

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній рівень)

на тему: Вдосконалення технологічного процесу зварювання вузлів кран-балки вантажопідйомністю 3 т та дослідження структурно-фазових перетворень та механічних властивостей зварних швів

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МПм

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Яцюк В.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лазарюк В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дячун А.Є.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Шанайда В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2023

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТ
доц., к.т.н. Окіпний І.Б.
« ____ » _____ 2023 __ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”
(шифр і назва спеціальності)
* Яцюка Віталія Олеговича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення технологічного процесу зварювання вузлів кран-балки вантажопідйомністю 3 т та дослідження структурно-фазових перетворень та механічних властивостей зварних швів

Керівник проекту (роботи) Лазарюк В.В., к.т.н, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «16» листопада 2023 року №4/7-1058

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 26 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення виробу; технічні умови на виготовлення; базовий технологічний процес виготовлення виробу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Науково-дослідна частина.
Конструкторська частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.
Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Стенд для складання двотаврової балки. Опора ланцюгового кантувача. Механізм затискання.
Пневмоциліндр. Графотехнологія. Дослідження впливу параметрів гофрування на напружено-деформівний стан балки. Аналіз очікуваних структур та властивостей зони термічного впливу

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра, на тему: «Вдосконалення технологічного процесу зварювання вузлів кран-балки вантажо-підйомністю 3 т та дослідження структурно-фазових перетворень та механічних властивостей зварних швів» складається із 5 частин розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 68 - аркушів формату А4 та графічної частини об'ємом 8 аркушів формату А1. Записка складається із таких частин: аналітичний, технологічний, науково-дослідний, конструкторський, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Мета кваліфікаційної роботи – зниження трудомісткості, матеріалоемності конструкції підкранової двотаврової балки з гофрованою стінкою та підвищення якості зварювання.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 15 рисунків, 10 таблиць та додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 25 літературних джерел.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено технологію складання та зварювання вузлів кран-балки. Запропоновано: технологію напівавтоматичного дугового зварювання двотаврової гофрованої підкранової балки; розрахунок параметрів режиму зварювання; раціональне устаткування і пристосування; дослідження та прогнозування структурно-фазових перетворень в результаті термічного пливу процесу зварювання на матеріал виробу та його механічні властивості; у комплексі ANSYS досліджено вплив геометричних параметрів гофрування на напружено-деформівний стан балки та визначено оптимальні розміри рельєфу гофрованої стінки, розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: КРАН-БАЛКА, ГОФРОБАЛКА, НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Аналітична частина	8
1.1 Виріб і його призначення	8
1.2 Технічні вимоги до зварного виробу	11
1.3 Матеріал виробу і його характеристика	12
1.4 Технічні умови на виготовлення виробу	13
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення виробу	16
2 Технологічна частина	17
2.1 Технологічне обґрутування вибраного способу зварювання	17
2.2 Вибір зварювальних матеріалів	18
2.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання	19
2.4 Вибір і обґрунтування зварювального обладнання	22
2.5 Вибір методу контролю якості виробу	24
2.6 Опис вибраного техпроцесу виробу	25
3. Науково-дослідна частина	28
3.1 Розрахунок параметрів термічного циклу	28
3.2 Аналіз очікуваних структур та властивостей ЗТВ	31
3.3 Методика проведення досліджень за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5	32
3.3.1 Створення твердотільної моделі балки з гофрованими стінками	33
3.3.2 Розрахунок напружено-деформівного стану гофрованої балки за допомогою ANSYS Workbench 14.	36
3.4 Дослідження впливу сітки скінченних елементів на результат розрахунку напружено-деформівного стану гофрованої балки	41
3.5 Дослідження впливу геометричних параметрів гофрування на напружено-деформівний стан балки із синусоїдною конфігурацією гофрів	44
3.6 Розрахунок зварних з'єднань на міцність гофрованої балки	47
4. Конструкторська частина	50
4.1 Розрахунок ланцюгового кантувача	50

4.2 Розрахунок пневмоциліндра	54
4.3 Конструктивна схематизація технологічного устаткування	55
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	57
5.1 Аналіз потенційних шкідливостей на зварювальній ділянці. Заходи щодо їх зниження	57
5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою	59
5.3 Організація цивільної оборони на об'єктах господарської діяльності	62
Загальні висновки	65
Перелік посилань	67
Додатки	69

ВСТУП

Застосування інновацій у сучасному виробництві металовиробів підвищує за умови зменшення металоємкості та вартості підвищує конкурентноздатність підприємства. Застосування автоматизованого обладнання, яке дозволяє гнучко змінювати технологію виробу, вимагає з іншого боку ретельного контролю його характеристик. З метою прогнозування властивостей виробу доцільно використовувати технологію створення його цифрового двійника.

Кранове обладнання є необхідним устаткування промислових підприємств. Їх конструкція вимагає підвищеної надійності з одного боку та простоти у виготовленні та подальшій експлуатації. Використання мостових кранів у металообробних цехах істотно підвищує механізацію та безпеку робіт з металовиробами. При цьому такі крани можуть мати як підвісну так і опорну конструкцію. Простота конструкції мостової балки з розташованим на ній вантажопідйомним механізмом дозволяє здійснювати переміщення вантажів, як вертикально, так і горизонтально. Проте в існуючих кран балках коробчатого типу при умовах їх важконавантаженої експлуатації може виникати проблема втрати місцевої стійкості стінок, що вирішується як правило збільшенням габаритів та матеріаломісткості виробу.

Електродугове зварювання характеризується значною трудомісткістю операцій, утворенням дефектів структури та залишкових напружень. Тому вибір матеріалу для готового виробу з числа маловуглецевих сталей дозволить отримати прогнозовані властивості та структури та використати сучасне адаптивне зварювальне обладнання. Серед методів прогнозування властивостей зварного з'єднання після впливу термічних деформацій актуальним залишається розрахунок параметрів термічного циклу та застосування діаграм для ізотермічного перетворення аустеніту.

Якість та вартість виготовлення балок залежить як від якості складальних операцій, так і від правильного вибору механізованого обладнання та режимів зварювання за умов дотримання безпечних умов праці.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Виріб і його призначення

Однобалочні мостові крани опорного типу відносяться до підйомно-транспортного устаткування для обслуговування малих та середніх підприємств. Конструкція включає мостову балку, крановий візок, підкранову балку, що встановлена на колонах у цеху. Стійка конструкція мостової кран-балки забезпечує їй безпечну експлуатацію, більшу довговічність та вантажнопідйомність. Мостова балка опорних кранів розташовуються над площиною кранових шляхів на підкранових балках, рис. 1.

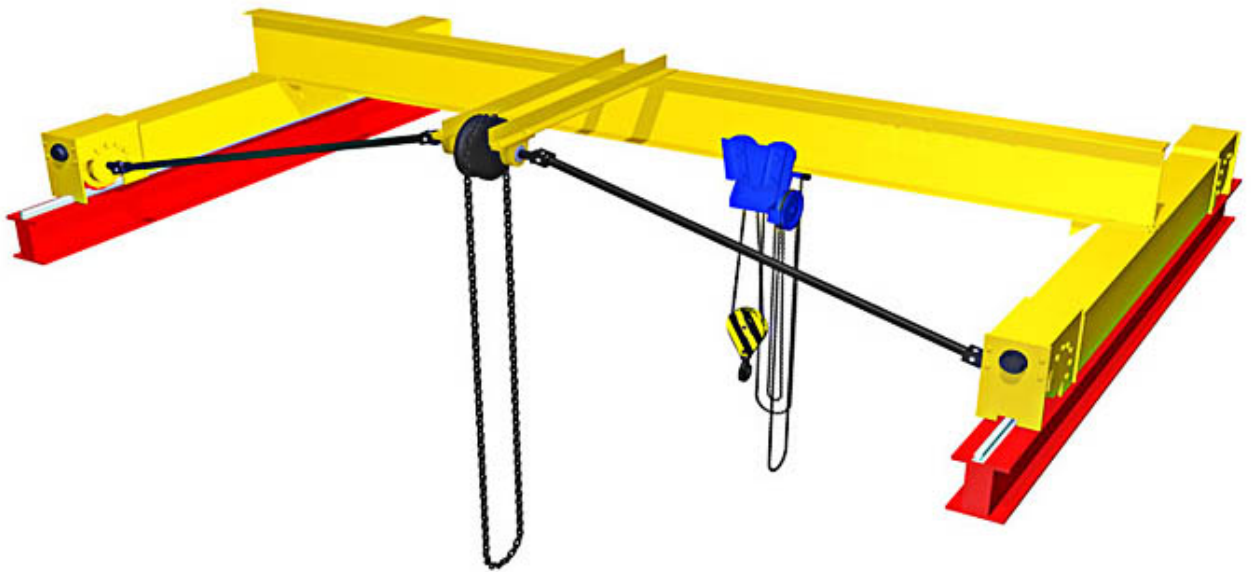


Рисунок 1.1 - Однобалочна мостова кран-балка опорного типу

Опорні однобалочні мостові крани випускають із вантажопідйомністю 3-8 т з прольотом 4-16 м. В якості кранового візка використовують ручні черв'яні талі. Швидкість пересування даного крану знаходиться у межах 0,40-1,0 м/с. Головні мостові та підкранові балки виконують у виді двотаврових балок або балок

коробчатої конструкції. У традиційних балках коробчатої конструкції розташовані поперечні діафрагми та ребра з певним кроком. Така конструкція є трудомісткою, має значну довжину зварних швів, вимагає високої кваліфікації робітників та додаткових технологічних операцій для порізки ребер та діафрагм. Також недоліком такої коробчатої конструкції балок є можлива локальна втрата стійкості стінок [1].

З метою зменшення трудомісткості та матеріаломісткості підкранових балок застосовують також зварні двотаврові балки із стінкою з гофролиста [1]. У даному виробі підкрановій балці мостової кран-балки опорного типу наступні параметри: довжина 10 м, товщина вертикальної хвилясто-профільованої стінки 2 мм, ширина поясів 200 мм, їх товщина 14 мм, (рис. 1.2).

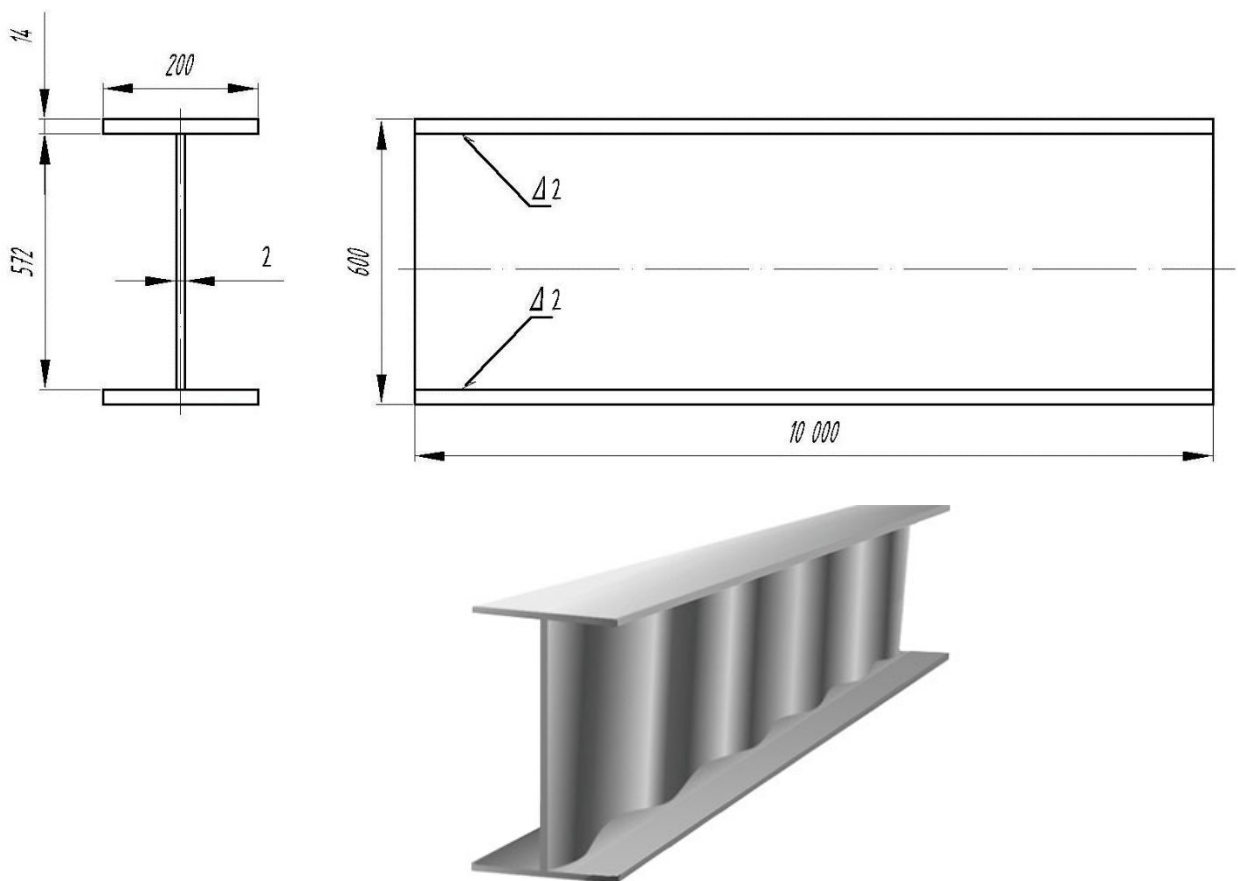


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд гофро-балки

Використання гофробалки дозволяє підвищити несучу здатність кран-балки, отримати підвищену жорсткість, істотно підвищити міцність, зменшити ма-

теріаломісткість на 15 % [1]. Балка дає можливість розвантажити металоконструкцію, так як її підвищена жорсткість дозволяє значно зменшити переріз інших елементів конструкції.

Гофрована балка або (SIN-балка) - це легка зварна металева конструкція. Складається зі смуги холоднокатаного профільованого листа, який приварений до полиць, також виконаним з гарячекатаної сталі.

Виготовлення балок з гофрованої стінкою ведеться на заводах з виробництва металоконструкцій, таких як мостові, каркасні і т.д. Там обладнуються спеціальні ділянки з пресами або іншими установками для гофрування і зварювання поясних швів. Для зварювання зазвичай використовують досить сучасні промислові маніпулятори зі зварювальними головками, які можуть рухатися по криволінійних лініях, причому не тільки в площині.

Технологія виробництва виглядає наступним чином: плоский лист подається між двома валами, які обертаються назустріч один одному. На поверхні валів розташовані пристрої для закріплення знімних пластин, які здійснюють вигини плоского листа при повороті валів. Використання знімних пластин різних розмірів дає можливість змінювати параметри гофр.

Для створення криволінійних поверхонь гофр більш ніж в одній площині зазвичай потрібні більш складні знімні елементи доповнення. Хвилясті гофри можна отримати за допомогою пресування пластин між двома матрицями, але для зміни параметрів гофр в цьому випадку потрібен великий набір матриць.

Найважливішими плюсами зварної балки є те, що вона виготовляється під індивідуальне замовлення, згідно з технічним завданням. Якщо для виробництва металоконструкції необхідні балки довжиною 11 метрів, то будуть виготовлені балки довжиною саме 11 метрів, якщо необхідні балки довжиною 10,56 метра, то будуть виготовлені балки довжиною 10,56 метра. Таким чином, будуть відсутні відходи і виробник металоконструкції буде платити тільки за те, що використовує, а не за відходи. При цьому технологія зварної двотаврової балки дозволяє виробляти їх з шириною полиці до 80 сантиметрів, що неможливо технологічно для прокатної балки. Крім того, згідно технічного завдання, зварна двотаврова балка може виробляється перфорованою, усіченою, біметалічною, нерівномірно-поличною, з фланцевими сполуками або додатковими ребрами жорсткості. Зрозуміло,

що нічого подібного не можна отримати на металургійному комбінаті, що виробляє гарячекатані балки.

1.2 Технічні вимоги до зварного виробу

Балкові конструкції з хвилеподібною гофрованою стінкою і плоскими полицями завдяки більшій несучій здатності забезпечують істотне зниження матеріалоемності конструкцій (до 30% у порівнянні із звичайними конструкціями і до 40...60% маси у порівнянні з гарячекатаними двотаврами тієї ж жорсткості). Хвилястий профіль стінки балки має більшу жорсткість і стійкість до деформації, ніж звичайна плоска стінка двотавра. Порівняно з плоскою гнучкою стінкою гофрована стінка значно довше знаходиться в пружній стадії до моменту втрати стійкості. Таким чином, *sin*-балки мають максимальну несучу здатність за оптимальної власної ваги, поєднуючи в собі переваги решітчастих ферм (великі прогони, невелика вага) з перевагами звичайних прокатних двотаврів (невелика конструктивна висота і висока несуча здатність). Істотно знижуються (або повністю усуваються) місцеві деформації полиць, профільовані синусоїдальні стінки більш стійкі до тривалого статичного навантаження.

