

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: Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення
рами самоскидного тривісного напівпричепа з моделюванням її напружено-
деформівного стану

Виконав(ла): студент(ка) _____ курсу, групи _____
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Жеп'як С.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Підгурський М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: " Обґрунтування параметрів технологічного процесу виготовлення рами самоскидного тривісного напівпричепа з моделюванням його 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.

Для висвітлення питань, які розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 29 рисунків, 12 таблиць, 1 додаток. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 17 першоджерел.

Дослідження з моделюванням напружено-деформівного стану були проведені в програмному комплексі КОМПАС. Визначено напруження в рамі та встановлено області максимальних напружень. На основі проведених розрахунків становлено статичні коефіцієнти запасу міцності за напруженнями $K_c=7\dots 10$.

З урахуванням проведених досліджень прийняті інженерно-технологічні рішення, які дозволять покращити міцнісні характеристики рами та підвищити окремі показники технологічного процесу.

В роботі обґрунтовано параметри режиму зварювання та запропоновано нове і модернізовано існуюче зварювальне пристосування, що дозволить підвищити якість конструкції та підвищити ефективність виробництва.

Ключові слова: ЗВАРЮВАННЯ В ЗАХИСНИХ ГАЗАХ, НАПІВАВТОМАТ, РАМА ПІВПРИЧЕПА, РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ, 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.....	9
1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу	11
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	15
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	25
3.1 Обґрунтування способу зварювання	25
3.3 Опис технологічного процесу виготовлення рам	34
3.3 Нормування витрат зварювальних матеріалів та електроенергії.....	40
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	44
4.1 Розрахунок зварних з'єднань на міцність.....	44
4.2 Опис конструктивних схем пристосувань	45
4.2.1 Установка для складання двотаврових зварних лонжеронів.....	45
4.2.2 Кільцевий зварювальний кантувач.....	46
4.2.3 Стенд для складання та зварювання рами	48
4.3 Розрахунок кільцевого кантувача.....	49
4.4 Основні техніко-економічні показники запропонованих рішень	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
5.1 Охорона праці	53
5.1.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників у спроектованому цеху	53
5.1.2 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві	55
5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	56
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

В останній час рівень механізації і автоматизації безперервно росте. Завдяки цьому підвищується продуктивність праці і культура зварювального виробництва. Різноманітність зварювальних процесів обумовлюють різноманітність типів компоновки і конструкції зварювального обладнання і пристосувань. В залежності від умов виробництва, особливостей зварювальних матеріалів і також вимог, які ставляться до зварювальних матеріалів, а також вимог, які ставляться до якості зварних з'єднань, в наш час в промисловості застосовують понад п'ятдесят видів зварювання. Швидкий ріст зварювального виробництва, розроблення нових способів і методів механізованого зварювання і наплавлення вимагають створення нових видів різноманітного обладнання і пристосувань. Також це потребує неодмінно подальшого удосконалення, яке неодмінно приведе до ефективного застосування нового обладнання і пристосувань.

Забезпечення високої якості продукції вимагає вдосконалення технічної бази виробництва і суттєвого покращення оснащеності виробників новими видами обладнання, а також розроблення і освоєння передових технологій. Необхідні невідкладні заходи по вдосконаленню системи управління виробничими процесами, розроблень і промислового освоєння нової техніки, підвищення ефективності діяльності науково-технічних організацій.

Розроблена нова техніка повинна бути не тільки технічно вдосконаленою, але і економічно вигідною. Кожен об'єкт нової техніки повинен мати чітку оцінку ефективності його розроблення, виробництва та експлуатації, а всі прийняті науково-технічні рішення повинні бути економічно доцільними.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу та умов його роботи

Трьохвісний самоскидний напівпричіп (рис. 1.1) призначений для перевезення в складі автопоїзда з сідельним тягачем зернових та інших сільськогосподарських культур, комбікормів, а також насипних вантажів.

Основним несучим елементом будь-яких напівпричепів та причепів є рама, яка сприймає та розподіляє навантаження на осі шасі.

