

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

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

Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення лонжерона рами
контейнеровоза з дослідженням напружено-деформівного стану

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Куземський І.Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Підгурський М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дячун А.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Розроблення технології виготовлення лонжерона рами контейнеровоза з дослідженням напружено-деформівного стану" складається із розрахунково-пояснювальної записки обсягом 64 аркуші формату А4 і графічної частини обсягом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, дослідницька, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

У роботі проаналізовані несучі рамні конструкції, що застосовуються в автомобілебудуванні. На основі критичного аналізу розглянуто полегшені конструктивні рішення поздовжніх несучих балок рамних конструкцій. До них відносять – несучі балки з трикутними отворами в стінці з нерегулярним розташуванням отворів та несучі балки з круглими отворами при їх регулярному розташуванні в стінці профілю.

На основі моделювання балок методом скінчених елементів за допомогою спеціалізованого комплексу SolidWorks отримано розподіл напружень та деформацій.

Отримані результати показали, що при застосуванні полегшених конструкцій балок зростає величина напружень та переміщень, але знижується вага балок. Ефективність рішень оцінювали за коефіцієнтом запасу міцності за напруженнями.

Для виготовлення рамних конструкцій застосовано високоефективні технології, що забезпечують покращену якість.

Ключові слова: РАМНІ КОНСТРУКЦІЇ, ПЕРФОРОВАНІ БАЛКИ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН, ЗВАРЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи	8
1.2 Технічні вимоги до проектування та виготовлення зварної рамної конструкції	15
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	18
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31
3.1 Обґрунтування способу зварювання	31
3.2 Опис технологічного процесу	41
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	47
4.1 Пристосування для складально-зварювальних робіт	47
4.2 Розрахунок притискної сили лонжерона в кондукторі	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
5.1 Вимоги безпеки під час виконання електрозварювальних робіт	53
5.2 Вимоги до робочих місць при виконанні зварювальних робіт	56
5.3 Характеристика впливу повітряної ударної хвилі при вибуху газоповітряної суміші	59
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТКИ	64

ВСТУП

Несуча система транспортного засобу є однією з найбільш відповідальних, металомістких та дороговартісних систем. Завдяки надійній несучій системі, такі важливі елементи як кузов, двигун, підвіска та елементи трансмісії кріпляться, створюючи цілісну конструкцію. Конструкція несучої системи залежить, у першу чергу, від призначення машини. У наш час рамна несуча система в основному використовується при виробництві комфортабельних легкових автомобілів високого класу, позашляховиків, вантажних автомобілів, причепів, тракторів. Рамні конструкції поділяють на декілька видів: лонжеронні, хребтові і комбіновані. Найпоширенішими є лонжеронні рами. Вони складаються з двох чи більше поздовжніх балок-лонжеронів, декількох поперечних балок та локальних підсилень. Хребтові рами мають центральну балку з поперечно розташованими кронштейнами для кріплення агрегатів. Комбіновані рами поєднують в собі елементи як лонжеронних, так і хребтових рам, тобто мають центральну балку, короткі лонжерони і поперечини. Зазначимо, що у звичайних легкових автомобілях рамну конструкцію замінюють на самонесучий кузов. Аналіз переваг та недоліків несучих конструкцій транспортних засобів наведено в. Варто зазначити, що рами лонжеронного типу відзначаються високою міцністю і мають універсальний характер застосування. Рами хребтового типу мають більшу крутильну жорсткість у порівнянні з лонжеронними і застосовуються у спеціальних випадках, наприклад, у потужних бурякозбиральних комбайнах.

Особливість експлуатації транспортних засобів та їх несучих систем полягає в тому, що навантаження, які діють на конструкції, є змінними в часі і їх амплітудні та частотні характеристики залежать від реального навантаження, швидкості руху, стану дороги та інших факторів. Експлуатаційні навантаження можуть спричинити високі напруження в зонах конструктивних та технологічних концентраторів. Це може привести до

виникнення у зазначених областях втомних тріщин. Розповсюдження таких тріщин може викликати руйнування рам.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи

Контейнеровоз – це спеціалізований автомобіль, причіп або напівпричіп, який застосовується для перевезення контейнерів (рис 1.1). Зокрема, напівпричепи працюють в зчипці із автомобілями (сідельними тягачами) (рис. 1.1). Залежно від напівпричепи виділяють такі типи контейнеровозів: стандартні (з навантажувальною висотою 1,4 м, вантажопідйомністю 31 т), низькорамні (висота навантаження 1,1 м, вантажопідйомність 34 т) і бортові (вантажопідйомність 35-50 т) [1]. Безпечне перевезення контейнерів автомобілем з бортовим кузовом або платформою можливе за умови, якщо контейнерні замки інтегруються в підлогу кузова. Автомобіль при цьому є універсальним, оскільки може перевозити і інші вантажі, зокрема на палетах.



Рис. 1.1 Завантаження контейнеровоза

Рама може бути клепаною або зварною. Варто зазначити, що при значних динамічних навантаженнях зварні рами мають переваги. Зварювання є сучасною технологією, яка є високо продуктивною і відносно дешевою.

Зокрема високу надійність мають зварні рамні конструкції напівпричепів фірм Kässbohrer і Kögel. Заклепкові з'єднання рам є менш надійними особливо у важких дорожніх умовах, оскільки незначне послаблення ініціює потрапляння у зону з'єднання атмосферних опадів, які активують процес руйнації.

Отже найчастіше використовують причепи саме із жорсткою зварною рамою. Рамна конструкція виготовлена із поздовжніх несучих балок – лонжеронів, які з'єднуються між собою поперечними балками (рис. 1.2 – 1.5).

Зазвичай стінки лонжеронів виконують суцільними (рис. 1.2)



Рис. 1.2. Рама контейнеровоза з суцільними стінками лонжеронів

За конструктивним виконанням платформа напівпричепа може мати плоску чи ступінчасту зварну раму. Ця рама може бути гратчастою або сходиноквого типу, і встановлюється на шасі. При ступінчастій формі конструкції платформи, за рахунок заниження центру мас, напівпричіп отримує суттєво підвищену стійкість при значних швидкостях руху та при максимальному завантаженні.

Рама контейнеровоза працює у важких експлуатаційних умовах та при значних статичних і динамічних навантаженнях. Рама напівпричепа сприймає вертикальні навантаження від ваги вантажів, тягові зусилля від автомобіля під час руху перевезень вантажів, а також сприймає динамічні навантаження (поштовхи та удари) спричинені дорожніми нерівностями.

За таких умов для виготовлення рам застосовують сталі з карбонітридним зміцненням. Такі сталі мають перевагу у порівнянні з іншими, оскільки є спадково дрібнозернистими. Зварні з'єднання таких сталей мають високі механічні властивості і не є схильними до утворення тріщин.

Koegel



Рис. 1.3. Рамна конструкція з трикутними отворами в лонжеронах

Але, за останній час, для зменшення вартості рам в стінках несучих балок виконують отвори (рис. 1.3 – 1.5): з трикутною перфорацією або з круглою перфорацією (зокрема, з великими відстанями між отворами (рис. 1.4) та з незначними проміжками (рис. 1.5)). Зазначимо, що отвори виконують також у поперечках.

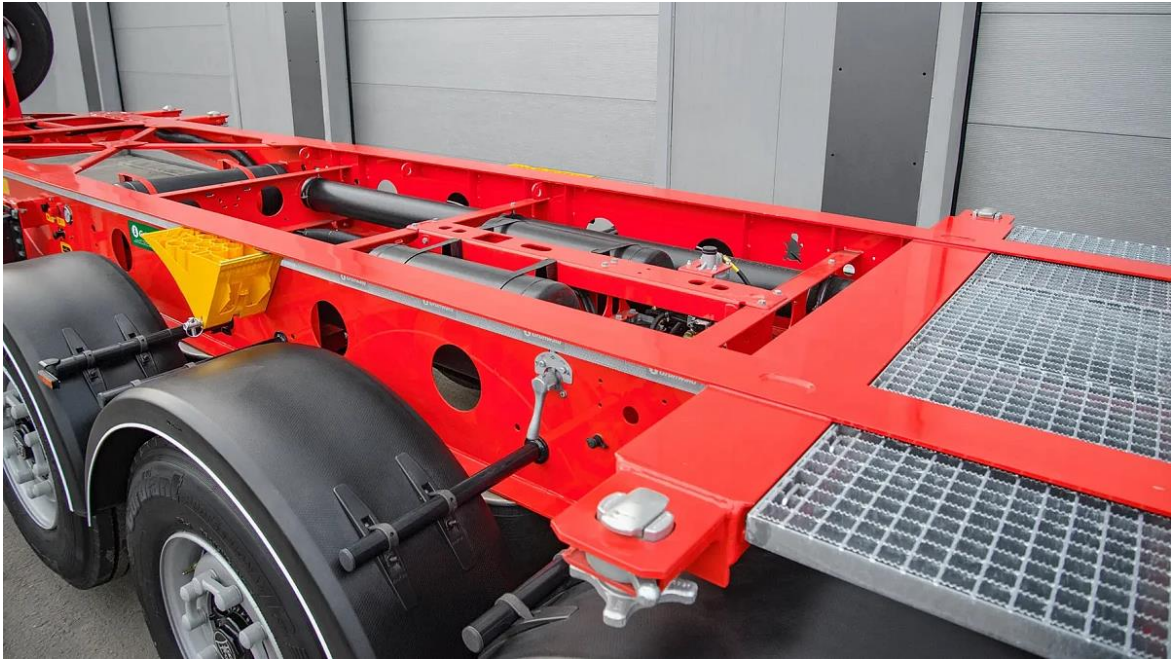


Рис. 1.4. Рамна конструкція з круглими отворами в лонжеронах



Рис. 1.5. Рамна конструкція з круглими отворами в лонжеронах та поперечках

Для виготовлення рами виберемо конструкційну сталь 18Г2АФ [2]. Її застосовують для тримких елементів зварних конструкцій, які працюють при циклічному навантаженні при температурах до 213 К (– 60 °С).

Хімічний склад у відсотках матеріалу та механічні властивості при + 20 °С сталі 18Г2АФ представлені в таблицях 1.1 та 1.2 відповідно [2].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад у % матеріалу сталі 18Г2АФ, % [2]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	V	N	As
0,14 – 0,22	до 0,17	1,3 – 1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,3	0,08 – 0,15	0,015 – 0,3	до 0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 18Г2АФ [2]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
590	440	19

Аналіз хімічного складу показує, що сталь 18Г2АФ є розкисленою марганцем та кремнієм та має низький вміст легуючих елементів. Мікролегування ванадієм сприяє мінімізації зерен у структурі металу [3, 8, 10].

Оскільки рама, що проектується є зварною, то необхідно оцінити потенційність основного металу сталі 18Г2АФ до утворення тріщин. Цей показник є одним з найголовніших при оцінці зварюваності виробу. Існує умовний розподіл тріщин на гарячі та холодні. Ці тріщини можуть ініціюватись в металі шва або зоні термічного впливу підчас зварювання.

Явище утворення тріщин в процесі зварювання є надзвичайно складним, тому розрахункові методи базуються на залежностях, які отримані у результаті статистичного опрацювання експериментальних даних. Експериментальні дані стосуються досліджень, які базуються на оцінці міцності сталей, яка залежить тільки від їх хімічного складу.

Для того, щоб визначити, чи сталь 18Г2АФ схильна до утворення холодних тріщин застосуємо методику, що оцінює еквівалент вуглецю. При визначенні вуглецевого еквівалента враховується хімічний склад сталей. Найсильніше на зварюваність сталей впливає відсоток вуглецю. Вплив легуючих елементів теж має значення. Якщо при розрахунку вуглецевого еквівалента отримуємо, що $Ce < 0,45\%$, то зварювання сталі 18Г2АФ можна здійснювати без попереднього підігріву металу; якщо $Ce > 0,45\%$, то виконують попередній підігрів виробів [4].

Сучасні уявлення про зварювальні процеси дозволяють стверджувати, що для однорідних металів і сплавів утворення якісних з'єднань буде відбуватись за умови $Ce < 0,45\%$ [4]. Існує ряд методик для визначення якісних зварних з'єднань [4].

Якщо необхідне підігрівання металу перед зварюванням, то температура підігріву може визначатися за методикою, яка буде враховувати хімічний склад сталі 18Г2АФ, що зварюється, а також товщину матеріалу. Тоді визначається загальний еквівалент вуглецю Ce за залежністю:

$$Ce = Cx \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta) \quad (1.1)$$

і необхідна температура попереднього підігріву буде визначатись за формулою:

$$T_{п} = 350 \sqrt{Ce - 0,25} \quad (1.2)$$

де Cx — хімічний еквівалент вуглецю;

δ — товщина кромок, що зварюються, мм.

Хімічний еквівалент вуглецю визначаємо за формулою:

$$Cx = (360C + 40Mn + 40Cr + 20Ni)/360 \quad (1.3)$$

C, Mn, Cr, Ni – вміст легуючих елементів %;

Якщо рівняння (1.1) підставити значення C_r з формули (1.2), то повний еквівалент вуглецю розраховують за формулою:

Отримаємо:

$$C_x = (360 \times 0,175 + 40 \times 1,5 + 40 \times 0,3 + 20 \times 0,3) / 360 = 0,39\% \quad (1.4)$$

$$C_e = 0,39 (1 + 0,005 \cdot \delta) = 0,40\%. \quad (1.5)$$

Аналіз отриманих результатів показує, що зварюваність сталі 18Г2АФ є доброю. Підігрів не потрібний.

Параметричне рівняння для оцінки стійкості металів і сплавів проти утворення гарячих тріщин має вигляд:

$$HCS = \frac{C * \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) * 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (1.6)$$

Якщо показник $HCS < 4$ для сталей ($\sigma_B < 700$ МПа) і якщо $HCS < 2$ при ($\sigma_B > 700$ МПа) тоді гарячі тріщини не виникають.

Проведемо розрахунок:

$$HCS = \frac{0,175 \cdot \left(0,04 + 0,04 + \frac{0,17}{25} + \frac{0,3}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,5 + 0,3 + 0 + 0,012} = 1,34 \quad (1.7)$$

Отже, сталь є стійкою до утворення гарячих тріщин при зварюванні.

1.2 Технічні вимоги до проектування та виготовлення зварної рамної конструкції

До конструкції зварної рами ставляться такі вимоги [5]:

- раціональність конструкції рами;
- забезпечення міцності при мінімальних затратах матеріалу, яке б забезпечувало оптимальне співвідношення ціни та експлуатаційних якостей;
- забезпечення жорсткості рами, що унеможлиблює порушення умов експлуатації агрегатів, механізмів, кузова та інших частин автомобіля при будь-яких умовах режимів руху;
- високотехнологічних методів як виготовлення так і ремонту рами.

