

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: Вдосконалення технології зварювання рами півприцепа типу
ПТС-9 (зерновоз) з дослідженням напружено-деформівного стану

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Мисько В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Підгурський М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: " Вдосконалення технології зварювання рами півприцепа типу ПТС-9 (зерновоз) з дослідженням напружено-деформівного стану " складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 61 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, дослідницька, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Розглянуто існуючі технологічні процеси виготовлення причіпних рамних конструкцій та проведено їх критичний аналіз. Із врахуванням вимог до рами прицепа та із врахуванням маси вантажів, для перевезення який застосовується проведено моделювання напружено-деформівного стану конструкції рами. Дослідження проводили в програмному комплексі SolidWorks. За отриманими результатами встановлено небезпечні ділянки рами та запропоновано шляхи їх підсилення.

На основі запропонованих рішень розроблено технологічний процес зварювання рами прицепа типу ПТС-9. Для цього запропоновано спеціальне складально-зварювальне пристосування, яке дозволяє пришвидшити процес виготовлення та підвищити якісні показники конструкції.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ, ЗАХИСНИЙ ГАЗ, НАПІВАВТОМАТ, РАМА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНИЙ СТАН.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи	7
1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції.....	10
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу	12
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	15
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
3.1 Обґрунтування способу зварювання	25
3.2 Опис технологічного процесу	33
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	42
4.1 Вибір пристосувань та опис їх роботи	42
4.2 розрахунок зварювального кантувача.....	46
4.3 Розрахунок гвинтових притискачів кондуктора	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
5.1 Охорона праці	52
5.2 Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта до ударної хвилі	55
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Зварювання – прогресивний технологічний процес отримання нероз’ємних з’єднань деталей, який дозволяє створювати сучасні конструкції з високими експлуатаційними характеристиками. Переваги зварних з’єднань сприяють широкому використанню їх у виробках різного призначення. Цей процес дозволяє економити матеріали і час при виготовленні конструкцій. Він відкриває нові, більш широкі, можливості механізації і автоматизації виробництва, створює умови для підвищення продуктивності праці, дозволяє збільшити випуск продукції без розширення виробничих площ і вимагає менших металовкладень [2].

Технологічний процес виготовлення зварних конструкцій повинен забезпечити отримання необхідних технічних характеристик виробу, забезпечувати можливість зниження її металомісткості і високу технологічність. Технологічною вважається конструкція, яка забезпечує найбільш просте, швидке і економічне виготовлення при обов'язковому дотриманні необхідних умов міцності, стійкості, витривалості та інших експлуатаційних властивостей, тобто конструкція, в якій дотримується відповідність прогресивних конструктивних рішень передовим технологічним можливостям виробництва [2].

Хоча зварювання і є передовим технологічним процесом виготовлення металевих конструкцій, проте значна частина загальної трудомісткості виробництва зварного виробу припадає на транспортні, заготівельні, складальні і опоряджувальні операції. Тому забезпечення реальної інтенсифікації виробництва зварних конструкцій можливо лише на основі комплексної механізації і автоматизації всіх основних і допоміжних операцій.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи

Тракторні причеи застосовують для транспортування та перевезення різних вантажів. Вони складається з:

- ходової частини та коліс;
- рами;
- бортового кузова;
- механізму, який відповідає за підйом;
- причіпного пристрою.

Тракторні причеи розрізняють в залежності від конструкції ходової частини на:

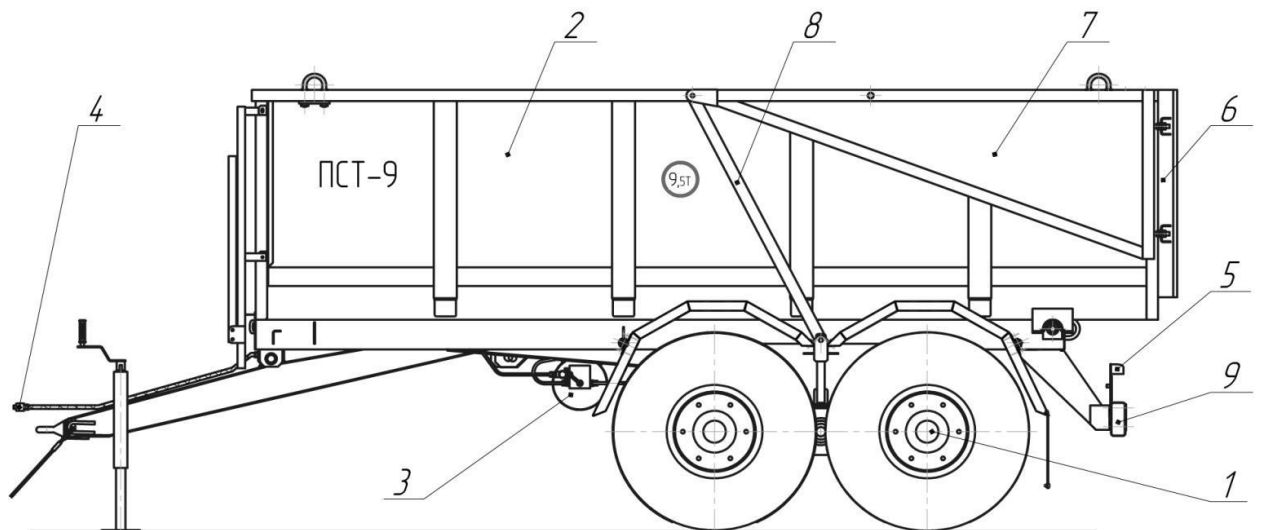
- причеи - це багатовісні транспортні засоби , які можна агрегатувати з тяговими тракторами. В Таких засобах розподілення ваги вантажу є рівномірне по шасі;

- напівпричеи. Вони випускаються одно- та багатовісними. Вага таких конструкцій розподіляється між ходовою частиною тягача та їх колесами. Агрегатування таких засобів здійснюється технікою, на рамі якої вмонтовано спеціальні зчіпні пристрої. Ці пристрої називають сідлами.

Тракторні причеи бувають двох видів: одновісні та двовісні. Найбільш широкого застосування знайшли одноосьові самоскидні причіпи. Вони застосовуються для транспортування різних напіврідких та сипких вантажів. Другі характеризуються величезними габаритами. Вони застосовуються для транспортування у великих обсягах сипких матеріалів і важких вантажів.

В даній роботі розглядається технологічний процес виготовлення рами півприцепа ПТС-9. Даний напівприцеп відноситься до двовісних самоскидних причепів. Тракторний напівприцеп типу ПСТ-9 (рис. 1.1) призначений для транспортування різних сільськогосподарських вантажів, зокрема: зерна, коренеплодів, органічних добрив. Експлуатується дорогами місцевого

значення IV-VI категорії та в польових умовах (без виїзду на дороги I-III категорій). Даний напівпричіп має балансирний візок із жорсткою або ресорною підвіскою на шинах 16,5/70-18, що підвищує плавність ходу, та обладнаний пневматичною гальмівною системою. Дана конструкція причепа типу 1-ПТС-9 обладнана вантажною платформою з підвіскою ресорного напівеліптичного типу, призначеною на вантажопідйомність – до 9 т. Може розвивати швидкість до 30 км/год. Напівпричіп ПТС-9 розрахований на експлуатацію за температури навколишнього повітря від мінус 40 до плюс 40. Напівпричіп розрахований на безгаражне зберігання [3].



- 1 – шасі; 2 – кузов; 3 – гальмівна система;
- 4 – гідропривід підйому кузова;
- 5 – електрообладнання; 6 – задній борт;
- 7 – важіль; 8 – тяга;
- 9 – задній захисний пристрій.



Рис. 1.1 – Загальний вигляд напівпричепа типу ПТС-9 [3,4]

Даний напівпричеп складається з таких основних елементів [3].

- підйомний механізм, який складається з триштокового телескопічного гідроциліндра вантажопідйомність до 12 т;
- кузова, виготовленого суцільнометалевим товщиною металу 2 мм з підсиленням за допомогою труби розміром 80x60 з товщиною стінки 4 мм;
- рами причепа, яка виготовляється із 180-го швелера;
- надрамник - із 160-го швелера;
- підвіска - виготовлена типу тандем вантажопідйомністю до 12 т, оснащена осями цільнолитого квадрат $\square 80$ мм;
- петля дишла-з навантаженням до 1500 кг.

Рама даної машини складається з дишла, опори, двох лонжеронів, балок та інших конструктивних елементів (рис.1.2).

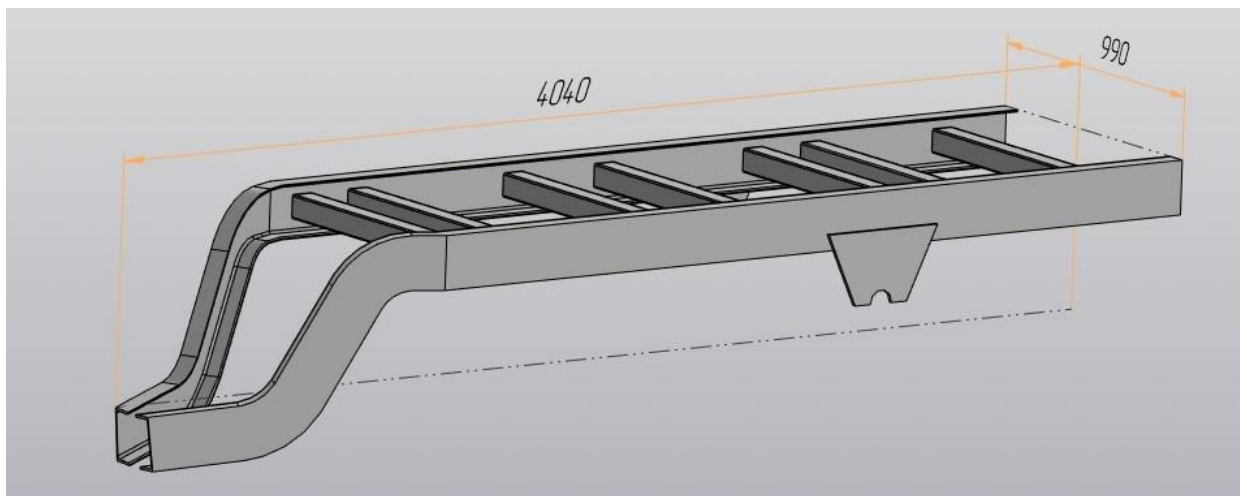


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд рами

В більшості випадків рамні конструкції для сільськогосподарської техніки виготовляють із маловуглецевих конструкційних сталей. Рамні конструкції які призначені для сільськогосподарських робіт виготовляють із сталі 20. Дана сталь має добру зварюваність. Хімічний склад та властивості сталі наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі марки сталь 20 за ГОСТ 1050-74[1]

Сталь	C	Si	Cu	S	P	Cr	Ni	Cu	As
				не більше					
Сталь 20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,04	0,035	0,25	0,25	0,25	0,08

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі марки сталь 20 за ГОСТ 1050-74 [1]

Сталь	Ψ, %	σ, МПа	δ, %
	не менше		
Сталь 20	55	410	25

Складальні одиниці рами є конструкціями 2 класу, тому матеріал з якого вони виготовляються повинен забезпечувати надійну і тривалу роботу виробу, технологічність, добре оброблення та зварюваність.

Зварюваність визначаємо за $C_{скв}$ вмісту вуглецю:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B, [5] \quad (1.1)$$

де C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, Cu, V, B – вміст хімічних елементів в сталі, %.

$$C_e = 0,24 + \frac{0,65}{6} + \frac{0,37}{24} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,25}{15} = 0,44\%$$

За результатами розрахунків можна сказати що дана сталь добре зварюється, так як $C_{скв} < 0,45$.

Оскільки рама є просторовою конструкцією та працює при статичних і динамічних навантаженнях, то до її виготовлення ставляться високі вимоги.

1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

Конструкція рами та її елементи повинні бути міцними, жорсткими та надійними. Забезпечувати стійкість та довговічність при експлуатації, бути ремонтпридатною та технологічною при виготовленні [6].

При проектуванні рами, повинна забезпечуватись її технологічність.

У виробництві рамних конструкцій необхідно застосовувати найменшу кількість зварних швів в одному місці. Такі заходи необхідні для зменшення деформацій після зварювання. Не допускається на одній несучій конструкції застосовувати зварні шви і заклепки на протилежних кінцях. Оскільки ці типи з'єднань по-різному сприймають розподілене навантаження.

Для з'єднання елементів рами доцільно застосовувати механізовані та автоматизовані способи зварювання.

Для стабілізації розмірів рами рекомендується призначати перед механічною обробкою високий відпуску для зняття напружень.

Також, необхідно дотримуватись наступних рекомендацій:

- зварювання кутових з'єднань бажано здійснювати у положенні «в човник»;
- проводити механічне оброблення швів для зняття концентраторів напружень;
- з метою підвищення витривалості з'єднання повинні мати плавний радіус переходу в зоні сплавлення зварного шва. Для цього необхідно проводити оплавлення ділянки переходу від шва до основного металу аргоно-дуговим зварюванням;
- проводити дробострумине оброблення зварного з'єднання для створення в поверхневих шарах залишкових напружень стиску.

Зварні з'єднання виконуватись з дотриманням наступних вимоги:

- дотримання форми і розмірів швів у відповідності до технічних умов, вказаних на кресленнях;
- використання основного і зварювального матеріалів з мінімальним вмістом сірки і фосфору;
- проведення умов, що приводять до дрібнозернистості структури первинної кристалізації.

До складальних операцій допускаються деталі і заготовки які відповідають розмірам згідно креслень, а також з необхідним розробленням кромки,

кутами зрізу і чистотою поверхні. Підготовка кромки і зазор між складеними деталями повинні відповідати стандартам:

- а) при ручному дуговому зварюванні – ГОСТ5264-80;
- б) при автоматичному зварюванні під шаром флюсу - ГОСТ8713-79;
- в) при зварюванні в середовищі захисних газів - ГОСТ14771-79.

Складання повинно проводитись в складальних пристосуваннях або на стендах у відповідності з ОСТ 23.2.429-80. Основний метал для складання в місцях зварювання повинен бути захищений від іржі, мастил, вологи, окалин та інших забруднень, які можуть привести до утворення дефектів в швах. Допустимі зазори та зміщення зварювальних кромки при складанні елементів конструкції під зварювання повинні відповідати ОСТ 23.1.466-78.

