'єднання.

Для механізованого способу,  $k=5\text{мм}$ :

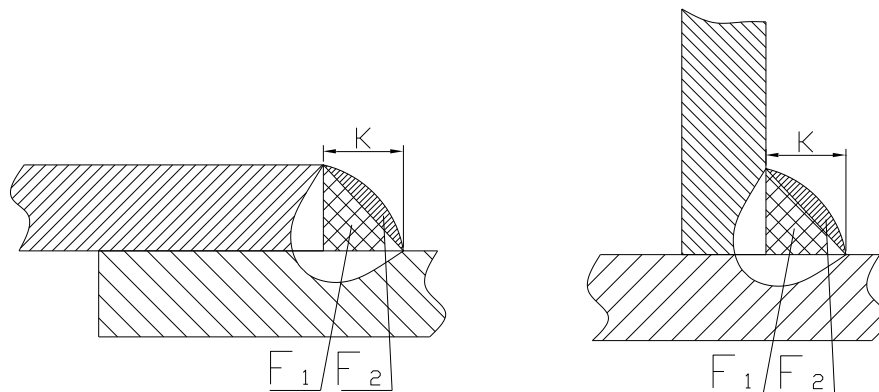


Рис. 3.5. Розрахунок площі поперечного перетину швів.

$$FH = FH1 + FH2 = 0.5 \cdot K^2 + 0.7 \cdot e \cdot g = 0.5 \cdot 25 + 0.7 \cdot 7 \cdot 1 = 17,4 \text{ мм}^2 \quad (3.7)$$

діаметр електродного дроту

$$d_{\text{ед}} = K_d \times F_{\text{Hi}}^{0.625} = (0.149 \dots 0.264) \times 17,4^{0.625} = 0.89 \dots 1.57 \text{ мм}^2 \quad (3.8)$$

Коефіцієнт  $K_d$  вибираємо в залежності від положення шва та рівня автоматизації, для механізованого зварювання в нижньому положенні  $K_d = 0.149 \dots 0.264$ .

Приймаю значення  $d_{\text{ед}} = 1,2 \text{ мм}$ .

Виліт електродного дроту:

$$L_{\text{ел.д.}} = 10 \cdot d_{\text{ел.д.}} = 1.2 \cdot 10 = 12 \text{ мм} \quad (3.9)$$

## Швидкість зварювання

$$V_{зв} = \frac{8.9 \times d_{e.д}^2 + 50.6 \times d_{e.д}^{1.5}}{F_{Hi}} = \frac{8.9 \times 1.2^2 + 50.6 \times 1.2^{1.5}}{17.4} = 4.56 \text{ мм/с} (16.41 \text{ м/год}) \quad (3.10)$$

## швидкість подачі електродного дроту

$$V_{под} = \frac{4 \times F_H \times V_{зв}}{\pi \times d_{e.д}^2 \times (1 - \psi_p)} = \frac{4 \times 17.4 \times 4.56}{3.14 \times 1.2^2 \times (1 - 0.1)} = 77.99 \text{ мм/с} (280.8 \text{ м/год}) \quad (3.11)$$

## зварювальний струм

$$I_{зв}^{(+)} = d_{e.д} \times \left( \sqrt{1450 \times d_{e.д} \times V_{под}^{(+)} + 145150 - 382} \right) =$$

$$= 1.2 \times (\sqrt{1450 \times 1.2 \times 77.99 + 145150 - 382}) = 177.5 \text{ А} \quad (3.12)$$

приймаю  $I_{зв} = 180 \text{ А}$

перевіряємо отримане значення зв. струму:

$$I_{зв} \leq 180 \times d_{e.д.}^{1.5} = 236 \text{ А} \quad (3.13)$$

Отримане значення зварювального струму не виходить за межі допустимого.

## напряга зварювання

$$U_{\partial} = 14 + 0,05 \times I_{зв} = 14 + 0,05 \times 180 = 23 \text{ В} \quad (3.14)$$

## витрати захисного газу

$$q_{з.г.} = 0,0033 \times I_{зв}^{0,75} = 0,0033 \times 180^{0,75} = 0,16 \text{ л/с} (9.73 \text{ л/хв})$$

Для автоматичного способу:

Катет шва – 8 мм.

діаметр електродного дроту

$$d_{e.d.} = K_d \times F_{Hi}^{0.625} = (0.149...0.409) \times 43.75^{0.625} = 1.58...4.34\text{мм}^2$$

$$K_d = 0.149...0.409.$$

Прийемо значення  $d_{e.d.} = 2,0$  мм.

Виліт електродного дроту:

$$L_{ВИЛ} = 10 \times d_{E.D.} = 10 \times 2.0 = 20 \text{ мм}$$

Швидкість зварювання

$$\begin{aligned} V_{зв} &= \frac{15.9 \times d_{e.d.}^2 + 67.4 \times d_{e.d.}^{1.5}}{F_{Hi}} = \\ &= \frac{15.9 \times 2.0^2 + 67.4 \times 2.0^{1.5}}{43.75} = 5.84\text{мм/с}(21\text{м/год}) \end{aligned}$$

швидкість подачі електродного дроту

$$V_{под} = \frac{4 \times F_H \times V_{зв}}{\pi \times d_{e.d.}^2 \times (1 - \psi_p)} = \frac{4 \times 43.75 \times 5.84}{3.14 \times 2.0^2 \times (1 - 0.1)} = 90.4\text{мм/с}(325.4\text{м/год})$$

зварювальний струм

$$I_{зв}^{(+)} = 2.0 \times (\sqrt{1450 \times 2.0 \times 90.4 + 145150} - 382) = 512.4\text{А}$$

приймаю  $I_{ЗВ} = 500$  А

перевіряємо отримане значення зв. струму:

$$I_{зв} \leq 180 \times d_{e.d.}^{1.5} = 509\text{А}$$

Значення величини зварювального струму у межах допустимого.  
напруга зварювання

$$U_{зв} = 14 + 0.05 \cdot I_{зв} = 14 + 0.05 \cdot 500 = 39 \text{ В}$$

витрати захисного газу

$$q_{зг} = 0.0033 \times I_{зв}^{0.75} = 0.0033 \times 500^{0.75} = 0.35 \text{ л/с (21 л/хв)}$$

Отримані параметри режиму зварювання забезпечують необхідні властивості зварного з'єднання.

Зварювання з використанням плавкого електродного дроту в умовах захисних газів переважно проводять за допомогою постійного електричного струму. Застосовують джерела енергії із стрімко- та плавноспадаючими статичними характеристиками. Ці джерела можна класифікувати за динамічними характеристиками на джерела з низькими, середніми, високими, та дуже високими швидкостями наростання струму при короткому замиканні.