Під час виготовлення гофрованих балок, варто використовувати відповідний вид та технологію проведення зварювальних робіт, які забезпечать повний провар одностороннього шва з'єднання між тонкою стінкою та елементом поясу. Механічні властивості металу з'єднання повинні бути не нижчими нормативних значень відповідних характеристик основного металу. Не допускається утворення кристалізаційних зварних тріщин.

Для виконання дугового зварювання слід використовувати зварювальний дріт відповідно до вимог *ДСТУ 3671-97*, флюс згідно з вимогами *ДСТУ 3261.8-95*, електроди - *ДСТУ ISO 18275:2008*.

Зварні шви в з'єднаннях поясів, стінок і ребер жорсткості повинні бути суцільними по довжині гофрованої балки. Під час виготовлення балок з гофрованою

стілкою допускається використання стикових зварних з'єднань, так званих, поперечних стиків. Вказаний тип зв'язку повинен володіти такою ж міцністю, як і елементи, що стикуються.

Відстань між стикуваннями повинна становити не менш як 3 м. Мінімальна відстань від краю гофрованої балки до найближчого з'єднання стикуванням – 1 м. Стикування елементів стінки повинні розташовуватися не ближче ніж 100 мм до прилеглого стикування поясів балки.

Всі шви зварних з'єднань елементів конструкції гофрованої балки, після закінчення процесу зварювання, повинні бути очищені від різноманітного шлаку та залишків металу. Підкладні планки слід забирати без застосування ударних впливів, не наносячи пошкоджень основному металу. Кількість допустимих дефектів зварних швів повинні відповідати вимогам *ДСТУ 3491-96*.

1.3 Матеріал виробу і його характеристика

Для виготовлення поясу гофробалок використовують гарячекатану, листову, універсальну сталь, клас міцності прокату якої, становить не менш як 255 МПа до ДСТУ Б В.2.6-199:2014. Для виготовлення підкранових балок рекомендують використовувати Сталь С255 за ДСТУ 8539 українського виробника. Враховуючи доступність даної сталі на вітчизняному ринку оптимальне співвідношення міцності та пластичності Сталь С255 дозволить отримати конструкцію з необхідними характеристиками. Для гофрованих профілів використовують також сталі звичайно якості до Ст3, якісні конструкційні з ряду сталей 08, 10, 15, 20 та низьколеговані марганцовисті.

Сталь С255 є маловуглецевою якісною сталлю звичайної міцності. Вміст вуглецю у даній регламентується до 0,17 %, її найближчими аналогами є сталі ВСт3сп та 18сп.

Механічні властивості Сталі С255 приведені в таблиці 1.1 та хімічний склад відповідно в таблиці 1.2. Сталь має досить однорідну структуру та оптимальне поєднання пластичності, міцності та холодостійкості, не схильна до відпускової крихкості.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості Сталі С255 [2]

Січення прокату, мм	Тимчасовий опір, σ_B , МПа	Границя текучості, σ_T , МПа	Відносне подовження, δ_5 , %	КСУ ⁻²⁰
2,0-3,9	380	255	25	-
4,0-10,0	380	245	25	29

Таблиця 1.2 – Хімічний склад Сталі С255 за ДСТУ 8541, % [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	Al
≤0.17	0.15- 0.3	≤ 1,0	≤0.3	≤0.025	≤0.035	≤0.3	≤0.012	≤0.3	≤0.05

Для оцінки зварюваності Сталі С255 проводимо розрахунок еквіваленту вуглецю, [3]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{12} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B, \quad (1.1)$$

$$C_e = 0,17 + \frac{1}{12} + \frac{0,3}{10} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{15} = 0,36$$

Оскільки C_e менше 0.45, зварюваність добра, сталь можна зварювати без підігрівання. Виробник [2] також засвідчує, що Сталь С255 можна зварювати без обмежень.

1.4 Технічні умови на виготовлення виробу

Зварний виріб є важливою частиною вантажопідйомного механізму – кран балки. Розрахунки та експлуатація таких машин проводяться, відповідно до спеціальних Правил [4]. Однією з вимог до вантажопідіймальних кранів є вимога

стійкості у всіх станах. Розрізняють вантажну стійкість в умовах дії вантажу, власну стійкість при його відсутності та в умовах раптової втрати навантаження.

Зварна двотаврова гофробалка працюватиме за змінних динамічних навантажень, тому необхідно дотримуватися вимог щодо міності та щодо якості зварних з'єднань.

Виробництво гофрованих балок є масовим виробництвом, тому у їх виробництві вигідно використати механізовані комплекси із високою продуктивністю.

Хімічний склад та механічні властивості повинні бути дотримані державних стандартів відповідними сертифікатами.

Застосовані матеріали у технологічному процесі повинні відповідати вимогам ДСТУ з вказуванням додаткових вимог у технічній документації.

Сталь С255 постачається з гарантованим хімічним складом та механічними властивостями. Для зварних виробів важливо уникати джерел постачання водня у зварний шов, тому листи балки повинні бути зачищені від іржі, мастил та фарби. Це доволить уникнути утворення пор та значно зменшить імовірність утворення холодних тріщин.

Шорсткість металевих листів для виготовлення гофробалки кран-балки має відповідати Rz40.

Дотримання розмірів виробу забезпечується Єдиною системою допусків і посадок та залежить від якості виконання технологічних операцій, особливо заготівельних.

Для дотримання заданих розмірів зварноо виобу застосовують складально-зв'язувальне оснащення, яке дозволяє провести складання виробу з необхідною точністю.

Гранично допустимі відхилення розмірів складових частин гофрованих балок не повинні перевищувати значення, які попередньо зазначаються і затверджуються в угоді замовлення або в тексті технічних умов. Зазвичай, до геометричних відхилень, готової продукції балок з гофрованою стінкою, використовують наступні обмеження:

- по довжині гофрованої балки - $0 \div 5$ мм;

- по висоті гофрованої балки ± 3 мм;
- зміщення осі гофрованої стінки від осі поясу – 5 мм;
- ширина поясів ± 5 мм.

Конструювання зварного виробу повинно надати можливість безперешкодного зварювання за необхідними вимогами та мати доступ для виконання контрольних операцій перевірки якості зварних швів та конструкції в цілому.

Головною вимогою до зварювальних робіт є вимога рівномірності металу зварного шва та основго металу кострукції. Оскільки термодформаційний вплив зварювання змінює такі міцнісні характеристики, як ударну в'язкість, пластичність та міцність, тому для металу зварних швів можуть бути встановлені їх мінімально допустимі величини.

Серед виявлення дефектів зварних швів особливо увага є контроль пористості та підрізів швів які підвищують концентрацію напружень. У мовах знакоперемінних навантажень це може привести до зародження тріщин та руйнування конструкції. Усі елементи зварних швів та з'єднань перевіряються, відповідно до креслень та технічної документації.

В умовах малосерійного виробництва операцію складання проводять на складальних плитах, напрямних балках, стелажах та іншому складально-зварювальному устаткуванні за розміткою.

Зручною формою складання двотаврів є застосування стелажів, що дозволяє мати на робочому місці увесь розкладений комплект деталей. Також при складанні двотаврів використовуються тимчасові кутники як елементи жорсткості. Кутники монтуються прихоплюваннями.

Вибір способу зварювання проводиться до встановлених нормативною документацією властивостей.

Не допускаються та підлягають контролю та виправленню наступні дефекти швів:

- холодні та гарячі тріщини;
- пори;
- підрізи та напливи;

- дефектні кратери.

Попередження даних дефектів залежить від вибору способу зварювання та виконання зварювальної операції на рекомендованих режимах.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення виробу

Базовий техпроцес виготовлення гофробалки включає як традиційні технологічні операції правки, розмітки, складально-зварювальних операцій, контроль якості, так і не типового процесу гофрування листа.

Балка складається з двох горизонтальних листів поличок та гофролиста розташованого вертикально. Пред складанням здійснюють розмітку. Далі полички і гофролист закладають до пристосування. Пристосування є рамою на фундаменті з упорами та ручними гвинтами – боковими і кінцевими притискачами. Після прихоплення поличок проводять зварювання в середовищі захисного газу на напівавтоматі ПДГ312. На кожному етапі проводиться візуальний контроль якості.

Для підвищення якості зварювальних операцій, зменшення енергетичних та матеріальних затрат доцільно підібрати режим зварювання, враховуючи утворення структур у шві та втрату міцнісних параметрів, впровадити раціональні джерела живлення, встановити пневматичні затискачі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Технологічне обґрунтування вибраного способу зварювання

Серед критеріїв вибору способу зварювання для вузлів кран-балки одним з головних виступає якість виконання зварного шва за умови дотримання критерію економічної доцільності. Оскільки виробництво таких вузлів є малосерійним тому завданням механізації є отримання технології, яка є відтворюваною та нетрудомісткою.

Для зварювання хвилеподібної стінки двотавра не можемо використати традиційне зварювання під флюсом через складний рельєф. Тому серед доступних способів у порівнянні можемо розглянути ручний спосіб електродугового зварювання, напівавтоматичне зварювання в середовищі активних газів та зварювання неплавким електродом в середовищі інертних газів.

Зварювання покритим електродом має перевагу компактністю, дешевизною та нескладністю обладнання яке добре працює у важкодоступних місцях у різних положеннях та атмосферних умовах. Проте складність запалювання дуги, прилипання електроду, необхідність зачистки від шлаку, погішена безпечність методу для зварника. Мала продуктивність способу за умови високої кваліфікації зварника значно підвищують вартість такої конструкції. Довжина шва визначається довжиною електроду, що неприєнятно для зварного з'єднання конструкції гофробалки.

Зварювання неплавким електродом в інертних газах показує досить високу якість зварного шва, проте має ряд недоліків: невисоку швидкість зварювання, високу кваліфікацію зварника, складність зварювання виробів складної геометрії, рекомендований головним чином для легованих сталей.

Напівавтоматичне зварювання в активних газах добре працює в усіх просторових положеннях, не вимагає високої кваліфікації зварника, зварювання проводиться електродним дротом, є рекомендованим для зварювання маловуглецевих сталей. Крім наведених переваг даного способу перед іншими приведеними вище

найголовніша перевага це його продуктивність та добрий контроль самого процесу зварювання. Такі недоліки способу, як розбризкування дроту та погане управляємість металургійними процесами у зварювальній ванні вирішуються з допомогою коретного підбору захисної суміші газів.

Тому враховуючи ереваги та недоліки приведених способів обираємо для зварювання двотаврової гофробалки напівавтоматичнезварювання в середовищізахисного газу.

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

При зварюванні в вуглекисному газі одним із недоліків є пористість шва, викликана кіпінням металу зварювальної ванни від вуглекисного газу та через її нерозкисленість. Як вихід використовуються зварювальні дроти леговані хорошими розкислювачами марганцем та кремнієм.

Тому, зварювання гофробалки з маловуглецевої сталі проводимо електроднимдротоммарки Св08Г2С. Данімарки дротупридатні длязварювання у всіх просторовихположеннях, а наплавлений металформується добрерозкисленням завдяки достатньому вмісту кремніюі марганцю, звисокими властивостями іцності і пластичності, таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад дроту Св08Г2С [5]

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

Для захисту зварювальної ванни при зварюванні плавким електродом в останні десятидіття добре себе зарекомендували суміші на основі аргону. Це дозволило знизити розбризкування, покращити формуємість шва, зменшити витрати дроту та зменшити імовірність утворення тріщин. Проте у аргону є недолік це пальцеподібнаформа проплавлення, а через це пористість і несплевнення.

Для подолання труднощів використання аргону і вуглекисного газу застосується суміш аргон + вуглекисний газ. Покращення механічних властивостей швів в кінцях у цій суміші відбувається через зменшення вмісту кисню у шві та хорошого формування феритної структури шва.

Отже можемо використати суміш газів на основі аргону та вуглекислого газу групи M2 ISO 14175, де вмістом CO₂ -18-20%. В Україні дана суміш відома як MIX №1. Плюси даної суміш не лише у зменшенні розбризкуванні, а й у зменшенні глибого проплавлення та хорошій стабілізації дуги, підвищенні ударної в'язкості та стійкості до крихкого руйнування [21].

2.3 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Для розрахунку параметрів режиму зварювання використовуємо типовий розрахунок для таврових зварних з'єднань. Схема з'єднання гофрованої балки, яку виконуємо згідно ДСТУ 2456-94 напівавтоматичним зварюванням в середовищі захисного газу приведено на рис. 2.1.

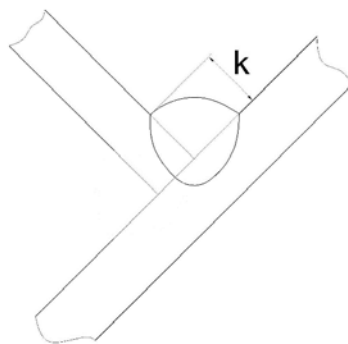


Рисунок 2.1 – Схема таврового з'єднання

Площа поперечного перерізу для шва [6].

$$F_n = \frac{k^2}{2} \quad (2.1)$$

$$F_n = \frac{2^2}{2} = 2 \text{ мм}^2.$$

Для виконання швів гофробалки для катету 2 мм берем діаметр електродного дроту, за ДСТУ 2246 – 70, $d_{ел} = 1,6$ мм.

Знаходимо густину струму на електроді $j = 50 \text{ А/мм}^2$, і визначаємо зварювальний струм [6]:

$$I_{3\phi} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j \quad (2.2)$$

$$I_{3\phi} = \frac{\pi \cdot 1.6^2}{4} \cdot 50 = 100.48 \text{ А} . I_{3\phi} = 100 \text{ А}$$

Дійсний коефіцієнт наплавлення [6]:

$$\alpha_n = A + B \frac{I_{3\phi}}{d_{el}} , \quad (2.3)$$

$$A = 7.0 ; B = 0.04.$$

$$\alpha_n = 7 + 0.04 \frac{100}{1.6} = 9.5 \text{ Г / А} \cdot \text{год} .$$

Отжк, швидкість руху зварювальної дуги [6]:

$$V_{3\phi} = \alpha_n \cdot I_{3\phi} \frac{1}{F_n \cdot \rho} , \quad (2.4)$$

$$V_{3\phi} = 9.5 \cdot 100 \frac{1}{2.7800} = 6 \text{ мм / с} = 21 \text{ м / год} .$$

Напруга на дузі [7]:

$$U_\delta = 20 + I_{3\phi} \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{el}}} \pm 1 , \quad (2.5)$$

$$U_\delta = 20 + 100 \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1.6}} \pm 1 = 24 \pm 1 \text{ В} .$$

Приймаємо $U_\delta = 24 \text{ В}$.

Визначаємо коефіцієнт форми провару [7]:

$$\psi = k'(19 - 0.01 \cdot I_{3\phi}) \frac{d_{el} \cdot U_\delta}{I_{3\phi}} , \quad (2.6)$$

$$\psi = 1(19 - 0.01 \cdot 100) \frac{1.6 \cdot 24}{100} = 7 .$$

Глибина проплавлення [7]:

$$h = 0.076 \sqrt{q_n \frac{1}{\psi \cdot V_{3\phi}}} , \quad (2.7)$$

$$q_n = I_{3\phi} \cdot U_{\phi} \cdot \frac{\eta}{V_{3\phi}}, \quad (2.8)$$

$$\eta = 0.85$$

$$q_n = 100 \cdot 24 \cdot \frac{0.85}{21} = 971.42 \frac{\text{Дж}}{\text{см}}$$

$$h = 0.076 \sqrt{\frac{971.42}{7 \cdot 21}} = 0.2 \text{ мм.}$$

Ширина шва [7]:

$$e = \psi \cdot h, \quad (2.9)$$

$$e = 7 \cdot 0.2 = 1.4 \text{ мм.}$$

Висота випуклості шва [7]:

$$q = (1.35 \dots 1.4) \frac{F_n}{e}, \quad (2.10)$$

$$q = 1.4 \cdot \frac{2}{1.4} = 2 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальну висоту шва [7]:

$$H = h + q, \quad (2.11)$$

$$H = 2 + 0.2 = 2.2 \text{ мм.}$$

Висота наплавленого металу [7]:

$$h_n = \sqrt{F_n}, \quad (2.12)$$

$$h_n = \sqrt{2} = 1.41 \text{ мм.}$$

Глибина проплавлення основного металу [7]:

$$h_0 = H - h_n, \quad (2.13)$$

$$h_0 = 2.2 - 1.4 = 0.8 \text{ мм.}$$

Швидкість подачі електродного дроту [6]:

$$V_{n.д.} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{3\phi}}{\pi \cdot d_{el}^2 \cdot \gamma}, \quad (2.14)$$

$$\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{n.д.} = \frac{4 \cdot 9.5 \cdot 100}{3.14 \cdot 1.6^2 \cdot 7800} \approx 60 \frac{\text{м}}{200}.$$

Розрахунки для режиму зварюванні переносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри режиму зварювання

Діаметр електродного дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Швидкість подачі дроту, м/год
1.6	100	24	21	60

2.4 Вибір і обґрунтування зварювального обладнання

Для забезпечення надійного живлення дуги джерело повинно подати відповідні технології струму та напругу, забезпечити стабільність горіння дуги при необхідній зовнішній характеристиці та стійке збудження дуги.