При напівавтоматичному зварюванні у вуглекислому газі прихвачування повинні використовуватись лише в місцях та послідовності передбачених технологічним процесом. Переріз прихвачувань має бути не менший 0,35 та не більший 0,75 перерізу шва, а довжина прихвачувань повинна бути не більше 25 мм. Прихвачування необхідно очищати від шлаку. Наявність в прихвачуваннях тріщин та шлакових включень не допускається.

При виготовленні виробу дефекти зварних з'єднань не повинні перевищувати норм встановлених ОСТ 23.3.429-80. При виявленні у зварному з'єднанні дефектів, наявність яких без виправлень допустима згідно з ОСТ 23.2.429-80, загальна довжина ділянок із дефектами не повинна перевищувати 15% від загальної довжини шва зварного з'єднання. Виправлення дефектів не допускається проводити більше двох раз в одному і тому ж місці. Основні типи та конструктивні елементи швів повинні відповідати ОСТ 23.1.466-78.

1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

Заготовки, з яких зварюють вузли виробу виготовляють із листового прокату та гнутих профілів. Процес виготовлення заготовок із листової сталі включає наступні операції: правлення, розмічування, різання та гнуття [2].

Правлення листового прокату здійснюють у холодному стані на листопривильних валах. Розмічування деталей на листах проводять на спеціальних розмічувальних стендах з використанням намічувальних шаблонів. Деталі великих розмірів не розмічують, а проводять різання по упору механічним способом на гільотинних ножицях. Деталі невеликих розмірів та відриви вирубують в штампах. Згинання заготовок проводять у холодному стані на спеціальних пресах.

Для виготовлення рами застосовують спосіб електродугового напівавтоматичного зварювання плавким електродом у середовищі захисного газу. В якості захисного газу використовують вуглекислий газ.

Зварювання рами (та її вузлів) виконується напівавтоматом ПДГ-502. Зварювальна головка напівавтомата складається з пальника, до якого під'єднано шланг, і мундштука для підведення струму до електродного дроту. Подаючий механізм розташований окремо, поруч з робочим місцем зварювальника, і проштовхує дріт через гнучкий шланг довжиною 3..4 мм до пальника. Апаратура контролю та керування розміщена в спеціальній шафі. Шланг служить не тільки гнучким направляючим каналом для електродного дроту, в ньому також розміщені проводи керування та кабелі для підведення зварювального струму до мундштука пальника.

Напівавтоматичне зварювання здійснюється уніфікованим пальником, з'єднаним механізмом подачі дроту триметровим шлангом за допомогою швидкодіючих клемників. Наконечники, юпка. Клеми та інші елементи таких пальників уніфіковані між собою, що дозволяє в процесі експлуатації легко вибирати та використовувати найбільш зручний в даних умовах зварювальний пальник. Напівавтомат типу ПДГ-502 комплектується зварювальним випрямлячем ВДУ-504, який забезпечує отримання не тільки жорстких, але й подаючих зовнішніх характеристик. Основний недолік таких зварювальних випрямлячів – значна чутливість до коливань напруги джерела живлення.

Найбільш дешевим і оперативним методом контролю є зовнішній огляд. Зовнішнім оглядом перевіряють якість підготовки і складання заготовок

під зварювання, якість виконання швів в процесі зварювання і якість готових зварних з'єднань. Тільки після проведення зовнішнього огляду і виправлення дефектів зварні з'єднання піддають контролю методом ультразвукової дефектоскопії для виявлення внутрішніх дефектів. Якість зварних з'єднань сільськогосподарських машин відповідати вимогам згідно ОСТ 23.2.429-80.

Існуючий технологічний процес виготовлення виробу має такі основні недоліки:

- у складально-зварювальних пристосуваннях застосовуються механічні затискні пристрої, які вимагають безпосередньої дії робітника, що значно збільшує час складання та затрати праці на виготовлення виробу;

- всі фіксатори та рухомі упори відводяться вручну, що збільшує затрати часу на виготовлення виробу.

На основі цього складається завдання на проектування:

- підібрати матеріал зварного виробу;
- вибрати спосіб зварювання, який би забезпечив отримання якісних швів;
- вибрати зварювальні матеріали, які б забезпечували необхідну якість зварних з'єднань;
- розрахувати і підібрати параметри режиму зварювання;
- вибрати зварювальне обладнання, яке відповідало б вимогам розробленого технологічного процесу;
- замінити малопродуктивні елементи механічного обладнання на більш ефективні.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

При проектуванні металевих конструкцій і їх виготовленні необхідно забезпечувати раціональність економії матеріалів. Оскільки дана рамна конструкція складається із багатьох елементів різної форми, тому з врахуванням вище сказаного проведемо дослідження напружено-деформівного стану (НДС). За допомогою такого дослідження визначимо небезпечні перерізи конструкції, а також зменшимо її металоємність.

Дослідження проводили в програмному комплексі SolidWorks. При моделюванні НДС були враховані натуральні розміри конструкції рами та навантаження які на неї діють. Моделювання проводили із врахуванням характеристик матеріалу з якого вона виготовляється. Для проведення досліджень було проведено 3D моделювання рами (рис.2.1).

Одним із досліджень НДС рами є дослідження при статичному навантаженні.

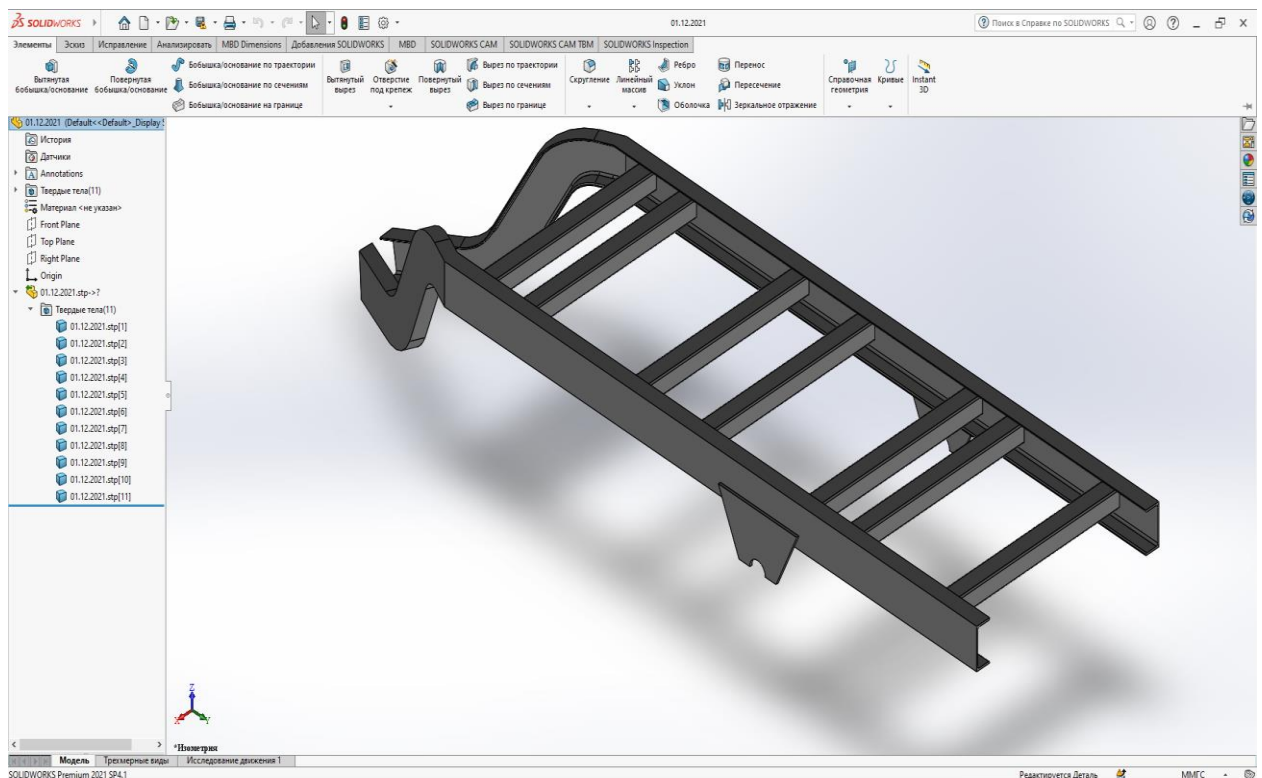
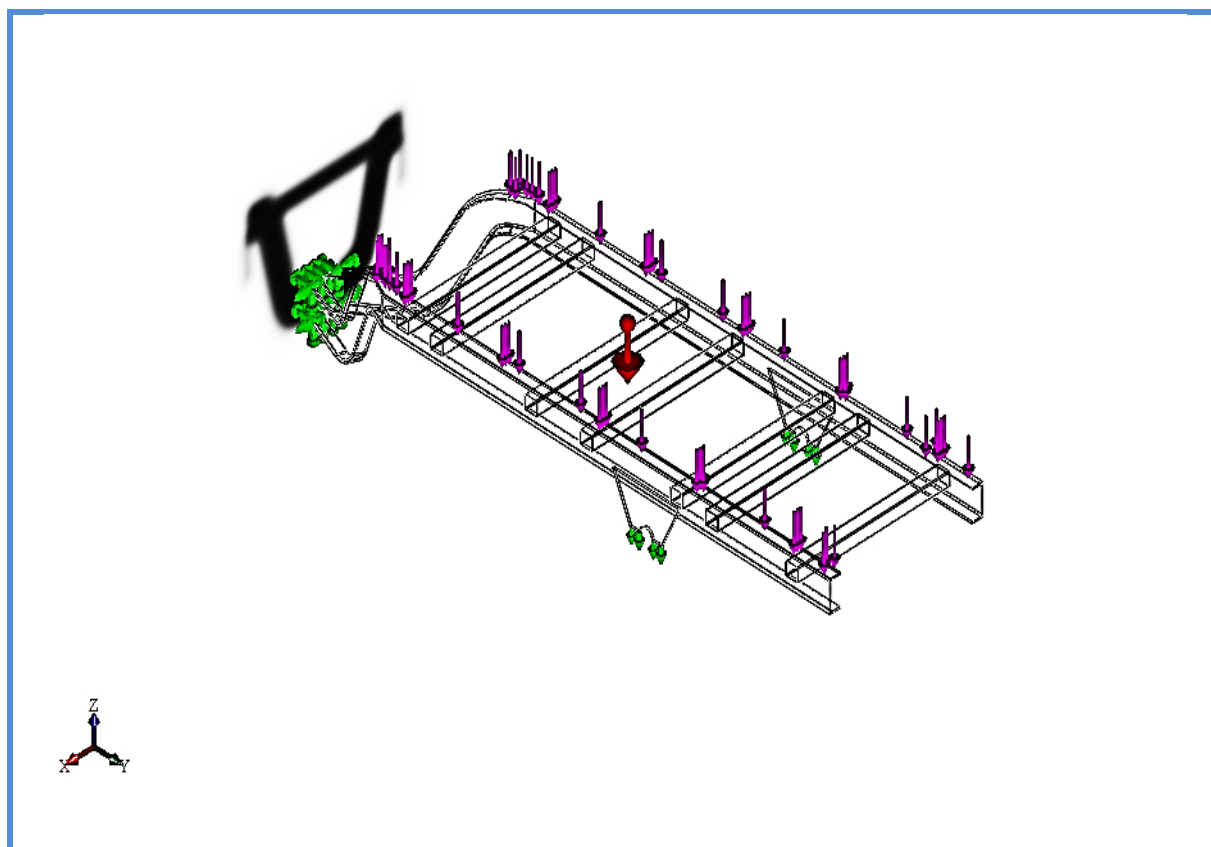


Рисунок 2.1 – 3D модель рами

Таблиця 2.1 – Розрахункова модель



Тверді тіла

	Объемные свойства	Имя и ссылки документа	Объемные свойства
stp[11]	Масса:65.2863 kg Объем:0.00829522 m ³ Плотность:7870.34 kg/m ³ Масса:639.805 N	stp[6]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N
stp[10]	Масса:65.2838 kg Объем:0.00829555 m ³ Плотность:7869.74 kg/m ³ Масса:639.781 N	stp[5]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N
stp[9]	Масса:6.90459 kg Объем:0.00087733 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:67.6649 N	stp[4]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N
stp[8]	Масса:6.90459 kg Объем:0.00087733 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:67.6649 N	stp[3]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N
stp[7]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N	stp[2]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N
		stp[1]	Масса:6.94627 kg Объем:0.000882626 m ³ Плотность:7870 kg/m ³ Масса:68.0734 N

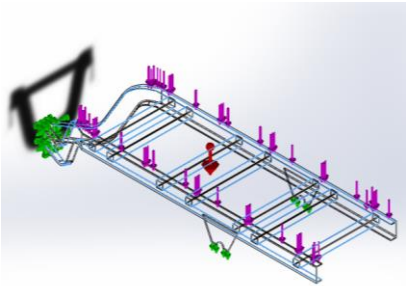
Таблиця 2.2. Властивості дослідження

Ім'я дослідження	Статичний аналіз 1
Тип аналізу	Статичний аналіз
Тип сітки	Комбінована сітка
Тепловий ефект:	Увімк.
Термічний параметр	Увімкнути теплові навантаження
Температура при нульовому напруженні	298 Kelvin
Вмикають ефекти тиску рідини із SolidWorks Flow Simulation	Вимк.
Тип вирішальної програми	FFEPlus
Вплив нагрівки на власні частоти	Вимк.
М'яка пружина	Вимк.
Інерційне розвантаження	Вимк.
Несумісні параметри зв'язку	Авто
Великі переміщення	Вимк.
Обчислити сили вільних тіл	Увімк.
Тертя	Вимк.
Використовувати адаптивний метод	Вимк.