На основі зібраних даних обираємо відповідне джерело електроенергії, яке відповідає встановленим вимогам: вибір зроблено на користь джерела постійного струму з фіксованою вольт-амперною характеристикою.

В роботі пропонується застосовувати півавтомат ПДГ 508М (рис. 3.6.), характеристики якого наведені в табл. 3.6



Рис. 3.6 Напівавтомат ПДГ 508М

Таблиця 3.6 - Технічні дані ПДГ 508М

Номинальна напруга мережі, В	380
Частота струму мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм при ПВ=60% і циклі зварювання 10 хвилин, А	500
Межі регулювання зварювального струму, А	60÷500
Межі регулювання напруги на дузі, В	18÷50
Кількість роликів	2 або 4
Діаметр електродного дроту, мм:	
- суцільного	1,2÷2,0
- порошкового	1,2÷2,0
Межі регулювання шв. подачі електродного дроту, м/год	120÷1200
Джерело живлення (рекомендоване)	КИУ-501
Маса, кг.:	
- подаючого пристрою	24
- електродного дроту	12
- джерела живлення	275
Габаритні розміри, мм.:	
- подаючого пристрою	470×363×405
- джерела живлення	805×600×1030

Цей пристрій є напівавтоматичним апаратом із широким спектром налаштувань для зміни параметрів зварювання. Він розроблений для роботи із топким електродом у присутності захисних газів, використовуючи як масивний, так і порошковий дріт для зварювання сталей з низьким і високим вмістом легуючих елементів, а також нержавіючих сталей в аргоновому середовищі в різноманітних просторових орієнтаціях. Конструкція обладнання включає механізм подачі, пульт керування, джерело стабільного електричного струму, пальник (шланговий тримач), регулятор тиску газу, нагрівач для газу, а також набір кабелів та шлангів.

Півавтоматичний зварювальний агрегат ПДГ – 508 відноситься до типу одноблокових півавтоматів. Він оснащений багатофункціональним вирівнювачем КИУ - 501, який дозволяє отримати не тільки жорсткі, але й знижувальні зовнішні характеристики. Ці агрегати застосовуються в мобільних або постійних місцях праці зварника.

Однією з ключових експлуатаційних переваг джерел із жорсткою характеристикою є простота ініціації зварювальної дуги, що має велике значення при роботі з порошковими дротами на невеликих струмах.

Зварювання здійснюється за допомогою змінного струму з інверсною полярністю. Таким чином, як джерело енергії використовуються трансформатори або вирівнювачі з жорсткою зовнішньою характеристикою. Враховуючи вищевикладене, ми обираємо КИУ – 501 (рис. 3.7).



Рис. 3.7 – Випрямляч зварювальний КИУ-501

Багатоцільовий зварювальний пристрій розроблений для застосування в автоматичному та півавтоматичному режимах зварювання у присутності інертних газів та під шаром флюсу, а також для виконання ручного електродугового зварювання за допомогою електродів усіх категорій. Деталізовані технічні параметри зварювального джерела КИУ – 501 представлені у таблиці 3.7.

Він вирізняється своїми чудовими характеристиками зварювання: надійність підтримання дуги, мінімальне розпилення металу, високий рівень якості звареного шва.

Для виконання зварювальних робіт в умовах  $\text{CO}_2$ , застосовуємо автомат А-1411П (рис. 3.8) [3], характеристики якого зазначено у табл. 3.8.

Таблиця 3.7. - Характеристика КИУ – 501

Найменування параметра	Норма	
Номинальна напруга мережі, В	380	
Частота струму мережі, Гц	50	
Номинальний зварювальний струм при ПВ 60%, А	500	
Межі плавного регулювання зварювального струму, А	падаючі 50÷500	жорсткі 60÷500
Межі регулювання робочої напруги, В	падаючі 22÷46	жорсткі 18÷50
Активна максимальна еквівалентна споживана потужність (з урахуванням ПВ), кВт	18	
Напруга холостого ходу, В	85	
Діаметр електродів, мм	2÷6	
Маса, кг	275	
Габаритні розміри, мм	805×600×1030	

Таблиця 3.8 - Технічні характеристики А-1411П

Параметр	
Номинальний режим роботи (ПВ %)	60%
Діаметр дроту, мм	2.0-3.0
Швидкість подачі дроту, м/год	50-500
Швидкість зварювання, м/год	12-240
Вертикальний хід, мм	500
Поперечне коректування електроду, мм	±130
Габаритні розміри, мм	790x600x1410

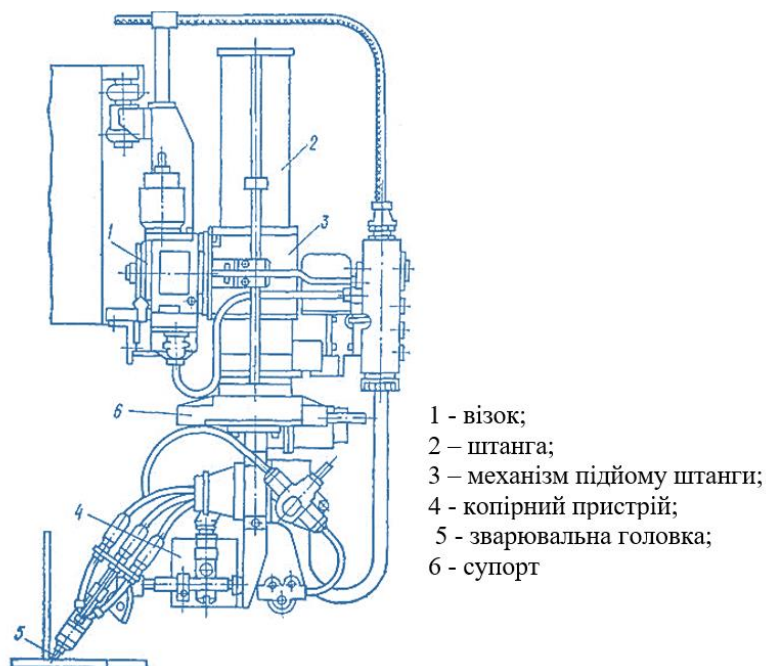


Рис. 3.8 – Конструкція автомата А-1411П



Вибране устаткування забезпечує отримання необхідних параметрів режиму зварювання.