Для механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу та аргону використовуємо зварювальний напівавтомат типу TAVR MIG-350 (рисунок 2.2). Напівавтомат дозволяє зварювати стикові і кутові шви товщиною до 4 мм.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд зварювального напівавтомату типу TAVR MIG-350

Трифазний інверторний зварювальний напівавтомат TAVR MIG-350 для професійного використання побудований на біполярних транзисторах IGBT і призначений для напівавтоматичного зварювання як в середовищі захисних газів, так і без газу, і ручного дугового зварювання штучним електродом. Апарат живиться від трифазної мережі 3x380 В.

Модель TAVR MIG-350 має функцію підтримки чи зупинки дуги в автоматичному режимі, функцію продувки зварного шва газом після завершення процесу зварювання, має можливість повільної подачі зварювального дроту, що забезпечує легке запалення дуги.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика напівавтомата TAVR MIG-350RY [8]

Параметри	Величина
Напруга мереж живлення, В	3 x 380
Номинальна робоча напруга, В	36
Споживана потужність, кВт	14
Кількість роликів	4
Клас захисту	IP23
Період навантаження при 350А, %	60
Діаметр електродного дроту, мм	0,8-1,6
Напруга холостого ходу, В	60
Межі регулювання зварювального струму, А	50-350
Межі регулювання робочої напруги, В	15-36
Механізм подачі	відкритий
Габаритні розміри	570x285x470
Маса, кг	37+16

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика пальника BINZEL ABIMIG 350

Номинальний зварювальний струм, А	360
Діаметр електродного дроту, мм	1,0 – 1,6
Довжина шлангів, м	3
ПВ при максимальній силі струму, %	60

Даний зварювальний апарат має велику кількість особливостей, серед яких можна виділити такі:

- 1) низьке енергоспоживання порівняно з трансформаторними напівавтоматами.
- 2) низький рівень шуму під час роботи.
- 3) механізм подачі дроту має 4 ролика.
- 4) висока якість шва, мала кількість бризк, висока ефективність роботи.
- 5) велика кількість налаштувань зварювального струму.

Технічні дані напівавтомату TAVR MIG-350 подані в таблиці 2.3

Напівавтомат комплектуємо пальником типу BINZEL ABIMIG 350 для напівавтоматичного зварювання плавким електродом наведено в таблиці 2.4 [9].



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд пальника *ABIMIG 350*

2.5 Вибір методу контролю якості виробу

Для контролю якості зварних швів двутаврової гофробалки слід застосувати ті методи, які дадуть необхідну інформацію про дефекти та їх розташування. Для контролю зовнішніх дефектів у виробничих умовах використовують візуальний огляд під лупою та достатнім освітленням кваліфікованим контролером. Такий контроль дозволяє швидко виявити та при потребі усунути дефекти, а також зменшити кількість наступних складніших видів контролю [10].

Для даного виробу крім візуального методу може бути застосований ультразвуковий, магнітний та капілярний метод контролю, щоб визначити внутрішні дефекти.

Складність перевірки магнітним способом пов'язане з величиною виробу для проведення намагнічування та складність доступу. Контроль радіоактивним способом не завжди досяжний в умовах невеликого підприємства.

Для застосування ультразвукової дефектоскопії необхідно враховувати глибину знаходження дефекта. Раціонально буде застосування ехо-імпульсного способу якій використовує відпечатки хвиль ультразвуку від дефектів. Фіксуються при цьому сигнали відбитої хвилі, які будуть мати інший акустичний опір.

2.6 Опис вибраного техпроцесу виробу

Техпроцес виготовлення виробу складається з таких операцій:

- заготівельні;
- складально — зварювальні;
- опоряджувальні;
- допоміжні;
- контрольні.

Для отримання заготовок проводять такі операції: необхідно виконати такі операції:

- зачищення;
- правлення;
- розмічування;
- різання;
- гофрування.

Деталі двотаврової балки, з яких вона складається виготовляють з листового металу товщиною 2 та 16 мм.

Листи постачаються на підприємство заводом-виробником довжиною 12 м. Потім при допомозі допоміжного транспорту подається на дільницю розмічування. Після чого листи розрізають на гільйотинних ножицях моделі НЗ118(рис.2.4) згідно розмірів.



Рисунок 2.4 - Гільйотинні ножиці НЗ118

Технологічний процес виготовлення виробу з листів починається з підготовки листів, штампування та вальцювання.

Листовий прокат потребує правлення у такому випадку, коли металургійний завод постачає його у не правленому вигляді, а також коли деформації виникли при навантаженні, розвантаженні чи транспортуванні. Правлення здійснюється в холодному стані на листопрямильній машині STR 1512 з ЧПУ Galileo (рис.2.5).

Зачищення і підготовки поверхонь здійснюють перед правленням листів та після виготовлення виробу.

Зачищення та підготовки поверхонь деталей можна проводити механічними методами. Видалення забруднень, іржі і окалини проводять на зачисних верстатах, робочим органом яких є металеві щітки, фрези, шліфувальні круги.



Рисунок 2.5 – Листоправильна машина STR 1512 з ЧПУ Galileo

При необхідності проводять дробоструминеve зачищення в камерах, при цьому використовують чавунні і сталеві дробинки розміром 0,7...4 мм. Через камеру лист проходить в вертикальному положенні і очищаються з обох боків. Швидкість руху листа через очищувальну камеру декілька листів в хвилину.

Для складальної операції застосовуємо складально – зварювальне пристосування. Першочергово зварювальні роботи проводимо при прихвачуванні виробів на складальних стендах для забезпечення потрібного зазору між кромками.

Далі проводять прихоплення та ведуть зварювальні операції швів гофрованої ц строгій послідовності їх виконання. Інакше балка деформується, рис. 2.6.

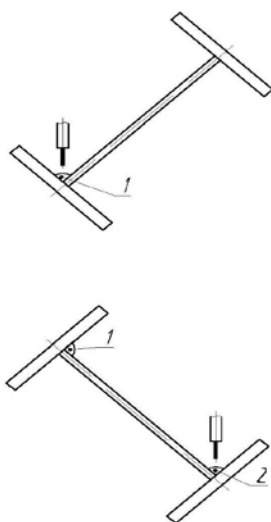


Рисунок 2.6 – Схема виконання зварних швів при виготовленні двотаврової гофрованої балки (1,2 – нумерація швів)

Після виконання зварювальних робіт проводимо зачищення швів, видалення металевих бризок з поверхні виробу. Для опоряджувальних операцій використовуємо як ручні так і механічні методи зачищення.

При виготовленні даного виробу до допоміжних операцій відносять:

- налагоджувальні;
- перевантажувальні;
- піднімально-транспортні операції;
- роботи з приймання і видавання інструменту, зварювальних матеріалів.

Перед початком зварювання проводимо налагоджувальні роботи з обладнанням, засипають флюс, початковий виліт електродного дроту з метою запобігання пор і поганого формування початку шва при зварюванні.

Контроль готової продукції проводиться в два етапи:

1 етап. Контроль зовнішнім оглядом (візуальний контроль), при якому виявляються дефекти зовнішньої частини шва. Додатково для точного виявлення зовнішніх дефектів від 1 мкм застосувати капілярний метод кольорової дефектоскопії через нанесення пенетранта та проявника, наприклад вітчизняного виробника ДП «КОЛОРАН», відповідно розробленої мною методики [11].

2 етап. Контроль ехо-імпульсним методом, при якому є можливість виявлення внутрішніх дефектів. За допомогою ультразвукового дефектоскопа NOVOTEST УД-3701.

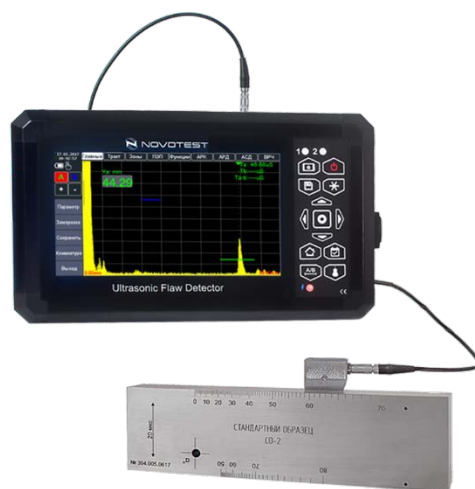


Рис. 2.7 – Зовнішній вигляд дефектоскопа NOVOTEST УД-3701

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок параметрів термічного циклу

Для досягнення високої продуктивності зварювання застосовують способи зварювання з підвищеними режимами зварювання. Одночасне підвищення сили струму та швидкості зварювання тягнуть ізотерми у довжину. Більш висока швидкість зварювання змінює швидкість охолодження окремих точок з'єднання, оскільки частина основного металу перед зварювальною ванною не встигає прогріватись дугою. Для прогнозу структури у зоні термічного впливу проводять розрахунки параметрів термічного циклу.

Для розрахунку використовуємо схему для джерела нагрівання у пластині, що має значну швидкість, [12], за відомою формулою:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{v \cdot \delta \cdot \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot c\gamma \cdot t}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t} - b \cdot t\right) + T_0 \quad (3.1)$$

δ - товщина пластини, см;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К;

$c\gamma$ – об'ємна теплоємність, Дж/см³ К;

y_0 - відстань від джерела до точки, см;

b – коефіцієнт температурної віддачі, $b = \frac{2 \cdot \alpha}{c\gamma \cdot \delta}$;

α – коефіцієнт теплообміну з поверхні до навколишнього середовища;

T_0 – початкова температура деталі, К.

Для виявлення ділянки максимальних температур проводимо розрахунок половини ширини зони максимального нагрівання, або параметра y_0 . Приймаємо для розрахунку

$$T_m = T_l = 1350^\circ\text{C}.$$

$$T_m(y_0) = \frac{0,484 \cdot q}{c\gamma \cdot \delta \cdot v \cdot 2 y_0} \quad (3.2)$$

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \kappa(T_m - T_0)} \quad (3.3)$$

Розрахунки ведемо для таврового зварного з'єднання.

Отже,

$$y_0 = \frac{0.484 \cdot q}{2 \cdot \delta \cdot c\gamma \cdot \kappa(T_m - T_0)} = 0,4 \text{ см}$$

Вихідні дані для розрахунку:

коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см ² с К	0,00188
коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К	0,4
об'ємна теплоємність, Дж/см ³ К	5,0
температура нагрівання, °С	1350
початкова температура виробу, °С	20
коефіцієнт температуропровідності,	0,08
величина струму дуги, А	100
напруга на дузі, В	24
ефективний коефіцієнт нагрівання	0,8
ефективна теплова потужність джерела	1267
миттєва швидкість охолодження, град/с	18,62
швидкість зварювання, см/с	0,58
товщина пластин, що зварюються, см	0,2

Проведемо розрахунок для зварювання таврового зварного з'єднання за виразом (3.1) у табличній формі. Результати представлені у таблиці 3.1 та рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку нагрівання та охолодження для стикового зварного з'єднання

Час, с	1	3	5	10	50	100	200
T, °С	811	755	707	616	328	210	114

Розрахунок термічного циклу проведено для ділянки перегріву ЗТВ, де відбувається негативні явища роста зерна та знеміцнення.

3.2 Аналіз очікуваних структур та властивостей зони термічного впливу

Прогнозування структури металу на ділянках зони термічного впливу здійснюємо для ділянки перегріву діаграмою розпаду аустеніту для даної групи сталей. Умовами розрахунку було визначено температуру максимуму термічного циклу 1350 °С. На діаграмі представлені орієнтовні числа твердості та лінії феритного, перлітного та мартенситного перетворення. Аналіз змін проводиться нижче температури A_{c3} . На дану діаграму було накладено термічний цикл охолодження металу (рис. 3.1).

Термічний цикл зварювання запропонованої технології та режимів зварювання дає можливість прогнозувати перлітно-феритно структуру, що структура після зварювання знаходиться у перлітно-феритній зоні діаграми розпаду аустеніту, див. рис. 3.2. Враховуючи, вищу швидкість охолодження при зварюванні таврових ЗЗ ніж у стикових (див. рисунок 3.1) та дані розрахунку швидкості охолодження 18,6 град./с у структурі можливе утворення деякої кількості перлітної стуртури – трооститу. Такі перетворення дещо можуть підвищити твердість на 20-30 одиниць (середні значення твердості для даної сталі близько HB130), залежно від спадкової зернистості сталі.

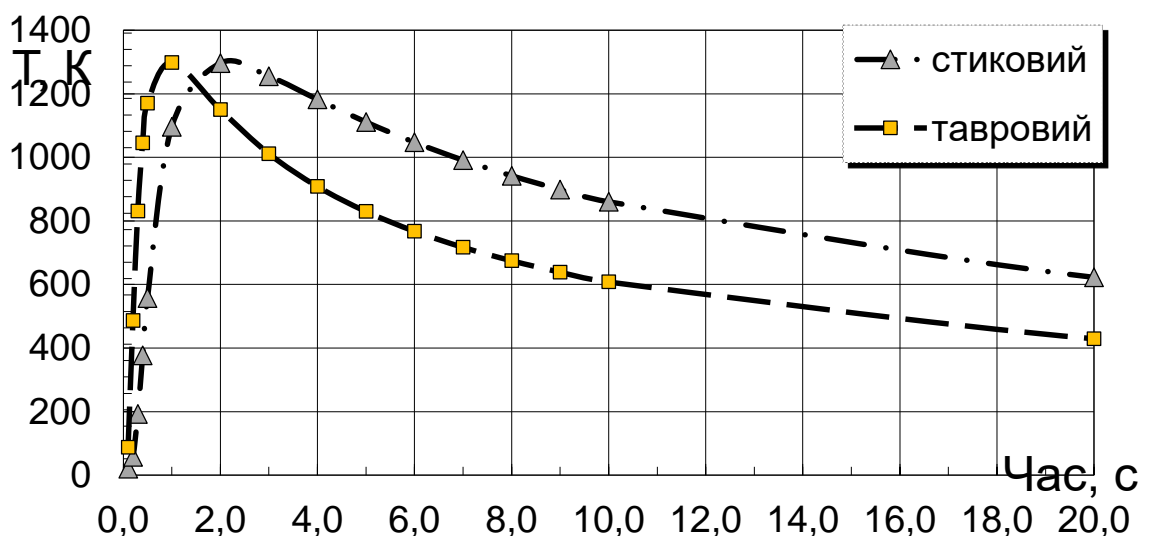


Рисунок 3.1 - Термічний цикл для таврового ЗЗ

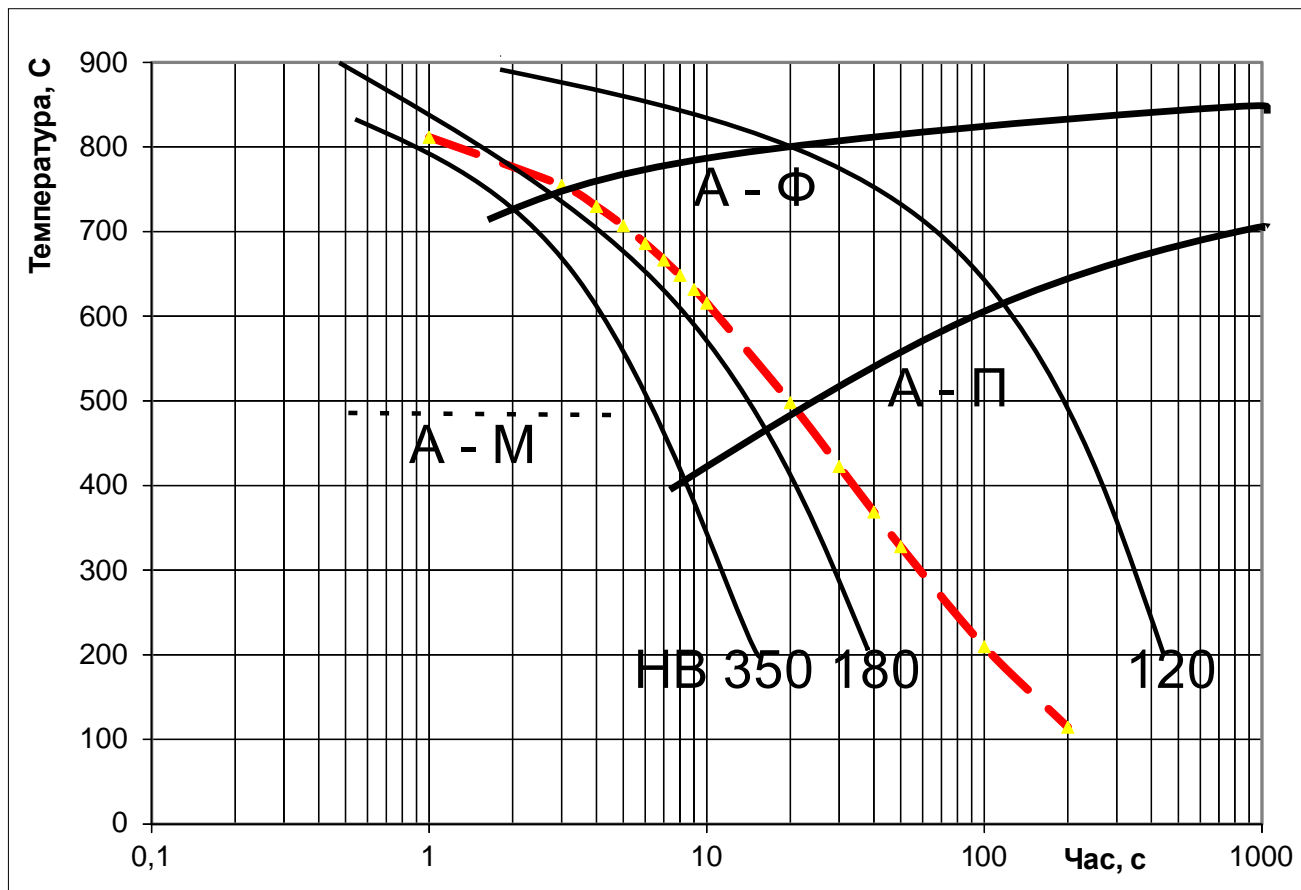


Рисунок 3.2 – Термокінетична діаграма розпаду переохолодженого аустеніту для аналога сталі С255 та термічний цикл для таврового з'єднання

В цілому прогнозована феритно-перлітна структура при заданих параметрах режиму зварювання володіє достатніми механічними властивостями: міцністю, пластичністю та твердістю та стійка до утворення гарячих тріщин.