При проектуванні рами мають застосовуватися економічні прокатні чи гнуті або штамповані профілі. Сортамент повинен відповідати сертифікатами якості. Зазначимо, що забезпечення мінімальної маси транспортних машин пов'язане, у першу чергу, з підвищенням їх експлуатаційних показників – зменшення витрат пального, можливість переведення вантажу з більшою вагою та ін.

Одним з основних шляхів отримання мінімальної маси виробу є використання сталей з підвищеною міцністю, що і використано в даній роботі (застосовано сталь 18Г2АФ). Варто зазначити, що при використанні сталей з підвищеною чи високою міцністю ускладнюють забезпечення умов зварювання і термічної обробки.

Найвищого показника у зниженні маси зварної конструкції можна досягнути при досягненні рівноміцності зварного з'єднання і основного металу. До таких з'єднань відносять стикові зварні з'єднання. Окрім міцності та пластичності зварне з'єднання має забезпечувати необхідні показники ударної в'язкості.

Крім забезпечення міцнісних показників необхідно досягти зменшення концентрації напружень, усунути залишкові напруження та деформації,

унеможливлювати крихкі руйнування (забезпечуючи достатню ударну в'язкість для температур експлуатаційного діапазону).

При проектуванні зварних з'єднань, які виконуються при дуговому процесі зварювання, доцільним є укладання швів на горизонтальну площину при якнайменшій кількості кантувальних операцій, забезпечуючи зручний підхід для зварювальних операцій. Крім цього необхідно виключати підхід значної кількості швів в одну точку [Чертов].

З точки зору виконання технологічних операцій необхідно та проектувати зварні з'єднання, щоб доступ нагрівальних інструментів для можливого точкового підігрівання мати можливість виконувати ремонтні роботи; забезпечувати контроль якості виконання зварних з'єднань.

Відповідно до принципів проектування у процесі виготовлення рами повинні бути витримані проектні геометричні розміри виробу чи конструкції. Для цього необхідно здійснювати:

- проектування конструкцій, зважаючи на технічні особливості конструкцій та особливості виробництва;
- дотримання та оформлення відповідно до нормативної документації усіх зварних з'єднань, зважаючи на характер підготовки кромки, дотримання допусків на розмір;
- недопущення відхилення від технологій, передбачених проектом, щоб уникнути небажаних напружень та деформацій;
- передбачати можливість комплексної автоматизації та механізації виготовлення, застосовуючи новітні технології зварювання;
- необхідність забезпечення бажаної технології складання конструкції.

Зважаючи на останній принцип, виготовлення конструкцій здійснюється за допомогою спеціального складально-зварювального обладнання, стендів чи пристроїв, за допомогою, яких забезпечують виготовлення зварних вузлів та конструкцій у цілому.

При визначенні базових розмірів складально-зварювального обладнання, установки чи пристроїв необхідно передбачити недопустимість небажаних деформацій, що можуть виникнути при зварюванні окремих вузлів чи всієї конструкції. Прихоплення елемента виробу чи конструкції має здійснюватись у вказаному місці та послідовності, яка передбачені у технологічному процесі.

При виконанні складальних операцій виконуємо зачищення основного металу у місці зварювання, оскільки бруд та забруднюючі матеріали призведуть до можливих дефектів у зварному з'єднанні.

Також підлягає перевірці на чистоту поверхні зварювальний дріт, який повинен зберігатися у чистих приміщеннях для виключення його забруднення, а також його окислення. Також піддають контролю захисний газ для недопущення появи у ньому вологи чи шкідливих домішок.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Для розрахунку несучих систем мобільних машин розроблено велику кількість різних за складністю і точністю отриманих результатів методів, що враховують специфічні особливості роботи конструкцій. Характерними для них є нерегулярна просторова структура, застосування елементів різних типів, складний і неоднозначний характер навантаження.

Основні положення розрахунку і конструювання несучих систем мобільних машин висвітлені в [15].

Зокрема, для оцінки НДС рамних конструкцій застосовуються аналітичні методи, які базуються на теорії тонкостінних стержнів, яка розроблена В.З. Власовим. Власовим В.З. було встановлено загальний закон розподілу нормальних напружень у поперечному перетині тонкостінного стержня при сумісній дії згину і кручення. На основі цієї теорії розроблені методи розрахунку рам із тонкостінних стержнів відкритого (Власов В.З.) і замкнутого (Уманський А.А.) поперечного перетину.

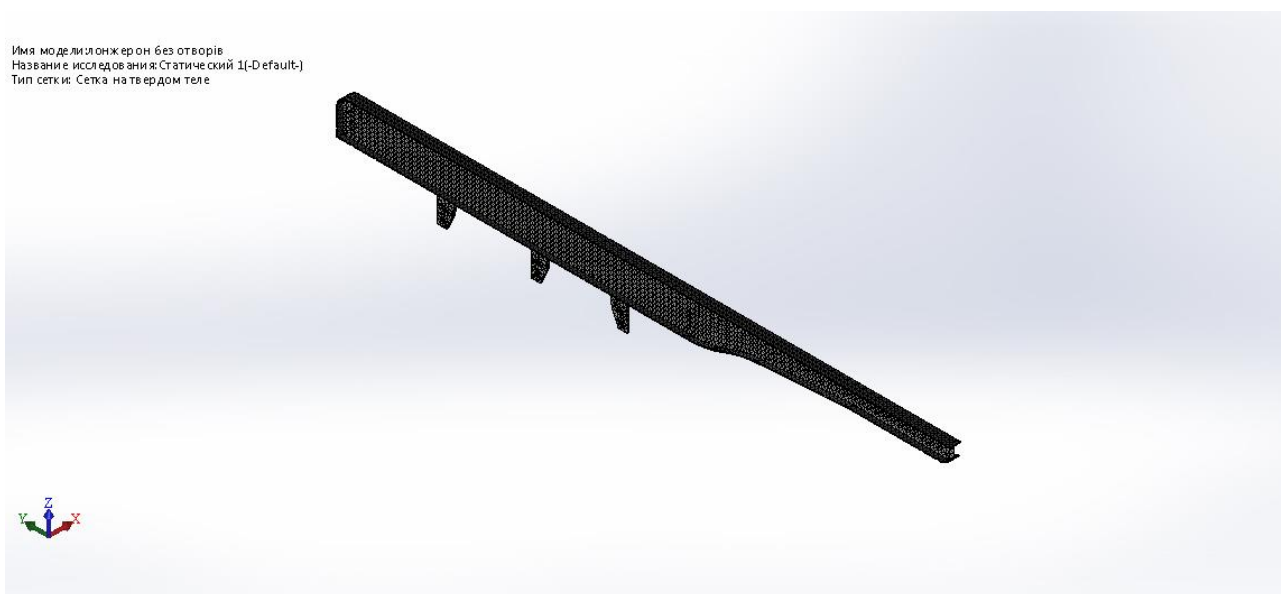
У сучасній інженерній практиці у зв'язку з розвитком комп'ютерної техніки та розробкою універсальних прикладних програм, основаних, головним чином, на методі скінчених елементів, розрахунки з визначення НДС складних конструктивних структур суттєво прискорюються. Переваги МСЕ у порівнянні із традиційними числовими методами полягають у простоті алгоритмізації, можливості повної автоматизації складання рівнянь і отримання рішень для будь-яких складних комбінованих систем. Все це робить метод скінчених елементів найбільш універсальним методом, що відповідає, в значній мірі, вимогам до розрахунку рам [7, 15].

У роботі досліджувалась рама напівпричепа-контейнеровоза, яка є зварною конструкцією лонжеронного типу. Рама складається з двох лонжеронів складної конфігурації: двох основних лонжеронів двотаврового перетину, до яких приварено два менших лонжерони швелерного типу.

Лонжерони з'єднані між собою за допомогою поперечок. Задня частина закрита листами настилу, що утворює вантажну платформу.

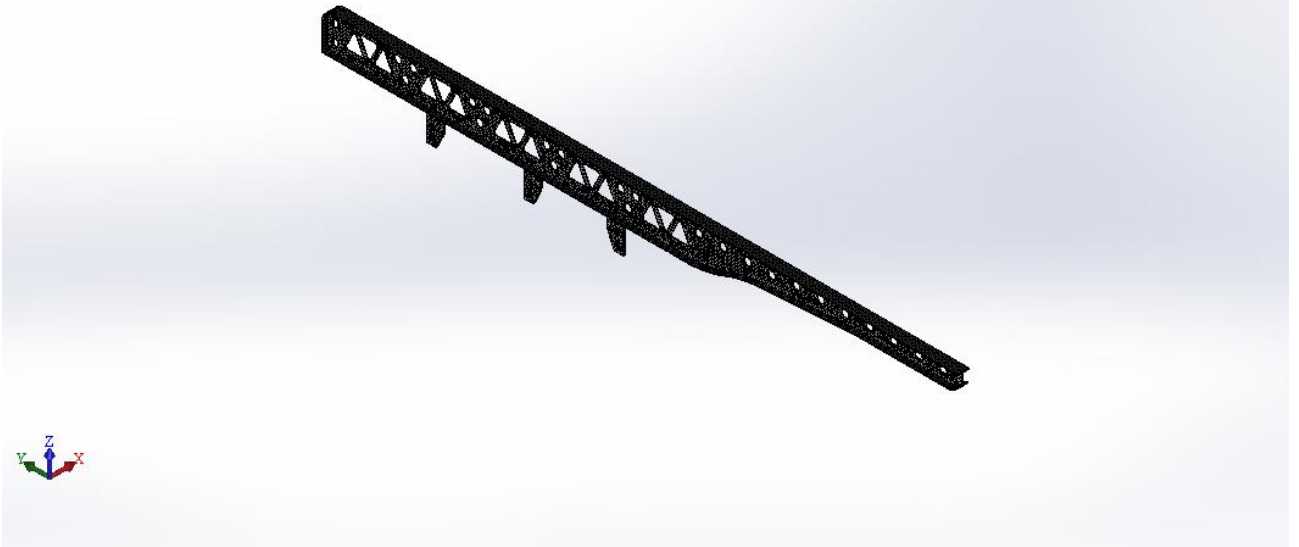
При дослідженні розглянуто три варіанти конструкції лонжеронів: лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1); лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2); лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3). Скінчено-елементні моделі досліджуваних об'єктів представлені на рис. 2.1. Скінчено-елементне моделювання виконували за допомогою пакету прикладних програм SolidWorks [18].

Застосування перфорації знижує вагу лонжеронів. Вибір нерегулярної схеми трикутних отворів зумовлений тим, що отвори необхідно застосовувати так, щоб зосереджені зусилля не знаходились над отвором. Застосування круглих отворів зумовлене меншою концентрацією напружень у порівнянні, наприклад з шестикутними чи трикутними отворами.



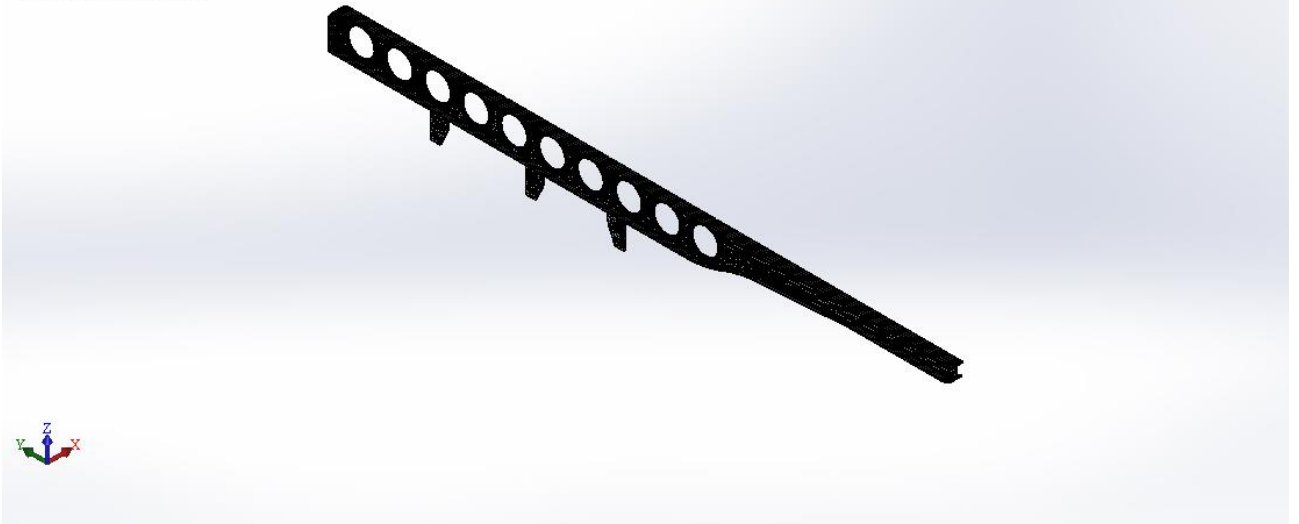
a)

Имя модели: Лонжерон1 (2)
Название исследования: Статичне [-Default-]
Тип сетки: Сетка на твердом теле



б)

Имя модели: лонжерон з отворами круглими 14.12
Название исследования: Статический 1 [-Default-]
Тип сетки: Сетка на твердом теле



в)

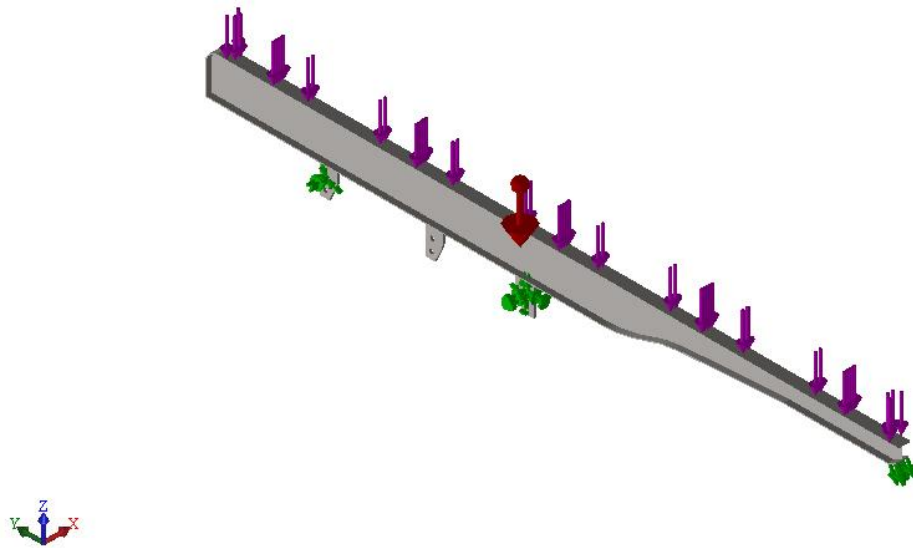
Рисунок 2.1 – Скінчено-елементні моделі лонжеронів:

а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)

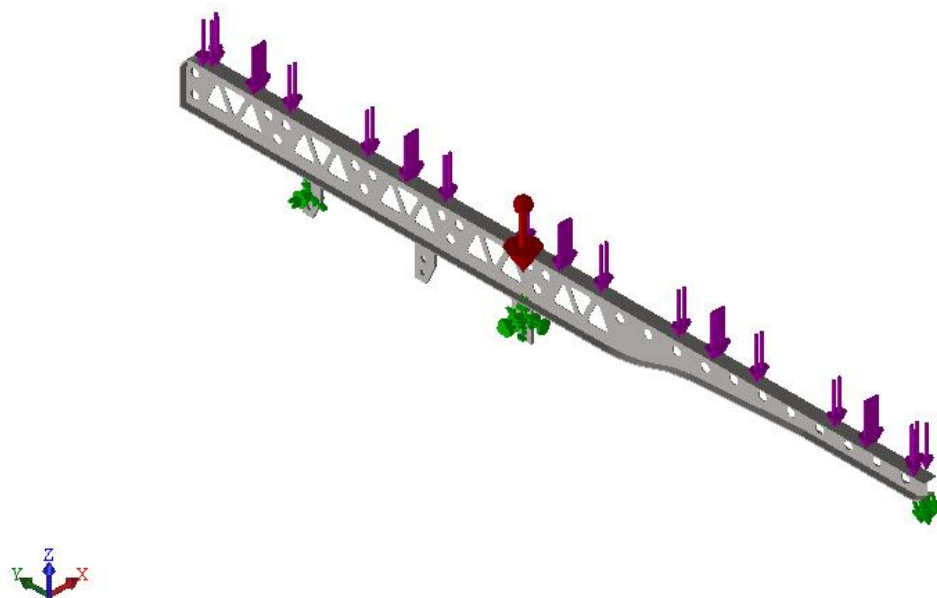
б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)

в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)

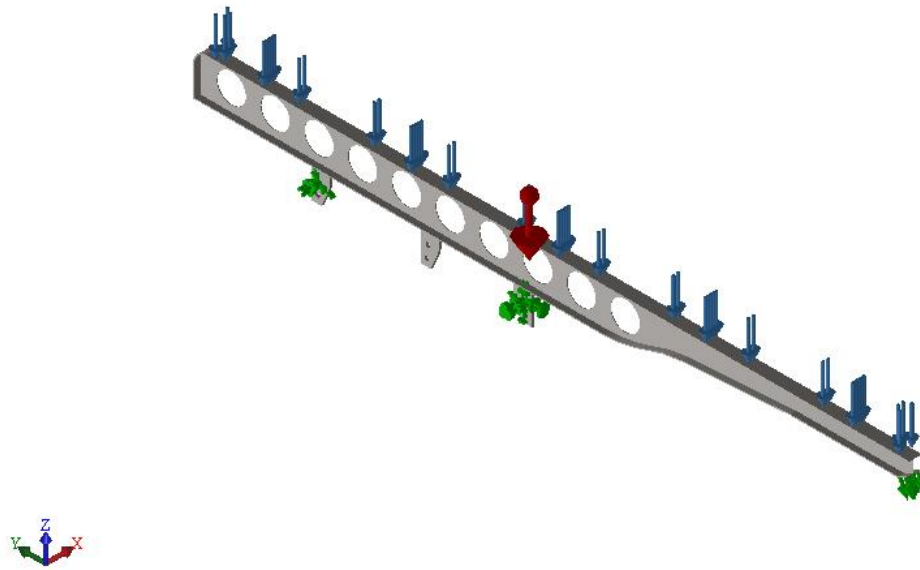
Навантаження всіх трьох типів лонжеронів є однаковим, і складає 100 кН, а схема навантаження і умови закріплення лонжерона представлені на рис. 2.2.



a)



б)



в)

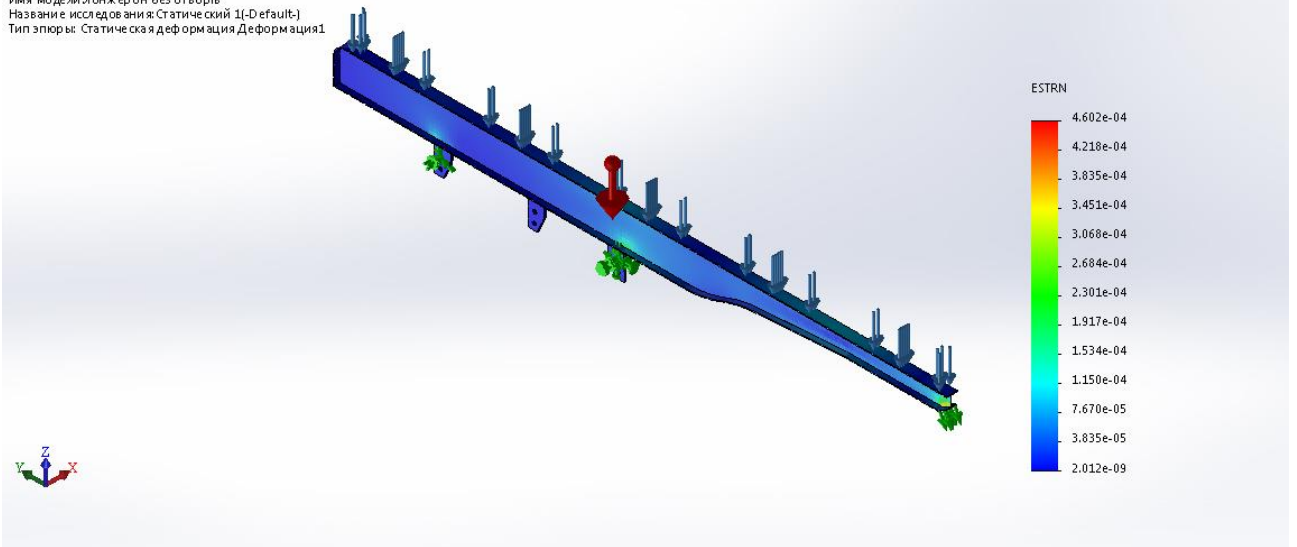
Рисунок 2.2 – Розрахункові моделі навантаження лонжеронів напівпричепу:

- а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)
- б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)
- в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)

Для усіх варіантів розрахунку використано низьколеговану сталь 18Г2АФ. Хімічний склад та механічні властивості сталі наведено у таблицях 1.1 та 1.2.

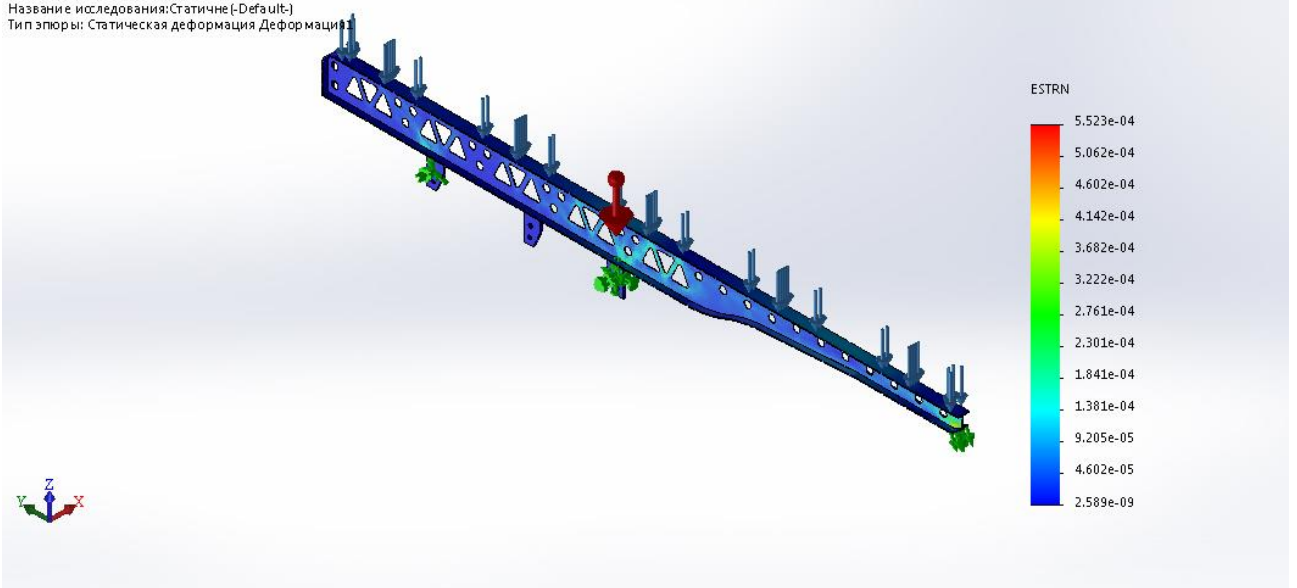
Результати напружено-деформівного лонжерона представлено на рис. 2.3 – 2.5. Так, рис. 2.3 демонструє деформаційний стан конструкції, рис. 2.4 – переміщення (прогинів) лонжерона. Зазначимо, що максимальне значення прогинів для лонжерона з суцільного двотавра становить 1,193 мм, для лонжерона з трикутною перфорацією – 1,369 мм, для лонжерона з круглою перфорацією – 1,558 мм. Зафіксовано зростання прогинів у порівнянні з базовим варіантом (двотавром з суцільною стінкою)

Имя модели: Лонжерон без отверстий
Название исследования: Статический 1(-D default)
Тип эл. группы: Статическая деформация Деформация1

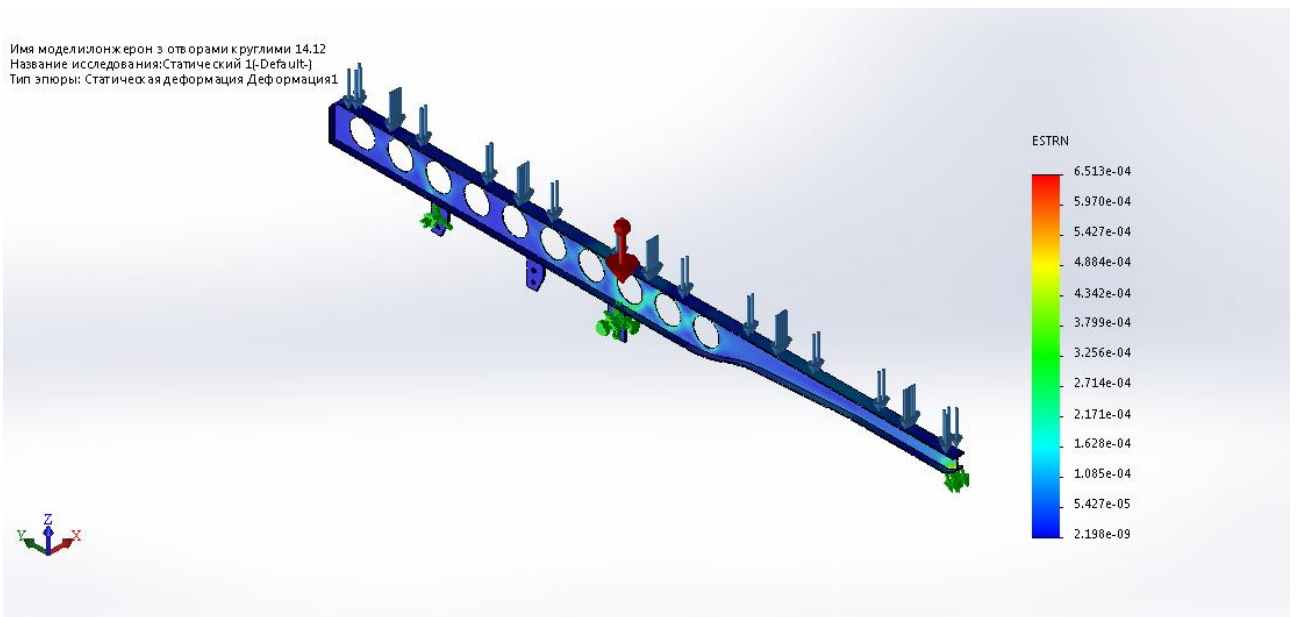


а)

Имя модели: Лонжерон1 (2)
Название исследования: Статиче (-Default)
Тип эл. группы: Статическая деформация Деформация1



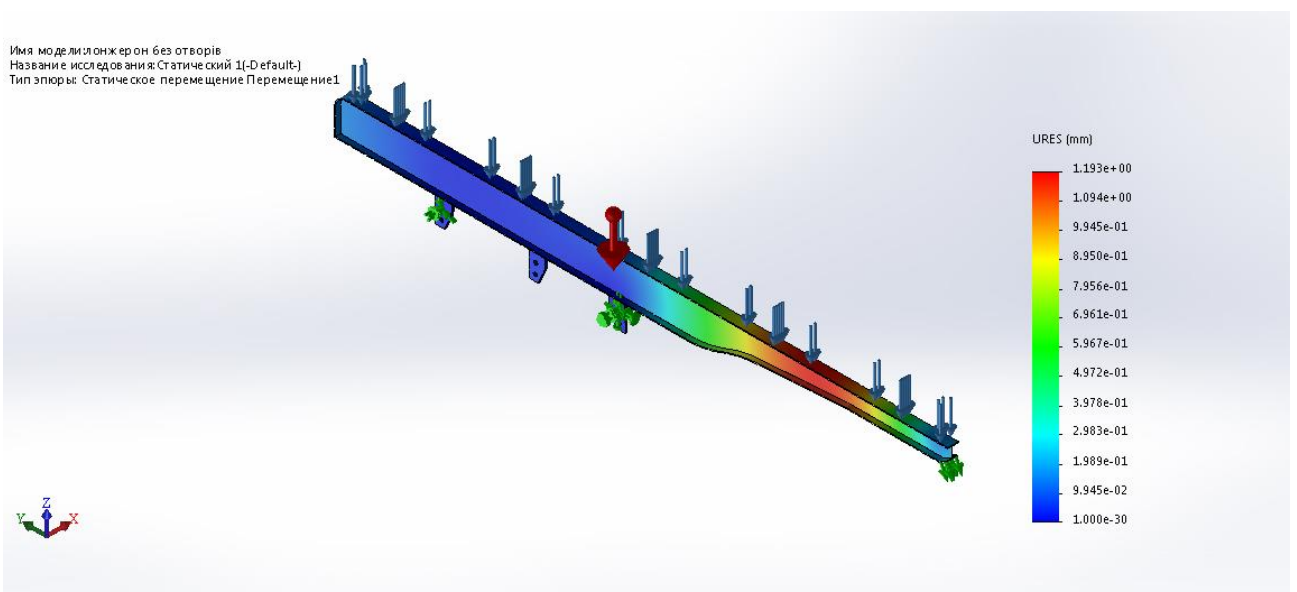
б)