### 3.2 Опис технологічного процесу

Виробництво стріли підйимального модуля охоплює низку ключових етапів, таких як випрямлення матеріалу, його різання, підготовка кромки до зварювання, очищення поверхонь, складання деталей, сам процес зварювання, а також перевірка якості зварних з'єднань та готової конструкції. Весь процес складається із ряду послідовно-виконуваних операцій:

1. Контроль вхідного матеріалу, його очистка та правка.
  2. Розмітка листового прокату, труби та швелерів за кресленнями.
  3. Різання прокату відповідних розмірів здійснюють термічним та механічним способами.
  4. Зварювання зовнішнього та внутрішнього коробів стріли із швелерів автоматичним способом.
  5. Виготовлення опори стріли:
    - встановлення опорної плити та труби;
    - встановлення отриманого вузла в кондуктор, складання його з нижньою петлею кріплення та ребрами жорсткості.
  6. Контроль розмірів та якості зварювальних швів коробів стріли та опори стріли.
  7. Встановлення коробів (зовнішнього та внутрішнього) в кондуктор та приварювання до них пластин жорсткості, кронштейнів кріплення вантажного троса та гідроциліндра.
  8. Очистка заготовок від бризок.
  9. Грунтування заготовок стріли.
  10. Складання стріли в готовий виріб.
  11. Транспортування стріли на склад готової продукції.
- Для їх реалізації застосовуємо наступне обладнання:

- Виправлення листового прокату здійснюють на листопрямильній машині Bendmak BPSM (рис. 3.9).



Рис. 3.9 - Машина правильна Bendmak BPSM [12]

- Різання. Листовий прокат розкрояють лазерним різанням із застосуванням установки Mitsubishi ML3015eX-S (рис. 3.10). Розкрій швелерів та труби здійснюють відрізним станком Workline 410.280 DG (рис. 3.11).



Рис. 3.10 Установка лазерної порізки Mitsubishi ML3015eX-S [12]



Рис. 3.11 Станок відрізний автоматизований Workline 410.280 DG [9]

- Складання та зварювання. Для реалізації цих процесів застосовують спеціалізоване зварювальне устаткування. Складання та зварювання стріли проводять в спеціальному кондукторі, виготовлення опори навантажувача проводять в установці для приварювання труби до плити та в кондукторі для приварювання стійок. Конструкції згаданих пристосувань та опис їх роботи приведено в частині 4 даної роботи.

Для забезпечення надійної якості кінцевого продукту – стріл невеликого підйомного модуля, ми створили систему контролю якості. Ця система забезпечить однорідність якості фінального продукту та допоможе знизити обсяг браку на виході. Завдяки цій системі істотно скорочуються витрати на виробництво та трудові ресурси.

Ця схема ідентифікує ключові розбіжності у технологічному процесі на кожному етапі та визначає способи їх виправлення. Процедура контролю якості охоплює три головних етапи: перевірку якості матеріалів перед виробництвом, контроль у процесі виробництва та остаточну перевірку якості. Ця система перевірки між операціями унеможлиблює перехід від одного етапу до іншого у випадку виявлення браку на попередньому етапі, тим самим запобігаючи накопиченню браку в процесі виробництва.

Перед початком робіт всі зварювальні матеріали мають проходити вхідний контроль і мусить бути забезпечено їх супровід сертифікатами якості. Вживання зварювальних матеріалів без відомої маркування строго заборонено.

Контроль на кожному кроці виробництва стріли є обов'язковим. Важливо забезпечити дотримання усіх встановлених технологічних процедур та вимог, описаних у цьому документі.

При монтажі компонентів стріли на шаблон або зварювальний агрегат, слід перевіряти точність їх розміщення та надійність фіксації. Закріплення деталей за допомогою пневматичних затискачів здійснюється лише після підтвердження, що точність розміщення відповідає заданим допускам.

Після завершення зварювання проводиться оцінка якості швів,

включаючи перевірку їх довжини, переконання у відсутності недоліків (в межах встановлених стандартів) та вимірювання розмірів перетину шва.

Остаточний контроль якості. Завершені та очищені від залишків шви конструкції піддаються візуальному перевірненню, а також вимірюються їхні габарити. У випадку виявлення несправностей у стрілах, зварювальні шви видаляються та повторно зварюються.

Для реалізації запропонованої схеми проведення контролю застосовують шаблони УШС-4 (рис. 3.11) та дефектоскопу А1212 MASTER (рис. 3.12).

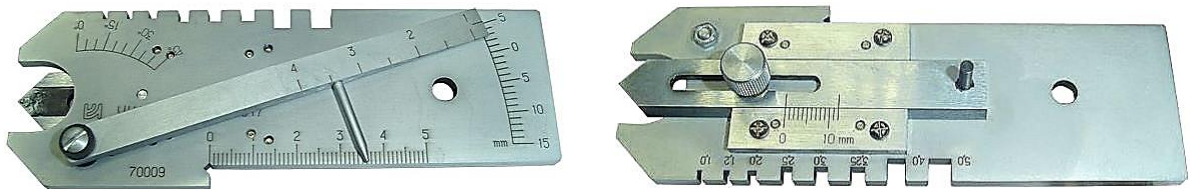


Рис. 3.11 Шаблон УШС-4



Рис. 3.12 Дефектоскоп А1212 MASTER [13]

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Опис конструкцій складально-зварювальних пристосувань

Розглянемо роботу та конструкції запропонованих складально-зварювальних пристосувань, які застосовуються при виготовленні стріли навантажувального модуля. Для створення стріли ми розробляємо таке обладнання:

**Кондуктор складання та зварювання коробів стріли (рис.4.1).** Даний кондуктор складається з основи 1, на якій розміщені затискні пристрої 3, опори 2 та зварювального автомату А-1411П. Він забезпечує швидке та точне розміщення складальних одиниць.