Рама (рис. 1.2) складається із двох повздовжніх лонжеронів, які виготовлені із зварних двотаврових балок і мають перемінну висоту, поперечних балок із швелерів, різноманітних кріпильних елементів та різного виду кронштейнів, планок, ребер і інших конструктивних елементів, що кріпляться на рамній конструкції. [1]



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд трьохвісного самоскидного напівпричепа

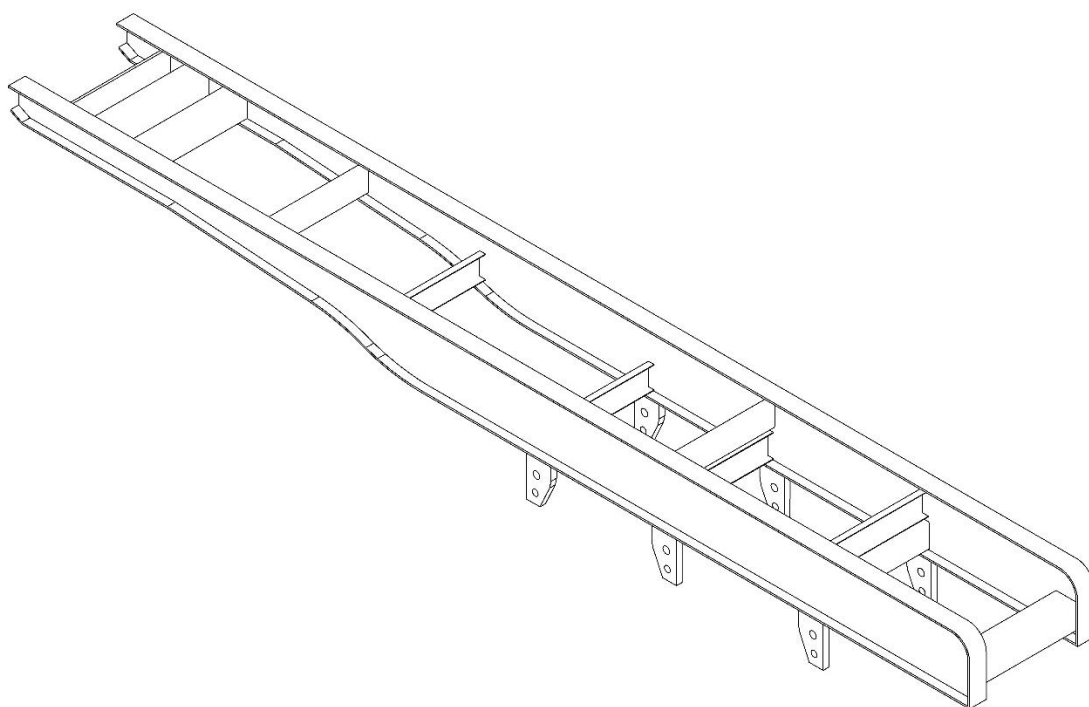
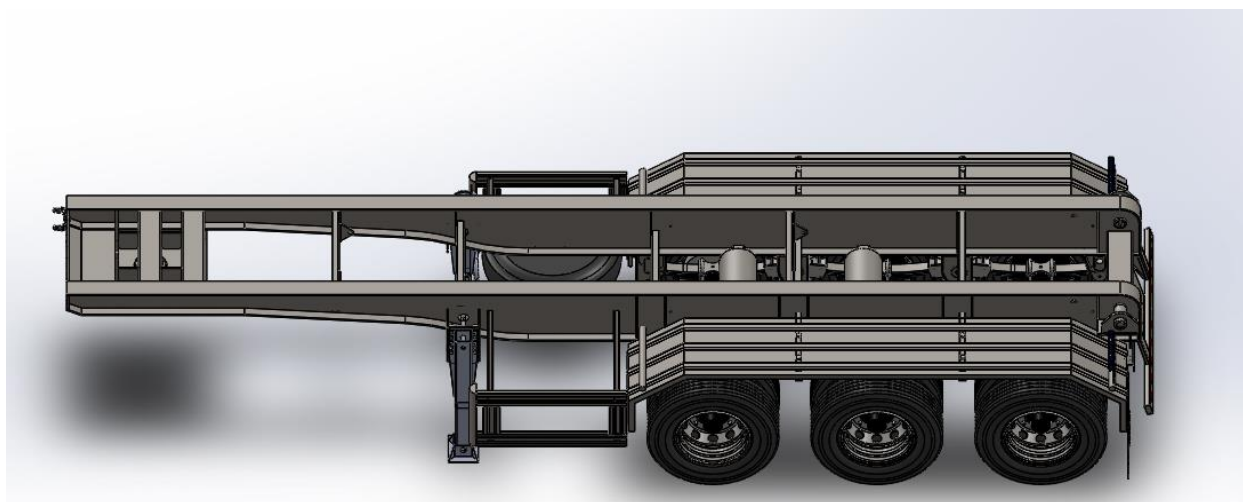


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд рами трьохвісного самоскидного напівпричепа

Рамна конструкція в процесі експлуатації піддається значним статичним і динамічним навантаженням. Для виготовлення рами застосовують конструкційну, маловуглецеву сталь марки ВСтЗсп.