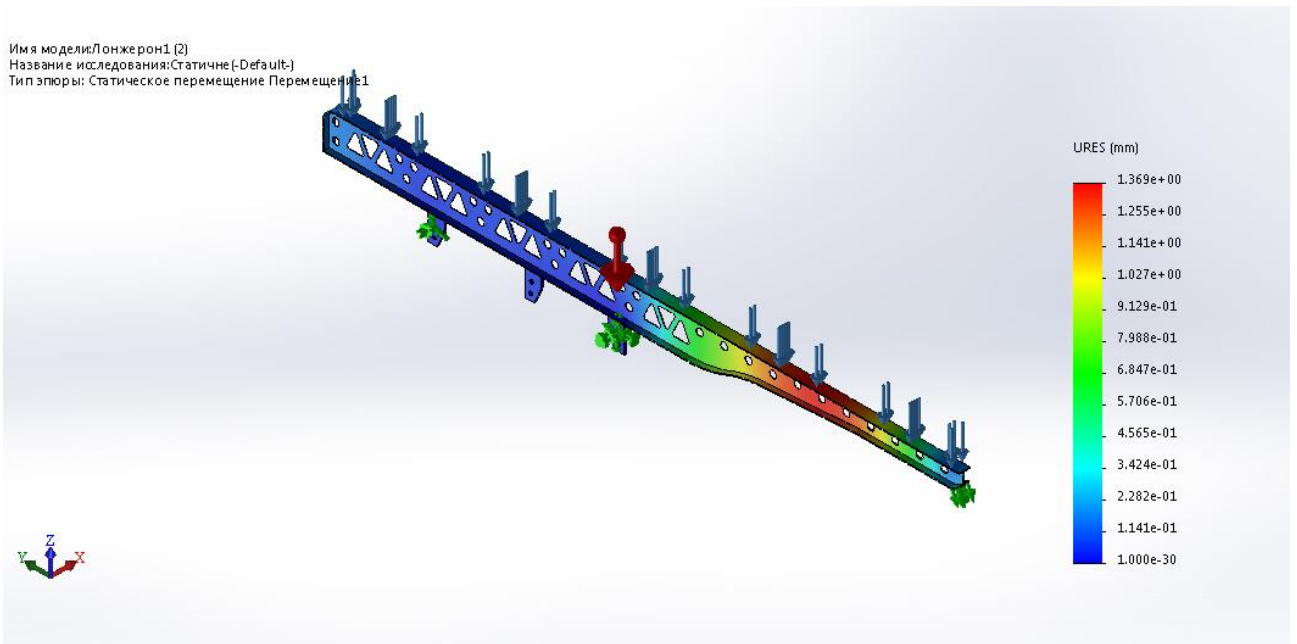
в)

Рисунок 2.3 – Оцінка деформацій в головних несучих балках напівпричепа:

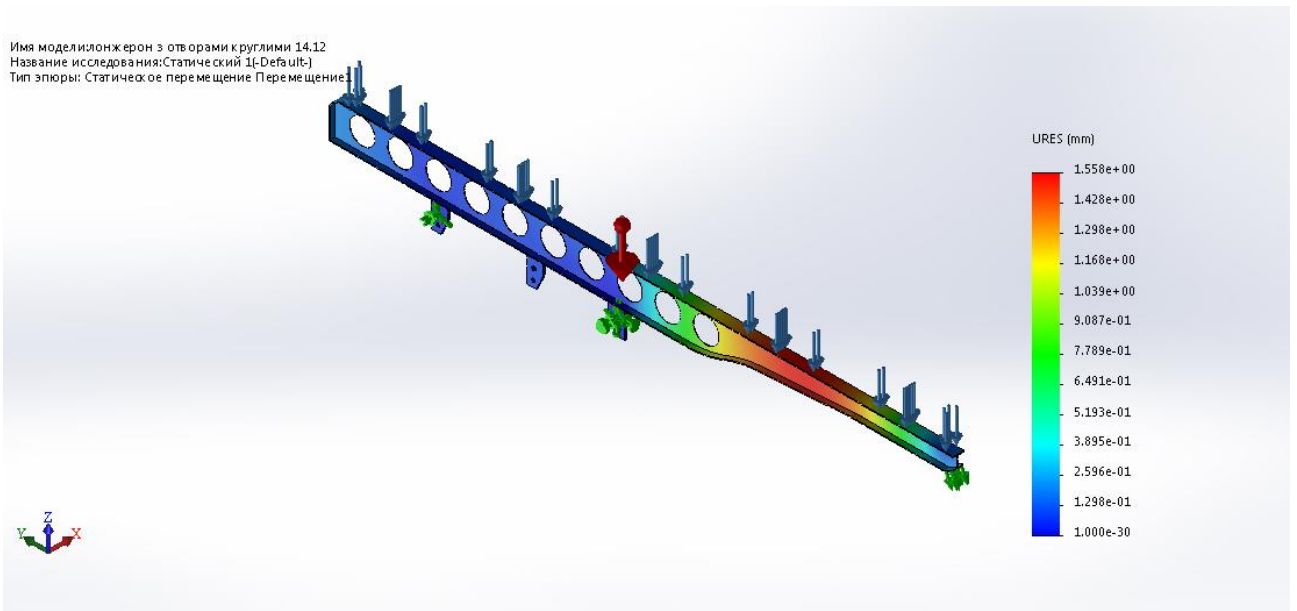
- а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)
- б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)
- в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)



а)



б)



в)

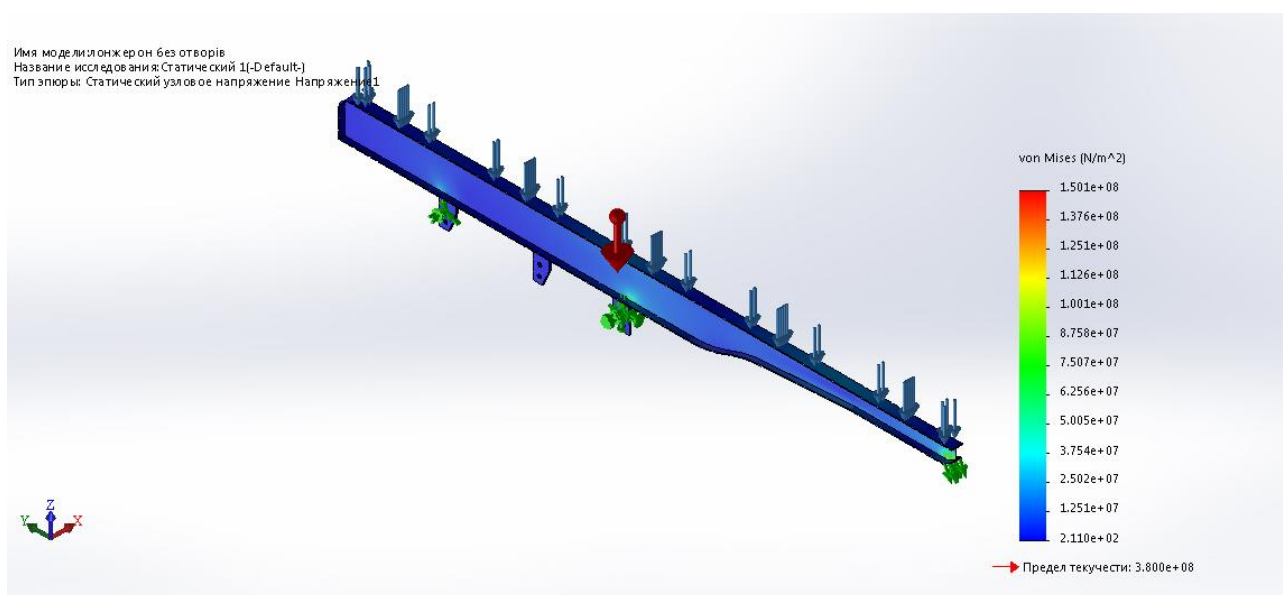
Рисунок 2.4 – Результаты досліджень переміщень:

- а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)
- б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)
- в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)

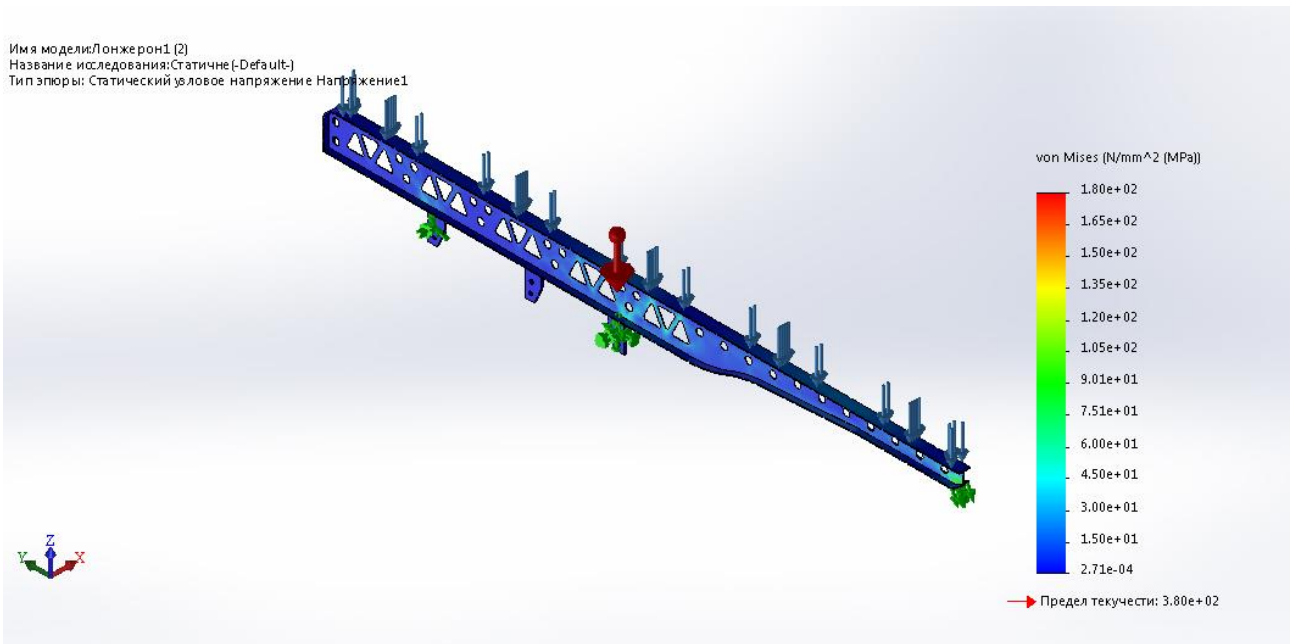
Картина розподілу напружень в лонжеронах змінного за довжиною перетину представлена на рис. 2.5. Максимальні напруження для лонжерона без перфорації становлять 150,1 МПа, для лонжерона з трикутними отворами – 180 МПа, для лонжерона з круглими отворами – 219,3 МПа. Зазначимо, що максимальні напруження в кожній зі змодельованих конструкцій не перевищують межі плинності.

Зазвичай практика проектування машинобудівних конструкцій чи деталей машин базується на визначенні коефіцієнтів запасу. Як правило оцінка коефіцієнта запасу в розрахунках на міцність виконується за рівнем напружень, наприклад, у вигляді відношення критичного напруження до експлуатаційного. Вважається, що встановлений коефіцієнт запасу повинен компенсувати можливі відхилення кількох параметрів: навантаження та характер його зміни (наприклад, статичне, циклічне чи динамічне навантаження), властивості металу чи матеріалу зварного шва, перерізу елементів та інших.

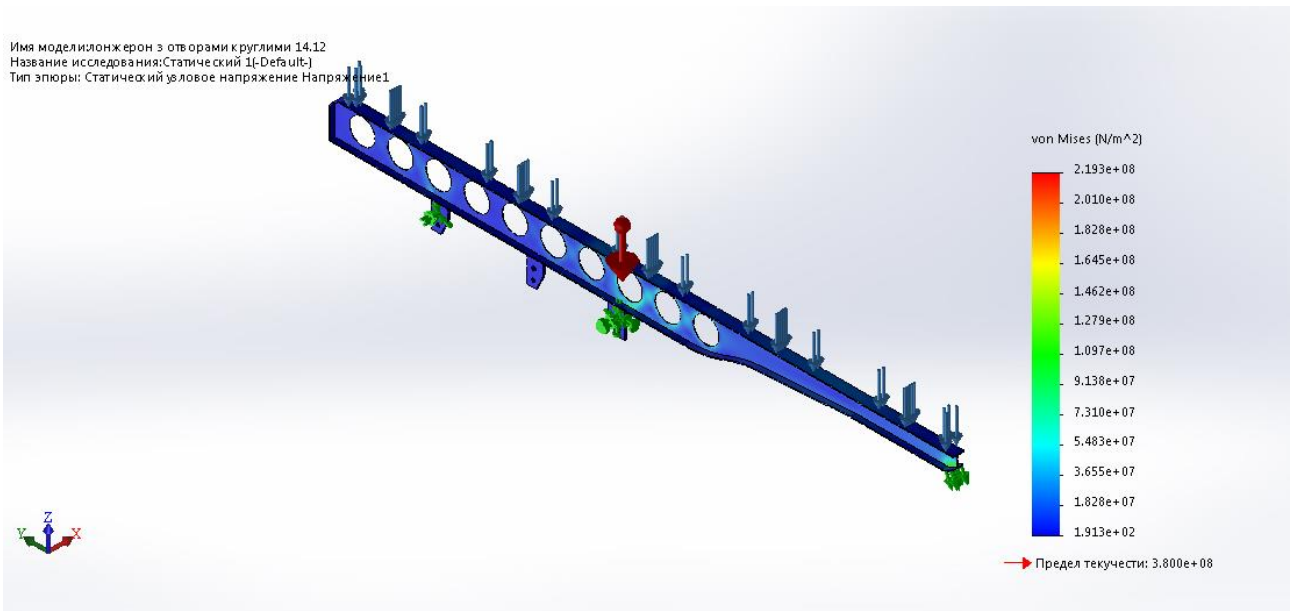
На рисунку 2.6 розраховані коефіцієнти запасу за напруженням для трьох типів лонжеронів: суцільного, з трикутними отворами та круглими отворами.