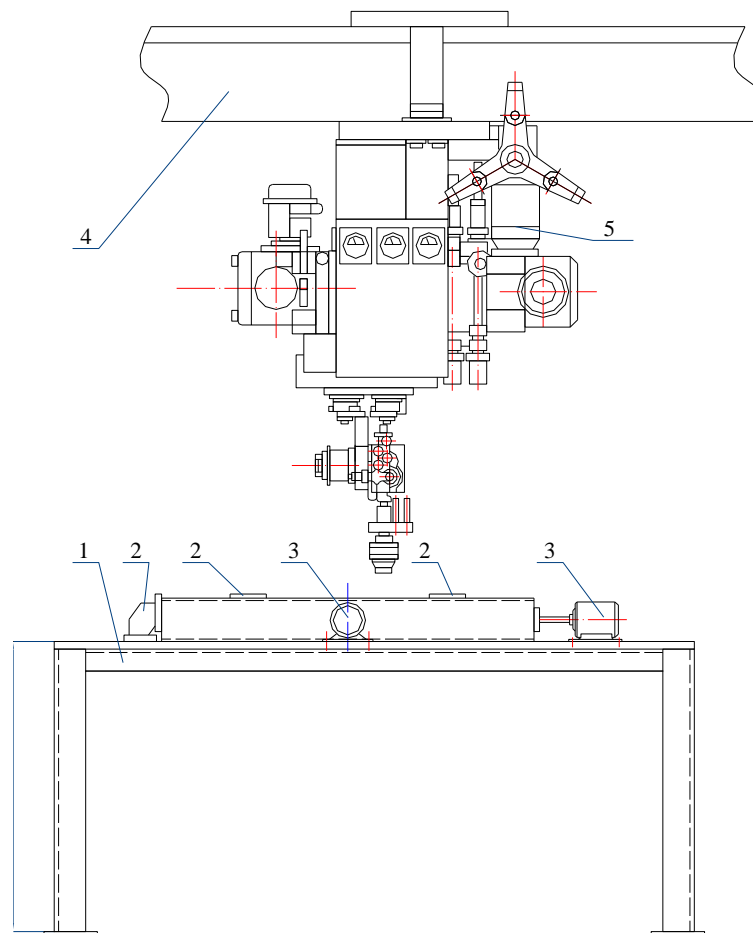


Рис. 3.1. Кондуктор складання та зварювання короба стріли.

Кондуктор працює наступним чином. На плиту основи встановлюється заготовка із швелера та притискається пневматичним притискачем до упора та притискається верхніми притискачами до основи. Після встановлення однієї половини короба, встановлюється інша і в поздовжньому напрямку притискається і фіксується притискачем. Наступним відбувається встановлення зазору відповідних розмірів між двома встановленими швелерами та притискається і фіксується притискачами. Коли елементи коробу встановлені та зафіксовані, проводять зварювання стика автоматом А-1411П. Конструкція кондуктора, а саме робота верхніх притискачів, виконана так, що в процесі зварювання при наближенні зварювальної головки до притискача він відпускається, а після проходження її притискач знову фіксує заготовки. Це дозволяє зменшити деформування коробу в процесі зварювання шва та його охолодження. Така конструкція дозволяє підвищити якість конструкції коробу та усунути операції правлення, що в свою чергу дозволить підвищити продуктивність виробництва.

#### **Установка для приварювання труби до опорної пластини (рис.4.2).**

Вона складається із маніпулятора RWP 1050.1221 (1) (рис. 4.3) та зварювального автомату. Робота установки полягає в тому, що опорна пластинка (2) монтується на планшайбі маніпулятора та фіксується за допомогою гвинтових притискачів. Після встановлення опорної пластини встановлюють трубу та проводять прихоплення їх між собою застосовуючи напівавтомат ПДГ – 508. Коли елементи основи навантажувача встановлені та прихоплені, проводять зварювання кільцевого кутового шва автоматом А-1411П. Процес зварювання відбувається наступним чином: складена конструкція основи за допомогою маніпулятора встановлюється для зварювання кутового шва в положення «в човник», після цього підводиться головка зварювального автомату та запалюється дуга. Коли зварювальна ванна отримала необхідних розмірів, вмикається механізм обертання планшайби маніпулятора і проходить зварювання кільцевого кутового шва. Маніпулятор здійснює обертання складеної конструкції із зазначеною швидкістю зварювання.

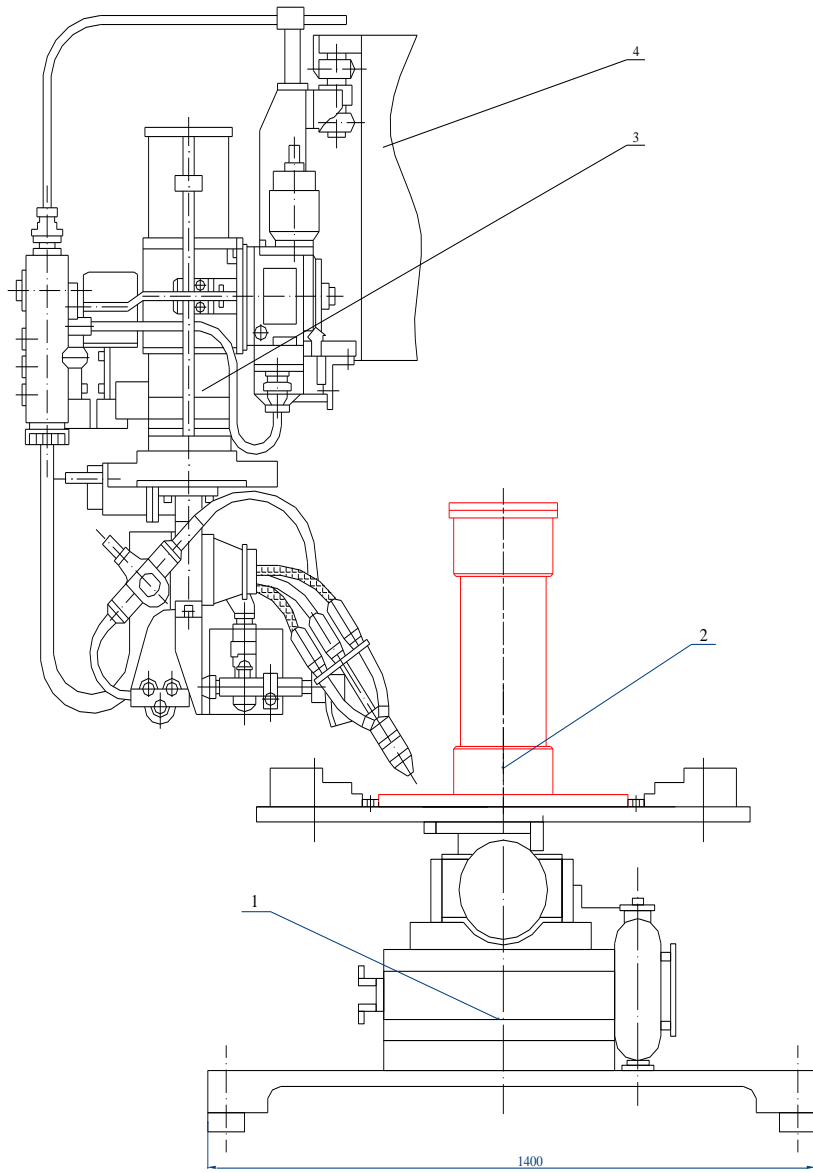


Рис. 4.2. Установка для приваривання труби до опорної плити.