Хімічний склад та механічні властивості сталі приведено в таблицях 1.1 та 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі ВСтЗсп за ГОСТ 380-71 [2, с. 24]

ГОСТ	Стан постачання	S _{0,2}	S _B	d ₅ , %
		МПа		не менше
		380-71	Прокат гарячекатаний	

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі ВСтЗсп за ГОСТ 380-71, % [2,с.24]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
не більше								
0,14-0,22	0,40-0,65	0,12-0,30	0,04	0,05	0,30	0,30	0,30	0,08

Оскільки вміст вуглецю в сталі ВСтЗсп становить до 0,25%, то дана сталь відноситься до групи сталей, які добре зварюються.

1.2 Технічні умови на виготовлення зварної конструкції

Всі матеріали та напівфабрикати, що постачаються на складання рами, повинні мати сертифікати заводу-постачальника або супроводжувальні паспорти, при відсутності яких, вони не можуть бути допущені у виробництво. Якість і характеристика матеріалів повинна підтверджуватись організацією виробником у відповідних сертифікатах якості.

Зварювальний дріт перевіряють на чистоту поверхні, і він повинен зберігатися в умовах, що виключають можливість його забруднення і окислення.

Захисні гази перевіряють на відсутність шкідливих домішок і вологи.

При виготовленні рами та на стадії її проектування повинні бути збережені геометричні розміри і форма, а також необхідна чистота поверхонь. Це завдання вирішується встановлення ряду вимог, таких як:

- розроблення конструкції з врахуванням технічних особливостей виробництва;
- дотримання оформлення всіх зварних з'єднань з врахуванням характеру їх оброблення, форми підготовки кромки, допусків на розміри;
- дотримання технології для попередження виникнення напружень і деформацій.

Зварних з'єднань повинні забезпечувати:

- вільне розміщення нагрівальних пристроїв у випадку необхідності місцевого підігрівання;
- можливість проведення контролю якості зварних з'єднань передбаченими для цього методами контролю якості;
- можливість проведення ремонту.

Властивості зварних з'єднань конструкції, як правило, повинні відповідати властивостям основного металу, тому встановлюються мінімально допустимі показники механічних властивостей, такі як: міцність, ударна в'язкість та пластичність.

Складання деталей та вузлів під зварювання має здійснюватися у спеціальних складально-зварювальних пристосуваннях, стендах або установках, які забезпечують виготовлення зварних вузлів та конструкції в цілому. Розміри основних деталей, які визначають габаритні розміри вузлів та конструкції в цілому слід встановлювати із врахуванням усаджування металу.

Для визначення базових розмірів складально-зварювальних пристосувань, установок та стендів необхідно врахувати деформації, що виникають при зварюванні вузлів та конструкції в цілому.

Прихоплення елементів конструкції повинні виконуватись тільки в тих місцях та у послідовності, передбаченій технологічним процесом.

При виконанні складання під зварювання, основний метал в місцях зварювання повинен бути зачищений від іржі, мастила, вологи, окалини та інших забруднень, які можуть призвести до утворення дефектів в зварних з'єднаннях.

Якість даного зварного виробу забезпечується при виконанні наступних вимог:

- при проектуванні даної конструкції необхідно проводити її дослідження на технологічність;
- дотримання параметрів режиму зварювання;
- забезпечити необхідну точність складання;
- при виконанні зварювальних робіт застосовувати тільки якісні матеріали;
- контроль якості зварювання проводити відповідними методами контролю;
- не допускається наявність дефектів у зварних з'єднаннях.