a)



б)



в)

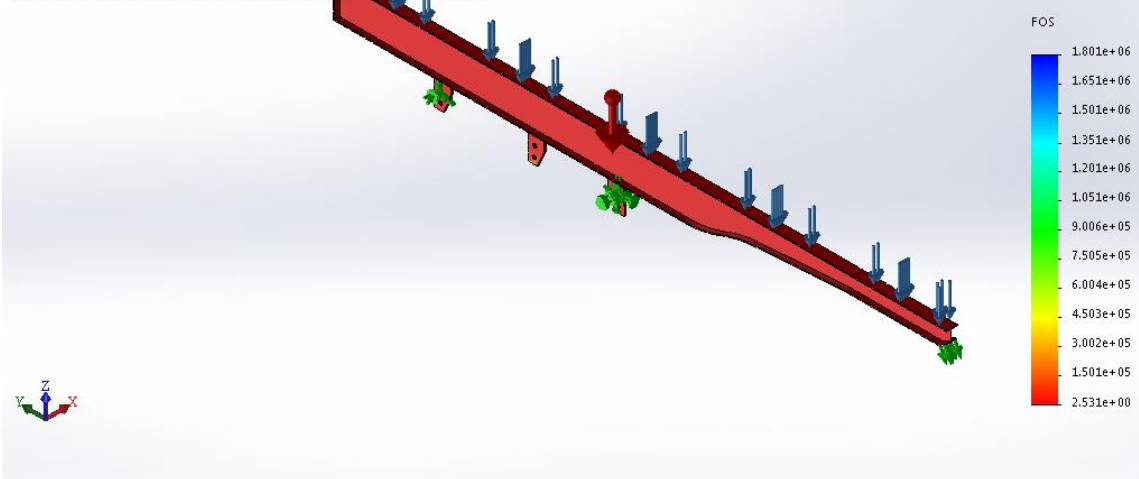
Рисунок 2.5 – Картина розподілу напружень в лонжеронах:

а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)

б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)

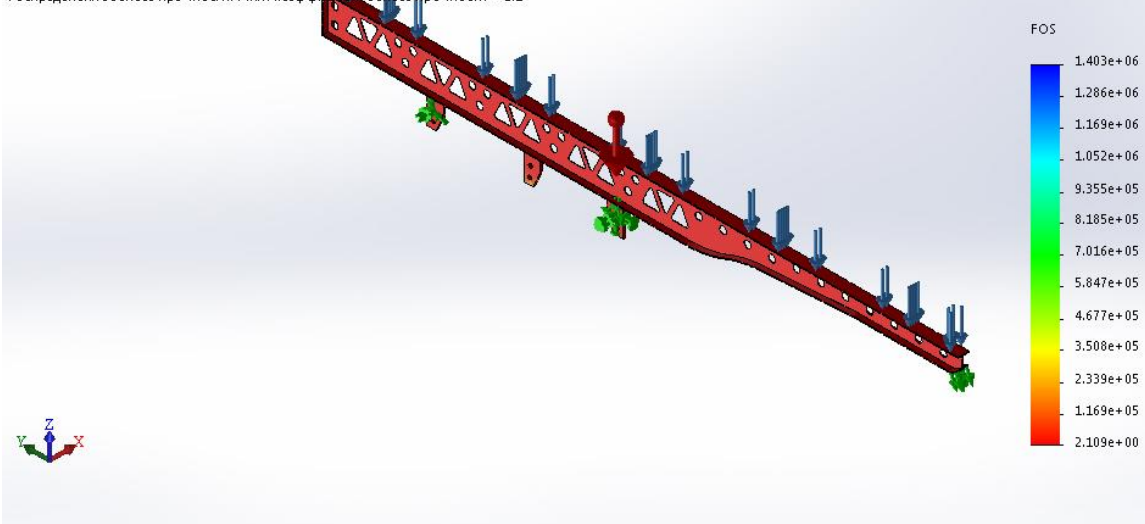
в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)

Имя модели: Лонжерон без отверстий
Название исследования: Статический 1(-Default)
Тип элюрия: Запас прочности Запас прочности1
Критерий: Авто
Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 2.5

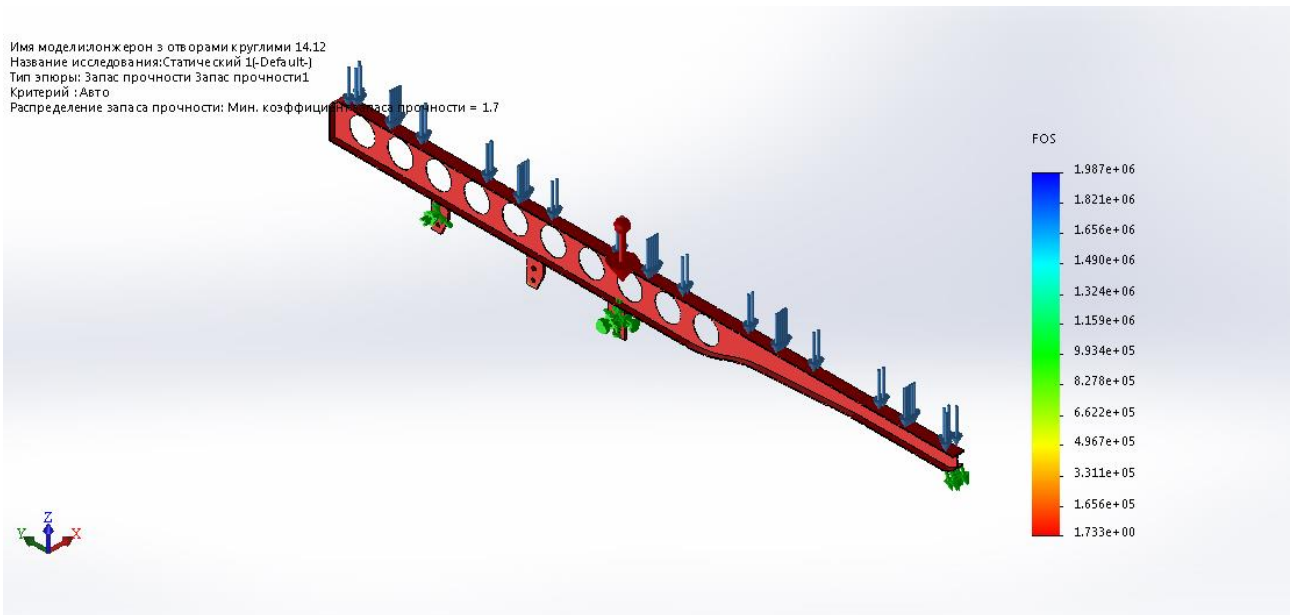


a)

Имя модели: Лонжерон1 (2)
Название исследования: Статичне (-Default)
Тип элюрия: Запас прочности Запас прочности1
Критерий: Авто
Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 2.1



б)



в)

Рисунок 2.6 – Коэффициенты запаса прочности за напряжениями:

- а) лонжерон із суцільною стінкою (варіант 1)
- б) лонжерон із перфорованою стінкою (отвори трикутні з нерегулярною схемою розташування) (варіант 2)
- в) лонжерон з перфорованою стінкою (отвори круглі з регулярною схемою розташування) (варіант 3)

Результати досліджень за усіма варіантами розрахунку зведено в табл.

2.1

Таблиця 2.1 – Результати моделювання напружено-деформівного стану несучої конструкції причепа та оцінка коефіцієнтів запасу міцності за напруженнями

Вид лонжерона	Максимальні переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Мінімальні коефіцієнти запасу міцності	відсоткове зменшення ваги, %
Варіант 1 (суцільна конструкція)	1,193	150,1	2,5	0
Варіант 2 (перфорація – трикутні отвори)	1,369	180	2,1	5,2
Варіант 3 (перфорація – круглі отвори)	1,558	219,3	1,7	11,3

Аналіз напружено-деформівного стану показав, що застосування перфорованих профілів дозволяє зменшити вагу конструкції лонжерона, але одночасно це приводить до збільшення напружень та прогинів. Отримані мінімальні значення коефіцієнтів міцності за напруженнями вимагають високого рівня даних, щодо експлуатаційних режимів роботи контейнеровоза.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

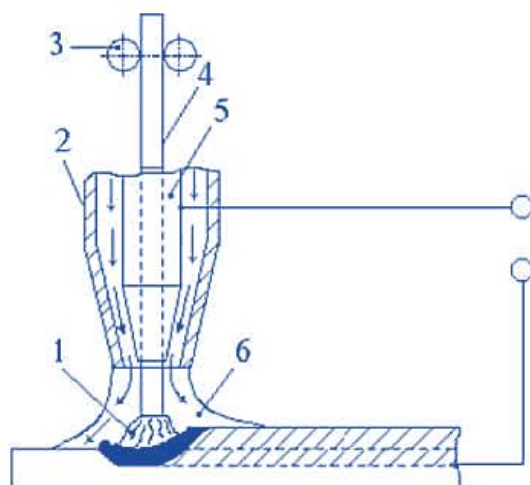
3.1 Обґрунтування способу зварювання

Для якісного виготовлення рами значну роль відіграє вибір способу її зварювання, який визначає рівень всіх інших операцій технологічного процесу зварювання. На теперішній час існує багато способів з'єднання металу, які вибирають враховуючи технологічність конструкції та параметри зварного шва. У нашому випадку обґрунтовується варіант зварювання, що застосовуватиметься при виготовленні рами. Конструкція його рами збиратиметься з 2-х поздовжніх зварювальних двотаврових балок, що мають змінний переріз по довжині, а також поперечних з'єднувальних балок. Ці балки виготовлені з гнутого швелерного профілю. Також застосовані інші елементи: косинки, різноманітні ребра жорсткості та ін.

Раціональне застосування способу зварювання визначається технологічністю, продуктивною здатністю, економічністю. Він також є екологічним. Також спосіб зварювання ув'язується з наявністю обладнання, яке є на підприємстві [4, 5, 9].

Найбільшого поширення у промисловому виробництві набули автоматизовані дугові способи зварювання, які виконуються в захисному газі електродом, що плавиться. Зазначений спосіб характеризується універсальністю виконуваного процесу, можливістю зварювання у всіх просторових положеннях. Також здатний зварювати вироби складної геометричної конфігурації без застосування спеціальних пристроїв чи пристосувань [5, 9].

Для зварювання застосовуємо технологію дугового зварювання плавким електродом. Електрод розплавляється і бере участь в утворенні шва. Схема ДЗГ з плавким електродам приведена на рис. 3.5 [5, 9].



- 1 – електрична дуга;
- 2 – газове сопло;
- 3 подають ролики;
- 4 - електродний дріт;
- 5 - мундштук;
- 6 - захисний газ

Рис. 3.5 - Схема ДЗГ із застосуванням плавкого електроду

Переваги дугового зварювання плавким електродом є наступними:

- висока густина потужності. При цьому утворюється відносно вузька зона термічного впливу;
- можливість впливу на метал шва за рахунок регулювання складу дроту та захисного газу;
- забезпечення механізації та автоматизації зварювання;
- висока продуктивність процесу.

Недоліком є суттєве розбризкування розплавленого електродного металу, якщо порівнювати із іншими способами.

Для зварювання лонжерона зазначеним методом застосовуємо зварювання в сумішах інертного газу (аргоном) з вуглекислим газом.

Для зварювання лонжерону підберемо дріт Св-08Г2С. Хімічний склад дроту та його механічні властивості наведені у таблицях 3.1 та 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад дроту Св – 08Г2С, % [6].

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
0,05	0,70	1,8	<	<	<	<
–	–	–	0,2	0,25	0,025	0,03
0,11	0,95	2,1				

Таблиця 3.3 – Механічні властивості дроту Св – 08Г2С[6]

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %
560	380	23

Зварювальний дріт Св-08Г2С обміднений є одним з найуніверсальніших типів дроту, який використовується в зварювальних процесах. Застосовується як для автоматичного і напівавтоматичного зварювання мало вуглецевих і низьколегованих сталей, зокрема 18Г2АФ. Для високонавантажених конструкцій, зокрема рамних конструкцій контейнеровозів використовуємо газову суміш у пропорції з CO_2 (80 %) і Ar (20 %). Зварний шов із застосуванням такої суміші та із застосування обмідненого дроту буде мати найвищі показники з умов міцності та ударної в'язкості.

Таким чином суміш аргону та вуглекислого газу у вказаних пропорціях дозволяє забезпечити струменеве перенесення електродного металу, і на цій основі отримати зварні шви високої пластичності у порівнянні із використанням інших видів сумішей. Також присутність вуглекислого газу в суміші дозволяє зменшити ризики появи пор. Варто зазначити, що суміш аргону з вуглекислим газом є значно дешевшою від чистого аргону.

Дріт Св-08Г2С має високі технологічні властивості і забезпечує високу надійність з'єднань.

До переваг можна віднести:

- відносно недорогий зварювальний матеріал;
- стабільне горіння дуги;
- стабільний хімічний склад дроту;
- висока якість обміднення (для обмідненого);
- застосовується для зварювання у будь-яких просторових положеннях.

З метою ефективного застосування вибраного способу зварювання та отримання зварних з'єднань високої якості необхідно розрахувати та підібрати режими зварювання.

Для необхідного розрахунку вихідними даними є:

- ✓ спосіб зварювання за рівнем автоматизації – автоматичний;
- ✓ тип з'єднання – таврове;
- ✓ товщина металу, що зварюється – $S = 10$ мм;
- ✓ положення шва та проходів – нижнє, один прохід;
- ✓ форма та розміри підготовки кромки – зі скосом однієї кромки.

Оскільки, що зварювання конструкцій рами виконується кутовими швами, з'єднання – таврове, то його конструктивні особливості наведено в таблиці 3.3. Відомості про стандартні типи з'єднань, швів, а також форм підготовки кромки взяті згідно нормативних документів.