3.3 Методика проведення досліджень за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5

На сьогоднішній день, для створення та виведення на ринок ефективної, конкурентноспроможної будівельної продукції, необхідно, першочергово, забезпечити високий рівень задоволення даною продукцією умов, зазначених в нормативній документації держави, а також основних вимог ймовірних замовників, з огляду на тенденції й потреби ринку. З'являється потреба у можливості попереднього моделювання, дослідження й отримання оцінки роботи в умовах реальності

конструкції або матеріалу, який розробляється. Проведення попередніх випробувань за допомогою прототипів і натурних моделей – надзвичайно трудомістка та затратна справа. Проте, завдяки розвитку комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, виникла можливість вирішення різноманітних проектних завдань, розрахунку напружено-деформівного стану, моделювання технологічних процесів за допомогою інструментів комп'ютерного інженерного аналізу, які працюють на основі методу скінчених елементів (МСЕ).

У сучасній науковій діяльності широко використовується велика кількість різноманітних розрахункових програмних комплексів, кожен з яких, володіє певними перевагами й недоліками, а також ефективністю застосування в певній галузі. Для виконання дипломної роботи, було прийнято рішення виконувати проектний розрахунок фізичної моделі балки з тонкою гофрованою стінкою, під дією рівномірно розподіленого, статичного навантаження, за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5. Даний програмний пакет вважається одним із найбільш передових та універсальних розрахункових комплексів які дозволяють проводити побудову моделі як в середовищі програми та і в здійснювати її імпорт з відомих CAD систем.

3.3.1 Створення твердотільної моделі балки з гофрованими стінками

Для розроблення моделі балки з гофрованими стінками, було використано графічний пакет AutoCAD 2013, який володіє потужними засобами для моделювання конструкцій та створення об'єктів у двовимірному та тривимірному просторах і є більш зручним під час побудови 3D об'єктів, у порівнянні з середовищем ANSYS Workbench 14.5. Створення 3D моделі відбувалось у наступній послідовності:

1. Відповідно до прийнятих геометричних параметрів балки, в середовищі AutoCAD 2013, за допомогою звичайних інструментів побудови ліній, створено креслення поясу та обрису гофрованої стінки, спроектоване на двовимірній площині;

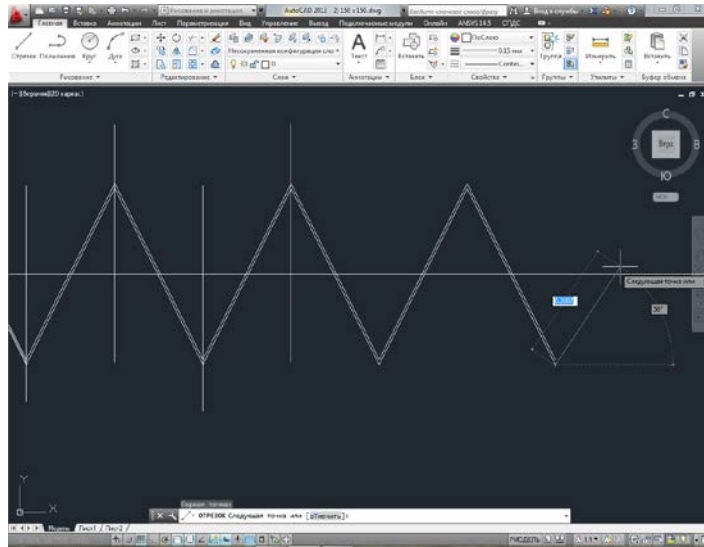


Рисунок 3.3 – Створення двовимірного креслення обрису гофрованої стінки

2. Виконується об'єднання складових ліній елементів балки (поясів, обрису гофрування, торцевих елементів) в полілінію (рис. 3.4);

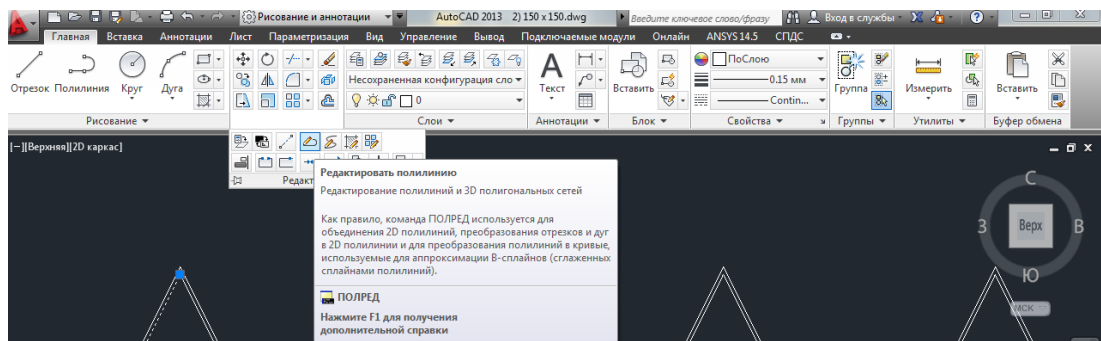


Рисунок 3.4 – Об'єднання ліній в полілінійний елемент

3. Перехід із середовища «Креслення та створення анотацій» в середовище «3D моделювання» (рис. 3.5);

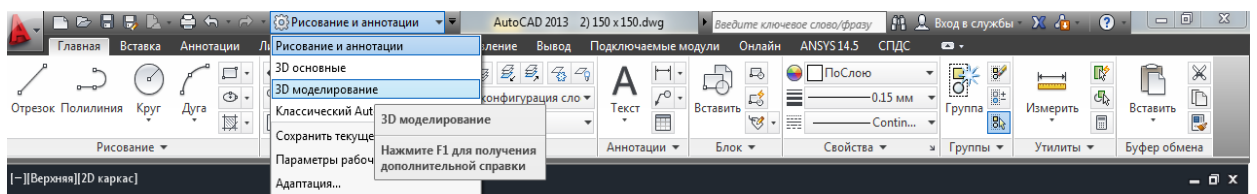


Рисунок 3.5 – Вхід в середовище 3D моделювання

4. За допомогою інструменту «Витиснення» надається об'єм елементам балки. Для поясів, відповідно до попередньо прийнятих геометричних розмірів складових частин балки, здійснюється витискання на 12 мм, елементів гофрування – 150 мм, торцева пластина – 20 мм (рис. 3.6).

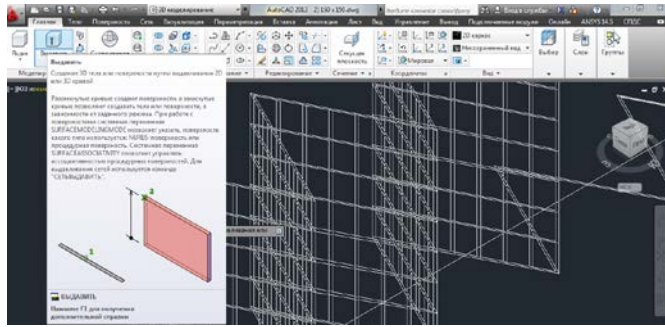


Рисунок 3.6 – Надання об'єму двовимірним елементам балки

5. Після створення повномасштабної, твердотільної моделі досліджуваної балки, потрібно її правильно розташувати в просторі. Ця дія є необхідною для правильного розрахунку експортованої моделі в середовищі ANSYS Workbench 14.5. Модель розташовуємо таким чином: вісь x – направлена по ширині; вісь y – по висоті, вісь z – по довжині балки.
6. Здійснення експортування моделі (рис. 3.8) у формат ACIS (*.sat);

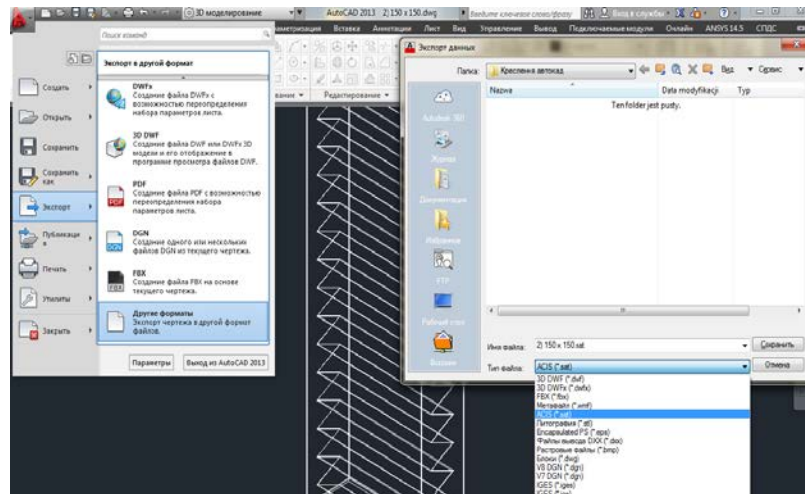


Рисунок 3.8 – Створення файлу моделі у форматі ACIS (*.sat)

7. Збереження експортованого файлу для подальшого використання в середовищі ANSYS Workbench 14.5 (рис. 3.9).

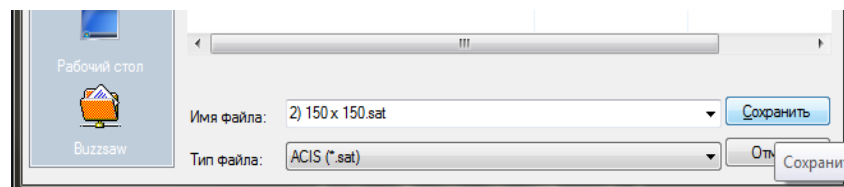


Рисунок 3.9 – Збереження файлу моделі у форматі ACIS (*.sat)

3.3.2 Розрахунок напружено-деформівного стану гофрованої балки за допомогою ANSYS Workbench 14.5

Розрахунок в середовищі ANSYS Workbench 14.5 включає в себе 4 основні етапи:

- вибір матеріалу конструкції та задання його властивостей;
- створення геометричної моделі досліджуваного об'єкта;
- генерація сітки скінченних елементів і задання необхідних параметрів для проведення симуляції;
- розв'язок та подання результатів обчислення.

Під час проведення розрахунку напружено-деформівного стану гофрованої балки використовувався модуль «Static structural» (рис. 3.10). Ця частина програмного комплексу ANSYS дозволяє визначити переміщення, напруження, деформації та зусилля в конструкціях, від навантажень, які не викликають значних інерційних та амортизуючих ефектів. Використовуються стабільні, повільно змінювані у часі умови задання навантажень. Розрахунки, проведені за допомогою даного модуля, відповідають реальним умовам роботи балки з тонкою гофрованою стінкою.

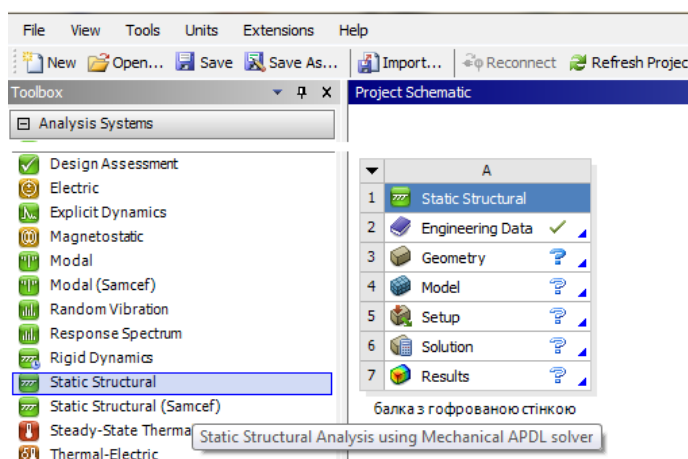


Рисунок 3.10 – Вибір модуля «Static structural»

Наступним кроком є вибір матеріалу та задання його властивостей. Як зазначалося раніше, для виготовлення стінки та поясів гофрованої балки, використовують сталь С255, розрахунковий опір якої, відповідно до табл. Г.2

ДБН В.2.6-198:2014, становить 250 МПа. В блоці статичного аналізу вибираємо пункт «Engineering Data», вибравши матеріал «Structural steel» задаємо її характеристики міцності (рис. 3.11) на розтяг і стиск (250 МПа).

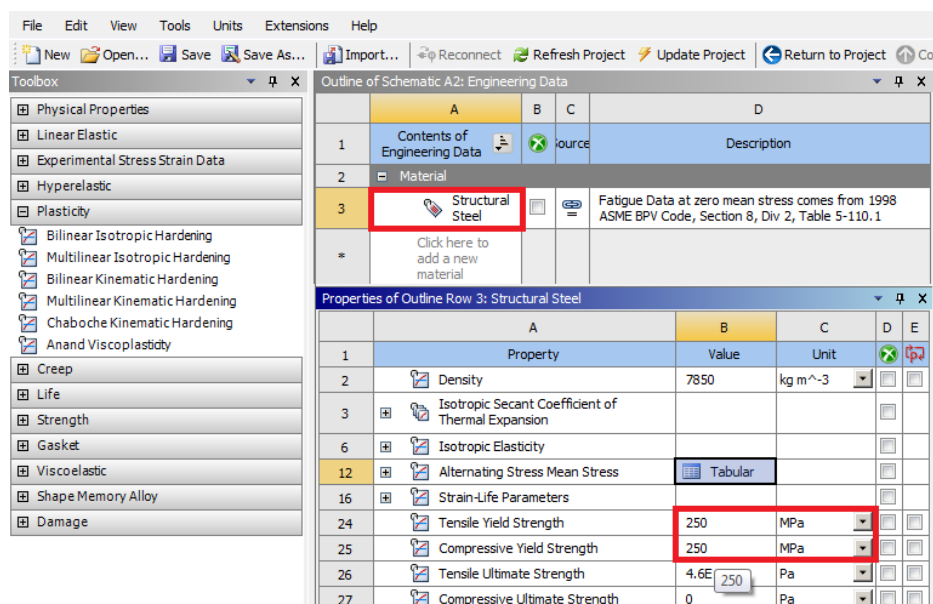


Рисунок 3.11 – Задання властивостей сталі C255

Створюємо геометричну модель, шляхом експортування збереженого заздалегідь файлу, формату ACIS (*.sat). Для цього вибираємо на блоці статичного аналізу пункт «Geometry». У вікні «Design modeler», вибираємо шлях для імпорту потрібної нам моделі і здійснюємо її вставлення (рис. 3.12).

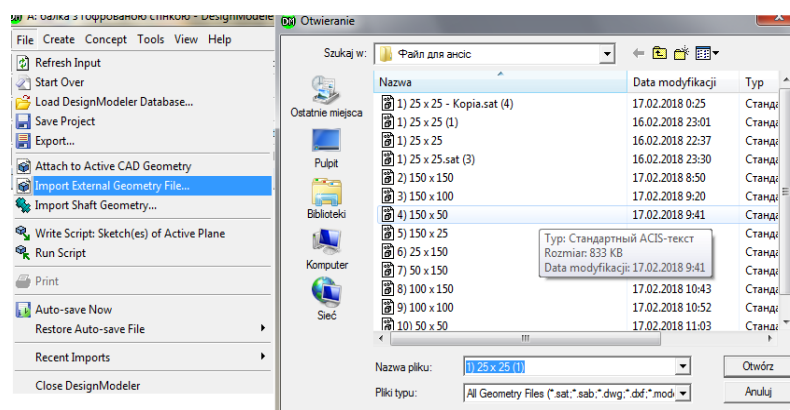


Рисунок 3.12 – Імпорт геометричної моделі

Для того, щоб в подальших розрахунках мати можливість правильно закріпити балку, створюємо точку, посередині нижньої грані торцевого елемента. Для цього обираємо на панелі інструментів «Point», у вікні деталей зазначаємо тип «Point load», вказуємо нижню грань та нижній торець пластини, розміщеної на

краю балки, а також зазначаємо кількість $N = 3$. Таким чином буде створено 3 точки на нижній грані, одна з яких буде розміщуватися в місці її середини (рис. 3.13).