1.3 Аналіз існуючого технологічного процесу

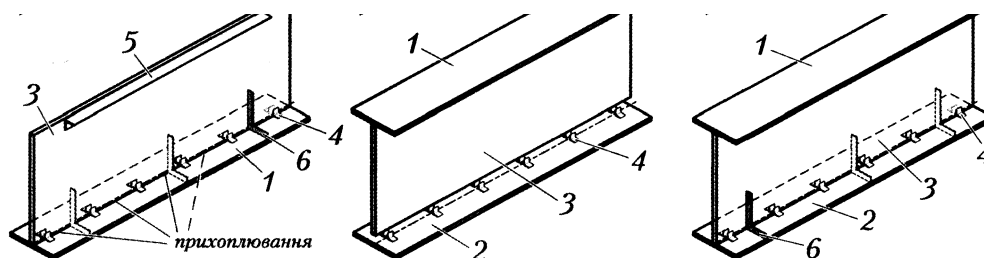
Рамні конструкції вантажних автомобілів, причепів та напівпричепів складаються із повздовжніх балок (лонжеронів) та поперечних балок і інших елементів. Технологічні процеси такого типу конструкцій складаються із технологічних процесів виготовлення балок та кінцевого з'єднання їх в несучу рамну конструкцію.

Оскільки в нашому випадку рамна конструкція напівпричепа складається із двотаврових зварних лонжеронів (балок) то розглянемо існуючі технології їх виготовлення.

Залежно від типу виробництва зварних двотаврових балок застосовуються три основні способи складання і зварювання таких складових конструкцій: за розміткою, на складальних установках та на потоковій лінії [3].

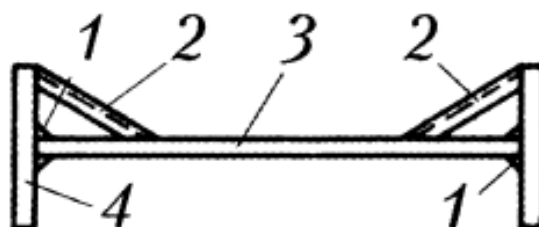
Складання зварних двотаврів за розміткою на стелажах проводиться в такій послідовності (рисунок 1.3). Спочатку виконується розмічання полиць двотавра з нанесенням на приєднувані поверхні двох ліній. Вздовж

розмічених ліній по всій довжині полиць встановлюються попарно кілька кутиків, які фіксують за допомогою прихоплень до полиць. Паралельно до стінки прикріплюється тимчасові елементи жорсткості, які призначені для надання верхній кромці листа необхідної жорсткості під час складання. Потім проводять складання тавра. Стінка з елементами жорсткості встановлюється між парними кутиками верхньої полиці. Потім виконуються прихоплювання та встановлюють розкоси (рисунок 1.4). Далі знімають елементи жорсткості стінки.



1, 2 — полиці верхня і нижня; 3 — стінка, 4 — кутики; 5 — елемент жорсткості; 6 — прямокутник

Рисунок 1.3. Схема складання двотавра за розміткою на стелажах



1 — прихоплювання; 2 — розпірка; 3 — стінка, 4 — полиця

Рисунок 1.4. Встановлення тимчасових розкосів

Для подальшого складання двотаврової балки, складена таврова балка кантується на 180° і встановлюється стінкою на нижню полицю між парними кутиками. Повторюються складальні операції, які були при складанні тавра. Після накладення всіх призначених прихоплень видаляються всі допоміжні парні кутики.

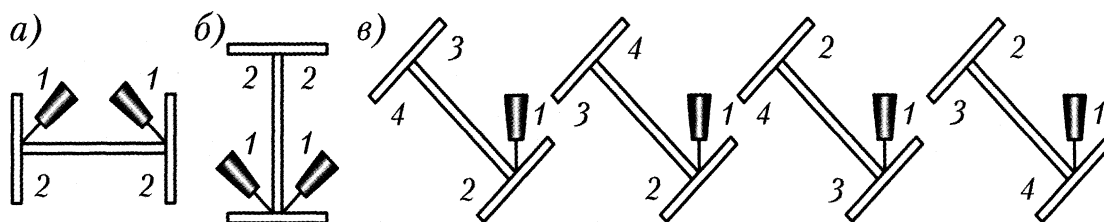
За необхідності встановлення в двотавровій балці ребер жорсткості вони також складаються і фіксуються за розміткою. Для виключення перетину

поясних зварних швів балки із швами ребер жорсткості кути ребер попередньо відрізаються. Зазвичай ребра жорсткості встановлюються за розміткою і прихоплюються вже після зварювання поясних швів, однак можуть бути інші схеми складання-зварювання ребер жорсткості.