Таблиця 3.3. – Параметри таврового зварного з'єднання [4, 6]

Умовні позначення	Конструктивні елементи		S, мм	b, мм		c, мм		e, мм		α , град $+2^\circ$
	Підготовка кромки зварювальних деталей	Шва зварного з'єднання		Номинальний	Граничне відхилення	Номинальний	Граничне відхилення	Номинальний	Граничне відхилення	
T6			10,0	0	+1	1	± 1	8	± 2	45

Тип шва за кількістю проходів беремо однопрохідним. Розрахунок режиму зварювання проводимо у такій послідовності:

Визначаємо площу поперечного перерізу шва

$$F_{\text{H}} = \frac{k^2}{2} \quad (3.1)$$

Катет шва приймаємо для Т1 – $k = 8$ мм

$$F_{\text{H8}} = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Для катета 8 мм – $d_e = 2,0$ мм.

Визначаємо зварювальний струм:

$$I_{\text{ЗВ}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j. \quad (3.2)$$

Для діаметра дроту 1.6 та 2,0 мм приймаємо $j = 120 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.

$$I_{\text{ЗВ8}} = \frac{\pi \cdot 2,0^2}{4} \cdot 120 = 376 \text{ А}$$

Визначаємо коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_{\text{H}} = A + B \frac{I_{\text{ЗВ}}}{d_{\text{ел}}}, \quad (3.3)$$

де $A = 7.0$; $B = 0.04$.

$$\alpha_{\text{H8}} = 7 + 0.04 \frac{376}{4} = 10,76 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

Визначаємо швидкість зварювання

$$V_{\text{ЗВ4}} = \frac{A}{I_{\text{ЗВ}}}, \text{ м/ГОД} \quad (3.4)$$

$$V_{\text{ЗВ8}} = \frac{10 \times 10^3}{376} = 26,6 \text{ м/год.}$$

Напругу зварювання:

$$U_{\text{Д}} = 20 + I_{\text{ЗВ}} \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{\text{ел}}}} \pm 1, \quad (3.5)$$

$$U_{д8} = 20 + \cdot 376 \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2,0}} \pm 1 = 33 \pm 1 \text{ В}$$

Приймаємо $U_{д} = 33\text{В}$.

Визначимо швидкість подачі дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{ел}^2 \cdot \gamma}, \quad (3.6)$$

де $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$;

$$V_{п.д.8} = \frac{4 \cdot 10,76 \cdot 10^{-3} \cdot 376}{3,14 \cdot (2,0 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} = 165 \frac{\text{м}}{\text{год}}$$

Маса наплавленого металу:

$$G_H = F_{св} \cdot l \cdot \rho \quad (3.7)$$

де, l – довжина шва, см;

ρ – густина наплавленого металу (для сталі $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$).

$$G_{H(T1)} = 26500 \cdot 0,32 \cdot 7,8 = 1248 \text{ г} = 1,248$$

Час горіння дуги [13]:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{св} \cdot \alpha_H}$$

(3.8)

$$t_{0(T1)} = \frac{1248}{376 \cdot 10,76} = 0,3 \text{ год}$$

Повний час зварювання:

$$T = \frac{t_0}{k_{\Pi}} \quad (3.9)$$

$$T_{(T1)} = \frac{0,3}{0,6} = 0,5.$$

де, k_{Π} – коефіцієнт використання зварювального поста ($k_{\Pi} = 0,6 \dots 0,57$).

Витрати електроенергії:

$$A = \frac{U_d \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0)$$

(3.10)

де U_d – напруга дуги, В;

η – ККД джерела живлення : при постійному струмі $0,6 \div 0,7$;

W_0 – потужність джерела живлення ($W_0 = 2,0 \div 3,0$ кВт).

$$A_{(H1)} = \frac{33 \cdot 376}{0,6 \cdot 1000} \cdot 0,3 + 3,0 \cdot (0,5 - 0,3) = 6,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Витрату захисного газу оберемо відповідно до таблиці 3.4 [6, 10].

Режими зварювання лонжерона рами приведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4 – Витрати газу залежно від величини $I_{зв}$ та U_d [6, 10]

Струм зварювання, А	50 ÷ 60	90 ÷ 100	150 ÷ 160	220 ÷ 240	280 ÷ 300	360 ÷ 380	430 ÷ 450
Напруга дуги, В	17 – 28	19 – 20	21 – 22	25 – 27	28 – 30	30 – 32	32 – 34
Витрата газу, л/хв	8 – 10	8 – 10	9 – 10	15 – 16	15 – 16	18 – 20	18 – 2

Таблиця 3.5 – Режими зварювання

Тип з'єднання	Сила струму $I_{зв}, A$	Напруга на дузі $U_{д}, B$	Діаметр дроту $d_e, мм$	Швидкість зварювання $V_{зв}, м/год$	Швидкість подачі дроту $V_{п. д.}, м/год$
T1	376	33	2,0	26,6	165

Зважаючи на обґрунтування способу зварювання, а також з метою забезпечення його розрахованого режиму вибираємо зварювальний автомат АДГ-630 (рис. 3.6). Автомат призначений для дводугового зварювання в захисному газі для зварювання стикових, напусткових і таврових з'єднань, які знаходяться усередині та поза колією автомата. Ескіз автомата представлено на рис. 3.7



Рис. 3.6 Автомат для зварювання АДГ-630

Технічні характеристики зварювального автомата АДГ-630 наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика автомата зварювального АДГ-630 [6]

Параметри	Значення
Напруга мережі живлення, при частоті 50 Гц, В	3x380
Номінальний зварювальний струм при ПВ=60%, А	630
Діаметр електродного дроту, мм Стальний порошковий	1,6-2,4 1,6-3,2
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	120 - 720
Межі регулювання швидкості зварювання, м/год	12-120
Межі регулювання часу розтяжки дуги,	0,5-1,2
Кут повороту зварювальної головки щодо вертикальної осі, град.	±90°
Кут повороту головки зварювальної навколо горизонтальної осі, град.	±45
Кут нахилу струмопідведення щодо вертикальної осі, град.	+45° (кут вперед) -30° (кут назад)
Хід вертикального супорта, мм	100
Хід горизонтального супорта, мм	100
Міжосьова відстань коліс, мм	240
Колісна колія, мм	185
Місткість касети для зварювального дроту, кг	15
Маса трактора, без дроту, кг	32
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	680x385x670

Для живлення автомата виберемо два зварювальні випрямлячі КИУ-501 (рис. 3.8). Технічні характеристики вибраного джерела живлення автомата наведено в таблиці 3.7.



Рис. 3.8 Зварювальний випрямляч КИУ-501 [11]

Таблиця 3.7 Технічна характеристика випрямляча КИУ – 501 [6]

Назва параметру	ЗНАЧЕННЯ
Номінальна напруга мережі живлення, В	3x380
Частота струму мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм при ПВ=60% та циклі зварювання 10хв., А	500
Межі плавного регулювання зварювального струму, А:	
- падаючі	50-500
- жорсткі	60-500
Межі регулювання робочої напруги, В:	
- падаючі	22-46
- жорсткі	18-50
Номінальна споживана потужність, кВА	40
Напруга холостого ходу, В	85
Маса, кг	230
Габаритні розміри, мм	730×590×830

Для прихоплень, а також для приварювання ребер жорсткості вибираємо напівавтомат КП-015 (рис. 3.9), для якого джерелом живлення є запропонований вище автомат. Характеристика напівавтомату приведена в таблиці 3.8.



Рис. 3.9- Напівавтомат КП 015 [6]

Таблиця 3.8 - Технічні характеристики напівавтомату КП-015 [6]

Номінальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А При ПВ=60% і циклі зварювання 5 хв.	315
Межі регулювання зварювального струму, А	50-315
Регулювання напруги на дузі	Плавне
Межі регулювання напруги на дузі, В	18-38
Діаметр електродного дроту, мм - суцільний - порошковий	0,8-1,4 1,2-1,4
Регулювання швидкості подачі електродного дроту	плавне
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	100-1000
Маса, кг - механізм подачі дроту - електродного дроту	9,5 5
Габаритні розміри механізму подачі дроту, мм	495x160x290

3.2 Опис технологічного процесу

У процесі виготовлення задіяні такі технологічні операції: правлення, різання, підготовка кромки і їх очищення, збирання і процес зварювання, контроль виконаного зварного з'єднання і конструкції в цілому.

Технологічний процес має такі операції:

010. Доставка сталевих листів зі складу і контроль якості його поверхні. Листи поставляють стандартних розмірів 6,0x1,5 м для операцій правлення та очищення його поверхні. Виконують перевірку сталі на наявність окалини, іржі та інших забруднень.

015. Правлення. Виконується попереднє виправлення поставленого підприємством листа для усунення хвилястості, серповидності, тощо. Ці технологічні операції виконують на листопривильній машині Vendmak BPSM (рис. 3.10).



Рис. 3.10 Листопривильна машина Vendmak BPSM [14]

020. Різання. Лист розрізається за допомогою установки для лазерного різання Mitsubishi ML3015eX-S (рис. 3.11).



Рис. 3.11 Установка Mitsubishi ML3015eX-S [14]

025. Розроблення кромки. Підготовку кромки під кутом 45° із плавильним притупленням 1 мм виконують кромкостругальною машиною АВМ 28 (рис.3.12).



Рис. 3.12 Кромкостругальна машина АВМ 28 [14]

030. Контроль геометричних розмірів.

035. Складання.

- Встановлюємо нижню полицю елемента на плиту складально-зварювального пристрою. Полицю встановлюємо між базовими фіксаторами.
- Встановлюємо стінку складеного двотавра на магніт упору.
- Встановлюємо стінку складеного двотавра на магніт натискного диска горизонтального пневмопритискача з виставленням його на відстані 20 ± 5 мм від торця.
- Встановлюємо верхню полицю. Для цього притискаємо лівий край до верхнього упору.
- Включаємо вертикальний пневмопритискач.
- Включаємо горизонтальний пневмопритискач для необхідного переміщення стінки до контакту з бобишками.

- Виконуємо прихоплення складених елементів виробу відповідно до креслень, а саме катет прихоплення 4мм, здійснюємо відступ від торця на 50-80мм; довжина прихвоплення 20мм.

- Виконуємо наварювання вивідних планок розміром 100x50x6мм кількість – 16 штук.

Для цього застосовують складальний стенд (рис. 3.13).



Рис. 3.13 Стенд складання лонжеронів [14]

040. Контроль складання. Контролюються зазори та взаємне розташування деталей за допомогою універсальних шаблонів та лінійки.

045. Зачистка. Видаляємо бризки, окалину, зашлакованість. Зачищення здійснюється шліфувальною машинкою Bosch GWS26-230.

050. Зварювання:

- Встановлюємо виріб у зону захоплення кантувача та закріплюємо його гвинтовими притисками.

- Встановлюємо зварювальну головку в стик, який буде зварюватися під кутом 40° до вертикальної стінки.

- Виконуємо пробне переміщення зварювальної головки і здійснюємо контроль відсутності зміщення зварювального дроту відносно центру оброблення стику кромки, застосовуючи маршеву швидкість апарату.

- Налаштовуємо зварювальний апарат на технологічний режим зварювання, що починається на вступних пластинах, а завершується – на вивідних пластинах.

Зварювання здійснюють спеціалізованою установкою (рис. 3.14).

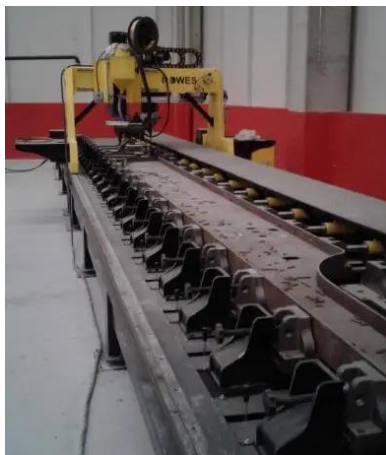


Рис. 3.14 Установка для зварювання [14]

Проводимо кантування конструкції на 180° і повторюємо операції.

055. Здійснюється видалення вивідних планок та зачищення зварних швів.

060. Правлення лонжерону. Виконується правлення складеного зварного лонжерону від короблення полиць за допомогою установки УТJ-60В (рис. 3.15).



Рис. 3.15 Установка для виправлення зварних балок типу УТJ-60В [14]

065. Контроль готового виробу. Провести візуальний контроль форми шва за допомогою шаблону УШС-4 (рис. 3.16), візуально оцінити наявність можливих подрізів, тріщин та зовнішніх дефектів. Внутрішні дефекти перевіряються дефектоскопом А1212 MASTER (рис. 3.17).

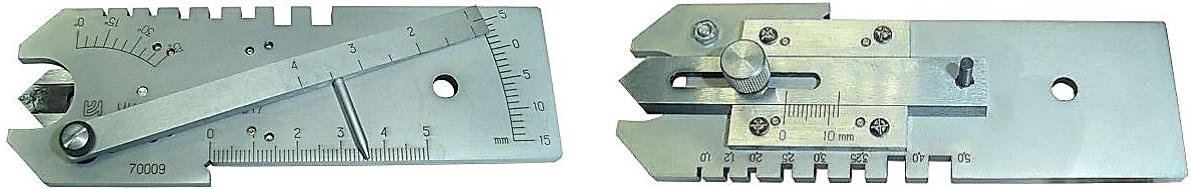


Рис. 3.16 Шаблон УШС-4



Рис. 3.17 Дефектоскоп А1212 MASTER [6]

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Пристосування для складально-зварювальних робіт

Складання поздовжніх несучих балок рамних конструкцій виконують в спеціально виготовленому складально-зварювальному кондукторі. На рис. 4.1 представлена схема кондуктора.