Таблиця 2.3 Одиниці вимірювання

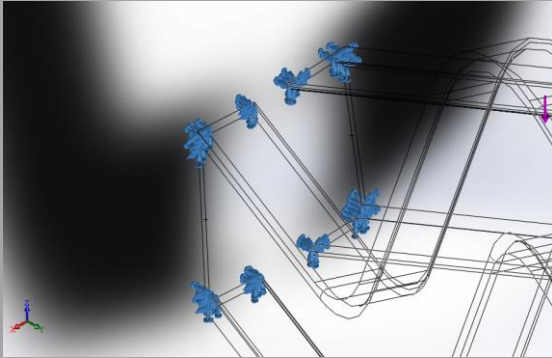
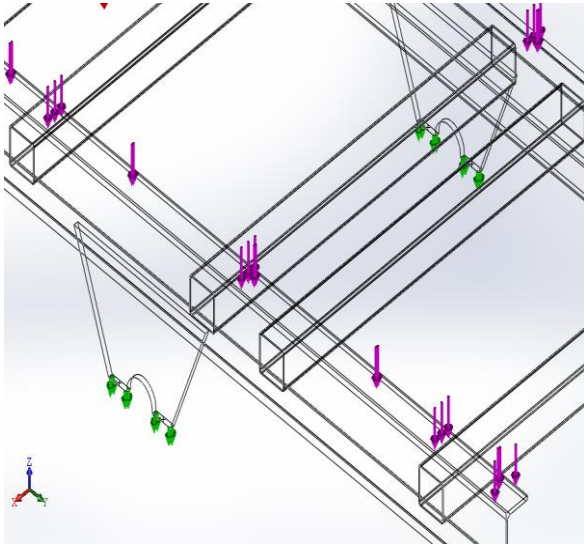
Система одиниць вимірювання:	SI (MKS)
Довжина/Переміщення	mm
Температура	Kelvin
Кутова швидкість	Рад/с
Тиск/Навантаження	N/m ²


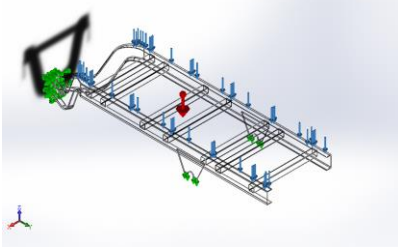
Таблиця 2.4 Властивості матеріалу

Посилання на модель	Властивості	
	Ім'я:	AISI 1010 Сталь, горяченкатанная полоса
	Тип моделі:	Лінійний Пружний Ізотропний
	Критерій порочності по умовчанню:	Максимальне напруження von Mises
	Межа текучості:	1.8e+08 N/m ²
	Межа міцності при розтягу:	3.25e+08 N/m ²
	Модуль пружності:	2e+11 N/m ²
	Коефіцієнт Пуассона:	0.29
	Масова густина:	7870 kg/m ³
	Модуль переміщення:	8e+10 N/m ²
	Коефіцієнт теплового розширення:	1.22e-05 /Kelvin

Після надання конструкції матеріалу, проводимо вибір та встановлення кріплень, відносно яких будуть проводитись розрахунки. Наступним кроком є встановлення необхідних навантажень.

Таблиця 2.5 Навантаження і кріплення рами ПТС-9

<p>Зафіксований -1</p>		<p>Об'єкти: 2 грани Тип: Зафіксована геометрія</p>		
<p>Результати сил</p>				
Компоненти	X	Y	Z	Результат
Сила реакцій(N)	-5.29214	-387.898	64200.5	64201.6
Реактивний момент(N.m)	0	0	0	0
<p>Ролик/повзун-1</p>		<p>Об'єкти: 4 грани Тип: Ролик/повзун</p>		
<p>Результати сил</p>				
Компоненти	X	Y	Z	Результат
Сила реакції(N)	0.857045	393.757	337688	337688
Реактивний момент(N.m)	0	0	0	0

Ім'я навантаження	Завантажити зображення	Завантажити дані
Сила тяжіння-1		Довідковий: Грань < 1 > Значення: 9.81 Одиниці: m/s^2 вимірювання:
Сила-1		Об'єкти: 2 грані Тип: Приложити нормальну силу Значення: 120000 N

Навантаження на раму становило 120000Н. Раму закріплювали у місцях кріплення до навіски трактора та в місцях кріплення шасі.

Після встановлення закріплень та навантажень на раму, проводили накладання кінцево-елементної сітки. Результати приведено в таблиці 2.6 та графічно зображено на рисунку 2.2.

Таблиця 2.6 Результати накладання сітки

Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Використовуване розбиття	Сітка на основі кривизни
Точки Якобіана	4 Точки
Максимальний розмір елемента	22.1806 мм
Мінімальний розмір елемента	4.43612 мм
Епюра якості сітки	Висока

Деталізація

Всього вузлів	880350
Всього елементів	443643
Максимальне співвідношення сторін	21.579
% елементів зі співвідношенням сторін < 3	70.5
% елементів зі співвідношенням сторін > 10	0.142
% спотворених елементів (Якобіан)	0
Час для завершення сітки (hh:mm:ss):	00:01:27
Ім'я комп'ютера	OLEH

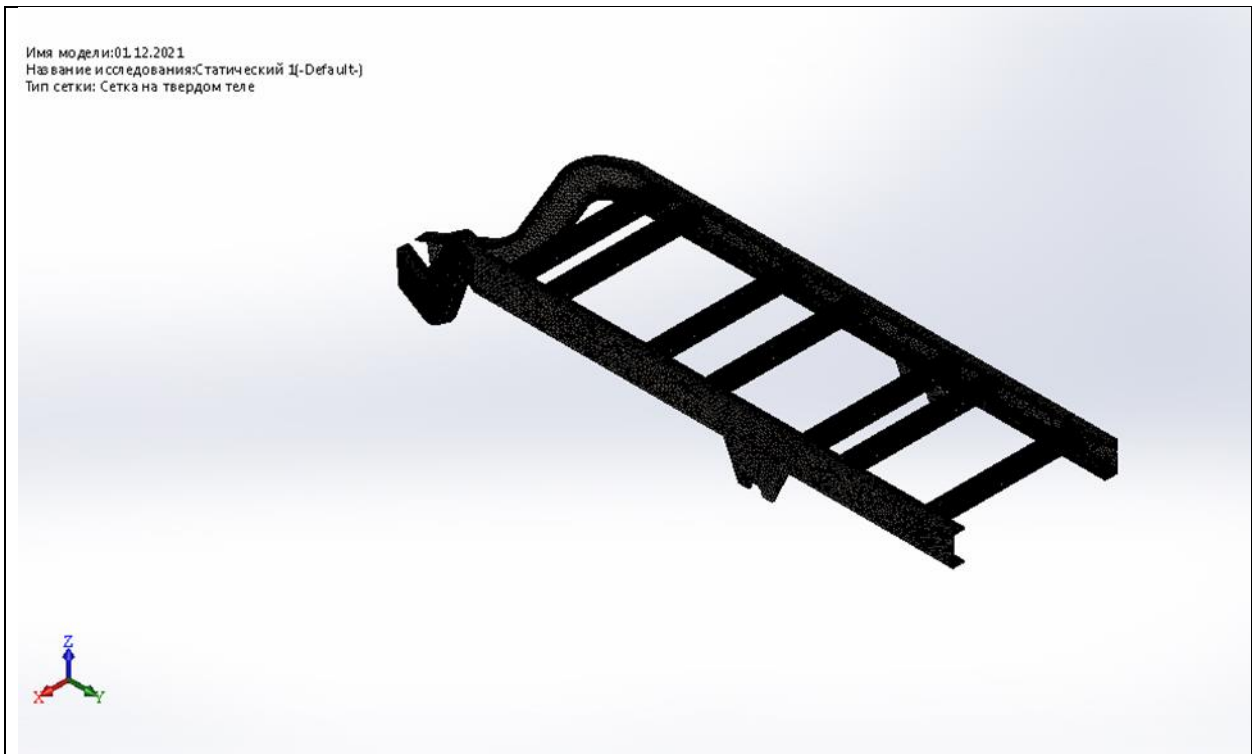


Рисунок 2.2 Результаты накладання сітки

Таблиця 2.3 Результуючі сили

Сили реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Всієї моделі	N	-0.673996	5.06338	241894	241894

Моменти реакції

Вибраний набір	Одиниці	Сума X	Сума Y	Сума Z	Результуюча
Всієї моделі	N.m	0	0	0	0

Наступним етапом проводили статичний розрахунок. Одержані результати приведено графічно на рисунках 2.3 – 2.6.

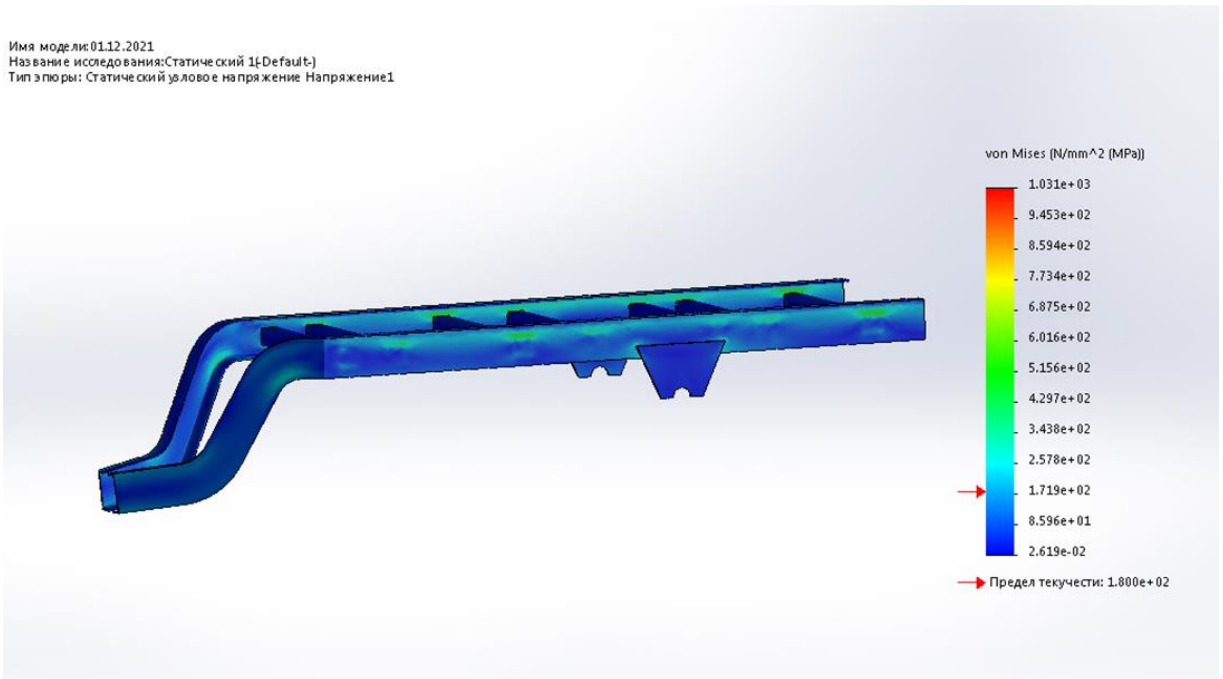
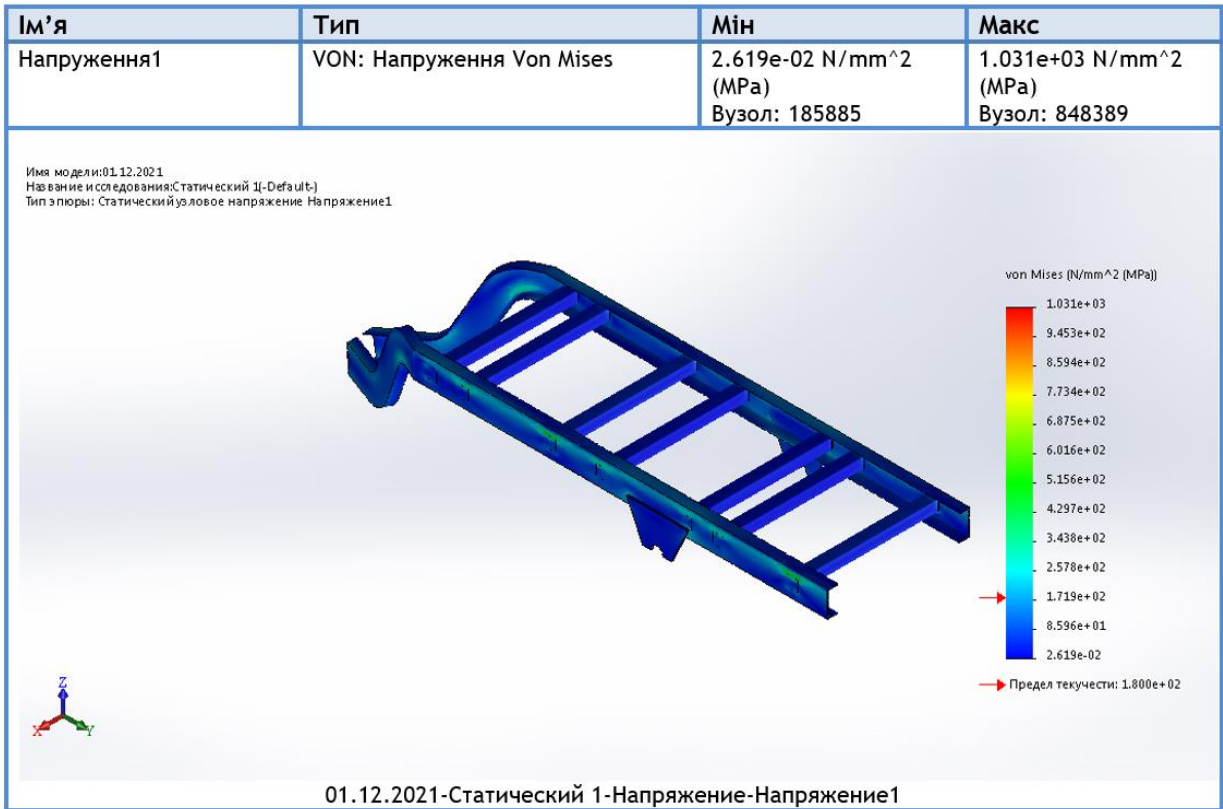