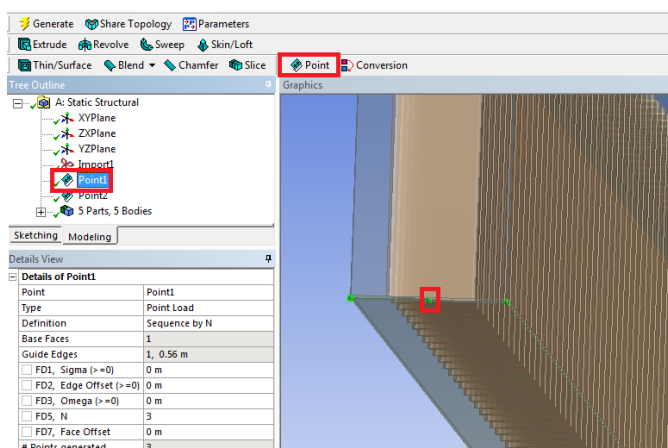


Рисунок 3.13 – Створення точок на торцевому елементі балки

Закривши вікно «Design modeler», відкриваємо пункт «Model». У даному вікні, здійснюємо поділ геометричної моделі на скінченні елементи, задаємо умови закріплення, тип і величину навантаження, а в кінці розрахунку отримуємо результати. Для створення сітки скінченних елементів, обираємо пункт «Mesh», вказуємо мінімальний розмір складових елементів і вибираємо пункт «Generate Mesh» (рис. 3.14).

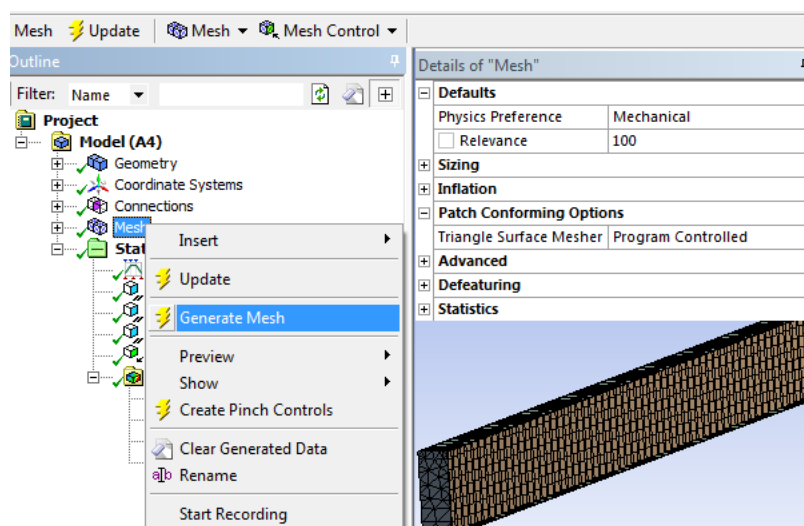


Рисунок 3.14 – Створення сітки скінченних елементів

Задаємо умови закріплення балки з гофрованою стінкою, який відповідатиме способу закріплення, з одного боку балки шарнірно-нерухомому, а з іншого – шарнірно-рухомому:

- В розділі «Static structural» обираємо пункт «Supports», підпункт «Displacement», в якому забороняємо переміщення по осі x , z для точки, розміщеної посередині нижньої грані з лівої сторони (рис. 3.15).
- Створюємо ще два підпункти «Displacement», в одному обираємо точку, розміщену посередині нижньої грані з правої сторони і забороняємо їй переміщення вздовж осі x , в іншому обираємо нижні грані крайніх елементів балки і забороняємо їм переміщення вздовж осі y .

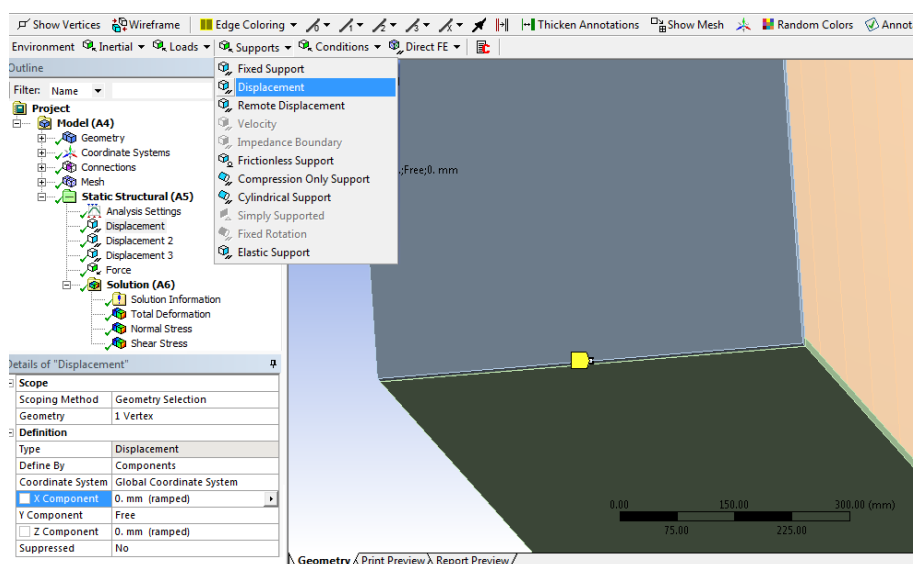


Рисунок 3.15 – Задання умов закріплення балки з гофрованою стінкою

Прикладаємо навантаження до верхнього поясу гофрованої балки, вибравши в розділі «Static structural» пункт «Loads», підпункт «Force». В даному підпункті обираємо площину, напрямок і величину прикладеного навантаження (рис. 3.16).

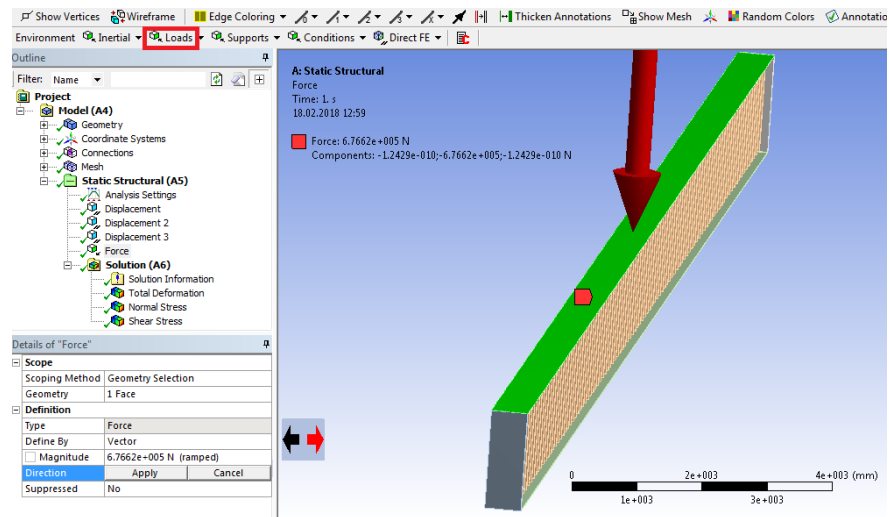


Рисунок 3.16 – Задання навантаження

Щоб отримати результати, необхідні для проведення дослідження впливу конфігурації гофрування стінки на напружено-деформівний стан балки, довжиною 30 м, в пункті «Solution» обираємо підпункти «Total deformation» (рис. 3.17), «Normal stress» із зазначенням осі z, «Shear stress» із зазначенням осей yz (рис. 3.18). Опісля завершення розрахунків, результати будуть висвітлені у даних пунктах.

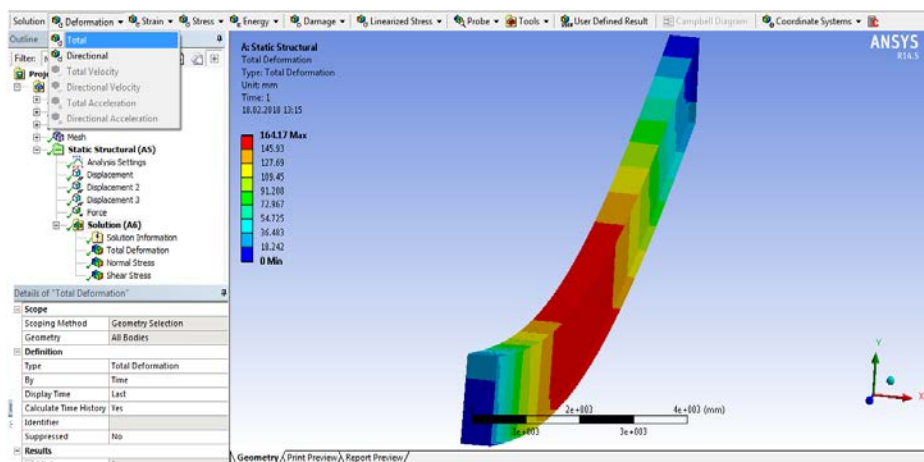


Рисунок 3.17 – Виведення результатів обчислення сумарних деформацій

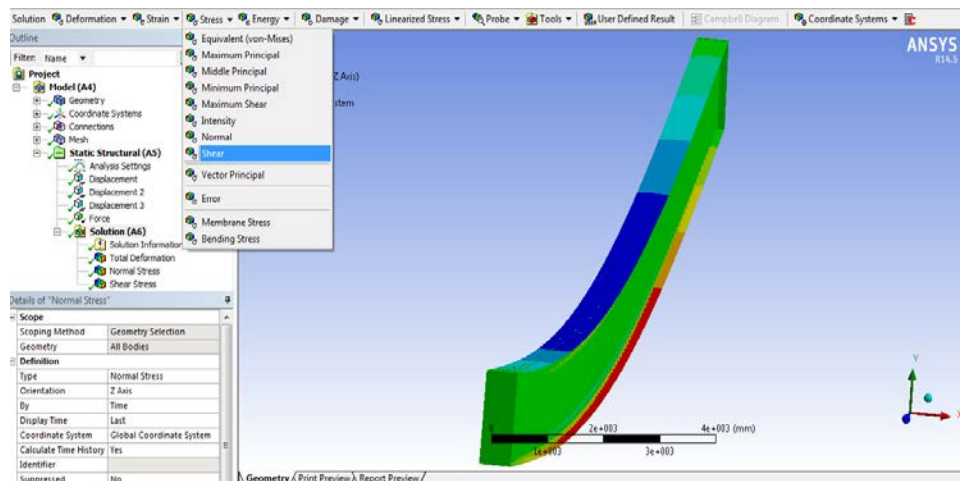


Рисунок 3.18 – Виведення результатів обчислення дотичних напружень

3.4 Дослідження впливу сітки скінченних елементів на результат розрахунку напружено-деформівного стану гофрованої балки

Теоретичну основу програмного комплексу ANSYS становить МСЕ – потужний засіб, розроблений для чисельного розв’язування складних проблем в сфері механіки конструкцій, будівельної механіки, опору матеріалів. У МСЕ структурна модель конструкції записується у вигляді набору відповідних скінченних елементів, взаємопов’язаних у дискретних вузлах та точках. Цим елементам можна присвоювати певні фізичні властивості.

Для ефективного моделювання напружено-деформівного стану, за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5, необхідно згенерувати спеціальну сітку для поділу моделі на скінченні елементи, які володітимуть фізичними властивостями. Для створення сітки скінченних елементів, тобто для поділу моделі балки з гофрованою стінкою на маленькі розрахункові сегменти, використовується інструмент «Mesh».

В залежності від кількості та розмірів скінченних елементів можна отримати результати різної точності. Збільшення кількості частинок в сітці чи зменшення їх розмірів призводить до підвищення точності результатів, проте, також, спричиняє збільшення трудомісткості обчислень, витрат часу на проведення розрахунків.

Для визначення оптимальної дискретизації сітки скінченних елементів, проведено порівняння отриманих результатів, в залежності від густини створеної сітки. Результати внесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Залежність результатів від дискретизації сітки скінченних елементів

		Розмір елемента сітки скінченних елементів, мм						
		250	300	350	400	450	500	750
Результати	σ_z , МПа	249,84	249,53	247,64	246,62	246,62	245,3	241,34
	τ_{yz} , МПа	72,06	67,56	65,76	66,90	66,90	66,92	65,65
	δ_{tot} , мм	104,17	103,62	101,13	100,49	100,49	99,70	97,46

У зв'язку з великою довжиною балки, яка становить $L = 10$ м, поділ на дрібні елементи спричинить велике збільшення тривалості проведення розрахунків. З іншого боку, занадто грубе розбиття може призвести до великих похибок. Відповідно отриманих даних, розмір сітки скінченних елементів має вплив на отримані результати (рис. 3.19).

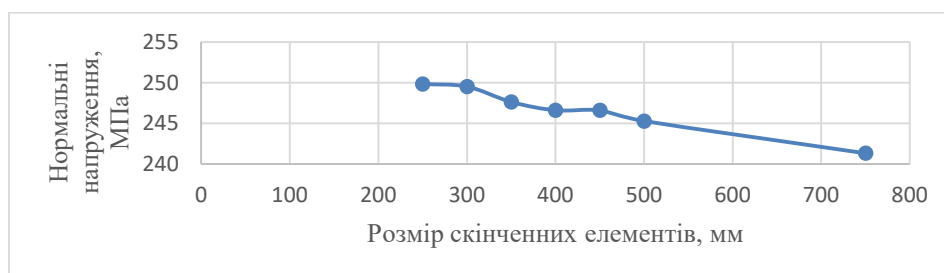


Рисунок 3.19 – Графік залежності між нормальними напруженнями σ_z та розмірами елементів сітки

Для подальшого моделювання, напружено-деформівного стану балки з тонкою гофрованою стінкою, приймаємо мінімальний розмір сітки скінченних елементів 250 мм (рис. 3.20).

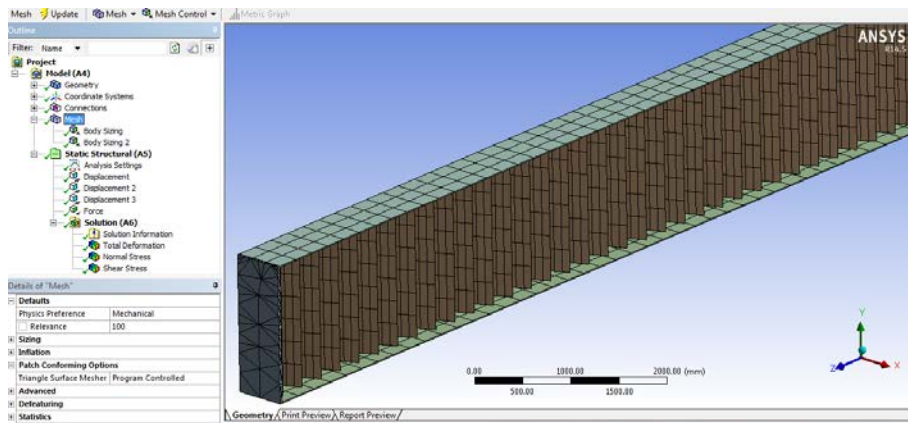


Рисунок 3.20 – Генерація сітки скінченних елементів

Отже, визначення напружено-деформівного стану, гофрованих балок з різною конфігурацією та геометричними параметрами гофрування, виконують за допомогою аналітичних розрахунків та комп'ютерного моделювання, використовуючи метод скінченних елементів. Через складність поверхні гофрування досить важко отримати дуже точні результати за допомогою лише формул і математичного аналізу. Натомість, моделювання з використанням сучасних програмних комплексів, дозволяє провести більш глибокі дослідження, проаналізувати розклад напружень і деформацій в перерізі елемента, розглянути вплив гофрування на розклад внутрішніх зусиль в балці.

За допомогою аналітичних формул, виконано попередній підбір і компонування складових частин балки: гофрованої стінки та поясів. Підбір виконувався з огляду на вплив навантажень від елементів покриття, які використовуються для будівництва великопролітних, промислових споруд, а також від снігового навантаження, найбільшого за значенням для території нашої держави. Для проведення дослідження обрано чотири основні типи обрису гофрування: хвилясте, трикутне, прямокутне, трапецієвидне. Визначено залежності між геометричними параметрами гофрування та місцевою стійкістю балки. Використовуючи аналітичні методи розрахунку, виконано перевірки умов міцності, місцевої та загальної стійкості, а також допустимих деформацій.