Рис. 4.3 – Автоматичний маніпулятор RWP 1050.1221 [14]

**Кондуктор для складання опори стріли (рис.4.4).** Кондуктор представляє собою раму (1) з ложементами (4), стаціонарними упорами (3) гвинтовими притискачами (2) та пневмопритискачем (6). Також для встановлення на стійку ребер жорсткості та нижнього кронштейну кріплення гідро циліндра є зйомка частина кондуктора (5) – шаблон. Він встановлюється на трубу стійки та фіксується. В його конструкції є пази, в які встановлюються ребра жорсткості та кронштейн. Після встановлення всіх деталей стійки виконуються прихватки і заготовка передається на зварювання.

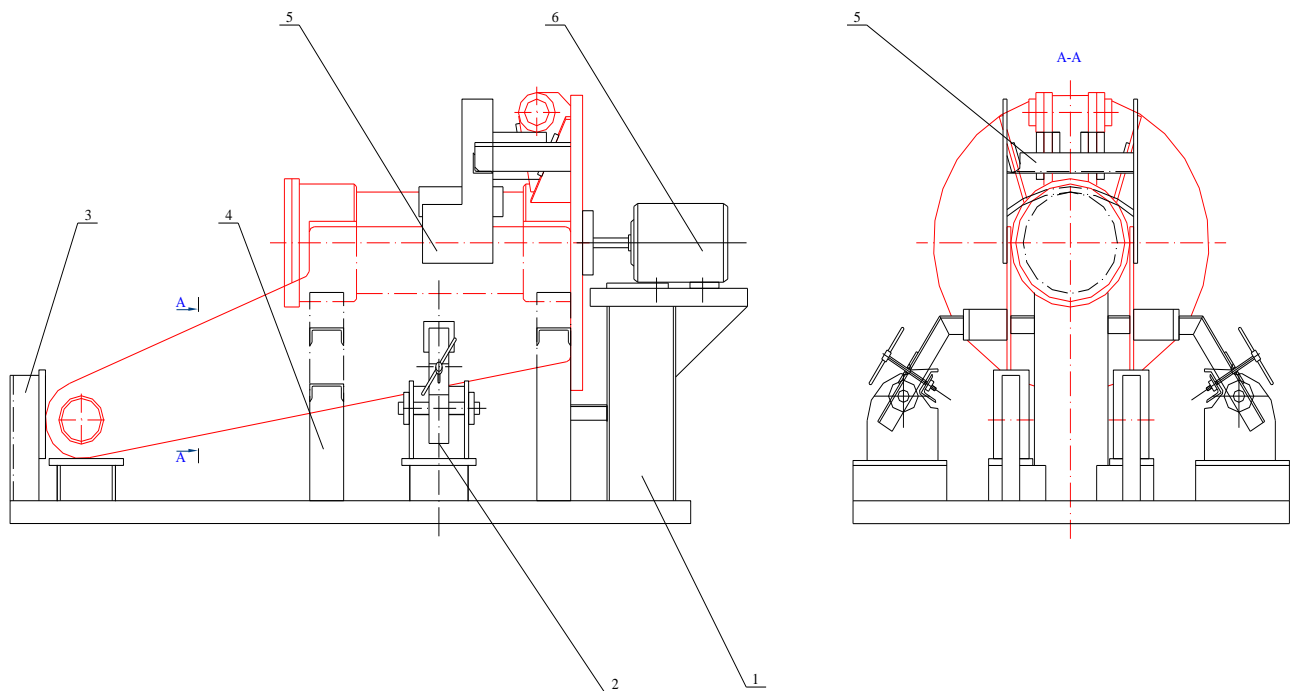


Рис 4.4. Кондуктор для складання опори стріли.

## 4.2 Розрахунок зварювального маніпулятора [15]

Вихідним даними для розрахунку є:

– вага виробу з кріпильними пристроями  $G = 4500 \text{ Н}$ ,



- координати центра ваги  $e = 50$  мм,  $h = 350$  мм;
- $D = 1000$  мм,  $l = 160$  мм,  $k = 120$  мм,  $R = 300$  мм,
- кут нахилу шпинделя  $\alpha = 45^\circ$ .

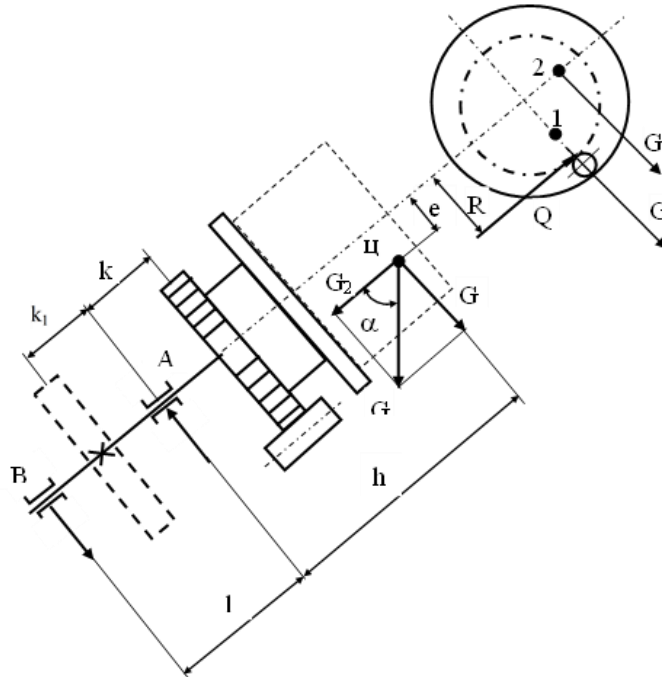


Рис. 4.5. Розрахункова схема обертача

Визначаємо вантажний крутний момент

$$M_{BT} = Ge \sin \alpha = 4500 \cdot 0,05 \cdot 0,707 = 159,075 \text{ Нм.} \quad (4.1)$$

Нехтуючи тертям в підшипниках, визначаємо окружну силу на зубчастому колесі:

$$Q = \frac{M_{BT}}{R} = \frac{159,075}{0,3} = 530,25 \text{ Н} \quad (4.2)$$

Згинальні моменти в шпинделі на опорі А:  
у вертикальній площині

$$M_1 = Gh \sin \alpha = 4500 \cdot 0,35 \cdot 0,707 = 1,114 \times 10^3 \text{ Нм} \quad (4.3)$$

у перпендикулярній нахиленій площині

$$M_2 = Ge \cos \alpha + Qk = 4500 \cdot 0,05 \cdot 0,707 + 530,25 \cdot 0,12 = 222,705 \text{ Нм} \quad (4.4)$$

Результуючий згинальний момент

$$M_3 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{1114^2 + 222,705^2} = 1,36 \times 10^3 \text{ Нм} \quad (4.5)$$