Рисунок 2.3 Результати розрахунку еквівалентних напружень по Мізесу

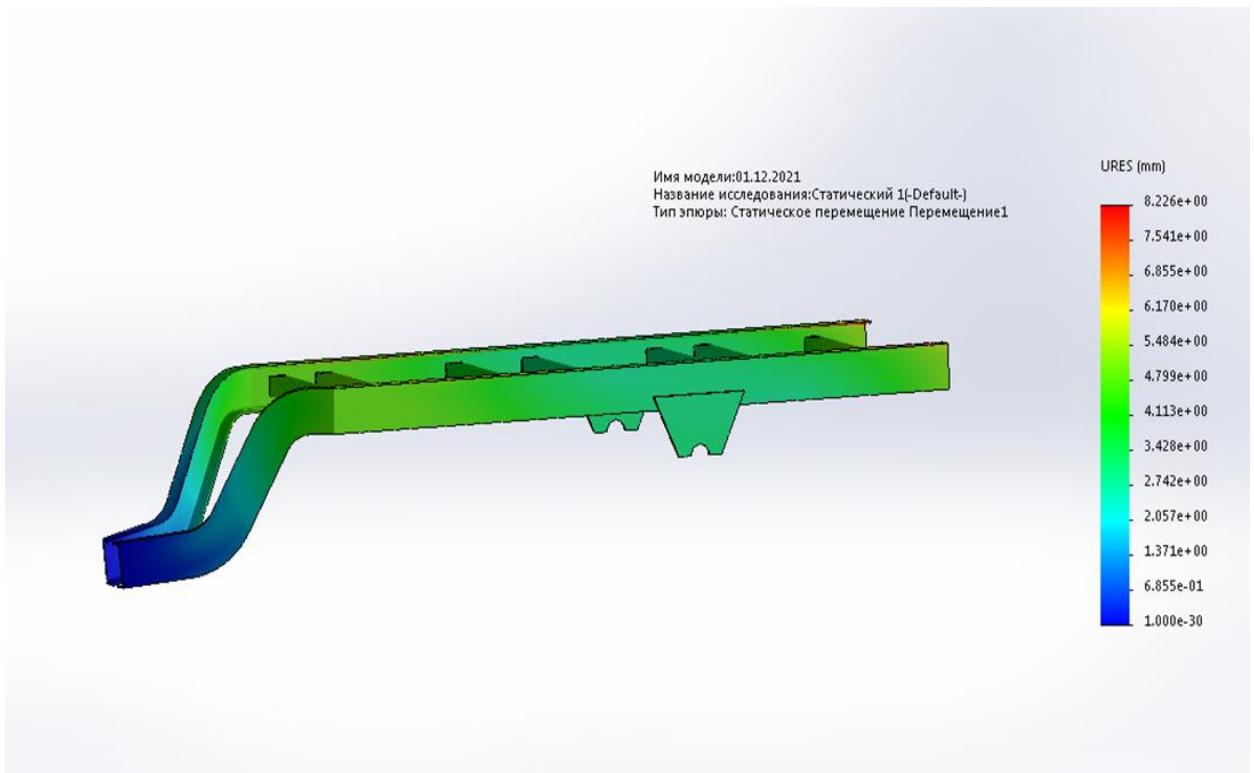
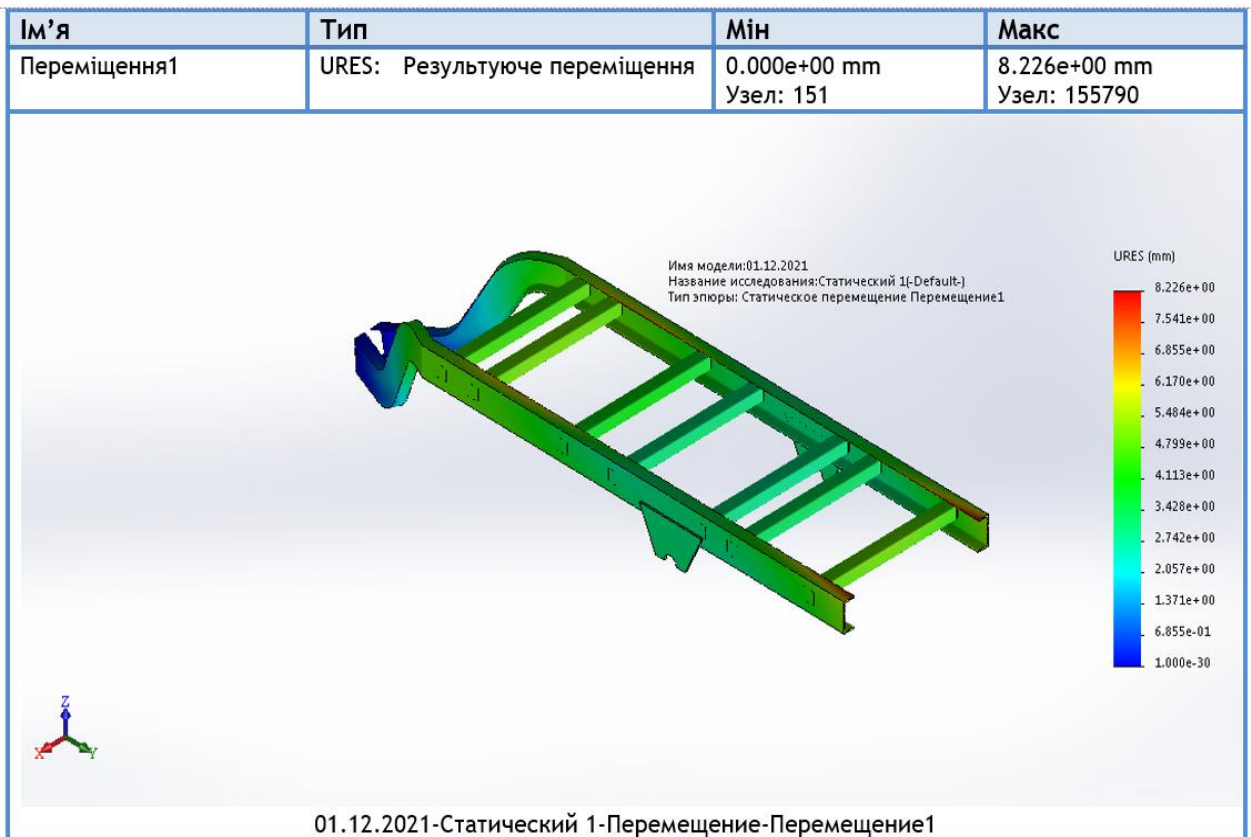


Рис. 2.4 Переміщення (прогини) рами

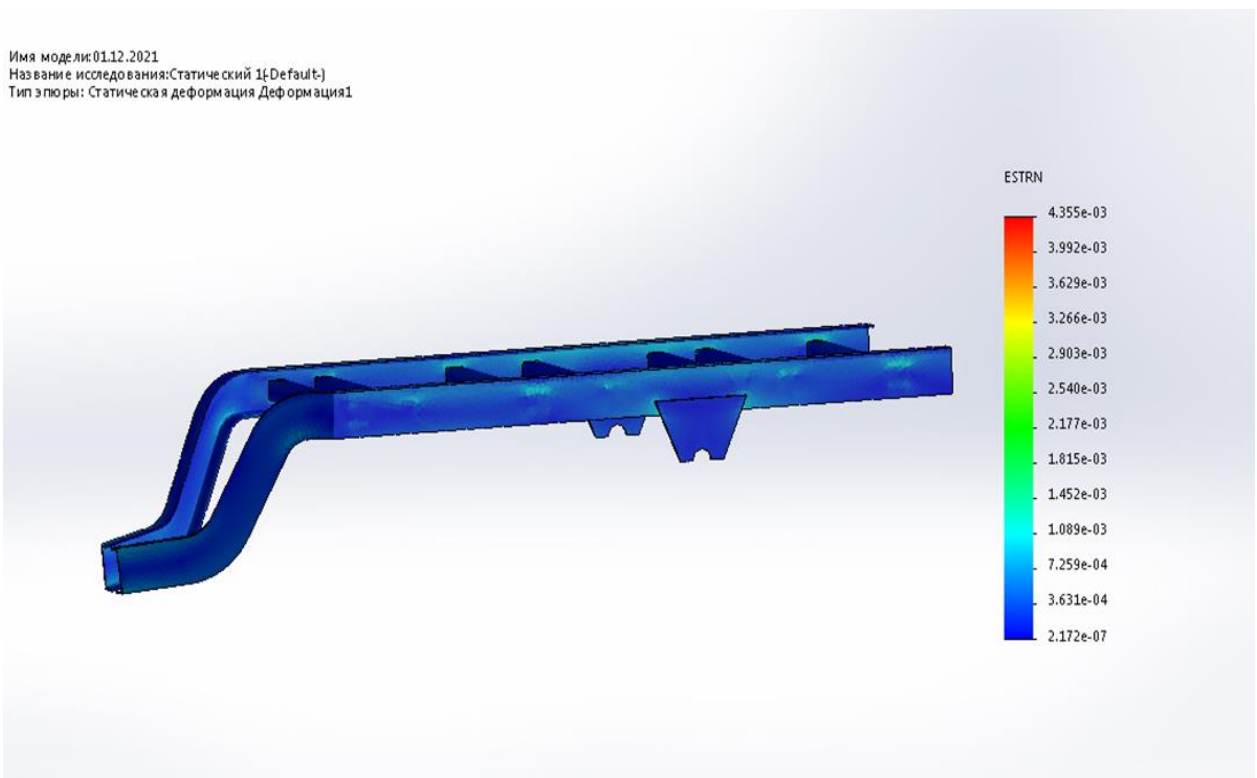
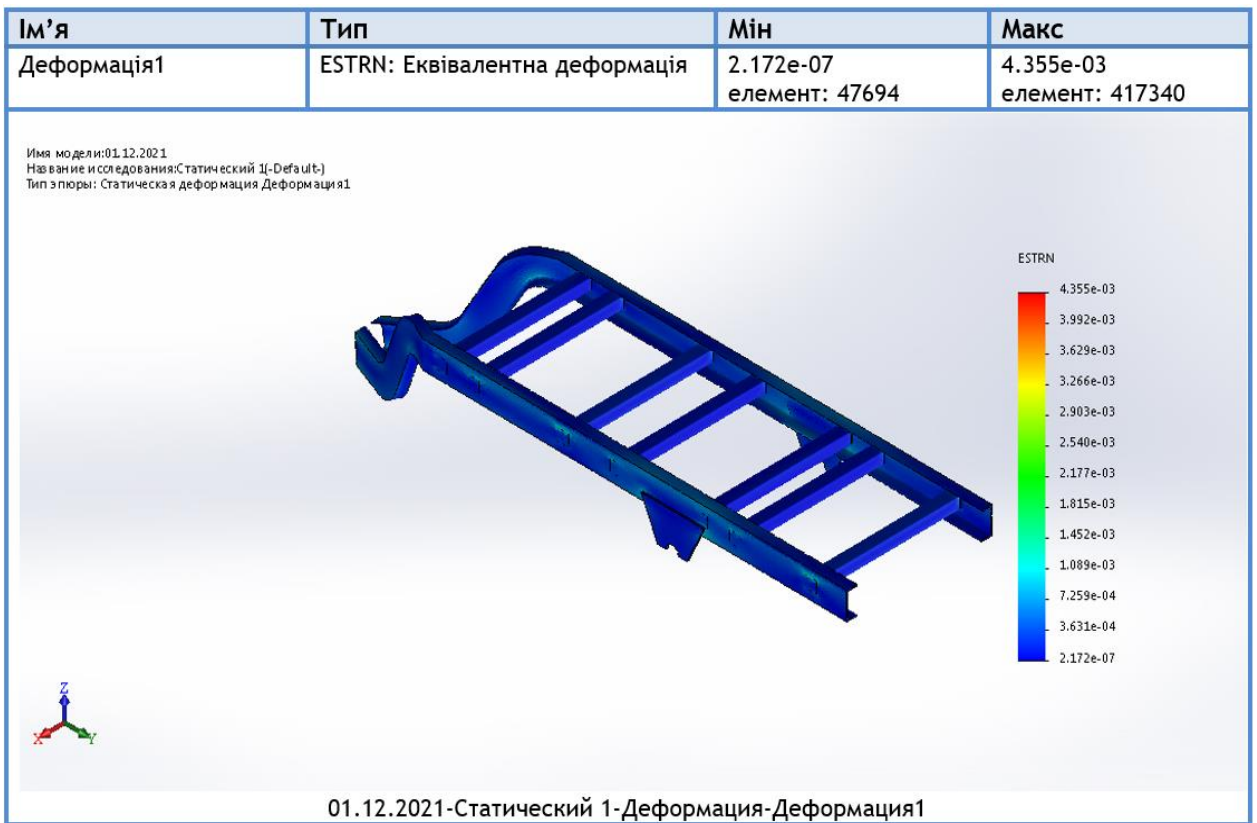


Рисунок 2.5 Розрахунок деформування рами

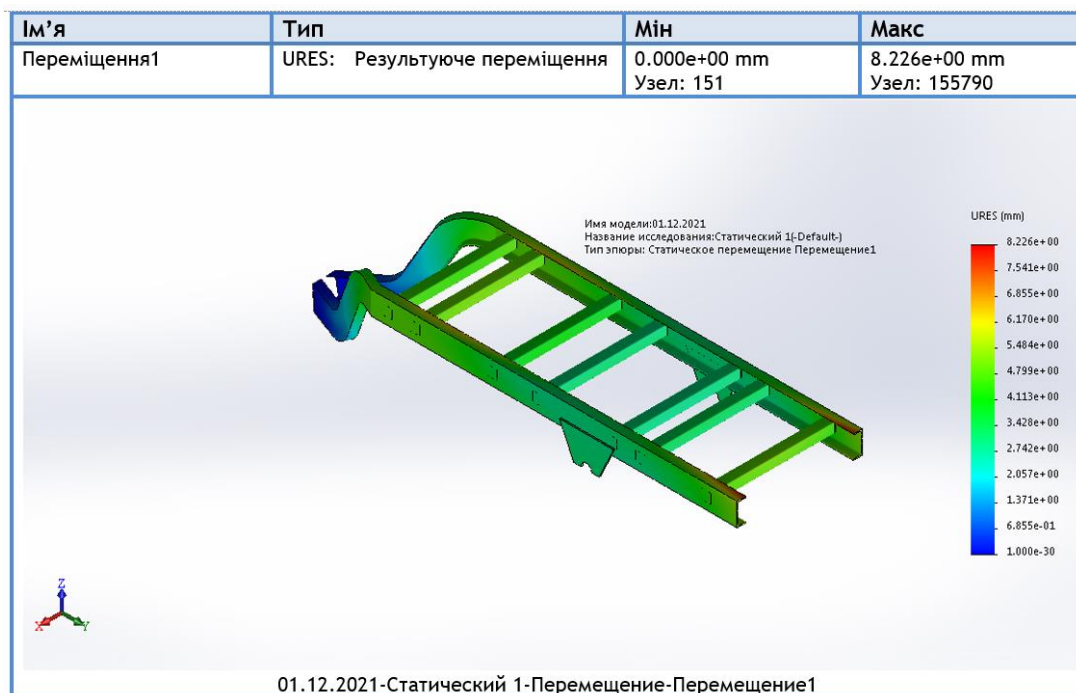


Рисунок 2.6 Моделювання загальних переміщень (прогинів) рами

Для визначення небезпечних місць рами, була побудована кінцево-елементна модель, наближена до реальної. Розрахунково-графічне моделювання проводили для визначення перерізу рами де виникають максимальні напруження, переміщення та деформації [8,9,10].