В серійному виробництві складання балкових конструкцій, як правило, виконується в складальних установках (кондукторах). Установки оснащені стаціонарним стелаж-стендом, на якому укладаються і складаються елементи балки, та пересувного складального порталу з пневмопритискачами. Складання проводять наступним чином: стінка укладається на опорні балки кондуктора, а полиці — вздовж балок на опорні гвинти, встановлені на задану висоту. Портал, пересуваючись вздовж складаного двотавра, зупиняється проти місць виконання прихоплень, і здійснюють прихоплення. Після завершення складання на двотаврова балка знімається з кондуктора і поступає до місця зварювання.

Технологічний процес зварювання двотаврових балок має забезпечувати мінімальні зварювальні деформації, які не приводять до порушень заданої форми конструкції.

Зварювання двотаврових балок здійснюють автоматичним способом під шаром флюсу або в середовищі захисних газів взаємності від товщини стінки. На рисунку 1.5 приведено способи та послідовність накладання зварних швів.



a, б — одночасно двома автоматами відповідно за горизонтального і вертикального розташуваннях стінки двотавра; *в* — в положенні «в човник»

Рисунок 1.5 Способи накладання зварних швів при зварюванні двотаврових балках

Після виготовлення головних балок рами виконують їх складання з поперечними балками. Процес складання проводять в спеціальних кондукторах для забезпечення точності розмірів. Зварювання самої рами виконують напівавтоматичним способом у середовищі захисних газів.

До недоліків вище згаданих технологічних процесів виготовлення балок та рами в цілому є невисокий рівень механізації та автоматизації складальних операцій, а також виникнення значних деформацій після зварювання, що потребує застосування додаткових технологічних операцій. Це пов'язано із застосуванням нераціонально підібраними параметрами режимів зварювання та транспортування складеної балки на позицію зварювання.

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Рама трьохвісного напівпричепа є зварною конструкцією, яка складається із багатьох елементів зварених між собою, тому необхідно провести її моделювання напружено-деформівного стану та визначити небезпечні ділянки [3]. Це робиться з метою того, що запобігти попаданню зварного шва в зону найбільших напружень, при конструюванні рами. Як відомо, що найменшу міцність зварного з'єднання має так звана біляшовна зона.

З метою дослідження небезпечних зон в елементах рами було проведено комп'ютерне моделювання напружено-деформівного стану в програмі КОМПАС 3D, з врахуванням реальних розмірів рами, матеріалу та навантажень. Загальний вигляд рами змодельованої в програмі КОМПАС приведено на рисунку 2.1. Так як при статичному розрахунку рами необхідно на першому етапі вказати матеріал з якого вона виготовляється. Тому вибрали матеріал характеристика якого приведена в п.1.1 з наступними механічними характеристиками які необхідні для моделювання напружено-деформівного стану (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Механічні характеристики сталі ВСтЗсп які необхідні для моделювання

Межа текучості [МПа]	235
Модуль пружності [МПа]	200000
Коефіцієнт Пуассона	0.3
Густина [кг/м ³]	7800
Температурний коефіцієнт лінійного розширення [1/С]	0.000012
Теплопровідність [Вт/(м*С)]	55
Межа міцності на стиск [МПа]	410
Межа витривалості на розтяг [МПа]	209
Межа витривалості на крученні [МПа]	139