Радіальні опорні реакції  $A_v$  та  $B_v$  у вертикальній площині від дії сили  $G_1$

$$A_v = G \frac{l+h}{l} \sin \alpha = 4500 \cdot \frac{0,16+0,35}{0,16} \cdot 0,707 = 1,014 \times 10^4 \text{ Н} \quad (4.6)$$

$$B_v = G \frac{h}{l} \sin \alpha = 4500 \cdot \frac{0,35}{0,16} \cdot 0,707 = 6,691 \times 10^3 \text{ Н} \quad (4.7)$$

Радіальні опорні реакції  $A_H$  та  $B_H$  в перпендикулярній нахиленій площині від дії окружної сили  $Q$  та  $G_2$

$$A_H = Q \frac{l+k}{l} + G_2 \frac{e}{l} = Q \frac{l+k}{l} + G \frac{e}{l} \cos 45^\circ, \quad (4.8)$$

$$A_H = 530,25 \cdot \frac{0,16+0,12}{0,16} + 4500 \cdot \frac{0,05}{0,16} \cdot 0,707 = 1,922 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$B_H = Q \frac{k}{l} + G_2 \frac{e}{l} = Q \frac{k}{l} + G \frac{e}{l} \cos 45^\circ, \quad (4.10)$$

$$B_H = 530,25 \cdot \frac{0,12}{0,16} + 4500 \cdot \frac{0,05}{0,16} \cdot 0,707 = 1,392 \times 10^3 \text{ Н.}$$

Результуючі реакції опор

$$A = \sqrt{A_e^2 + A_H^2} = \sqrt{10140^2 + 1922^2} = 1,032 \times 10^4 \text{ Н} \quad (4.11)$$

$$B = \sqrt{B_e^2 + B_H^2} = \sqrt{6961^2 + 1392^2} = 7,099 \times 10^3 \text{ Н} \quad (4.12)$$

Аксіальна реакція  $A_{yп} = G_2 = G \cos 45^\circ = 4500 \cdot 0,707 = 3,182 \times 10^3 \text{ Н.}$

Діаметр шпинделя на опорі А визначається з розрахунку на згинання та кручення.

Застосовуємо сталь 40Х для якої  $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$

$$\sigma = \frac{M_3}{0,1d^3} \leq [\sigma], \quad \text{звідки} \quad d = \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{1136}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,052 \text{ м.} \quad (4.13)$$

Приймаємо  $d = d_A = d_B = d_{yп} = 55 \text{ мм.}$

Визначаємо момент сил тертя в підшипниках, прийнявши  $f = 0,1$

$$M_{TP} = 0,5f(Ad_A + Bd_B) + 0,5fA_{yп}d_{yп}, \quad (4.14)$$

$$M_{TP} = 0,5 \cdot 0,1(10320 \cdot 0,055 + 7099 \cdot 0,055) + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 3182 \cdot 0,055 = 56,65 \text{ Нм.}$$

Повний крутний момент, який повинен бути подоланий приводом обертача

$$M_{кр} = M_{BT} + M_{TP} = 159,075 + 56,65 = 215,725 \text{ Нм.} \quad (4.15)$$

Загальний к. к. д. приводного механізма обертача, який включає циліндричний зубчастий редуктор  $\eta_3 = 0,9$  та черв'ячний редуктор  $\eta_4 = 0,6$

$$\eta_0 = \eta_3 \eta_4 = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54.$$

Частота обертання планшайби при швидкості зварювання  $V_з = 25 \frac{\text{м}}{\text{год}}$ .

$$n = \frac{V_{зз}}{\pi D} = \frac{25}{3,14 \cdot 1,0} = 7,962 \text{ об/год.} \quad (4.16)$$

Кутова швидкість планшайби

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 7,962}{30} = 0,833 \text{ рад.} \quad (4.17)$$

Потужність приводного електродвигуна

$$N = \frac{M_{кр} \omega}{\eta_0} = \frac{215,725 \cdot 0,833}{0,54} = 332,828 \text{ Вт} \quad (4.18)$$

Приймаємо електродвигун потужністю  $N = 0,5$  кВт.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників у спроектованому цеху**

При експлуатації виробничого обладнання в результаті дії шкідливих факторів створюється можливість травматизму. Простір, в якому постійно або періодично діють ці фактори, називається небезпечною зоною [16].

При зварюванні металів в CO<sub>2</sub> повітряне середовище виробничих приміщень може забруднюватися зварювальним аерозолем, що містить пил, шкідливі гази та випаровування, наприклад, газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту та інші.

Наявність рухомих частин, характер вантажів, технологічні умови виробництва вимагають особливої обережності в цеху. Основними причинами травм, тобто небезпечними зонами є захоплення працюючих рухомими частинами, падіння вантажів, які переміщуються, виділення пилу та інші. Порушення правил техніки безпеки призводить до важких травм у вигляді опіків різних ступенів, ураження струмом, часткова втрата зору.

Потужне ультрафіолетове чи світлове випромінювання зварювальної дуги при дії на очі працюючого може викликати електрофтальмію, а при тривалій дії інфрачервоного випромінювання може розвинути помутніння кришталика – катаракта.

При проектуванні та експлуатації підприємств із зварювальним виробництвом мають бути проведені заходи профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань, в першу чергу по зниженню шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Для захисту від дії небезпечних факторів застосовують колективні та індивідуальні засоби захисту. Можна виділити чотири групи засобів захисту: огорожуючі, запобігаючі, сигналізаційні засоби і дистанційне управління.

Площини, сходи, переходи обладнують перилами висотою не менше 1 метра. Нижню частину перил (висота 0,2 м) роблять суцільною. Канали для трубопроводів, збірники, заглиблення в підлозі та інші нерівності перекривають трапами.

Обладнання, яке має підвищений рівень шуму і вібрації встановлюють на окремих, добре ізольованих фундаментах, застосовуючи віброізолюючі та шумопонижуючі матеріали.

При роботі ручними механізованими електричними чи пневматичними інструментами слід застосовувати індивідуальні засоби захисту у вигляді віброізолюючих рукавиць, віброзахисних рукояток інструментів або прокладок. Для працюючих з вібруючим обладнанням рекомендується організувати 10-15 хвилинні перерви після кожної години роботи.

Боротьбу з вібраціями бажано проводити в джерелі виникнення при конструюванні та виготовленні машин і проектуванні технологічних процесів. Зниження рівня вібрації може бути досягнуте віброгасінням, яке частіше реалізується шляхом встановлення вібруючих агрегатів на самостійні віброгасячі основи (фундаменти).

В небезпечних місцях вивішують запобіжні написи і плакати.

Електричне обладнання, що встановлене на виробничих підприємствах, є потенційно небезпечним для працюючих, оскільки органи відчуття людини не можуть на віддалі виявити електричну напругу.