В результаті проведеного розрахунку за епорами еквівалентних напружень встановлено, що найбільш небезпечні перерізом є місце вигину дишла та з'єднання його із основною частиною рами. Величина напружень які виникають становить 85 МПа.

При проведенні досліджень, також було визначено максимальні переміщення перерізів лонжеронів рами. Найбільше переміщення лонжеронів становить 4,2 мм. Дані переміщення є найбільшими і виникають у зоні з'єднання дишла рами з її основною частиною.

За результатами досліджень можна вважати, що найбільш небезпечним перерізом рами є місця з'єднання дишла із основною частиною. Тому із врахуванням цього необхідно підсилити даний вузол, при цьому змінивши розміри лонжеронів, що є не дуже доцільним, або встановити додаткові елементи жорсткості.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування способу зварювання

При виготовленні зварної рамної конструкції причепа ПТС-9 застосовують зварні шви довжиною, що не перевищує 300 мм. Із врахуванням цього зварювання можна здійснювати за допомогою РДЗ (ручного дугового зварювання) та ПЗ (напівавтоматичного зварювання) [6].

При застосуванні способу РДЗ зварювання здійснюють електродами типу Э46Т з рутиловим покриттям (АНО-3, АНО-4, ОЗС-4, МР-3 та інші.) Для особливо відповідальних конструкцій застосовують електроди з фтористо-кальцієвим і фтористо-кальцієво-рутиловим покриттям типу Э42А (УОНЦ-13/45, СМ-11). Суттєвим недоліком даного способу є мала продуктивність процесу. Його раціонально застосовувати при зварюванні коротких швів в одиночному виробництві та при ремонтних роботах.

Найбільш ефективним способом при виготовленні зварних конструкцій є спосіб зварювання в захисних газах (рис. 3.1). В якості захисних газів застосовують найчастіше CO_2 та мікс із $\text{Ar}(75)+\text{CO}_2(25)$. Даний спосіб дозволяє здійснювати зварювання у всіх просторових положеннях [11].

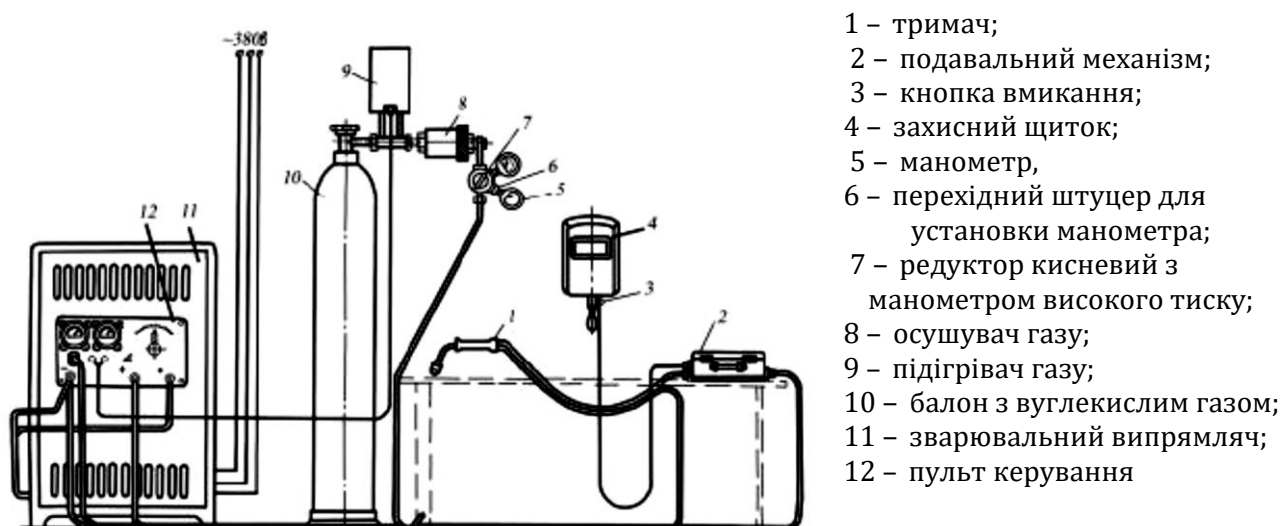


Рисунок 3.1– Вигляд поста для зварювання в захисних газах

Для зварювання якісних конструкційних сталей в середовищі захисних газів, застосовують кремній-марганцеві електродні дроти марок Св-08Г2С та Св-08ГС (табл. 3.1). Дані марки дроту забезпечують виведення окисних включень із металу шва, а також зменшують схильність до утворення гарячих тріщин. Зварні шви володіють достатньо високими механічними властивостями.

Таблиця 3.1 Хімічний склад дроту [12]

Марка дроту	Св08Г2С
P	0,03
Mn	1,80-2,10
Si max	0,7-0,95
P max	0,03
S max	0,025
Cr max	0,20
Ni max	0,25
Cu max	0,20

З врахуванням відповідальності конструкції і вимог до зварних з'єднань, в якості захисного газу будемо застосовувати мікс газів Ar(75)+ CO₂(25). Аргон будемо застосовувати першого сорту у відповідності до ГОСТ 10157-79 і вуглекислий газ I-го сорту згідно ГОСТ 8050-85 [12].

Враховуючи те, що зварювання рами виконують кутовими швами з катетом 4 та 5 мм, то проведемо розрахунок режимів зварювання згідно літератури [11,5].

Площу перерізу для шва без випуклості:

$$F_H = \frac{k^2}{2}, \quad (3.2)$$

де k – катет, мм

$$F_H = \frac{4^2}{2} = 8 \text{ мм}^2.$$

Висоту наплавленого валика:

$$h_H = \sqrt{F_H}, \quad (3.3)$$

$$h_H = \sqrt{8} = 2.83 \text{ мм.}$$

Ширину шва

$$l = \sqrt{2k^2}, \quad (3.4)$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 4^2} = 5.66 \text{ мм.}$$

Загальну висоту шва

$$l = \psi_{np} \cdot H, \quad (3.5)$$

де ψ_{np} – коефіцієнт форми проплавлення.

$$h_0 = H - h_H, \quad (3.6)$$

$$h_0 = 7.07 - 2.83 = 4.24 \text{ мм.}$$

Силу струму

$$I_{3B} = \frac{H_i}{R_n} \cdot 100, \quad (3.7)$$

Приймаємо $R_n = 1.75$.

$$I_{3B} = \frac{4.24}{1.75} \cdot 100 = 242.2 \text{ A} \approx 240 \text{ A}.$$

Діаметр дроту

$$d_e = 1.13 \sqrt{\frac{I_{3B}}{j}}, \quad (3.8)$$

Приймаємо $j = 150 \text{ A/мм}^2$.

$$d_e = 1.13 \sqrt{\frac{240}{130}} = 1.54 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d_e = 1.6 \text{ мм}$.

Напругу зварювання:

$$U_\delta = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_e^{0.5}} \cdot I_{3B} \pm 1, \quad (3.9)$$

$$U_\delta = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1.6^{0.5}} \cdot 240 \pm 1 = 29.5 \pm 1 = 29 \text{ В.}$$

Швидкість подачі дроту

$$V_{n.d.} = \frac{4\alpha_H \cdot I_{3B}}{\pi \cdot d_e \cdot \gamma}, \quad (3.10)$$

Густина металу $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$;

$$\text{Приймаємо } \alpha_H = 12 \cdot 10^{-3} \frac{\Gamma}{\text{А} \times \text{ГОД}}.$$

$$V_{n.d.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 240}{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} \approx 184 \text{ м/ГОД}.$$

Швидкість зварювання

$$V_{3B} = \frac{A}{I_{3B}}. \quad (3.11)$$

$$\text{Приймаємо } A = 6 \cdot 10^3 \frac{\text{М}}{\text{ГОД}}.$$

$$V_{3B} = \frac{6 \cdot 10^3}{240} \approx 25 \text{ м/ГОД}.$$

Аналогічно проводимо розрахунок для шва катетом 5 мм.

$$F_H = \frac{5^2}{2} = 12,5 \text{ мм}^2.$$

$$h_H = \sqrt{12,5} = 3,54 \text{ мм}.$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 5^2} = 7,07 \text{ мм}.$$

$$H = \frac{7,07}{0,8} = 8,84 \text{ мм}.$$

$$h_0 = 8,84 - 3,54 = 5,3 \text{ мм}.$$

$$I_{3B} = \frac{5,3 \cdot 100}{1,75} * 100 = 302,8 \text{ А} \approx 300 \text{ А}$$

$$d_e = 1,113 \sqrt{\frac{300}{130}} = 1,7 \text{ мм}.$$

Приймаємо $d_e = 1,6 \text{ мм}$.

$$V_o = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0,5}} * 300 \pm 1 = 31,9 \pm 1 \approx 32 \text{ В}.$$

$$V_{n.d.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{3,14 \cdot (16 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} \approx 230 \text{ м/год.}$$

$$V_{зв} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{300} \approx 20 \text{ м/год.}$$

При зварюванні дротом 1,6...2,0 мм витрати захисного газу становлять 10...20 л/хв..

Розраховані параметри зводимо у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розраховані параметри режиму механізованого зварювання

ПАРАМЕТРИ		Величина параметру при катеті	
		4 мм	5 мм
Сила струму зварювання, А		240	300
Напруга на дузі, В		29	32
Швидкість	подачі дроту, м/год	184	230
	зварювання, м/год	25	20
Діаметр електродного дроту, мм		1,6	
Витрати захисного газу, л/хв		16	

Для забезпечення високої якості зварного з'єднання необхідно правильно підібрати зварювальне устаткування. Воно повинне забезпечувати:

- а) підведення зварювального струму;
- б) подавання електродного металу в зварювальну ванну з швидкістю його плавлення;
- в) захист зони зварювання від впливу повітря;
- г) підтримувати стабільність процесу;
- д) хороше запалювання дуги та заварювання кратера шва
- е) бути надійним і простим у застосуванні.

В даний час при використанні електрозварювального устаткування все ширше використовують принципи уніфікації і агрегування. Це дозволяє

забезпечити високий економічний ефект на всіх стадіях від проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту устаткування [13].

Для запропонованого способу зварювання застосовують зварювальні напівавтомати та джерела живлення. Напівавтомати для дугового зварювання мають високі експлуатаційні властивості. Вони забезпечують процес саморегулювання довжини дуги і компенсують всі коливання дугового проміжку. Швидкість подавання дроту в таких апаратах встановлюється в співвідношенні з режимом зварювання і залишається незмінною на протязі всього часу виконання шва.

Для зварювання в промислових умовах широкого застосування знайшли напівавтомати типу ПДГ та напівавтомати сконструйовані за даним принципом.

Зварювальні напівавтомати вибирають, із врахуванням струму зварювання та діаметра електродного дроту. Враховуючи те, що максимальний струм при виготовленні рами становить $I_{ЗВ} = 300$ А, а $d_{с.д.} = 1,6$ мм, та вибираємо напівавтомат вітчизняного виробництва типу КП-015 (рис. 3.2) [14].



Рис. 3.2 - Напівавтомат КП-015 (КЗЕЗУ) [14]

Даний апарат забезпечує:

- плавне регулювання параметрів;
- захист механізму подачі від перенавантаження;

- стабілізацію швидкості подачі електроду;
- універсальний, щодо газового захисту.

Технічні дані приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Технічна характеристика напівавтомату КП-015 [14]

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	0,8-1,4
- порошковий	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	9,5
- електродного дроту	5
Габаритні розміри механізму подачі дроту, мм	495x160x290

Запропонований напівавтомат укомплектовується джерелом типу КИГ-303 (рис. 3.3). Він є діодний із ступінчастим регулюванням струму. Для такого типу джерел характерним є жорстка ВАХ. Його технічні дані приведені в таблиці 3.4 [14].



Рис. 3.3 – Випрямляч КИГ-401 (КЗЕЗУ) [14]

Таблиця 3.4 - Технічна характеристика КИГ-401.

Номінальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А	315
- ПВ=100%	400
- ПВ=60%	
Межі регулювання струму, А	40-450
Межі регулювання робочої напруги, В	40 ступенів, 16-37
Первинна потужність, кВА	28
Напруга холостого ходу, В	50
Маса, кг	190
Габаритні розміри, мм	745×520×850 745×520×755

З метою запобігання короткого замикання торці зварювального пальника, вибираєм керамічні сопла з ізольованими прокладками.

3.2 Опис технологічного процесу

Процес виготовлення рами ПТС-9 базується на загальних принципах. Він включає в себе такі операції, як отримання заготовок, складання та зварювання вузлів та рами в цілому, зачищення та виправлення дефектів, а також контролю якості виробу.

Отримання заготовок починається з підбирання металу по розмірах, формі поперечного перерізу і марках сталі. Цей процес включає операції: правлення, розмічування, різання, згинання і зачищення під зварювання.

Так, як рамна конструкція виготовляється із швелерів та профільних труб, то їх правлення проводять у спеціальних установках. Для цього застосовують профілезгинальний і правильний станок типу Bendmak PRO 180 (рис. 3.4). Для розкрою профільних заготовок застосовують автоматичний верстат типу Bomar AL 500 ANC (рис. 3.5), його технічні параметри приведено в таблиці 3.5.