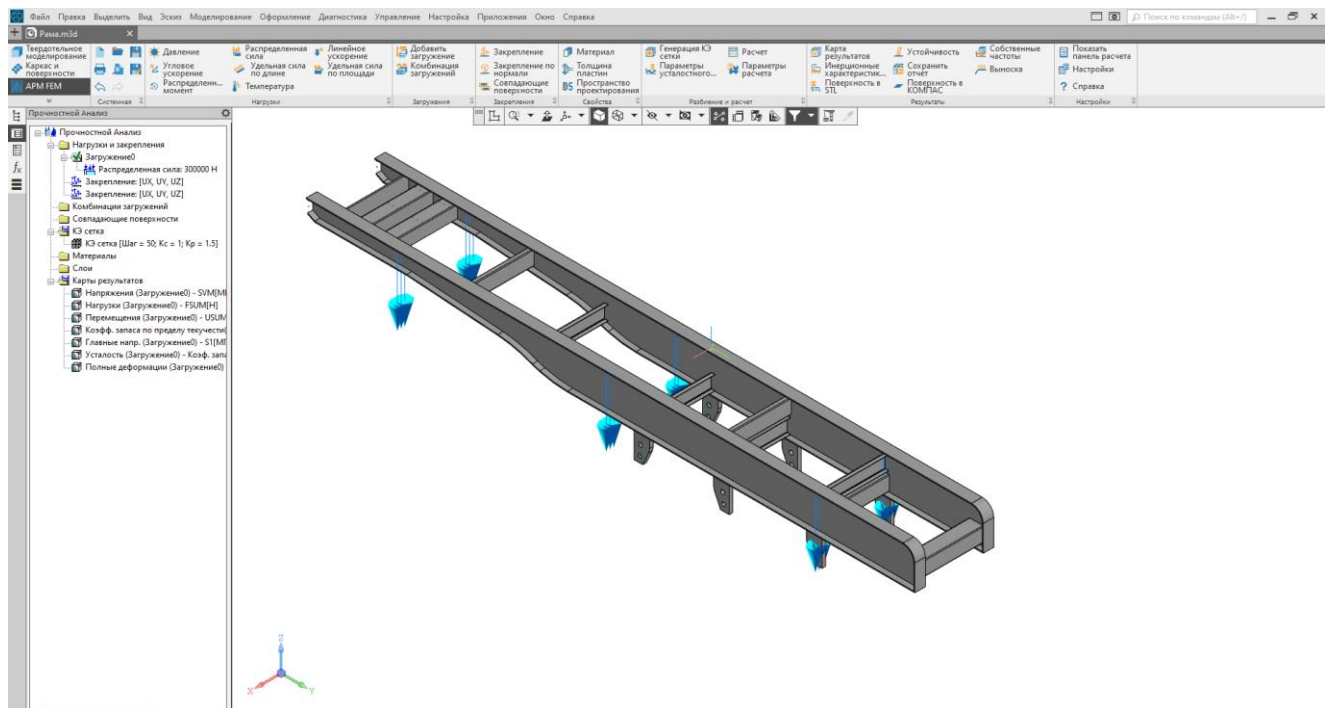


Рисунок 2.1 – 3D модель зварної рами напівпричепи

Після вибору матеріалу було проведено та встановлено розподілене навантаження на двотаврові лонжерони величиною 300000 Н. Наступним кроком було вибрано та встановлено тип закріплень рами. Раму закріплювали у місцях розташування сидла автомобіля та у місцях встановлення шасі (рисунок 2.2).

Коли було виконано закріплення рами відносно систем координат X, Y, Z, проводили накладання кінцево-елементну сітку (рисунок 2.3). Параметри і результати накладання сітки приведено в таблиці 2.2.