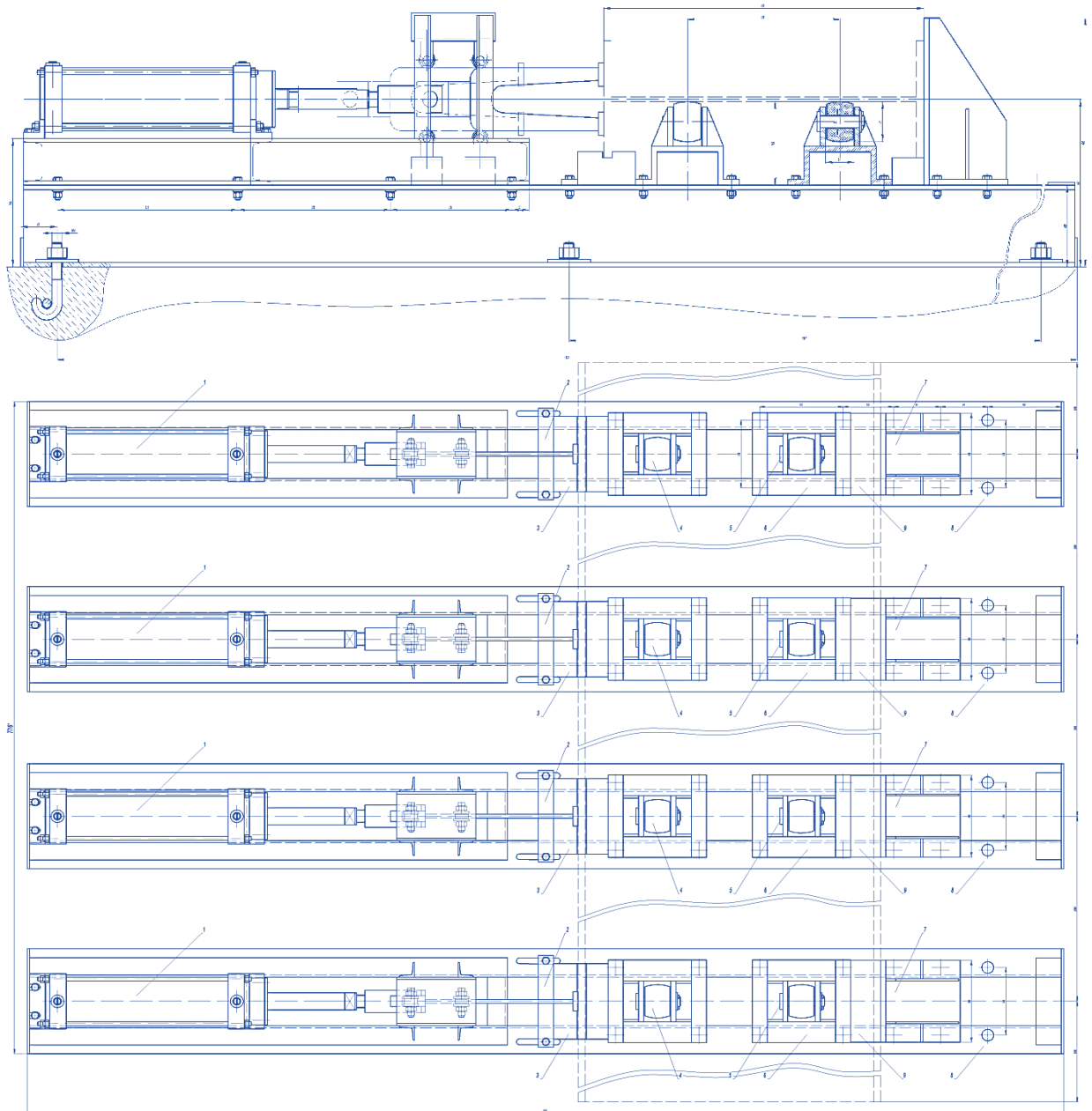


Рис. 4.1 – Схема кондуктора для складально-зварювальних робіт

Кондуктор складається з постійно розташованих упорів, а також рухомих притискачів, які змонтовані на одній плиті або рамі. Притискачі мають можливість пересуватись за допомогою пневматичних циліндрів. Конструкція притискача дає можливість позиціонувати щодо постійного упора, який позиціонований навпроти. Таке конструктивне рішення робить кондуктор універсальним. На ньому можуть встановлювати складені балки різних розмірів.

Нерухомі постійні упори кріпляться до фундаментної рами за допомогою спеціальних кронштейнів. Для налагоджування стану використовують змінні заставні сухарі.

Кожен з пневмопритискачів-упорів розрахований на зусилля притиску до 20 кН. Особливістю затискного пристрою є притиснення гнучких еластичних елементів до жорсткого елемента.

Після того, як встановлені та зафіксовані складові елементи лонжерона виконують одночасне зварювання двох кутових швів. Після зварювання обох лонжеронних балок безпосередньо складають саму раму напівпричепа-контейнеровоза із застосуванням універсального складального кондуктора (рис. 4.2) [16].

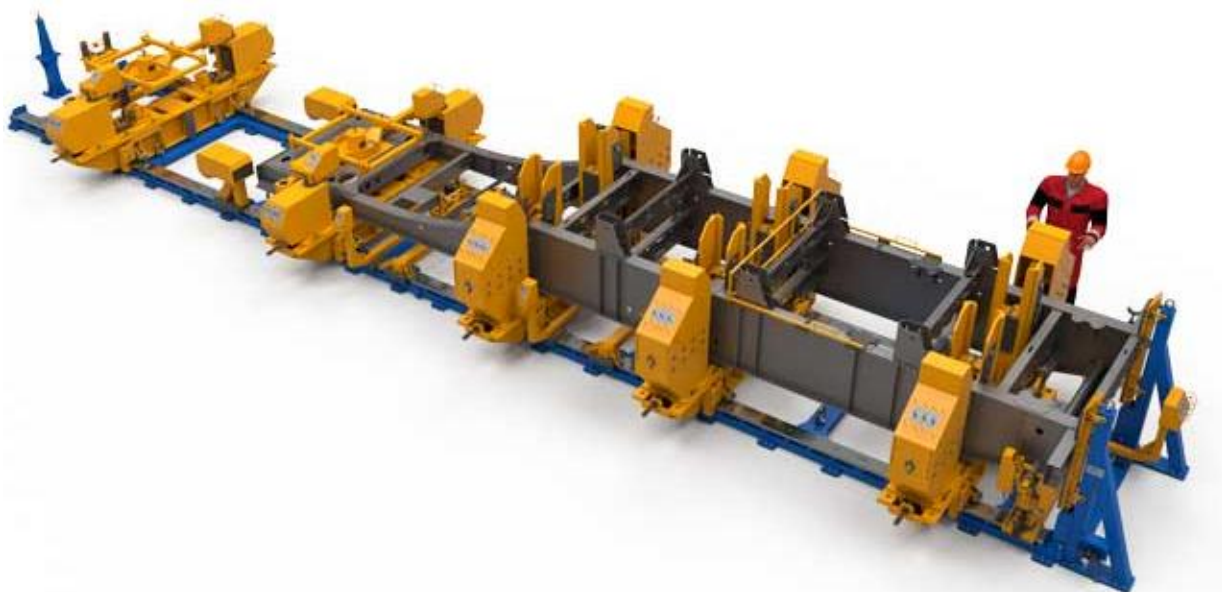


Рис. 4.2 Універсальний кондуктор складання рам [14]

Кондуктор може переналагоджуватись на той чи інший типорозмір рами. Складання рам відбувається таким чином: спочатку встановлюють поперечки рами, далі їх позиціонують пневматичними притискачами відносно вертикальної стінки балки. Після встановлення поперечин до них притискають лонжерони. Далі здійснюють прихоплення основних складальних одиниць рами. Дана конструкція кондуктора дозволяє забезпечувати точне позиціонування рами та якісне її виготовлення.

Наступною операцією є переміщення на кільцевий кондуктор (рис. 4.3). Конструкція кільцевого кондуктора позиціонувати складену раму відносно осі обертання в зручне для зварювання положення.



Рис. 4.3. Загальний вигляд зварювального кантувача [14]

4.2 Розрахунок притискної сили лонжерона в кондукторі

Розрахунок зусиль притискання проводимо згідно літератури [14].

Вихідним даними є:

довжина лонжерона $L = 12800$ мм;

матеріал лонжерона – сталь 18Г2АФ,

межа текучості $\sigma_t = 440$ МПа,

модуль пружності $E = 2,1 \times 10^5$ МПа,

висота стінки $h_c = 600$ мм,

товщина стінки $\delta_c = 8$ мм,

ширина полиці $b_{\text{п}} = 160$ мм,

товщина полиці $\delta_{\text{п}} = 16$ мм,

режим зварювання – $I = 376$ А, $U_{\text{д}} = 40$ В, $V_{\text{зв}} = 1$ см/с, $\eta = 0,8$,

катет шва $K = 8$ мм.

залишкова кутова деформація $\text{tg } \alpha = 0,01$.

Визначаємо центр ваги лонжерона:

Статичний момент перерізу балки

$$S_x = b_{\text{п}} \delta_{\text{п}} \frac{\delta_{\text{п}}}{2} + h_c \delta_c \left(\frac{h_c}{2} + \delta_{\text{п}} \right) \quad (4.1)$$

$$S_x = 16 \cdot 2 \cdot \frac{1,6}{2} + 60 \cdot 1 \left(\frac{60}{2} + 1,6 \right) = 1921 \text{ см}^3.$$

площа перерізу балки

$$F = h_c \delta_c + b_{\text{п}} \delta_{\text{п}} \quad (4.2)$$

$$F = 60 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 92 \text{ см}^2$$

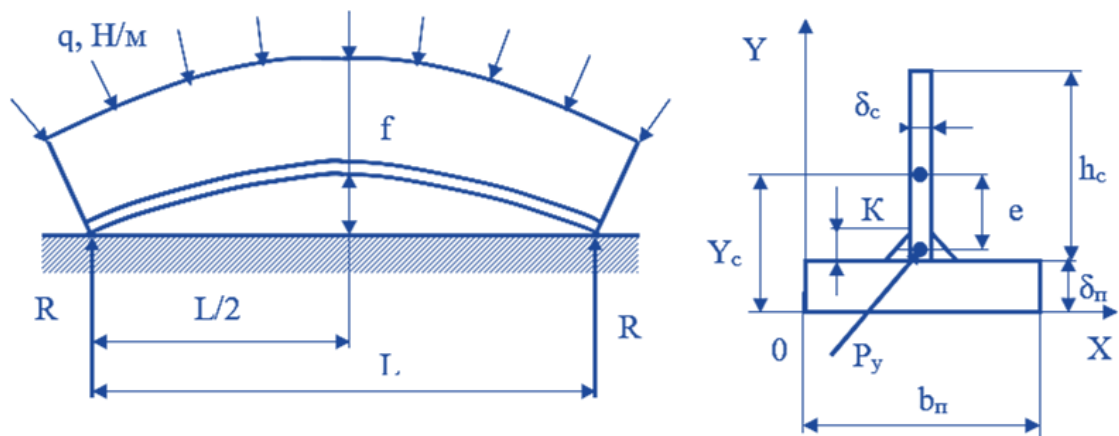


Рис. 4.4. Розрахункова схема притиску балки в кондукторі [14]

центр ваги балки

$$Y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{1920}{92} = 20,8 \text{ см.} \quad (4.3)$$

Ексцентриситет прикладання усадочної сили

$$e = Y_c - \left(\frac{1}{3} K + \delta_{\text{п}} \right) = 20,8 - \left(\frac{1}{3} 0,8 + 1,6 \right) = 18,9 \text{ см.} \quad (4.4)$$

Теплова потужність зварювальної дуги

$$q = IU_{\text{д}} \eta = 376 \cdot 33 \cdot 0,8 = 9926,4 \text{ Вт.} \quad (4.5)$$

Величина усадочної сили від зварювання двох поясних швів

$$P_{y2} = 1,15 \cdot 17 \frac{q}{V_{\text{зв}}} = 1,15 \cdot 17 \cdot \frac{9926,4}{1,0} = 194061,12 \text{ Н.} \quad (4.6)$$

Розподілене навантаження на балку

$$q = 9,6 \frac{P_{y2} \cdot e}{L^2} = 9,6 \frac{194061,12 \cdot 18,9 \cdot 10^{-2}}{13^2} = 19842,45 \text{ Н/м.} \quad (4.7)$$

Зосереджена сила, що діє на всю балку

$$Q = q \cdot L = 19842,5 \cdot 13 = 257951 \text{ Н.} \quad (4.8)$$

Опорні реакції на кінцях балки, закріпленої в кондукторі

$$R = \frac{Q}{2} = \frac{257951}{2} = 128975 \text{ Н.} \quad (4.9)$$

Визначимо сили на притискачах кондуктора для складання та зварювання балок у випадку утворення «грибоподібності» полиці при зварюванні поясних швів.

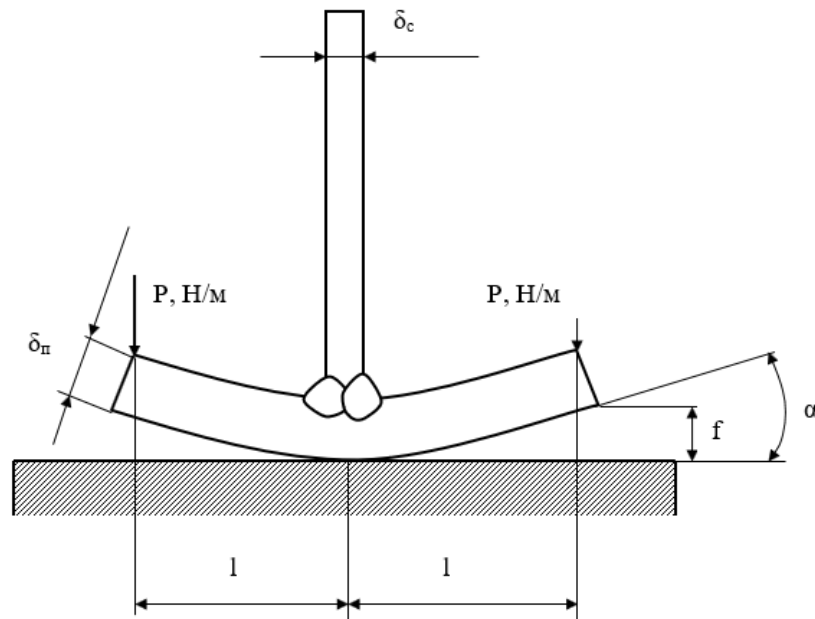


Рис. 4.5 Розрахункова схема визначення сил притиску при виникненні кутових деформацій після зварювання поясних швів [14]

Визначаємо критичне значення кутової деформації

$$tg\alpha_{кр} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{доп}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^{-3} \cdot 590 \cdot 10^6}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 0,008} = 0,037. \quad (4.10)$$

Якщо $\alpha < \alpha_{кр}$, то погонна сила притиску

$$P = \frac{\delta^3 \cdot tg\alpha \cdot E}{4 \cdot l^2}. \quad (4.11)$$

$$P = \frac{0,008^3 \cdot 0,01 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{4 \cdot 0,16^2} = 10\,500 \text{ Н/м.}$$

Тоді, сила притиску всієї полиці зварюваної балки

$$Q = 2P = 2 \times 10\,500 = 21\,000 \text{ Н/м.} \quad (4.12)$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки під час виконання електрозварювальних робіт

Зварювання металів відкритою дугою виробів середніх і малих розмірів в стаціонарних умовах повинно здійснюватися у вентильованих, спеціально обладнаних кабінах.