Для індивідуального захисту людей, обслуговуючих електроустановки, від ураження електричним струмом використовуються ізолюючі штанги та кліщі, ізольований електроінструмент, діелектричні рукавиці, діелектричні боти та калоші, діелектричні коврики, мати та підставки. Всі перераховані вище засоби індивідуального захисту періодично випробовуються на пробій і маркуються у відповідності з діючими правилами.

## 5.2 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці

До заходів, спрямованих на поліпшення умов праці зварників належать: автоматизація, механізація і раціоналізація виробничого процесу; захист очей від променистої енергії; видалення пилу і газів з робочих приміщень за допомогою вентиляції; заходи безпеки від ураження електричним струмом [16].

Істотну роль у збереженні працездатності і підвищенні продуктивності праці зварника відіграють такі пристрої для удержування та переміщення зварюваних виробів, як кондуктори, кантувачі, маніпулятори, струбцини, затискачі.

Освітленість виробничих приміщень - важливий захід гігієни та охорони праці і підвищення її продуктивності. У виробничих приміщеннях застосовують два види освітлення: природне і штучне.

Електрична дуга випромінює велику кількість невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів, які шкідливо впливають на зір і шкіру людини. Опіки променями електричної дуги можуть відбуватися тільки при зварюванні відкритою дугою (наприклад ручне дугове зварювання, зварювання в  $\text{CO}_2$  і т.д.). Шкіра зварювальника захищається робочим одягом, а зір – захисними щитками або масками із спеціальним темно-синім скло-фільтром.

Щоб запобігти механічному пошкодженню очей при прибиранні флюсу і відбиванні шлаку зварювальник повинен користуватися захисними окулярами з простим склом. При опіках очей необхідно робити холодні примочки, промивати очі слабким содовим розчином або закапати очі очними цинковими каплями. При сильних опіках необхідно звернутися до лікаря.

В результаті високої температури зварювальної дуги відбувається випаровування металів. Пари металів з'єднуються з киснем повітря, утворюючи дрібний порошок в вигляді окислів. Особливо шкідливі пари окислів цинку, свинцю, кадмію, міді та інші, які утворюються при зварюванні міді,

латуні і бронз. В результаті плавлення деяких флюсів утворюються пари окислів марганцю, а також хлористий і фтористий водень.

При зварюванні в вуглекислому газі виділяється шкідливий для організму оксидами вуглецю (чадний газ). Оскільки вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, то він може накопичуватися в тісних приміщеннях і закритих посудинах, що приводить до браку кисню для дихання.

Для відведення шкідливих газів та пилу, а також для подачі свіжого повітря застосовують загальну або місцеву вентиляцію. Загальна вентиляція повинна бути приточно-витяжною з підігрівом повітря в зимову пору. Її застосовують для обміну повітря в закритих приміщеннях (цехах, майстернях...). Місцеву вентиляцію застосовують для відсмоктування шкідливих газів безпосередньо з місць їх утворення. При роботі в закритих приміщеннях застосовують ізолюючі апарати (ШР-1, ША-40, ДПА-4) або маски із шлангами для подачі свіжого повітря.

При отруєннях, потерпілого необхідно винести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу і дати спокій до приходу лікаря. При зупинці дихання слід застосувати штучне дихання.

### **5.3 Розрахунок штучного освітлення для спроектованого цеху**

Зварювальникам доводиться виконувати операції, що розрізняються по точності зорової роботи: розмітку, складання, читання креслень, зварювання, контроль зварних з'єднань та ін. Наявність джерел підвищеної яскравості викликає необхідність частой преадаптації зору: кожного разу при переході від допоміжних операцій, що виконуються без щитка, до зварювання, що виконується обов'язково з щитком.

Створення високих рівнів освітленості місць зварювання (близько десятків тисяч люкс) з тим, щоб усі операції можна було виконувати з щитком, економічно не вигідно і практично складно. Рівні освітлюваності зварювальних робіт встановлені відповідно до діючих нормативних



документів для люмінесцентних ламп 150 лк, а для ламп розжарювання 50 лк з урахуванням наявності у полі зору самосвітних елементів.

Характер технологічних операцій в складально-зварювальних цехах (робота на нефіксованих місцях) визначає доцільність створення системи загального освітлення локалізованого або рівномірного загального з використанням переносних світильників місцевого освітлення. З урахуванням можливості використання газорозрядних джерел світла доцільно підвищити рівні освітленості при електрозварювальних роботах до 500 лк при загальному і місцевому освітленні і до 300 лк при одному загальному освітленні.

Під кранами мають бути підвішені додаткові світильники, які компенсують затемнення робочих місць. При зварюванні усередині місткостей слід використовувати світильники спрямованої дії, які розташовані зовні, або ручні переносні світильники, що мають захисну сітку (трансформатор має бути встановлений зовні, його вторинна обмотка заземлена; не допускається застосування автотрансформаторів).

Світильники, вікна і світлові ліхтарі необхідно очищати в міру забруднення (не рідше за один раз в три місяці).

Забарвлення стін доцільно виконувати спеціальними фарбами, що мають високий коефіцієнт віддзеркалення для видимої частини спектру і низький коефіцієнт - для ультрафіолетових променів [ 16 ].

Для роботи по виготовленню зварного з'єднання труби з плоским фланцем при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення і горизонтальної поверхні основним є, так званий, метод коефіцієнту використання світлового потоку.

Розрахунок проводиться за формулою:

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

де  $\Phi$  – світловий потік, потрібний для забезпечення заданої освітленості, ЛМ;

$E_n$  – нормова освітленість, лк;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$Z(1,15)$  – коефіцієнт, що враховує відношення середньої освітленості;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, ( $K_3=1,5$ );

$N$  – кількість ламп;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку; коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$  визначається за світлотехнічними таблицями. Для цього потрібно знайти індекс приміщення  $i$  та приблизно оцінити коефіцієнт відбивання поверхонь приміщення:  $I_c$  – стелі;  $I_{cm}$  – стін;  $I_p$  – робочої поверхні.

Індекс приміщення  $i$  знаходимо за формулою:

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

де  $S$  – площа ділянки цеху, м<sup>2</sup>;

$h$  – розрахункова висота (відстань від світильника до робочої поверхні), м;

$A$  і  $B$  – довжина і ширина приміщення, м; ( $S=80$  м<sup>2</sup>;  $h=3,4$  м;  $A=4$ ;  $B=20$  м)

$$i = \frac{80}{3,4 \cdot (8+10)} = 1,3$$

За таблицею знаходимо відповідні значення  $I$ :  $I_c=70$  %;  $I_{cm}=50$  %;  $I_p=30$  %.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{0,65} = 63692,3 \text{ лм.}$$

Необхідну кількість ламп визначаємо за формулою:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot E_n}, \quad (5.3)$$

де  $E_n$  – світловий потік лампи;

$$N = \frac{63692,3}{2 \cdot 2105} = 15 \text{ шт.}$$

Приймаємо 16 штук.