Зважаючи на отримані результати аналітичного розрахунку, для виконання комп'ютерного моделювання, прийнято наступні геометричні розміри балки з гофрованою стінкою: висота стінки $h_w = 150$ мм, товщина стінки $t_w = 4$ мм, товщина поясу балки $h_f = 12$ мм, ширина поясу $b_f = 560$ мм, загальна висота балки $h = 1524$ мм.

Виконано моделювання та проведено дослідження напружено-деформівного стану, за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench 14.5. Визначено вплив сітки скінченних елементів на точність отриманих результатів.

3.5 Дослідження впливу геометричних параметрів гофрування на напружено-деформівний стан балки із синусоїдною конфігурацією гофрів

Гофрована балка із хвилястим обрисом гофрування вважається найбільш ефективною. Компанія «Zeman Bauelemente», головний розробник технологічної лінії виготовлення балок з гофрованою стінкою, пропонує споживачам хвилясту конфігурацію гофрів.

Через складність та криволінійність обрису гофрування, моделювання балки, довжиною 10 м, утруднене за умови використання звичайної комп'ютерної техніки. Тож, було необхідно зменшити розміри балки з хвилястим обрисом гофрування. Для проведення дослідження було створено 7 моделей балок, з тонкою гофрованою стінкою, довжиною 3 м. Основні геометричні характеристики перерізу, з огляду на проліт балки, визначалися наступним чином: висота балки становитиме від $h_w = 1/12 \cdot L$ до $h_w = 1/30 \cdot L$, приймаємо $h_w = 0,6$ м. Ширина поясу балки лежатиме в межах від $b_f = 1/3 \cdot h_w$ до $b_f = 1/3 \cdot h_w$, з огляду на вказані межі, приймаємо $b_f = 0,15$ м. Товщина стінки становитиме $t_w = 1$ мм. Навантаження приймаємо, рівномірно розподілене, із значенням 4000 кг. Крок та висоту гофрування прийнято такими, які відповідатимуть розмірам, використаним для моделювання балки прольотом 10 м:

крок гофрування $a = 37,5$ мм, $f = 37,5$ мм;

$a = 37,5$ мм, $f = 25$ мм; $a = 37,5$ мм, $f = 12,5$ мм; $a = 25$ мм, $f = 25$ мм; $a = 12,5$ мм, $f = 12,5$ мм; $a = 12,5$ мм, $f = 37,5$ мм; $a = 25$ мм, $f = 37,5$ мм. Отримані результати записано у таблиці 3.2.

Для узагальнення отриманих результатів стосовно напружено-деформівного стану балок з прямокутною конфігурацією гофрування стінки, створено 2 графіки, на яких відображається зміна нормальних напружень (рис.3.21), дотичних напружень (рис. 3.22) та діаграма загальних деформацій (рис. 3.23) в залежності від параметрів кроку та висоти гофрування.

Таблиця 3.3 – Залежність напружено-деформованого стану балки від розмірів синусоїдального гофрування

№	Крок a, мм	Висота f, мм	Нормальні напруження σ_z , [МПа],	Дотичні напруження τ_{yz} , [МПа],	Загальні деформації f_{tot} , [мм]
1	37,5	37,5	228,13	65,11	1,21
2	25	25	226,89	63,28	1,13
3	12,5	12,5	224,11	60,97	1,04
4	37,5	25	227,38	58,32	1,06
5	37,5	12,5	224,67	62,16	1,01
6	12,5	37,5	235,32	112,52	1,32
7	25	37,5	230,18	76,93	1,28

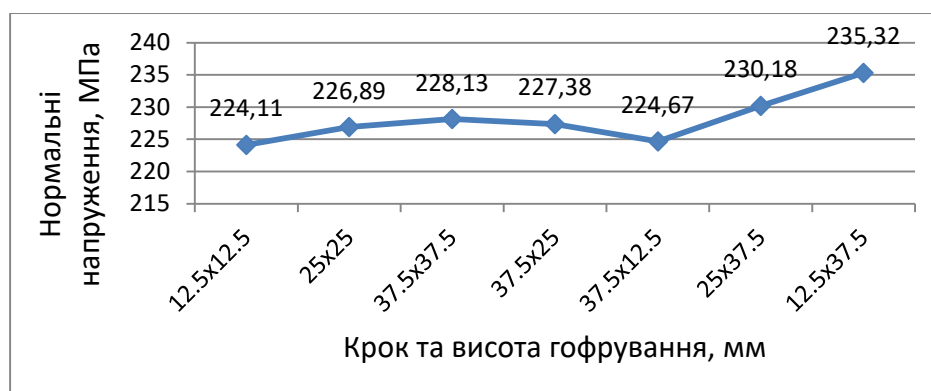


Рисунок 3.21 - Графік залежності максимальних нормальних напружень від геометричних параметрів хвилястого гофрування

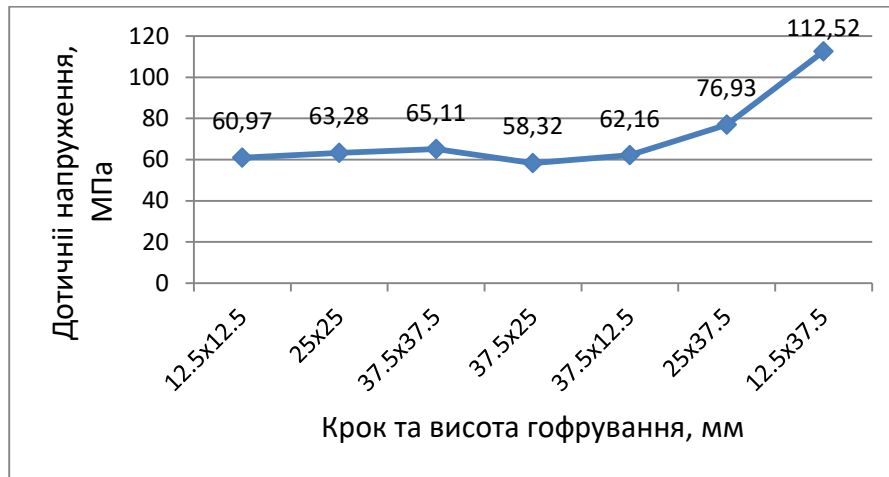


Рисунок 3.22 - Графік залежності максимальних дотичних напружень від геометричних параметрів хвилястого гофрування



Рисунок 3.23 – Графік залежності загальних деформацій від геометричних параметрів хвилястого гофрування

Як бачимо із наведених рисунків, найменші нормальні напруження виникають у балках із поєднанням найбільшого кроку та найменшої висоти гофрування, мінімальні дотичні напруження виникають при найбільшому кроці і середньому значенні висоти гофрування. Найменші деформації спостерігаються при великому кроці та малій висоті гофрів.

Судячи з цього хвилеподібний обрис гофрування, під час моделювання та розрахунку, вимагає надзвичайно дрібного розбиття сітки скінченних елементів. Внаслідок цього, немає можливості змоделювати роботу балки, довжиною 10 м, у її натурних розмірах. Для вивчення напружено-деформівного стану гофрованої

балки з хвилястою конфігурацією гофрування, було створено зменшену модель, довжиною 3 м із зменшеним співвідношенням кроку та висоти гофрів.

На основі проведених досліджень, отримані результати свідчать про дуже схожий розподіл напружено-деформівного стану в тілі елемента балки з хвилястою конфігурацією стінки, як і у інших обрисів гофрування. Найефективнішим розміром синусоїдного гофрування, з огляду на отримані результати, визнано розмір кроку 37,5 мм, висоту гофрування 12,5 мм, що у еквіваленті до розмірів довжини досліджуваної балки, довжиною 10 м, відповідають кроку 150 мм та висоті гофрування 50 мм.

Завдяки більш хвилеподібному профілю зменшуються концентратори напруження та підвищується в цілому надійність та несуча здатність конструкції.

3.6 Розрахунок зварних з'єднань на міцність гофрованої балки

Основною умовою при проектуванні зварних конструкцій деталей є забезпечення рівномірності зварних швів та з'єднаних елементів деталей. У більшості випадків на практиці розміри зварних швів та тип їх визначаються за формою та конструкцією деталей. Тому розрахунок зварних з'єднань в основному виконують як перевірний.

Мінімальний катет шва розраховуємо за формулою [6]:

$$K = \frac{S_b}{2}; \quad (3.4)$$

де S_b - товщина вертикальної стінки балки (рис.1.1), $S_b = 2\text{мм}$.

$$K = \frac{0.002}{2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1\text{мм}.$$

З конструктивних міркувань збільшимо катет шва. Приймаємо $K = 2\text{мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

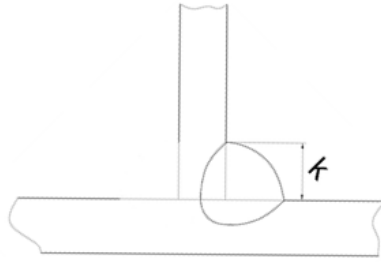


Рисунок 3.24 – Схема для перевірного розрахунку зварних швів балки двотаврової

В нижніх поясних швах діють дотичні напруження [7]:

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S}{1.4 \cdot I_{ym} \cdot K}; \quad (3.5)$$

де: Q_{\max} - максимальна перерізуюча сила, $Q_{\max} = 400 \text{кН}$,

S - статичний момент перерізу верхньої кромки пояса[6]:

$$S = B_{\Gamma} \cdot S_{\Gamma} \frac{h_1}{2}; \quad (3.6)$$

де B_{Γ} - ширина горизонтального листа, $B_{\Gamma} = 200 \text{мм}$,

S_{Γ} - товщина горизонтального листа $S_{\Gamma} = 14 \text{мм}$,

h_1 - відстань між осями поясів балки; $h_1 = 586$

$$S = 0.2 \cdot 0.014 \frac{0.586}{2} = 8.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

I_{ym} - уточнений момент інерції балки визначається за формулою [7]:

$$I_{ym} = \frac{s_b \cdot h^3}{12} + 2 \left[\frac{B_{\Gamma} \cdot S_{\Gamma}^3}{12} + B_{\Gamma} \cdot S_{\Gamma} \left(\frac{h_1}{2} \right)^2 \right]; \quad (3.7)$$

де s_b - товщина вертикальної стінки балки, $s_b = 2 \text{мм}$.

h - висота стінки балки, $h = 572 \text{мм}$.

$$I_{ym} = \frac{0.002 \cdot 0.572^3}{12} + 2 \left[\frac{0.2 \cdot 0.014^3}{12} + 0.2 \cdot 0.014 \left(\frac{0.586}{2} \right)^2 \right] = 7.071 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Тоді:

$$\tau = \frac{0.4 \cdot 8.2 \cdot 10^{-4}}{1.4 \cdot 7.071 \cdot 10^{-4} \cdot 0.006} = 16.56 \text{ МПа}.$$

У верхніх поясних швах до вирахованих напружень τ – додають напруження від зосередженої сили $p = 40 \text{кН}$ [7]:

$$\tau_p = \frac{n_k \cdot p}{1.4 \cdot Z \cdot K}; \quad (3.8)$$

де: n_k – коефіцієнт який залежить від обробки верхнього листа і прийmemo $n_k = 0.4$,

Z - умовна довжина на якій зосереджений вантаж [7]:

$$z = 3.25 \sqrt[3]{\frac{J_{II}}{S_g}}, \quad (3.9)$$

де J_{II} - момент інерції поясу [7]:

$$J_{II} = \frac{S_{\Gamma}^3 B_{\Gamma}}{3}, \quad (3.10)$$

$$J_{II} = \frac{0.014^3 \cdot 0.2}{3} = 1.83 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Тоді:

$$z = 3.25 \sqrt[3]{\frac{1.83 \cdot 10^{-7}}{0.002}} = 0.146 \text{ м}.$$

Таким чином дотичні напруження у верхніх швах набудуть вигляду:

$$\tau_p = \frac{0.4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{1.4 \cdot 0.146 \cdot 0.006} = 39.138 \text{ МПа}.$$

Надійність зварних швів перевіряємо за формулою [7]:

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau^2 + \tau_p^2} \leq [\tau] = 0.65[\sigma]'; \quad (3.11)$$

$[\sigma]'$ - допустимі напруження розтягу, для зварного шва, в нашому випадку

$$[\sigma]'_p = 140 \text{ МПа},$$

$[\tau]$ - допустимі дотичні напруження, для зварного шва,

$$[\tau] = 0.65[\sigma]'_p = 91 \text{ МПа}.$$

$$\tau_{рез} = \sqrt{16.5^2 + 39.13^2} = 42.46 \text{ МПа} < [\tau] = 91 \text{ МПа}.$$

Надійність зварних швів забезпечується.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок ланцюгового кантувача

Для повертання на 360° довгих балок з квадратним або близьким профілем під час складально-зварювальних робіт призначений ланцюговий кантувач [13].

Ланцюговий кантувач (рис. 4.1) складається з декількох, розміщених на рівних відстанях на загальній рамі 9, опорних стояків 6, кожен з яких обладнаний трьома ланцюговими блоками 1, 4, 7. Через ці блоки перекинуто замкнутий нескінчений ланцюг 2. У верхній своїй частині ланцюг утворює вільну провисаючу петлю - гніздо. В ці петлі - гнізда укладається зварювана балка 3. Один з верхніх блоків виконаний у вигляді ведучої ланцюгової зірочки 4. Оскільки ведучі зірочки усіх стояків з'єднані загальним приводним валом 5, то при обертанні цього вала ланцюги на всіх стояках кантувача здійснюють синхронний рух. Укладена на них балка перекочується по ланцюгам і повертається навколо своєї горизонтальної осі. Спрямування ланцюга в нижній блок 7 здійснюється за допомогою напрямного жолоба 8, який запобігає зіскакуванню ланцюга з блоку.

Привід пристосування виконують через холості верхні та привідні нижні зірки через привідний вал від електродвигуна. Для розміщення виробу у кантувачі застосовують мостові крани чи лебідки [13].

Для розрахунку пристрою схема навантаження опорного стояка показана на рисунку 4.2. Кут обхвату квадратного профілю виробу α_0 створений двома вітками ланцюгів, коли вони натягнуті. Максимальна сила спостерігається при $\alpha_0 = 180^\circ$

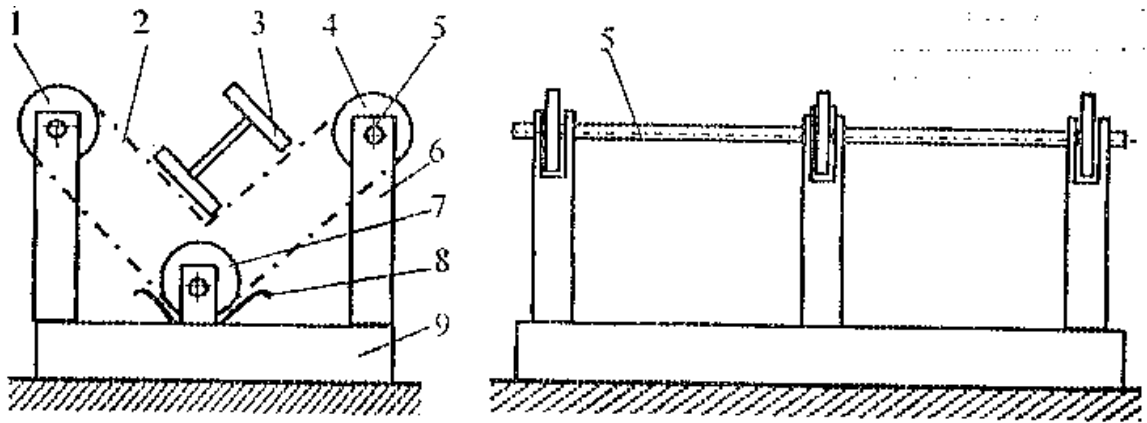


Рисунок 4.1 – Загальна схема ланцюгового кантувача

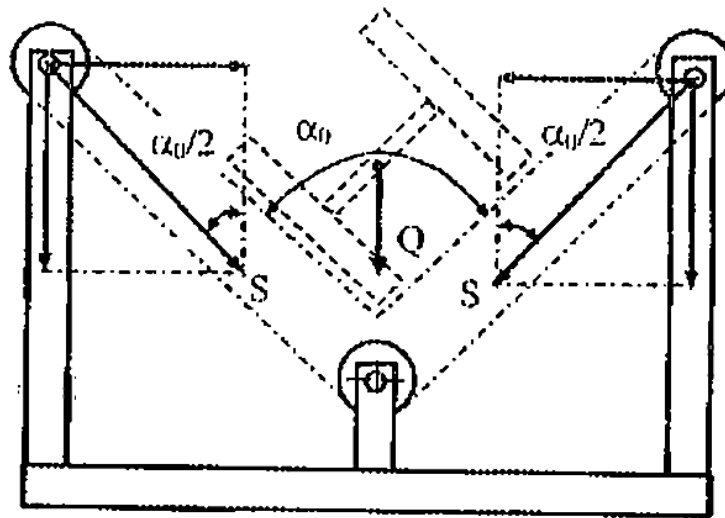


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема ланцюгового кантувача

Сумарна сила натягування ланцюгів P_0 в залежності від ваги виробу Q та кута обхвату α_0 рівна [13].

$$P_0 = \frac{Q}{2 \cos \frac{\alpha_0}{2}} \quad (4.1)$$

$$Q = l \cdot F \cdot \rho \quad (4.2)$$

де l - довжина балки, $l = 10\text{м}$;

F - площа поперечного перерізу:

$$F = 2 \cdot (14 \cdot 10^{-3} \cdot 0.02) + 0.008 \cdot 0.572 = 5.14 \cdot 10^{-3} \text{м}^2;$$

ρ - густина металу; $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$Q = 10 \cdot 5.14 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 = 400.608 \text{кг.}$$

$$P_0 = \frac{400.6}{2 \cos \frac{70^\circ}{2}} = 244.526 \text{кг.}$$

$$P_1 = \frac{P_0}{i_n} K_1 = \frac{QK_1}{2 i_n \cos \frac{\alpha_0}{2}}, \quad (4.3)$$

$$P_1 = \frac{400.6 \cdot 1.5}{2 \cdot 3 \cos \frac{70^\circ}{2}} = 122.26 \text{ кг}$$

У кантувачах застосовуються ланцюги, які виготовлені зварюванням їх сталей типу Ст 3 [14]. Обираємо ланцюг А1 – 9 × 27 ГОСТ 2319 – 81, з $R_p = 1400$ кг.