Рис. 3.4 Загальний вигляд станка типу Bendmak PRO-180 [15]



Рис. 3.5 Загальний вигляд автоматичного верстату Bomar AL500ANC [15]

Таблиця 3.5 Технічна характеристика верстату Bomar AL500ANC [15]

<https://metall.dukon.ru/catalog/listogibochnoe-oborudovanie>

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

Зачищення прокату, деталей та зварних зварювальних кромek здійснюють механічно. Видалення забруднень іржі та окалини проводять з допомогою дробоструменевих апаратів.

Після отримання заготовок елементів рами, проводять їх складання в спеціальних складально-зварювальних пристосуваннях. Складальні операції здійснюють в наступній послідовності:

1. Встановити дишло у вилки стапеля і на фіксатор.
2. Встановити на лонжерон у вилки стапеля і у боковини дишла.

3. Зафіксувати лонжерон отворі пневмофіксатором.
4. Встановити лонжерон у вилки стапеля і у боковини дишла.
5. Зафіксувати лонжерон по отвору пневмофіксатором.
6. Притиснути бокові листи дишла до лонжеронів кліщовими пневмотискачами.
7. Притиснути лонжерони пневмопритискачами.
8. Встановити відображувач на опори і притиснути пневмопритискачем.
9. Встановити щиток по пневмопритискачу.
10. Встановити кутник у вилки стапеля, зафіксувати знімним фіксатором і притиснути пневмопритискачем.
11. Встановити балку у вилку стапеля по відкидному фіксатору.
12. Встановити балку у вилки стапеля по відкидному фіксатору.
13. Встановити опору на лонжерони і притиснути пневмопритискачем.
14. Встановити балку у вилки стапеля фіксуючи по двох отворах.
15. Встановити балку у вилки стапеля.
16. Притиснути балки пневмопритискачами.
17. Зафіксувати балки пневмопритискачами.
18. Встановити в пази стапеля дві пластини і зафіксувати їх гвинтовими притискачами.
19. Встановити по місцю дві пластини і зафіксувати їх з допомогою притискача.
20. Встановити покладки і притиснути їх пневмопритискачами.
21. Після складання рами проводять її зварювання у тому ж пристосуванні, в такій же послідовності.
22. Виконати прихвачування до дишла послідовно лонжерони в чотирьох місцях відповідно.
23. Виконати прихвачування до лонжеронів послідовно і щиток трьома прихвачуваннями кожен.
24. Виконати прихвачування кутника двома прихвачуваннями до лонжеронів відповідно.

25. Виконати прихвачування послідовно балки, балки, опори, балки чотирма прихвачуваннями до лонжеронів відповідно.
26. Виконати прихвачування балки до опори і балки двома прихвачуваннями.
27. Виконати прихвачування послідовно двох пластин і дві пластини до лонжеронів відповідно двома прихвачуваннями кожна.
28. Виконати прихвачування накладки шістьма прихвачуваннями кожна до дишла.
29. Виконати зварювання вищеперерахованих швів в доступних місцях.
30. Зняти відкидні і знімні фіксатори, від'єднати притискачі і пневмопритискачі.
31. Підняти раму на пневмопритискачах.
32. Зняти раму з стапеля при допомозі мостового крила.
33. Встановити раму у вилки кантувача та закріпити пневмопритискачами.
34. Кантувати раму на 180°.
35. Встановити на раму дві накладки.
36. Виконати прихвачування накладок чотирма прихвачуваннями до дишла.
37. Виконати зварювання швів перерахованих вище остаточно, повертаючи раму в зручне для зварювання положення.
38. По шаблону встановити на накладку послідовно скобу, дві бобишки, скобу.
39. Виконати прихвачування і приварити зазначені деталі.
40. Встановити по шаблону дві скоби.
41. Приварити їх до лонжерону.
42. Від'єднати раму з кантувача.

Після проведення складально-зварювальних провести опоряджувальні операції зварних швів та біляшовної зони. Для цього застосовують кутошліфувальні машинки.

За необхідності провести правлення рами в спеціальному стенді (рис. 3.6).



Рис. 3.6 Універсальний стенд для правлення рамних конструкцій [16]

Також необхідною операцією при виготовленні рами є проведення поточного та кінцевого контролю якості.

Поточний контроль зварної рами ПТС-9 проводять візуально.

Даний контроль виконують на наступних стадіях виготовлення зварної конструкцій:

- вхідний контроль матеріалів;
- виготовлення деталей та елементів зварних вузлів;
- підготовка деталей зварних вузлів до складання та зварювання;
- складання деталей під зварювання;
- зварювання;
- контроль швів та зварних з'єднань;
- виправлення дефектів.

Освітленість контрольованих поверхонь для створення оптимального контрасту з фоном у зоні контролю становити не менше 500 лк. Кут огляду контролюючої поверхні повинен становити понад 30° (рис. 3.7) з відстані, що не перевищує 600 мм [17].

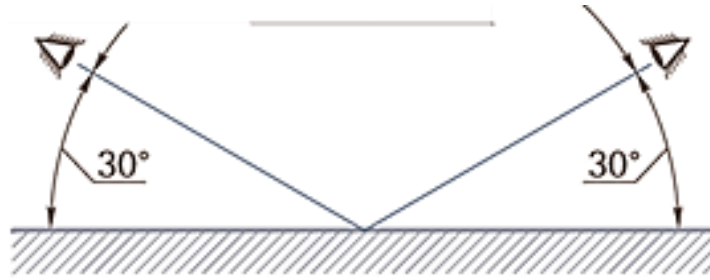


Рис. 3.7 Схема проведення візуального контролю [17]

При візуальному та вимірювальному контролі використовують:

- ✓ лупи, у тому числі вимірювальні;
- ✓ металеві вимірювальні лінійки;
- ✓ спеціальні та універсальні шаблони зварника (рис. 3.8).

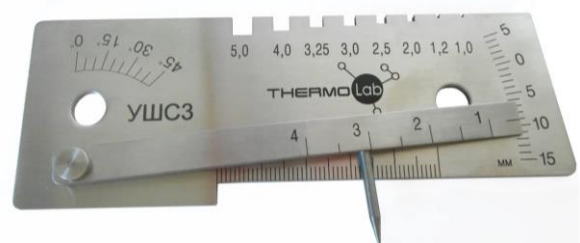
Вимірювальний контроль включає перевірку:

- ✓ розмірів прихватних швів тимчасових технологічних кріплень;
- ✓ відстаней між технологічними кріпленнями та кромкою деталі;
- ✓ зсув кромки;
- ✓ перекриття деталей у з'єднанні;
- ✓ розмірів прихваток та їх розташування;

УШС-2



УШС-3



Ушєрова-Маршака



КТЦ20

Рис. 3.8 Шаблони зварника для візуального контролю

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

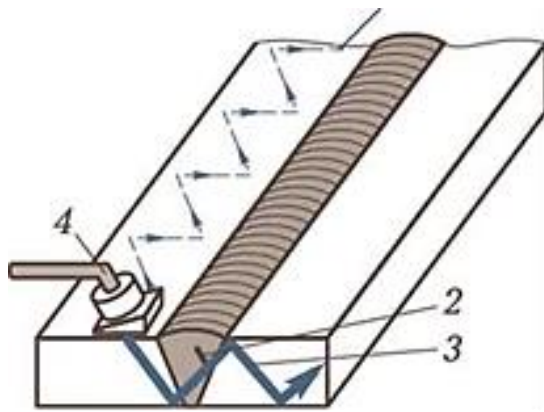
У готового зварного з'єднання візуально контролюють:

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

Оскільки рама є відповідальною несучою конструкцією, то обов'язково проводять ультразвукову дефектоскопію (3.9) всіх зварних швів на наявність внутрішніх дефектів.

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

При контролі кутових швів ультразвуковий промінь вводять у шов через основний метал стінки (рис. 3.10). Кут введення ультразвукових хвиль повинен забезпечувати напрямок променя, приблизно перпендикулярне перерізу, в якому площа дефекту очікується максимальною.



- 1 - траєкторія перетворювача;
- 2 - тріщина;
- 3 - звукова хвиля;
- 4 - перетворювач

Рис. 3.9. Схема ультразвукової діагностики зварного шва [17]

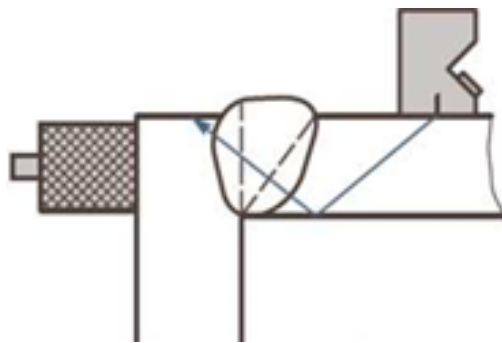


Рис. 3.10 Схеми «прозвучування» кутових швів [17]

Для контролю якості зварних швів рами застосовують ультразвуковий дефектоскоп типу А1212 MASTER (рис. 3.11). Характеристика даного приладу приведена в таблиці 3.6



Рис. 3.11 Ультразвуковий дефектоскоп типу А1212 MASTER [18]

Таблиця 3.6 Характеристика дефектоскопа A1212 MASTER [18]

Діапазон встановлюваних номінальних частот ультразвуку	від 0,5 до 15,0 МГц
Відхилення робочих частот від номінальних	± 10%
Діапазон налаштування на швидкість ультразвуку в матеріалі	від 500 до 14 999 м/с
Діапазон перебудови посилення приймача	від 0 до 100 дБ
Відхилення установки посилення	± 1,0 дБ
Діапазон вимірів глибини залягання дефекту (по сталі) з прямими перетворювачами:	
D1771 4.0A0D12CL	від 2 до 3 000 мм
Межі абсолютної похибки вимірів припустимої глибини залягання дефекту Н з прямими перетворювачами	±(0,02Н+1,00) мм
Діапазон вимірів глибини залягання дефекту (по сталі) з похилими перетворювачами:	
S5096 5.0A70D6CS	від 2 до 500 мм
Межі абсолютної припустимої похибки вимірів координат дефекту (по сталі) з похилими перетворювачами:	
глибини Н	±(0,03Н+1,00) мм
дальності по поверхні L	±(0,03L+1,00) мм
Діапазон вимірів тимчасових інтервалів на частоті 2,5 МГц	від 0 до 1 900 <u>мкс</u>
Джерело живлення	акумулятор
Номінальне значення напруги живлення	11,1 В
Час безперервної роботи від акумулятора за нормальних кліматичних умов, не менше:	9 годин
Діапазон робочих температур	від - 30°C до +55°C
Тип дисплея	кольоровий TFT
Роздільна здатність дисплея	640 x 480
Габаритні розміри електронного блоку:	260 x 157 x 43 мм
Маса з акумулятором:	800 г

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Вибір пристосувань та опис їх роботи

Рама причепа типу ПТС-9 відноситься до конструкцій високої якості. Тому, необхідно забезпечити правильне складання елементів конструкції та забезпечення необхідних розмірів.

В зварювальному виробництві технологічні процеси складально-зварювальних операцій поділяють на повне складання та зварювання і на поступове нарощування елементів конструкції. Так, як рама причепа зварюється із різної форми деталей, то доцільно буде застосувати другий принцип виготовлення.

Виробництво даної конструкції розглядаємо як серійне, тому доцільним буде застосування спеціальних складально-зварювальних кондукторів та кантувачів. [2]

Технологічний процес проходить за принципом паралельного виготовлення елементів рами. Даний процес забезпечує виготовлення елементів дишла та основної частини рами. Тому розглянемо окремо виготовлення кожного з елементів.

Процес виготовлення дишла проходить в спеціальному складально-зварювальному кондукторі (рис. 4.1).

Конструкція дишла має вигляд гнutoї швелерної балки. Її складається здійснюють із листового прокату, який попередньо вирізають та гнуть до отримання певної форми. Спочатку в кондуктор встановлюють нижній пояс балки. Фіксують його за допомогою постійних упорів та притискачів. Після цього встановлюють вертикальну стінку, та фіксують її за допомогою відкидних упорів. Наступним етапом є встановлення верхнього так званого пояса. Цього фіксують та здійснюють притискання всіх елементів за допомогою гвинтових притискачів і фіксаторів. Після його проводять прихвачування та зварювання доступних з'єднань. Для зменшення зварювальних деформацій

процес зварювання розпочинають із середини складеної балки до країв.

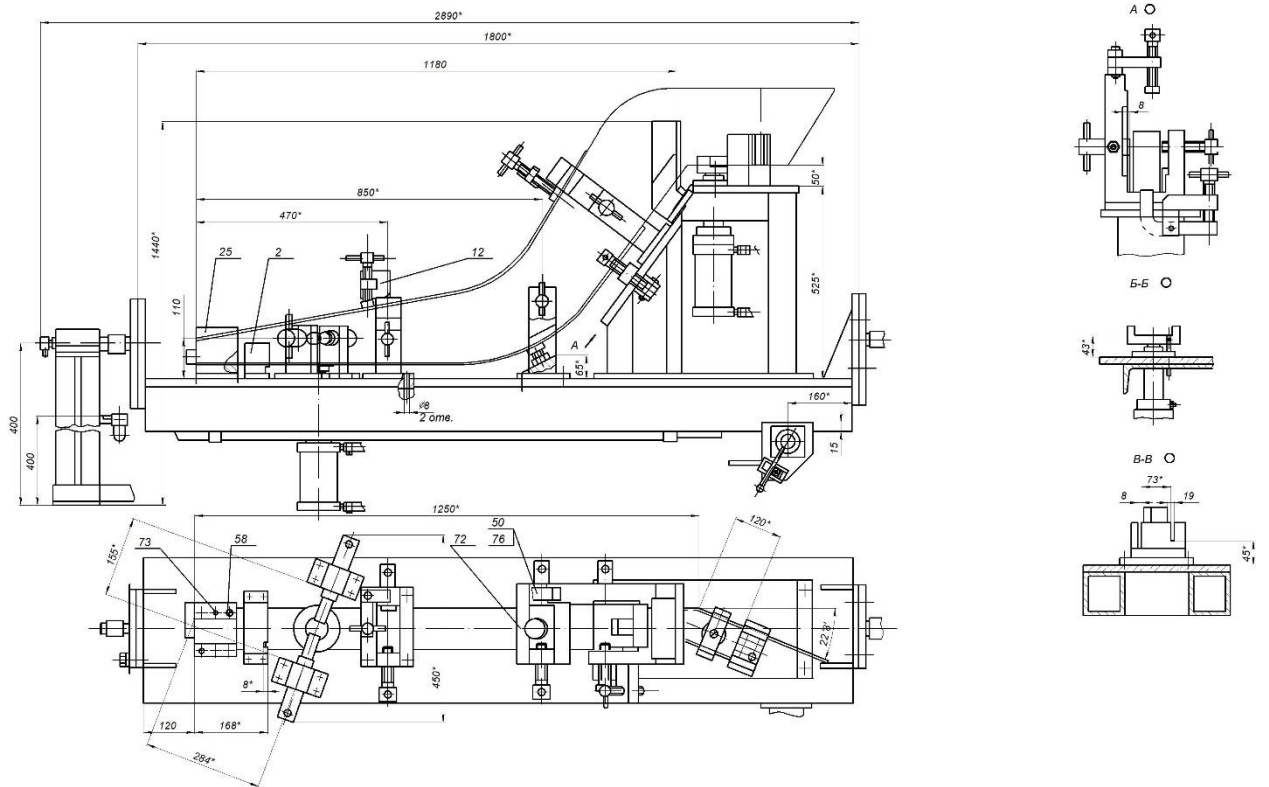


Рис. 4.1 Схема кондуктора для складання елемента дишла

Паралельно з цим здійснюють складання та зварювання основної частини рами. Для цього застосовують універсальний стенд для складання рам напівпричепів. (рис. 4.2) [16].