Для освітлення автомата використовуємо лампи ЛД-40-4, які мають наступні технічні характеристики:

- світловий потік –  $E_{л}=2105$  ЛМ;
- довжина лампи –  $L=1,213$  м;
- потужність –  $P=40$  Вт;
- діаметр лампи –  $d=0,04$ .

Також використовуємо двохламповий світильник без перфорації з решіткою типу ЛДГ, що має такі характеристики:

- довжина – 1,3 м;
- ширина – 0,27 м.

Світильники розташовуємо в 2 ряди по вісім штук в кожному ряду. Відстань між рядами світильників розраховуємо за формулою:

$$L = \frac{8-2 \cdot 1,3}{2} = 2,7 \text{ м;}$$

$$L = \frac{10-8 \cdot 0,27}{8} = 0,98.$$

### 5.3 Підвищення стійкості об'єкта до ударної хвилі

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе: будівлі споруди, технологічне обладнання і комунікації, електромережі, тепломережі, водопровід, каналізацію і газопровід [17].

Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкту. Підвищувати стійкість всіх будівель і споруд не потрібно, так як це пов'язано з великими матеріальними затратами, які не завжди будуть

виправдані. Головним чином, потрібно підвищувати міцність найбільш важливих елементів виробництва, від яких залежить робота всього підприємства, але стійкість яких нижча загальної границі стійкості. Підвищення стійкості будівель і споруд досягається встановленням додаткових зв'язків між несучими елементами, будовою каркасів, рам, підкосів, опор для зменшення прольоту несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш міцних матеріалів.

Низькі споруди, для підвищення їх міцності, частково обсипаються ґрунтом. Високі споруди (труби, башти, колони) закріплюються розтяжками, які розраховані на певні навантаження.

Захист ємкостей для зберігання легкозаймистих рідин може здійснюватися побудовою підземних сховищ, заглибленням їх в ґрунт, а збільшення механічної міцності ємкостей – встановленням ребр жорсткості.

Надійно захистити все технологічне обладнання від дії ударної хвилі практично неможливо. Захист обладнання необхідний, якщо воно здатне при руйнуванні частини підприємства випускати особливо цінну продукцію і його необхідно зберегти для подальшого використання. Захист обладнання входить в загальний комплекс інженерно-технічних заходів по підвищенню стійкості роботи підприємства. Потрібно створювати запаси деталей і вузлів технологічного устаткування, а також виготовляти захисні конструкції і застосовувати їх в період загрози нападу ворога для запобігання виходу з ладу устаткування при обвалі конструкцій будівель [17].

Для сучасних підприємств характерна велика кількість комунікацій для подачі води, електроенергії, пари, газу, які розміщені відкрито на високих естакадах або зовнішніх стінах будівель, що полегшує їх регулярний огляд і ремонт, але з другого боку значно знижує стійкість до дії ударної хвилі ядерного вибуху.

Для підвищення надійності комунікацій потрібно: заглиблювати основні комунікаційно-енергетичні мережі і технологічні комунікації або розміщувати їх на низьких естакадах та обвалькувати землю; збільшувати механічну

міцність трубопроводів за рахунок встановлення ребр жорсткості, хомутів, які з'єднують два-три трубопроводи в один пучок.

Система електрозабезпечення займає значне місце на промисловому підприємстві, тому останнє повинно мати два джерела живлення – основне і аварійне. Для запобігання виходу з ладу електричних мереж потрібно встановлювати пристрої автоматичного відключення їх при утворенні перенапруг, які можуть бути створені електромагнітними полями, що виникають при ядерному вибуху.

При пошкодженні джерел газозабезпечення або газопроводів на великих підприємствах знаходяться підземні ємкості - газгольдери постійного об'єму. Газові мережі прокладають під землею і підводять до об'єкту з двох напрямків. Для запобігання руйнуванню газових мереж їх забезпечують пристроями для автоматичного відключення ділянок газопроводу.

Стійкість роботи промислових об'єктів визначається також стійкістю систем парозабезпечення і теплозабезпечення. Промислові об'єкти повинні мати два джерела пари і тепла - зовнішнє (ТЕЦ) і внутрішнє (місцеві котельні).

Важливе значення має створення стійкості системи водозабезпечення об'єкту. Промисловий об'єкт повинен забезпечуватись водою не менше ніж від двох джерел - основних і резервних. Одне із джерел повинно бути підземним. Мережі водозабезпечення прокладаються в землі і обладнуються засувками для відмикання окремих ділянок при аварії.

Щоб підвищити стійкість каналізації об'єкта потрібно створити роздільні системи каналізації – одну для дощових, другу для промислових і господарських вод, Система каналізації об'єкта повинна мати аварійні викиди в річку або в дощову мережу.

## ВИСНОВКИ

В роботі розроблено технологію виготовлення стріли малогабаритного підйимального модуля та досліджено її НДС. Для зварювання даного виробу вибираємо: для тривалих лінійних та ободових швів – автоматичне зварювання в  $\text{CO}_2$ , а для коротких – механізоване в  $\text{CO}_2$ .

Для виготовлення стріли запропоновано механізовані та автоматизовані складально-зварювальні пристосування та сучасне зварювальне обладнання що дозволить підвищити ефективність виробництва та її якісні показники.

Виходячи з отриманих результатів можна побачити, що при застосуванні конструкції виготовленої із профільного прокату (в нашому випадку швелерів №180 та №140), максимальні напруження які виникають в балці стріли становлять 100 МПа, а запас міцності за межею текучості 4,0 при навантаженні 800 кг, при цьому прогин стріли не перевищує 25 мм вільної сторони. На основі результатів проведених досліджень можна стверджувати, що використання обраного типу конструкції стріли навантажувача є обґрунтованим та забезпечує необхідні міцнісні характеристики.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту: конструкція. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДГУ, 2002. - 164 с.
2. [http://www.s-metall.com.ua/spravochnik\\_stalej.html](http://www.s-metall.com.ua/spravochnik_stalej.html)
3. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. - 263 с.
4. 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.
5. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
6. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
7. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.
8. Биковский, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
9. 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.
10. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
11. <https://kzes.com/en/>

12. <https://svartech.com.ua/ua/>
13. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/defektoskop-ultrazvukovoy-ud-1.html>
14. <https://prom.ua/ua/p1112874988-svarochnyj-vraschatel-rwp.html>
15. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
16. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
17. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.



# ДОДАТКИ