При проведенні робіт зі зварювання металів на відкритому повітрі над установками і зварювальними постами повинні бути споруджені укриття (навіси) від непогоди. Зварювальне устаткування повинно бути розміщене в металевих контейнерах. За відсутності навісів роботи зі зварювання під час дощу або снігопаду повинні бути припинені.

При виконанні робіт зі зварювання металів на висоті понад 1,3 м повинні встановлюватися майданчики і ліси з негорючих матеріалів.

Під час виконання робіт зі зварювання виробів з підігрівом повинні застосовуватися додаткові заходи для попередження можливого перегрівання.

Екранування підігрітого для зварювання виробу повинно відповідати ДСТУ 2894-94 «Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги» (далі - ДСТУ 2894-94).

Під час виконання робіт зі зварювання з попереднім нагріванням дозволяється робота двох зварників в одній кабіні тільки для зварювання одного виробу.

Температура укритих і відкритих нагрітих поверхонь виробів на робочих місцях не повинна перевищувати 43⁰С відповідно до ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих

поверхонь» (далі - ДСТУ EN 563-2001), за винятком зварювання легованих і високовуглецевих сталей III і IV груп зварюваності, технологія зварювання яких потребує попереднього і супутнього підігріву в процесі зварювання від 100⁰С до 400⁰С.

Не дозволяється проводити електрозварювальні роботи всередині ємностей при температурі повітря вище 43⁰С без застосування спеціальних засобів індивідуального захисту для забезпечення ефективного теплозахисту і подавання чистого повітря до працівника.

Забороняється працювати біля неогороджених або незакритих люків, прорізів, колодязів.

Перед спусканням в закриті ємності через люк працівник повинен переконатися, що кришка люка надійно закріплена у відкритому положенні.

Роботи зі зварювання металів в закритих ємностях повинні виконуватися за умов:

- наявності контрольних постів для спостереження за роботою працівника;
- наявності люків для прокладання комунікацій та евакуації працівника;
- безперервної роботи місцевої витяжної вентиляції і засобів, які унеможливають накопичення шкідливих речовин у повітрі робочої зони вище граничнодопустимих концентрацій і кисню менше 19 % (за об'ємом);
- наявності у зварювальному устаткуванні автоматичного відключення подавання захисного газу і напруги холостого ходу в разі розриву зварювального кола;
- забезпечення працівника рятувальними засобами та засобами індивідуального захисту.

Під час зварювання металів в закритих ємностях працівник повинен мати рятувально-запобіжний пояс з канатом, кінець якого знаходиться у

спостерігача, а також рятувальні лямки. Спостерігач повинен підтримувати постійний зв'язок з працівником.

Не дозволяється виконувати зварювання металів всередині закритих ємностей (в цистернах, резервуарах, баках) без вентиляції.

Під час зварювання металів всередині закритих ємностей повинен використовуватися місцевий відсмоктувач біля зварювальної дуги або установка загального вентилявання з обов'язковим використанням вентиляторів високого тиску і гнучких рукавів. Довжина і діаметр шлангів обираються так, щоб повний опір всієї системи становив 2000-2500 кг/м².

Мінімальний повітрообмін на один електрозварювальний пост повинен становити 2000 м³/год.

Під час зварювання в закритих ємностях (газгольдерах, цистернах) та в разі унеможливлення улаштування місцевої витяжки повинно забезпечуватися подавання чистого повітря за допомогою гнучкого шланга безпосередньо до працівника.

Об'єм поданого повітря визначається залежно від відстані між патрубком, через який подається повітря, і працівником:

- до 3000 м³/год - при відстані не більше 1,5 м;
- до 6000 м³/год - при відстані - 1,5-3 м.

При улаштуванні витяжки із закритих ємностей, не наближеної до місця зварювання, об'єм повітря, що видаляється, повинен бути не менше 2000 м³ на 1кг витратних електродів.

5.2 Вимоги до робочих місць при виконанні зварювальних робіт

Постійне робоче місце зварника повинно бути обладнане раціонально улаштованим столом та пристосуваннями для утримання і переміщення оброблюваного виробу, забезпечувати зручне положення працівника, а при зварюванні або ручному різанні дрібних деталей - уможливлювати роботу працівника сидячи.

На стаціонарних робочих місцях електрозварників, різальників встановлюється стійка з гачком або вилкою для підвішування погашених пальників або різаків під час перерви у роботі. На тимчасових робочих місцях погашені пальники або різакі дозволяється підвішувати на частини оброблюваної конструкції (кронштейни, мірні пристрої тощо).

На кожне стаціонарне робоче місце працівника з електрозварювальних робіт, крім площі, займаної устаткуванням і проходами, повинно бути відведено не менше 4,5 м².

На стаціонарних робочих місцях у положенні «стоячи» повинні використовуватися спеціальні підставки (підвіски) для зменшення статичного навантаження на руки працівника.

Не дозволяється полегшувати навантаження на руку працівника перекиданням шланга (кабелю) через плече або навиванням його на руку працівника.

Для захисту працівників, що працюють поруч або нижче ярусом, повинні бути передбачені захисні огороження від випромінювань, іскор і бризок розплавленого металу, випадкового падіння недогарків електродів.

Під час зварювання металів відкритою дугою робочі місця у приміщенні повинні бути відділені від суміжних робочих місць і проходів негорючими екранами (ширмами, щитами) заввишки не менше 1,8 м. При зварюванні на відкритому повітрі захисні огороження повинні бути

встановлені на відстані не менше 2 м в разі одночасної роботи декількох працівників поблизу один одного і на ділянках інтенсивного руху людей.

Вимоги до режимів роботи, порядку обслуговування устаткування в звичайних умовах експлуатації і в аварійній ситуації встановлюються роботодавцем відповідно до Інструкції з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухопожежебезпечних та вибухонебезпечних об'єктах, затвердженої наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 5 червня 2001 року № 255, зареєстрованої в Міністерстві юстиції України 23 червня 2001 року за № 541/5732 (НПАОП 0.00-5.12-01).

За наявності в стаціонарних зварювальних машинах більше одного органа керування одним параметром повинно унеможливлуватися одночасне керування цим параметром з різних постів.

Органи керування, які здійснюють увімкнення і зупинення процесу теплового різання, повинні відповідати вимогам безпеки.

Керування і контролювання роботи напівавтоматичних і автоматичних плазмових стаціонарних і переносних машин повинні здійснюватися дистанційно.

У разі монтажу і ремонту посудин дозволяється проводити зварювання при температурі навколишнього повітря нижче 0⁰С за умов дотримання вимог, передбачених в технічних умовах або інструкціях з монтажу і ремонту посудин.

Усувати несправності в зварювальній машині, плазмотроні, замінити деталі плазмотрона, що вийшли з ладу, дозволяється тільки при відімкненому живленні установки і тільки працівникам, які обслуговують цю установку і мають групу з електробезпеки відповідно до Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджених наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 9

січня 1998 року № 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10 лютого 1998 року за № 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98).

Під час запалювання «чергової дуги» отвір сопла повинен бути направлений убік від працівників, які знаходяться поруч.

Запалювання «чергової дуги» замиканням повинно виконуватися за допомогою спеціального пристрою з ізолюваною ручкою завдовжки не менше 150 мм.

На робочому місці під ногами працівника повинен бути розташований килим гумовий діелектричний.

На ділянці лазерного зварювання і різання металів повинен знаходитися план розміщення установок з позначенням лазерної небезпечної зони.

Вибухонебезпечні електронно-променеві установки повинні бути розміщені в ізолюваних та обладнаних припливно-витяжною вентиляцією виробничих приміщеннях.

Приготування клеїв, паст, герметиків і нанесення їх на зварювані деталі повинні здійснюватися у виділених для цього приміщеннях.

Дозволяється виконувати нанесення клеїв, паст, герметиків у приміщенні складально-зварювального цеху на спеціальній ділянці, на якій передбачені заходи щодо запобігання вибуху і поширенню пожежі.

Об'ємно-планувальні рішення приміщень для зварювання металів в середовищі захисних газів повинні унеможливити проникнення цих газів у суміжні і нижче розташовані приміщення, а також скупчення газів у застійних зонах.

Для видалення зварювального пилу і газів влаштовується місцева вентиляція безпосередньо біля місця їх утворення.

Пости електрошлакового зварювання повинні бути обладнані місцевою витяжною вентиляцією.

Над зварюваними виробами в зоні максимального виділення зварювального аерозолі і газів швидкість видалення забрудненого повітря повинна бути не менше 1,5 м/с.

Видалення пилу і газів, що утворюються під час автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом, здійснюється місцевими відсмоктувачами, розташованими безпосередньо біля місця зварювання над зварним швом.

5.3 Характеристика впливу повітряної ударної хвилі при вибуху газоповітряної суміші

Найбільш часто виникає надзвичайна ситуація при виробничих аваріях, катастрофах і стихійних лихах, пов'язана з вибухом газоповітряної суміші. Вражаюча дія при вибуху виробляє ударна хвиля, механічний вплив на предмет. Предмет який піддався дії ударної хвилі може бути переміщений, відкинутий, деформований або пошкоджений.

Дана робота дозволяє визначити найбільш слабкий елемент об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху та розробити заходи щодо підвищення його стійкості, що є необхідною умовою забезпечення безперервної роботи в умовах надзвичайних ситуацій.

Повітряна ударна хвиля - це область різкого стиску повітря, що розповсюджується в усі сторони від центра вибуху з надзвуковою швидкістю. Джерелом виникнення ударної хвилі є високий тиск в області вибуху (мільярди атмосфер) і температура, що досягає мільйонів градусів.

Розпечені гази, прагнучи розширитися, сильно стискають і нагрівають навколишні шари повітря, в результаті чого від центру вибуху утворюється хвиля стиснення або ударна хвиля. Поблизу центру вибуху швидкість розповсюдження ударної хвилі в кілька разів перевищує швидкість звуку в

повітрі. Зі збільшенням відстані від центру вибуху швидкість знижується, і ударна хвиля трансформується в звукову хвилю.

Найбільший тиск у стислій області спостерігається на передній її кромці, яка називається фактором ударної повітряної хвилі. Різниця між нормальним атмосферним тиском і тиском на передній кромці ударної хвилі становить величину надлишкового тиску.

Безпосередньо за фронтом ударної хвилі утворюються сильні потоки повітря, швидкість яких досягає декількох сотень кілометрів на годину. При зустрічі з перешкодою створюється навантаження швидкісного напору або навантаження гальмування, яке посилює руйнівну дію ударної хвилі. Дія впливу ударної хвилі на об'єкти носить досить складний характер і залежить від багатьох причин: кута падіння, реакції об'єкта, відстані від центру вибуху і т.д. Коли фронт ударної хвилі досягає передньої стінки об'єкта, відбувається її відображення. Тиск у відбитої хвилі підвищується в кілька разів, що й визначає ступінь руйнування даного об'єкта.

Для характеристики руйнувань будівель, споруд прийняті чотири ступені руйнування: повні, сильні, середні і слабкі.

Повні руйнування - коли руйнуються всі основні елементи будівлі, в тому числі і несучі конструкції. Підвальні приміщення можуть частково зберегтися. Сильні руйнування - коли руйнуються несучі конструкції і перекриття верхніх поверхів, деформуються перекриття нижніх поверхів. Використання будівлі неможливо, а відновлення недоцільно.

Середні руйнування - коли руйнуються дахи, внутрішні перегородки та частково перекриття верхніх поверхів. Після розчищення частина приміщень нижніх поверхів і підвали можуть бути використані. Відновлення будинків можливо при проведенні капітального ремонту.

Слабкі руйнування - коли руйнуються віконні та дверні заповнення, покрівлю та легкі внутрішні перегородки. Можливі тріщини в стінах верхніх поверхів. Будівля може експлуатуватися після поточного ремонту.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто класифікацію несучих конструкцій транспортних засобів. Наведено їх переваги і недоліки

2. Зазначено особливості експлуатації транспортних засобів та їхніх несучих систем. Вказано, що при експлуатації можуть виникати пошкодження, які надалі при циклічному навантаженні можуть трансформуватись у втомні тріщини.

3. У зв'язку з тим, що несучі конструкції є відповідальними структурами, розроблено ряд технічних та технологічних рішень, які забезпечуватимуть їх надійну роботу.

4. Проведення дослідження полегшених варіантів несучих конструкцій: перфорованих несучих балок – лонжеронів. Методом скінчених елементів проведено моделювання напружено-деформівного стану лонжеронів з суцільною стінкою та лонжеронів з перфорованою стінкою. Одним з досліджуваних варіантів перфорації є трикутні отвори з нерегулярним їх розташуванням. Іншим варіантом перфорації стінки лонжеронів є круглі отвори з рівномірним розташуванням.

5. Аналіз напружено-деформівного стану показав, що застосування перфорованих профілів дозволяє зменшити вагу конструкції лонжерона, але одночасно це приводить до збільшення напружень та прогинів. Отримані мінімальні значення коефіцієнтів міцності за напруженнями вимагають високого рівня даних, щодо експлуатаційних режимів роботи контейнеровоза.

6. Для виготовлення несучих рам контейнеровозів, у тому числі перфорованих, запропоновано ефективні складально-зварювальні пристосування та сучасне обладнання для виконання зварювальних процесів. Такі рішення дозволили підняти рівень ефективності виробництва, підвищити міцність, надійність і довговічність рамних конструкцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту: конструкція. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2002. - 164 с
2. http://www.s-metall.com.ua/spravochnik_stalej.html
3. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів.: Навчальний посібник. – Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. - 263 с.
4. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
5. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
6. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
7. Овчаренко В.А., Подлесний С.В., Зінченко С.М. Основи методу кінцевих елементів і його застосування в інженерних розрахунках: Навчальний посібник. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 380 с.
8. Биковский, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Піньковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
9. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
10. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
11. <https://kzeso.com/en/>

12. <https://svartech.com.ua/ua/>
13. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/defektoskop-ultrazvukovoy-ud-1.html>
14. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
15. Analysis of the stress-strain state of the vehicle frame by finite element method // Mykola Stashkiv, Ivan Pidgurskyi, Oleh Pidluzhnyi, Mykola Pidgurskyi, Mykhaylo Levkovych, Ruslan Skliarov, Andriy Mushak // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2022. — Vol 108. — No 4. — P. 89–102.
16. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
17. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.
18. Особливості дослідження напружено-деформівного стану будівельних сталевих перфорованих балок методом скінчених елементів / М. Підгурський, І. Підгурський, М. Сташків, В. Ігнат'єва, С. Данильченко, Д. Биків, О. Підлужний // Вісник ТНТУ. — Т. : ТНТУ, 2023. — Том 111. — № 3. — С. 126–138.

ДОДАТКИ