Приведемо рзрахунок параметрів кантувача згідно методики [13]: потужність двигуна N , Вт; згинальний момент на валу M_{31} , початковий діаметр для ведучої зірочки D_3 , крутні моменти M на привідному валу та еквівалентний, діаметр привідного валу.

$$N = \frac{P_0 V}{\eta_0}, \quad (4.4)$$

$V = 0,2$ м/с; $\eta_0 = \eta_P \eta_{II} \eta_L$, $\eta_P = 0,96$, $\eta_{II} = 0,97$, $\eta_L = 0,97$;

$$\eta_0 = 0.96 \cdot 0.97 \cdot 0.97 = 0.903$$

$$N = \frac{224.5 \cdot 0.12}{0.903} = 390.57 \text{ Вт.}$$

Обираємо привід 0,5 кВт.

Сила згинального моменту, що діє на вал, S рівна натягу двох віток ланцюга $S = 2P_1$.

$$S = \frac{QK_1 \cdot g}{i_n \cos \frac{\alpha_0}{2}} \quad (4.5)$$

$$S = \frac{400.6 \cdot 1.5}{3 \cdot \cos \frac{70^\circ}{2}} \cdot 9.81 = 2.3 \text{ кН.}$$

$$M_{31} = S \cdot l, \quad (4.6)$$

де l - відстань між осями зірочки та найближчого підшипника вала,

$$l = 90 \text{ мм.}$$

$$M_{31} = 2.3 \cdot 10^3 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 215 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{кр} = P_0 \frac{D_3}{2}. \quad (4.7)$$

Початковий діаметр ведучої зірочки [13]:

$$D_3 = \sqrt{\left(\frac{t}{\sin \frac{90^\circ}{z}}\right)^2 + \left(\frac{d}{\cos \frac{90^\circ}{z}}\right)^2}, \quad (4.8)$$

де t - крок ланцюга, $t = 27$ мм;

d - діаметр ланцюгової комірки, $d = 9$ мм;

z – кількість комірок зірочки, берем 12 .

Отже

$$D_3 = \sqrt{\left(\frac{27}{\sin \frac{90^\circ}{12}}\right)^2 + \left(\frac{9}{\cos \frac{90^\circ}{12}}\right)^2} = 207 \text{ мм.}$$

Крутний момент на валу

$$M_{кр} = 244.5 \cdot 9.81 \frac{207}{2} = 248.3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Еквівалентний розрахунковий момент на валу, Н м [13]:

$$M_e = \sqrt{M_{зI}^2 + M_{кр}^2} \quad (4.9)$$

$$M_e = \sqrt{215^2 + 248.3^2} = 328.95 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий діаметр вала [13]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10M_e}{[\sigma]}} \quad (4.10)$$

де $[\sigma]$ - межа міцності для сталі 30ХГСА, $[\sigma] = 650$ МПа [15]

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 328.95}{650 \cdot 10^6}} = 0.035 \text{ м} = 35 \text{ мм.}$$

Отже, діаметр привідного вала $d = 35$ мм. Аналогічний діаметр вала приймаємо і для привідний, і для холостих зірочок, для легкої заміни.

4.2. Розрахунок пневмоциліндра

Розрахунок проведемо для пневмоциліндра з двосторонньою дією (рис.4.3).

Сила на штоці поршня рівна рекомендовані силі притискання деталей до упорів $Q = 4\text{кН}$, тиск повітря у заводській системі $0,6\text{ МПа}$. Необхідно визначити діаметр самого циліндра за методикою [13, 16] та округлити до стандартного ряду.

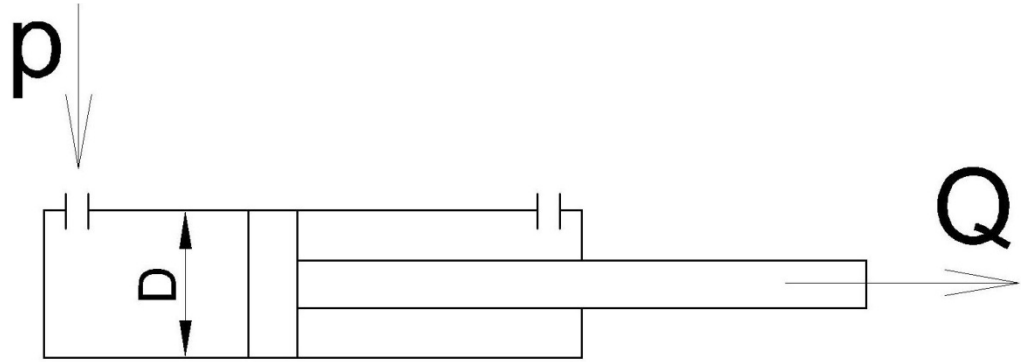


Рисунок 4.3 – Розрахункова схема пневмоциліндра

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p_n \cdot \eta}} \quad (4.25)$$

Таблиця 4.1 - Діаметри пневмоциліндрів двосторонньої дії (ГОСТ 15608-81)

D,мм	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320
------	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Для $p_n = 0.6\text{ МПа}$, $\eta = 0.9$, $Q = 4\text{кН}$, отримаємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4000}{3.14 \cdot 0.6 \cdot 0.9}} = 97 \text{ (мм)}$$

Порівнюємо дані за таблицею 4.1 та визначаємо кінцевий діаметр пневмоциліндра 100 мм за нормативами ГОСТ 15608 – 81.

4.3 Конструктивна схематизація технологічного устаткування

Спочатку проводиться прихвачування зварювальних кромки у спеціальному складальному пристрої, рис. 4.4. Це забезпечить необхідне розташування гофри відносно полиці, потрібний зазор та паралельність кромки.

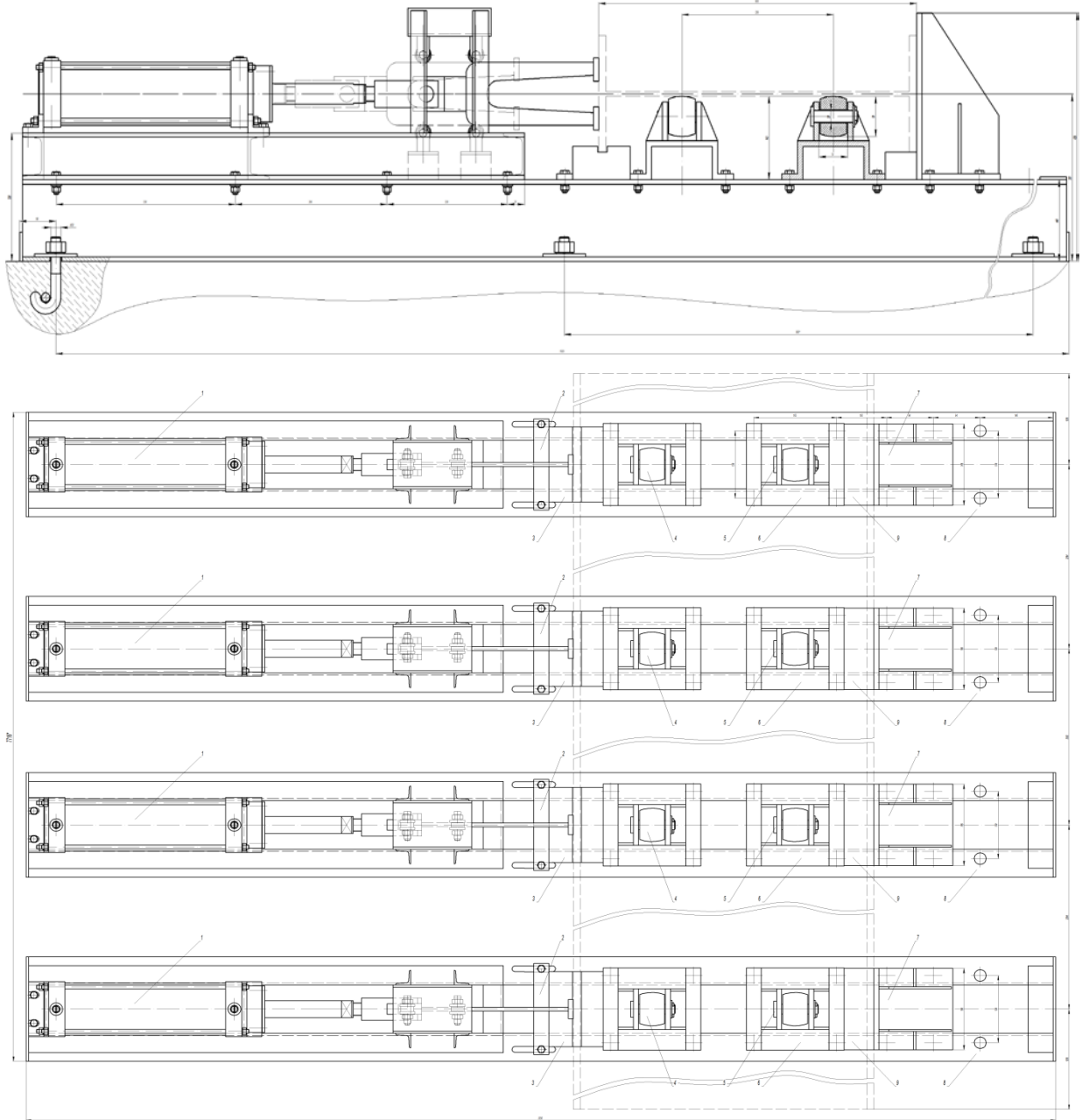


Рисунок 4.4- Схема стапеля для складання двотаврової гофробалки

Після прихоплення двотаврову балку з допомогою цехового крана встановлюють у ланцюговий кантувач, рис. 4.5, та проводять кінцеве зварювання напіватоматом TAVR MIG-350RY у послідовності за рис. 2.6. Кантувач такого типу є

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних шкідливостей на зварювальній дільниці. Заходи щодо їх зниження

При напівавтоматичному електродуговому зварюванні у вуглекислому газі слід дотримуватися визначеного комплексу правил охорони праці, які відображаються в технологічному процесі. При проведенні зварювальних робіт можливість небезпечного впливу на зварника у зв'язку з наступними факторами: а) травми різного роду механічного характеру при підготовці важких виробів до зварювання і в процесі зварювання; б) опіки від крапель розплавленого металу і шлаку при зварюванні; в) отруєння шкідливими газами, які виділяються при зварюванні і при забрудненні приміщень пилом; г) ураження електричним струмом при дотиканні людини до струмопровідних частин електричного кола; д) ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри.

Фізичні та хімічні фактори промислової безпеки на зварювальній дільниці: шуми високого рівня, що виникають від працюючого зварювального обладнання; ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання великої інтенсивності; сліпуче світло у видимому спектрі від дуги та пальника; пари розплаву, що містять шкідливі для здоров'я свинець, цинк, кадмій, хром та інші компоненти, що входять до складу сплавів; за відсутності вентиляції ризик ураження зростає; гаряча завись з мікрочастинками розплавленого металу над ванною розплаву; теплова дія пальника або електричної дуги.

Зварювання балок проводиться на зварювальній дільниці, в якому знаходиться багато електропроводів, кабелів, обладнання із струмопровідними частинами, що знаходяться під напругою. Щоб знизити ризик шкоди здоров'ю, необхідно дотримуватися електробезпеки. Основні правила для зварників при цьому наступні: електроосвітлення можна запитувати тільки від струму 12 В; максимальна напруга холостого ходу зварювального апарату – 90 В; до включення обладнання перевіряється заземлення чи підключення до нуля; необхідно перевірити якість

дроту – надійна ізоляція має на увазі відсутність тріщин, пропалів; електроживлення здійснюється через розподільний пристрій, оснащений запобіжниками; довжина дроту понад 10 метрів не допускається; якщо був обрив кабелю або пошкоджена ізоляція, допустиме лише муфтове з'єднання двох шматків.

Щоб зменшити можливість ураження струмом людини в цеху під час зварювання рами слід дотримуватися наступних заходів: а) використовувати лише справні ізольовані провідники, які зв'язані з живленням джерела струму та заземленням корпусів зварювального обладнання; б) проводити роботу в сухому спецодязі та рукавицях; в) застосовувати надійну конструкцію пальника з доброю ізоляцією, яка дає можливість уникнення контакту струмопровідних частин пальника із зварювальним виробом.

В умовах підприємств з зварювальним обладнанням в повітрі знаходяться аерозолі різного походження, розмірів, форми і концентрації. На зварювальній ділянці – це конденсаційні аерозолі, що утворилися при зварюванні, прибиранні приміщень, переміщенні внутрішнього обладнання.

Для захисту органів дихання, при зварюванні ємностей використовують респіратори великої пілеємності та вентиляційні системи. Робоче місце зварника повинне вентилуватись місцевою витяжною вентиляцією з подачею повітря 40 м³/год на кожного робітника (рис. 5.1). Якщо деталі, що зварюються, мають велику протяжність швів, можна влаштовувати вентиляційні відсмоктування гнучкими рукавами. Їхнє пересування в процесі зварювання узгоджується з рухом зварювальної дуги по деталі. Вентиляційна витяжка повинна розташовуватися так, щоб гази, що виділяються при зварюванні, проходили осторонь від зварювальника. У процесі роботи в замкнутих обсягах у зону роботи зварювальника необхідно подавати чистий атмосферне повітря за допомогою повітродувки або забезпечити працюючого шланговим протигазом марки ПШ-2 або ПШ-1 та рятувальним поясом з прикріпленою до нього міцною мотузкою.

Для захисту очей та особи зварювальників від шкідливої дії променистої енергії зварювальної дуги слід застосовувати щиток або маску зі спеціальними світлофільтрами залежно від сили зварювального струму: Е-1 – до 75 А, Е-2 – від 75 до 200 А, Е-3 – від 200 до 400 А, ЕС-100, ЕС-300, ЕС-500. Для захисту світлофільтрів

із зовнішнього боку їх закривають безбарвними склом, які в міру забруднення замінюють новими. Допоміжні робітники повинні бути забезпечені окулярами або масками зі світлофільтрами В-2 або В-3. При зачистці зварювальних швів робітників забезпечують захисними окулярами.

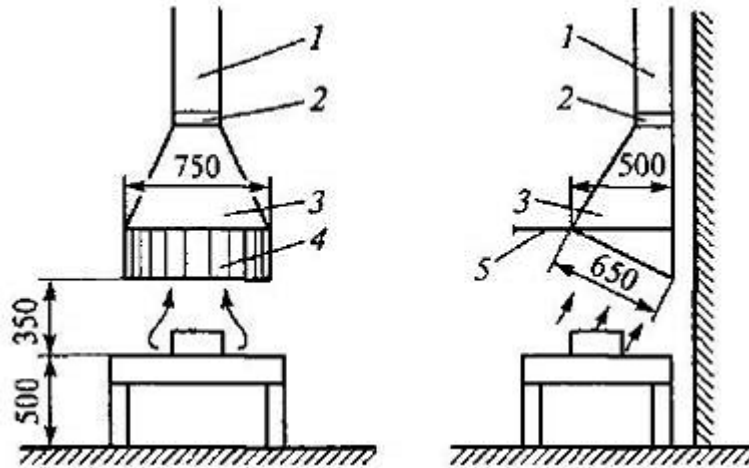


Рисунок 5.1 - Схема витяжної вентиляції газів, що виділяються при зварюванні від зварювального посту: 1 - повітропровід; 2 – шибер; 3 - повітроприймач; 4 - штамповані ґрати; 5 - козирок

З метою управління ризиками і менеджменту ризику на зварювальному підприємстві необхідно ідентифікувати суттєві ризики, які значно впливають на цілі підприємства в галузі якості, безпеки праці [17].