Рис. 4.2 Загальний вигляд універсального стенду для складання рам [16]

Модульна конструкція даного кондуктора-стенда швидко переналагоджується під іншу модель рами напівпричепа. Упори та притискачі в даному стенді пневматичні та пересувні, що забезпечує швидкодію складання та налаштування на необхідну конструкцію.

В даному пристрої проводять складання та зварювання повздовжніх лонжеронів з поперечними балками. Застосування такого типу кондуктора забезпечує високу точність складання. Після проведення складальних операцій та здійснення прихваток складених лонжеронів з поперечними балками поміщають в зварювальні обертачі (рис. 4.3) де здійснюють повне зварювання основної частини рами [16].



Рис. 4.3. Загальний вигляд зварювального кантувача [16]

Коли всі частини рами повністю зварені, проводять повне її складання. Для цього застосовують спеціальний складально-зварювальний кондуктор, який зображено на рисунку 4.4. Спочатку встановлюють основну частину рам, та фіксують її, а потім встановлюють зварені половини дишла. Всі елементи фіксують та притискають за допомогою притискачів. Проводять зварювання цих частин, а також інших дрібних елементів рами.

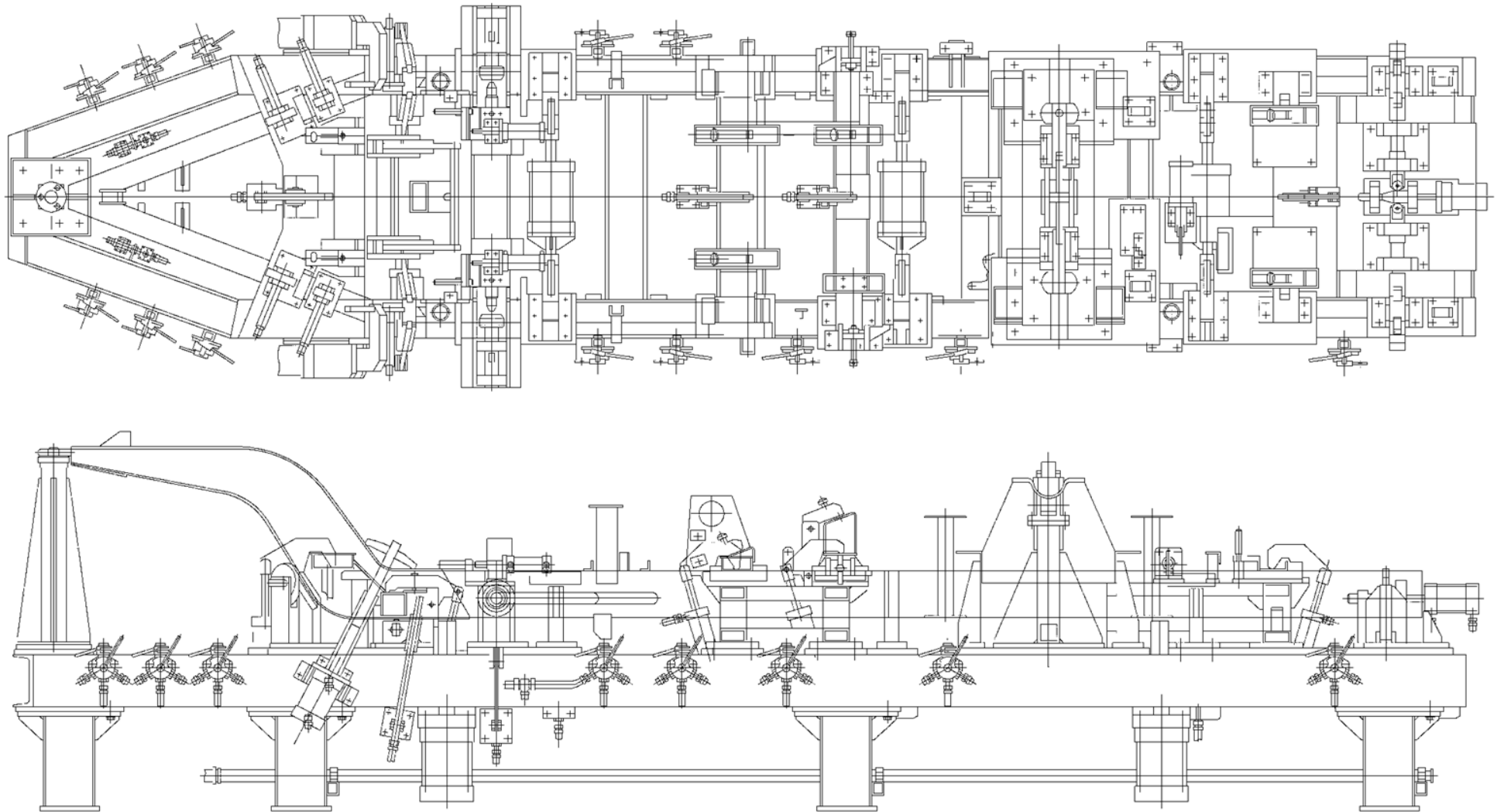


Рис. 4.4 Схема складально-зварювального кондуктора

4.2 розрахунок зварювального кантувача

Розрахунок кантувач проведемо згідно літератури [19].

Основними вихідними даними для розрахунку є: $G=8000$ н, $D_B=2$ м, $R=0,35$ м, $l_1=0,35$ м, $l_2=0,5$ м, $h_1=4,2$ м, $h_2=2,8$ м, $a_1=0,3$ м, $a_2=0,3$ м, $\kappa=0,2$ м, $e=0,45$ м, $V_k=24$ м/хв.

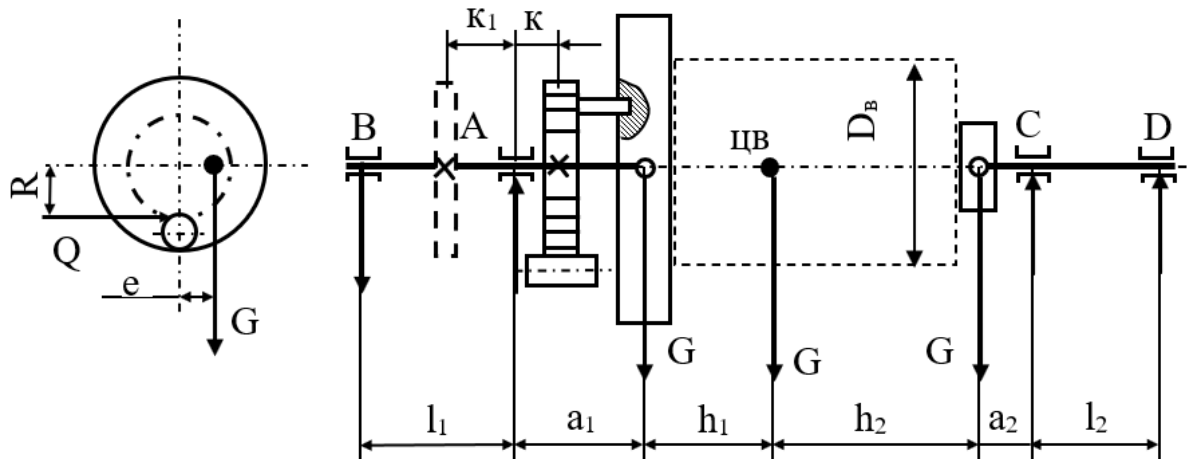


Рис. 4.5. Розрахункова схема

Знайдемо момент від ваги рами $M_{BT}=Ge=8000 \cdot 0,45=3,706 \cdot 10^3$ Нм.

Визначимо сили, які діють на хвостовики шпинделів

$$G_1 = G \frac{h_2}{h_1 + h_2},$$

$$G_1 = 8000 \cdot \frac{2,8}{4,2 + 2,8} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$G_2 = G \frac{h_1}{h_1 + h_2},$$

$$G_2 = 8000 \cdot \frac{4,2}{4,2 + 2,8} = 4,4 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Визначимо реакції у вертикальному напрямку бабки:

$$A_B = G_1 \frac{l_1 + a_1}{l_1} = G \frac{h_2(l_1 + a_1)}{l_1(h_1 + h_2)} = 8000 \cdot \frac{2,8 \cdot (0,35 + 0,3)}{0,35 \cdot (4,2 + 2,8)} = 6,686 \cdot 10^3 \text{ Н};$$

$$B_B = G_1 \frac{a_1}{l_1} = G \frac{h_2 a_1}{l_1 (h_1 + h_2)} = 8000 \cdot \frac{2,8 \cdot 0,3}{0,35 \cdot (4,2 + 2,8)} = 3,086 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Реакції в задній бабці:

$$C_B = G_2 \frac{l_2 + a_2}{l_2} = G \frac{h_1 (l_2 + a_2)}{l_2 (h + h_2)} = 8000 \cdot \frac{4,2 \cdot (0,5 + 0,3)}{0,5 \cdot (4,2 + 2,8)} = 7,04 \cdot 10^3 \text{ Н;}$$

$$D_B = G_2 \frac{a_2}{l_2} = G \frac{h_1 a_2}{l_2 (h + h_2)} = 8000 \cdot \frac{4,2 \cdot 0,3}{0,5 \cdot (4,2 + 2,8)} = 2,64 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Визначимо радіальні сили від сили Q:

без сил тертя

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

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

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

Визначаєм сумарні сили, які діють на підшипники бабки :

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

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

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

Аксіальні сили рівні нулю.

Згинальний момент в небезпечному перерізі шпинделя буде рівний:

$$M_1 = G_1 a_1 = 3600 \cdot 0,3 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ нм;} \quad M_2 = Qk = 10290 \cdot 0,2 = 2,058 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

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

Згинальний момент на опорі С

$$M_C = G_2 a_2 = G \frac{a_2 h_1}{h_1 + h_2} = 8000 \cdot \frac{0,3 \cdot 4,2}{4,2 + 2,8} = 1,32 \cdot 10^3 \text{ Нм.}$$

Визначаємо діаметри шпинделів в перерізі А та С

$$\sigma = \frac{M_3}{0,1d^3} \leq [\sigma];$$

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{M_A}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{2324}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,066 \text{ м};$$

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{M_C}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{1320}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,055 \text{ м}.$$

Так, як шпинделі виготовляють із сталі 40Х, то допустимі напруження рівні $[\sigma] = 70 \dots 80$ МПа.

Приймаємо, що $d_A = d_B = 70$ мм; $d_C = d_D = 55$ мм.

Визначаємо момент сил тертя, прийнявши коефіцієнт тертя рівним $f = 0,1$:

$$M_{TP1} = 0,5(Ad_A f_A + Bd_B f_B) = 0,5(17500 \cdot 0,07 \cdot 0,1 + 6641 \cdot 0,07 \cdot 0,1) = 65,89 \text{ Нм};$$

$$M_{TP2} = 0,5(Cd_C f_C + Dd_D f_D) = 0,5(7040 \cdot 0,055 \cdot 0,1 + 2640 \cdot 0,055 \cdot 0,1) = 32,12 \text{ Нм}.$$

Еквівалентні моменти будуть рівними

$$M_{e1} = \sqrt{M_A^2 + M_{TP1}^2} = \sqrt{2324^2 + 66,899^2} = 2,325 \times 10^3 \text{ Нм};$$

$$M_{e2} = \sqrt{M_C^2 + M_{TP2}^2} = \sqrt{1320^2 + 32,12^2} = 1,32 \times 10^3 \text{ Нм}.$$

Еквівалентні моменти мають не значні значення у порівнянні із згинальними, тому немає необхідності проводити нові розрахунки діаметрів шпинделів.

Визначаємо момент від сил тертя у підшипниках бабки

$$M_{TP} = 0,5(Ad_A f_A + Bd_B f_B + Cd_C f_C + Dd_D f_D).$$

$$M_{TP} = 0,5(17500 \cdot 0,07 \cdot 0,1 + 6641 \cdot 0,07 \cdot 0,1 + 7040 \cdot 0,055 \cdot 0,1 + 2640 \cdot 0,055 \cdot 0,1) = 106,29 \text{ Нм}.$$

Визначаємо найбільший крутний момент, який передається на привід кантувача

$$M_{KP} = M_{BT} + M_{TP} = 3706 + 106,285 = 3812,285 \text{ Нм}.$$

Загальний к.к.д. приводу кантувача буде рівний

$$\eta_0 = \eta_u \eta_q = 0,9 \cdot 0,6 = 0,54.$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{V_k}{\pi D} = \frac{24}{3,14 \cdot 2} = 3,822 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3,822}{30} = 0,4 \text{ 1/с.}$$

Визначаємо потужність електродвигуна

$$N = \frac{M_{кр} \omega}{\eta_0} = \frac{3812,285 \cdot 0,4}{0,54} = 2823,9 \text{ Вт. Приймаємо } N=3 \text{ квт.}$$

4.3 Розрахунок гвинтових притискачів кондуктора

Оскільки при виготовленні рами застосовуються складально-зварювальні кондуктори із гвинтовими притискачами то проведемо їх розрахунок згідно літератури [19].

Вихідними даними для розрахунку є: сила затяжки $Q=10 \text{ кН}$, матеріал гвинта сталь 45, $\sigma_T=80 \text{ МПа}$; матеріал корпусу гвинта Ст.3, $[\sigma]=160 \text{ МПа}$.

Внутрішній діаметр гвинта при коефіцієнті скручування $\gamma = 1.5$.

$$d_{гн} = \sqrt{\frac{4 \cdot \gamma \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot Q}{3,14 \cdot [\sigma]}} \approx 1,4 \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{[\sigma]}}$$

$$d_{гн} = 1,4 \sqrt{\frac{10000}{80 \cdot 10^6}} = 1,4 \sqrt{1,25 \cdot 10^{-4}} = 0,015652 \text{ м; } d_{гн} = 15,652 \text{ мм;}$$

Відповідно до стандарту ГОСТ 9150-59 приймаємо гвинт $M20 \times 2,5$.

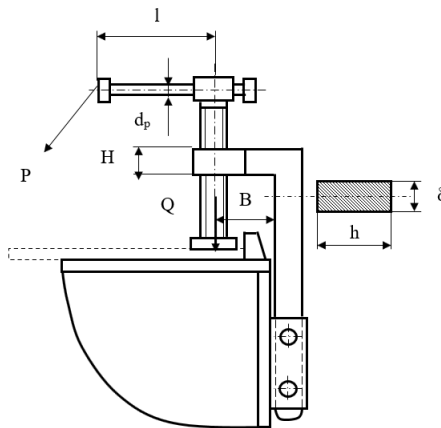


Рис. 4.6 Розрахункова схема гвинтового притискача

Визначаєм момент затяжки гвинта

$$M_c = Q[r_{cp} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + M_{TP.C}],$$

де $r_{cp} = 0,45d_3$; $\alpha = 2^{\circ}30'$; $\varphi_{np} = 6^{\circ}40'$; $M_{TP.C} = 0$;

$$M_c = 10 \cdot 10^3 \cdot 0,45 \cdot 0,020 \cdot \operatorname{tg}(2^{\circ}30' + 6^{\circ}40') = 14,526 \text{ Нм.}$$

Визначаємо довжину рукоятки, $P = 100 \text{ Н}$

$$l = \frac{M_c}{P} = \frac{14,526}{100} = 0,145 \text{ м}$$

приймаємо $l = 150 \text{ мм}$.

Діаметр рукоятки з умови міцності

$$\sigma = \frac{Pl}{W} \leq [\sigma], \text{ де } W \approx 0,1 \cdot d_p^3;$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{Pl}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 0,15}{0,1 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 0,012 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_p = 12 \text{ мм}$.

Визначаємо кількість витків різьби в гайці

$$n = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_{гн}^2)p_0},$$

де $p_0 = 9 \dots 13 \text{ МПа}$.

$$n = \frac{10000}{\frac{3,14}{4}(0,020^2 - 0,017294^2)10 \cdot 10^6} = \frac{10000}{0,785(4 \cdot 10^{-4} - 2,99 \cdot 10^{-4})10 \cdot 10^6} = 12,63$$

Приймаємо $n = 13$.

Визначаєм висоту гайки при $m = 1$

$$H = \frac{nS}{m}; \quad S = 2\pi r_{cp} \operatorname{tg} \alpha.$$

Для гвинта $M 20 \times 2,5$ з $S = 2,5 \text{ мм}$ складає

$$H = \frac{13 \cdot 2,5}{1} = 32,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо розміри перерізу корпусу притискача, де $\delta=10\text{мм}$.

Згинальний момент від сили Q буде рівним

$$M_z = Qb.$$

З рівняння міцності, знайдемо ширину корпусу

$$\sigma = \frac{QB}{W} + \frac{Q}{b\delta} \leq [\sigma], \quad \sigma \leq 1,05[\sigma].$$

Поперечний переріз корпусу визначаємо від напружень, які виникають при дії згинального моменту

$$\sigma = \frac{6QB}{b^2\delta} \leq [\sigma],$$

$$\text{звідки } b = \sqrt{\frac{6QB}{\delta[\sigma]}};$$

$$b = \sqrt{\frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,01 \cdot 160 \cdot 10^6}} = 0,061 \text{ м.}$$

Приймаємо $b=60$ мм.

Виконаємо перевірку міцності корпусу притискача

$$\sigma = \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,06^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,06 \cdot 0,01} = 333 \text{ МПа.}$$

Умова не виконується $\sigma > [\sigma]$. Прийmemo $b = 70$ мм.

$$\sigma = \frac{6 \cdot 10000 \cdot 0,1}{0,07^2 \cdot 0,01} + \frac{10000}{0,07 \cdot 0,01} = 1,224 \cdot 10^8 + 1,429 \cdot 10^7 = 122,4 + 14,29 = 137,3 \text{ МПа}$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Аналіз потенційних небезпек. Заходи для їх зниження

При роботі на напівавтоматі в суміші захисних газів з метою попередження нещасних випадків необхідно дотримуватися ряду заходів, передбачених законами про охорону праці та чинними правилами та інструкціями.

Ураження електричним струмом, опіки, отруєння газами - найбільш характерні випадки травматизму при зварюванні в суміші захисних газів.

Ураження електричним струмом - найбільш частий вид травматизму при зварюванні. Причинами поразки струмом є дотик до голих струмоведучих частин електроустаткування, відсутність або недоброякісність захисних засобів і заземлюючих пристроїв.

В напівавтоматах, включаючи джерела живлення, повинна бути виключена можливість випадкового дотику до частин, що знаходяться під напругою вище допустимого для зварювального ланцюга, і виключена можливість появи небезпечної напруги на частинах, нормально знаходяться без напруги (корпусу джерел живлення, шаф, верстатів). Для цього необхідно ізолювати дроти, в першу чергу підводять струм до зварювального обладнання від силової мережі 220 або 380 В. Затискачі для приєднання проводів від силової мережі повинні бути ізольовані від корпусу і прикриті кришкою або козирком [20].

У випадку пробною ізоляції обмоток, з'єднаних з силовою мережею, під високою напругою можуть виявитися корпуси зварювального обладнання, тому вони повинні бути заземлені.

При пошкодженні ізоляції між обмотками зварювального трансформатора його вторинна обмотка буде з'єднана з силовою мережею через первинну обмотку. Щоб уникнути можливого при цьому ураження електричним струмом, затискачі вторинної обмотки джерела живлення, від

якого йде провід до зварюваного виробу, повинні бути заземлені. Необхідно також заземлювати зварюваний виріб.

Здійснювати перемикання, приєднання або від'єднання в електротехнічних ланцюгах установок можна тільки після вмикання загального рубильника або пускача. При ремонті й усуненні несправностей зварювальне обладнання повинно бути від'єднати від мережі живлення. Пересувні джерела зварювального струму під час їх пересування необхідно від'єднати від мережі. Забороняється користування зварювальними дротами з пошкодженою ізоляцією. З'єднання зварювальних дротів повинно проводитися паянням, зварюванням або з'єднувальними муфтами з ізолюючою обмоткою.

При роботі в особливо небезпечних приміщеннях, а також у відсіках суден, резервуарів джерела живлення повинні бути оснащені пристроєм автоматичного від'єднання напруги холостого ходу або пристроєм, понижуюча напруга в зварювального ланцюга до 12 В. Робота в закритих ємностях повинна проводитися не менше ніж двома особами, причому одна особа повинна мати кваліфікаційну групу з техніки електробезпеки не нижче III і знаходитися зовні.

Опіки тіла при напівавтоматичному зварюванні можуть бути викликані бризками розплавленого металу. Місця зварювальних робіт повинні бути очищені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м.

В процесі зварювання виділяється велика кількість газів, пилу і парів металу, що може призвести до захворювання дихальних шляхів зварника. Для уникнення цього необхідно постачати автомати газовідсмоктувачі, розташованими поблизу дуги. При зварюванні в закритих приміщеннях необхідно застосовувати витяжну вентиляцію [20].

5.1.2 Заходи пожежної безпеки при експлуатації спроектованого обладнання.

Пожежа та вибух на виробництві можуть призвести до значних матеріальних втрат та загибелі людей. Висока швидкість горіння здатна повністю знищити матеріальні цінності, виготовленні з горючих матеріалів, та нанести шкоду тим, які виготовленні з важкогорючих і негорючих матеріалів. Вибух руйнує виробничі конструкції та прилади, приміщення і цілі будівлі. Висока температура, наявність отруйних продуктів горіння, значний надлишковий тиск під час вибуху та вивільнена енергія призводять до пошкодження людського організму, хвороби та загибелі людини.

На виробництві для дотримання проти пожежних і проти вибухових заходів необхідно строго дотримуватися організації та перебігу технологічного процесу й вимог, що впливають з його особливостей. Такими заходами є [20]:

1. Відповідність вимогам що до матеріалів і речовин, їх кількості у виробництві;
2. Запобігання виникненню горючого та вибухового середовища;
3. Запобігання виникненню джерел запалювання в горючому середовищі;
4. Здійснення контролю за параметрами пожежо- та вибухонебезпечного середовища й обладнання;
5. Наявність пристроїв пожежної автоматики та сигналізації;
6. Організація пожежної охорони;
7. Навчання та інформування персоналу про правила пожежної безпеки та поведінку при надзвичайній ситуації.

5.2 Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу об'єкта до ударної хвилі

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе: будівлі споруди, технологічне обладнання і комунікації, електромережі, тепломережі, водопровід, каналізацію і газопровід [21].

Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкту. Підвищувати стійкість всіх будівель і споруд не потрібно, так як це пов'язано з великими матеріальними затратами, які не завжди будуть виправдані. Головним чином, потрібно підвищувати міцність найбільш важливих елементів виробництва, від яких залежить робота всього підприємства, але стійкість яких нижча загальної границі стійкості. Підвищення стійкості будівель і споруд досягається встановленням додаткових зв'язків між несучими елементами, будовою каркасів, рам, підкосів, опор для зменшення прольоту несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш міцних матеріалів.

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

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

Надійно захистити все технологічне обладнання від дії ударної хвилі практично неможливо. Захист обладнання необхідний, якщо воно здатне при руйнуванні частини підприємства випускати особливо цінну продукцію і його необхідно зберегти для подальшого використання. Захист обладнання входить в загальний комплекс інженерно-технічних заходів по підвищенню стійкості роботи підприємства. Потрібно створювати запаси деталей і вузлів технологічного устаткування, а також виготовляти захисні конструкції і

застосовувати їх в період загрози нападу ворога для запобігання виходу з ладу устаткування при обвалі конструкцій будівель [21].

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

Для підвищення надійності комунікацій потрібно: заглиблювати основні комунікаційно-енергетичні мережі і технологічні комунікації або розміщувати їх на низьких естакадах та обвалькувати землю; збільшувати механічну міцність трубопроводів за рахунок встановлення ребр жорсткості, хомутів, які з'єднують два-три трубопроводи в один пучок.

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

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

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

Важливе значення має створення стійкості системи водозабезпечення об'єкту. Промисловий об'єкт повинен забезпечуватись водою не менше ніж від двох джерел - основних і резервних. Одне із джерел повинно бути

підземним. Мережі водозабезпечення прокладаються в землі і обладнуються засувками для відмикання окремих ділянок при аварії.

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

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано умови роботи та вимоги до конструкції рами прицепа ПТС-9. Розглянуто існуючі технологічні процеси виготовлення причіпних рамних конструкцій та проведено їх критичний аналіз. Із врахуванням вимог до рами прицепа та із врахуванням маси вантажів, для перевезення який застосовується проведено моделювання напружено-деформівного стану конструкції рами. Дослідження проводили в програмному комплексі SolidWorks. За отриманими результатами встановлено небезпечні ділянки рами та запропоновано шляхи їх підсилення.

На основі запропонованих рішень розроблено технологічний процес зварювання рами прицепа типу ПТС-9. Для цього запропоновано спеціальне складально-зварювальне пристосування, яке дозволяє пришвидшити процес виготовлення та підвищити якісні показники конструкції. Запропоноване обладнання дозволяє реалізувати паралельно-потокове виробництво розглядуваної конструкції. Це реалізовується за рахунок одночасного паралельного виготовлення основної частини рами та диска і кінцевого їх з'єднання між собою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989, - 640 с.
2. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.- 896 с.
3. ПСТ-00.00.000 РЭ. ПОЛУПРИЦЕП ТРАКТОРНЫЙ ПСТ. Руководство по эксплуатации. – 48с.
4. <https://agro-winner.com.ua/ua/p961240558-pritsep-traktornyj-2pts.html>
5. Думов С.И. Технологияэлектрической сварки плавлением : учеб. / С.И. Думов. – Л.: Машиностроения, 1987. – 640 с.
6. Отраслевой стандарт соединения сварных сельскохозяйственных машин и тракторов. Общие требования. ОСТ23.2.429.80. – М.: Виском, 1981. – 76 с.
7. Каталог сельскохозяйственной техники 2021 – 44с.
8. РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРИЦЕПОВ. – 28с.
9. Титаренко В.С. Напружено-деформований стан і довговічність рам напівпричепів / Дисерт. канд. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. – 180 с.
10. Підгурський М.І. Методи прогнозування ресурсу несучих і функціональних систем бурякозбиральних комбайнів / Дисерт. докт. техн. наук. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – 340 с.
11. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением: учеб. / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.– 432 с.
12. Сварочные материалы для дуговой сварки. Т2. Сварочная проволока и электроды: справочное пособие / под общей редакцией Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1993. – 768 с.
13. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.

14. <https://kzeso.com>
15. <https://metall.dukon.ru/>
16. <https://tvagonm.com.ua/catalog/>
17. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций. В.А.Троцкий, В.П.Редько, В.Г. Демидко и др. Под ред. В.А.Троцкого. – К.: Техника, 1986. -519с.
18. <https://ukrintech.com.ua/ua/defektoskop-ul-trazvukovij-a1212-master>
19. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
20. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
21. Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.

ДОДАТКИ