5.2 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою

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

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

У відповідності ПУЕ захисне заземлення потрібно виконувати при паузі змінного струму 380 В і більше і постійного струму 440В і більше у всіх електроустановках; при номінальній напрузі змінного струму більше 42 В і

постійного струму більше 110 В - тільки в електроустановках, які розміщені в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних, а також в зовнішніх установках; при будь-якій напрузі змінного і постійних струмів, у вибухо-небезпечних установках.

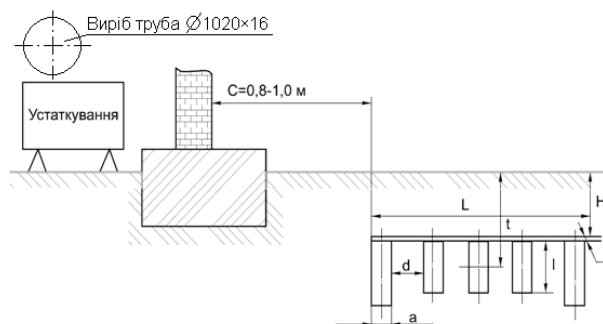
Захисна дія заземлення основана на зниженні напруги дотику, що досягається шляхом зменшення потенціалу на корпусі устаткування відносно поверхні землі.

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.

Схема розрахунку захисного заземлюючого пристрою для технологічного устаткування показано на рисунку 6.1 [18].



C – відстань від стіни до заземлювачів; L – довжина заземлювача;

H – відстань на яку заглиблений заземлювач; b – ширина стрічки;

l – довжина кутників; d – крок.

Рисунок 5.1 – Схема розрахунку заземлюючого пристрою

Завдання: розрахувати захисне заземлення ділянки з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380В з ізольованою нейтраллю. В якості електродів – заземлювачів приймаємо сталеві конструкційки (кутники) довжиною

l і діаметром d, які з'єднані між собою сталевією смужкою шириною в – 0,04 м, що показано на рисунку 6.1. Коефіцієнти використання заземлювачів η_3 і з'єднувальної стрічки η_c . Крок між заземлювачами рівний d. Заглиблення верхнього кінця конструкції і з'єднувальної стрічки $H=0,7$ м. Питомий опір ґрунту ρ
Дано: $\rho = 150$ Ом м; $l=3$ м; $a = 0,045$ м; $d = 6$ м; $\eta_3 = 0,74$; $\eta_c = 0,75$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту ρ_p в якому мав бути розміщений заземлювач за формулою: $\rho_p = \rho \cdot \psi$, де ψ - кліматичний коефіцієнт, який вибирається в залежності від вологості ґрунту, $\psi = 1,32$.

$$\text{Звідси: } \rho_p = 150 \cdot 1,32 = 198 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Визначаємо опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (конструкцій), заглибленого нижче рівня землі на $H = 0,7$ м за формулою:

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

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

$$t=0,7+0,5 \times 3=2,2\text{м}$$

$$R_3 = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 3} \times \left(\ell_n \frac{2 \cdot 3}{0,045} + \frac{1}{2} \ell_n \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 41,7 \text{ Ом}.$$

Визначаємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_n}{R_1 \times \eta_3}, \quad (5.1)$$

де R_n – нормований опір заземлюючого пристрою (ПУЕ).

$$n = \frac{41,7}{4 \times 0,74} = 14.$$

Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги за формулою:

$$R_c = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L_c} \times \ell_n \frac{2 \times L_c}{\hat{a} \times H}, \quad (5.2)$$

$$R_c = \frac{150}{2 \times 3,14 \times 81,9} \times \ell_n \frac{2 \times (81,9)^2}{0,04 \times 0,7} = 3,81 \text{ Ом}.$$

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

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot (n-1). \quad (5.3)$$

Якщо, смуги розміщені по контуру, то:

$$L_c = 1,05 \cdot d \cdot n = 1,05 \cdot 6 \cdot 14 = 88,2 \text{ м};$$

$$L_c = 1,05 \cdot 6 \cdot (14-1) = 81,9 \text{ м}.$$

Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою за формулою:

$$R_{\text{зп}} = \frac{R_3 \times R_c}{R_3 \times \eta_{\text{п}} + R_c \times \eta_3 \times n},$$

$$R_{\text{зп}} = \frac{41,7 \cdot 3,81}{41,7 \cdot 0,46 + 3,81 \cdot 0,74 \cdot 14} = 2,71 \text{ } \Omega. \quad (5.4)$$

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

5.3 Організація цивільної оборони на об'єктах господарської діяльності

Цивільна оборона України є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Цивільна оборона України організується за територіальним виборним принципом на всій її території і виявляє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться по всій території держави, як правило заздалегідь з врахуванням особливостей кожного регіону.

Згідно із Законом кожен громадянин має право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, пожеж, стихійного лиха та має право на надання гарантій забезпечення реалізації цього права.

Основним завданням цивільної оборони є:

а) запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру, проведення заходів щодо зменшення збитків і втрат під час аварій, катастроф, великих пожеж та стихійного лиха;

б) оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, постійне інформування про наявну ситуацію та його захисту від наслідків;

в) організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійного лиха та у воєнний час;

г) організація та проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у районах лиха і осередках ураження;

д) створення систем аналізу і прогнозування управління. Оповіщення і зв'язку, спостереження і контролю за ради активними, хімічними, бактеріологічними зараженнями;

е) підготовка і перепідготовка керівного складу цивільної оборони, її органів управління та сил, навчання населення вмінню використовувати засоби індивідуального захисту і діяти в надзвичайних ситуаціях.

На всіх об'єктах народного господарства, цивільна оборона організовується з метою попередньої підготовки їх до захисту робітників, службовців в надзвичайних ситуаціях в мирний і воєнний час, створення умов, що підвищують стійкість роботи підприємства своєчасне створення умов для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт.

Робота об'єкта в цілому складається з роботи окремих галузей виробництва. Тому необхідно розглянути стійкість у надзвичайних умовах окремих галузей виробництва.

Оцінюючи стійкість електропостачання, необхідно знати за яких надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу об'єкт може залишатися без постачання електроенергії. Визначити мінімальні потреби в електроенергії для забезпечення основних невідкладних робіт, подача води в житлові будинки, квартири, для цехів і освітлення робочих місць.

Оцінюючи стійкість матеріально-технічного і енергетичного постачання, необхідно визначити запаси палива, можливість використання місцевої сировини і енергії, автономні джерела електрозабезпечення, запаси сировини, стан поставки

готової продукції споживачам, умови зберігання готової продукції, спроможність транспорту і засобів механізації.

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи об'єктів, і оцінки стійкості елементів і галузей виробництва проти вражаючих факторів ядерної, хімічної і біологічної зброї, стихійних лих і виробничих аварій, необхідно своєчасно організувати і впровадити організаційні, інженерно технічні рішення.

Інженерно–технічні заходи мають забезпечити підвищену стійкість виробничих споруд, технологічних ліній, устаткування, комунікацій об'єкта до вливу вражаючих факторів під час надзвичайних ситуацій. При проведенні цих заходів необхідно враховувати конкретні умови об'єкта народного господарства. Проте є загальні інженерно – технічні заходи, які мають проводитись на всіх об'єктах [19].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для виготовлення підкранової балки з гофрованою стінкою кран-балки опорного типу вантажопідйомністю 3 т рекомендовано застосувати вітчизняну маловуглецеву сталь С255, яка добре зварюється та володіє необхідним комплексом механічних властивостей.

Рекомендовано використати для зварювання гофростінки та поясів напівавтоматичне та автоматичне зварюванням у середовищі суміші газів $Ar + 18 CO_2$. Розраховано режим зварювання.

Розрахунок параметрів термоциклу зварювання для критичної ділянки перегрівання зони термічного впливу дозволив дослідити формування структури сталі при охолодженні та спрогнозувати однорідну феритно-перлітну структуру з добрим поєднанням міцності та пластичності.

За допомогою програмного комплексу на основі методу скінченних елементів ANSYS Workbench 14.5 було проведено дослідження впливу параметрів гофрування на напружено-деформівний стан гофробалки із синусоїдною конфігурацією та встановлено оптимальні реальні розміри хвилястого профілю з кроком 150 мм та висотою 50 мм.

У технології виготовлення двотаврової гофробалки запропоновано наступні технічні інновації:

1) Для підвищення механізації та покращення якості складання двотаврової гофробалки запропоновано використати складальний стапель з розрахованими пневматичним затискачами для проведення попереднього прихоплювання стінки і полиць. Для проведення основного зварювання рекомендовано використати розрахований у роботі ланцюговий кантувач.

2) Напівавтоматичне та автоматичне зварювання у захисній газовій суміші МІХ1 дозволить покращити формування зварного шва, зменшити пальцеподібне проплавлення, пористість та несплавлення, знизить вміст кисню у шві та знизить розбризкування дроту.

3) Виявлення зовнішніх дефектів шва рекомендовано проводити не лише візуальним оглядом, але і з застосуванням розробленого методу капілярної кольорової дефектоскопії. Для внутрішніх дефектів використати ультразвукову дефектоскопію ехо-імпульсним способом.

Впровадження даних досліджень та інновацій покращить конструкцію двотаврової гофробалки зменшить трудозатрати на її виготовлення, покращити якість складально-зварювальних операцій та контролю, зменшить кількість ручної праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мартовицький Л. М. Стійкість стінок коробчастих прогінних кранових балок / Л. М. Мартовицький, В. І. Глушко, А. І. Сочава, Г. В. Клименко, З. М. Шаніна, Є. В. Коцюк, А. Г. Зеленська // Підйомно-транспортна техніка. - 2017. - № 1. - С. 36-41.
2. Характеристики марки сталі С255 [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ, – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ru/steel/stal-c255/>
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е.Патона, - М.: Машиностроения, 1974. – 768 с.
4. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів та машин спеціального військового призначення [Електронний ресурс] / Сайт Верховної ради – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1727-16#Text>
- 5 Биковський О.Г. Довідник зварника / Биковський О.Г., Пінковський І.В. – К.: Техніка, 2002. -336 с.
6. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением./ Думов С.И. – М.: Машиностроение, 1987. – 461 с.
7. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением./ Акулов А.И., Белогук Г.А., Денянцевиц В.П. – М.: Машиностроение, 1977. –432с.
8. Зварювальний інвенторний напіваавтомат TAVR MIG-350. – Режим доступу: https://shopteh.com.ua/svarochnyj_invertornyj_poluavtomat_tavr_mig350.html
9. Пальник типу BINZEL ABIMIG 350. – Режим доступу: <https://pz.ua/migmag/palniki/abimig-alphaflux350vb-l3m-kz2-013d100-binzal.html>
10. Кривов Г.О Виробництво зварних конструкцій [Текст]: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О.Кривов, К.О Зворикін,- К.:КВІЦ,2012.-896с.
11. Яцюк В. О.; Фараонов А. Ю.; Лазарюк В. В. Особливості застосування капілярного методу неруйнівного контролю зварних з'єднань тонкостінних конструкцій // Актуальні задачі сучасних технологій : Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. – с. 7-8.

12. Коперсак, В.М. Теорія процесів зварювання [Текст]: Текст лекцій (в двох частинах) / В.М. Коперсак – 4-е вид., випр. I доп. –К.: НТУУ «КПІ».-228 с.
13. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / Карпенко А.С. - К.: Арістей, 2005. -268 с.
14. Гайдамака В.А. Грузопідйомні машини .-К.: Вища школа .1989.-328 с.
15. С.А. Чернавский Проектирование механических передач/ С.А. Чернавский, Г.М. Ицкович, В.А. Киселев. М.: Машиностроение, 1976. -608 с.
16. Шанайда,В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках [Текст] / В.В.Шанайда. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001.–163с
17. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посіб-ник / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010 – 240с.
18. Охорона праці. Лабораторний практикум / М.П. Купчик, М.П. Гандзюк, І.Ф. Степанець. - К.: Основа, 1998. - 224 с.
19. Губський А.І. Цивільна оборона / Губський А.І. - К.:Міністерство освіти, 1995. -216 с.
20. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.
21. Романів В. Є. Особливості застосування сумішей захисних газів при напівавтоматичному зварюванні плавким електродом / В. Є. Романів, В. В. Лазарюк // Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 1. — С. 18–19. — (Фізико-технічні основи розвитку нових технологій).

ДОДАТКИ

Додаток 1 - СПЕЦИФІКАЦІЇ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				ДОКУМЕНТАЦІЯ		
A1			KPM 22-74.01.01.000 СК	Складальне креслення	1	
				Деталі		
		1	KPM 22-74.01.01.001	Пневмоциліндр механізму затискання	1	
		2	KPM 22-74.01.01.002	Рама механізму затискання	1	
		3	KPM 22-74.01.01.003	Наконечник	1	
		4	KPM 22-74.01.01.004	Скоба приживна	1	
		5	KPM 22-74.01.01.005	Рама направляючого вузла	1	
		6	KPM 22-74.01.01.006	Ролик направляючий	4	
		7	KPM 22-74.01.01.007	Вухо	8	
				Стандартні вироби		
		8		Болт М10х1,25-6дх55.109 30ХГСА (S16) ГОСТ 7805-70	4	
		9		Шайба 10 65Г ГОСТ 6402-70	4	
		10		Гайка М10х1,5-6Н.04 ГОСТ 5927-70	4	
		11		Болт М12х1,25-6дх55.109 30ХГСА (S16) ГОСТ 7805-70	4	
		12		Шайба 12 65Г ГОСТ 6402-70	4	
		13		Гайка М12х1,5-6Н.04 ГОСТ 5927-70	4	

KPM 22-74.01.01.000

Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив	Яцюк			
Перевір.	Лазарюк			
Зав. каф.	Окіпний			
Н. контр.	Дячун			
Реценз.				

Механізм затискання

Лит.	Лист	Листів
	1	2
ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МПм-61		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				ДОКУМЕНТАЦІЯ		
A1			KPM 22-74.01.00.000 СБ	Складальне креслення	1	
				Деталі		
		1	KPM 22-74.01.00.001	Механізм затискання	4	
		2	KPM 22-74.01.00.002	Планка притискання	4	
		3	KPM 22-74.01.00.003	Закладний сухар	4	
		4	KPM 22-74.01.00.004	Ролик	8	
		5	KPM 22-74.01.00.005	Вісь ролика	8	
		6	KPM 22-74.01.00.006	Корпус кріплення ролика	8	
		7	KPM 22-74.01.00.007	Упор	4	
		8	KPM 22-74.01.00.008	Рама сталеля	4	
		9	KPM 22-74.01.00.009	Сухар закладений	4	
				Стандартні вироби		
		10		Болт М10х1,25-6дх55.109 ЗОХГСА (S16) ГОСТ 7805-70	88	
		11		Шайба 10 65Г ГОСТ 6402-70	88	
		12		Гайка М10х1,5-6Н.04 ГОСТ 5927-70	88	

KPM 22-74.01.00.000

Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив	Яцюк			
Перевір.	Лазарюк			
Зав. каф.	Окіпний			
Н. контр.	Дячун			
Реценз.				

Сталель для складання
двотаврової балки

Лит.	Лист	Листів
	1	2
ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МПм -61		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<i>ДОКУМЕНТАЦІЯ</i>		
A1			<i>KPM 22-74.1.02.01.000 СК</i>	<i>Складальне креслення</i>	1	
				<i>Деталі</i>		
		1	<i>KPM 22-74.1.02.00.001</i>	<i>Стійка опорна</i>	1	
		2	<i>KPM 22-74.1.02.00.002</i>	<i>Електродвигун</i>	1	
		3	<i>KPM 22-74.1.02.00.003</i>	<i>Редуктор приводом</i>	1	
		4	<i>KPM 22-74.1.02.00.004</i>	<i>Муфта</i>	1	
		5	<i>KPM 22-74.1.02.00.005</i>	<i>Ролик</i>	3	
		6	<i>KPM 22-74.1.02.00.006</i>	<i>Кришка</i>	1	
		7	<i>KPM 22-74.1.02.00.007</i>	<i>Стакан</i>	2	
		8	<i>KPM 22-74.1.02.00.008</i>	<i>Втулка</i>	2	
		9	<i>KPM 22-74.1.02.00.009</i>	<i>Кришка</i>	2	
		10	<i>KPM 22-74.1.02.00.010</i>	<i>Кільце</i>	2	
		11	<i>KPM 22-74.1.02.00.011</i>	<i>Вісь</i>	2	

<i>KPM 22-74.1.02.00.000</i>							
<i>Зм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>	<i>Яцюк</i>				<i>Лист</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Лазарюк</i>					1	2
<i>Зав. каф.</i>	<i>Окіпний</i>				<i>ТНТУ, ФМТ, каф. МТ, гр. МПм -61</i>		
<i>Н. контр.</i>	<i>Дячун</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Опора кантувача ланцюгового</i>							