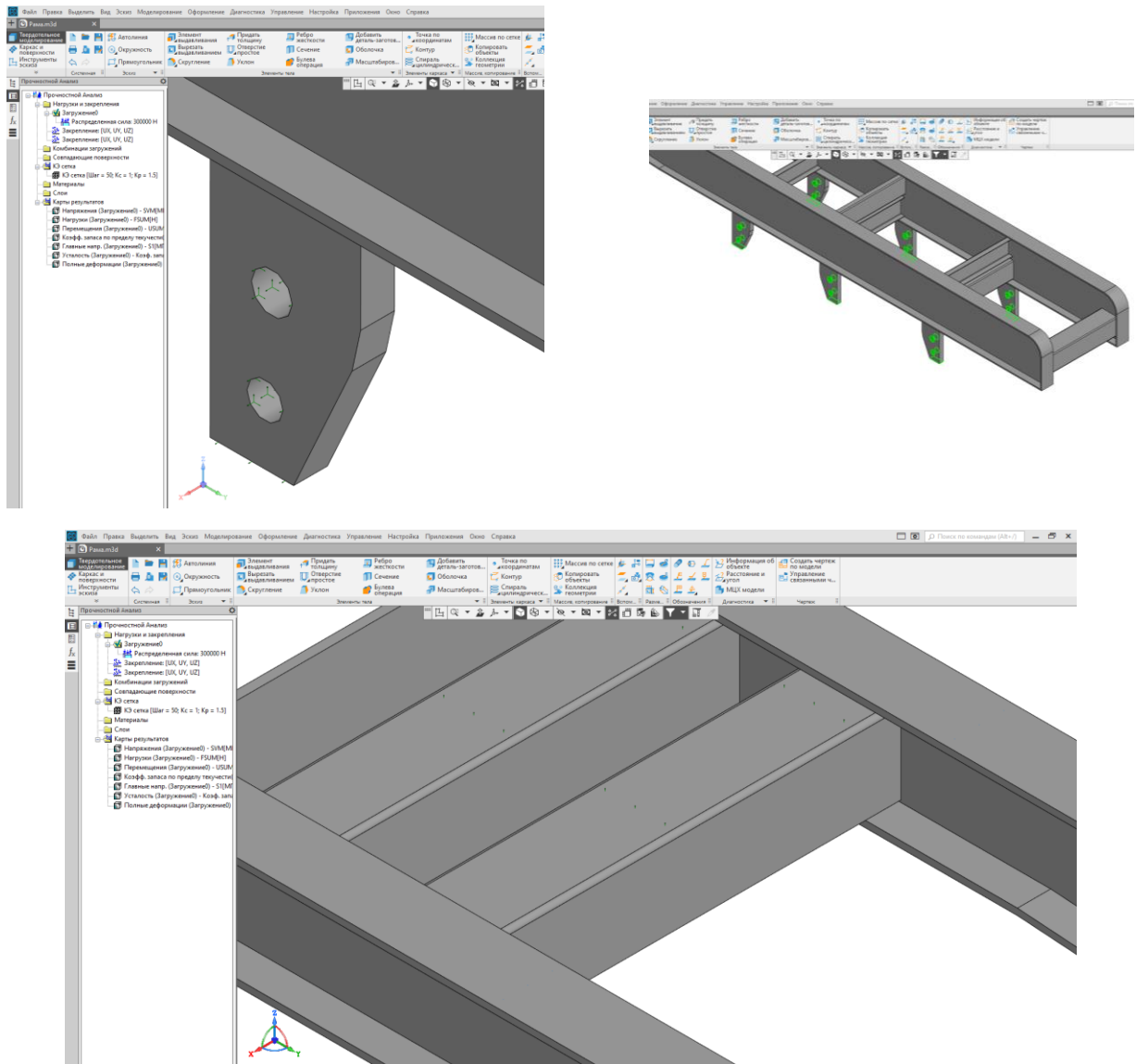


Рисунок 2.2 – Схема вузлів закріплення рами

Таблиця 2.2 Параметри і результати накладання сітки

Назва	Значення
Тип елементів	10-вузловий тетраедри
Максимальна довжина сторони елемента [мм]	50
Максимальний коефіцієнт щільності на поверхні	1
Коефіцієнт розрідження в об'ємі	1.5
Кількість кінцевих елементів	69281
кількість вузлів	142597

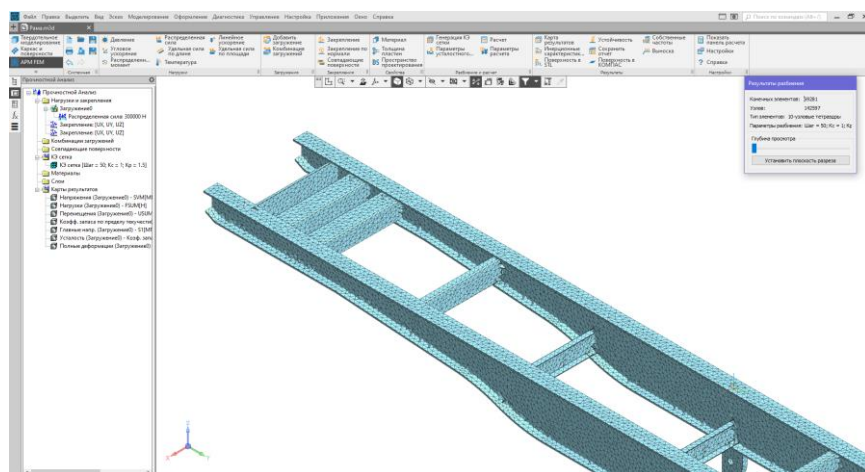
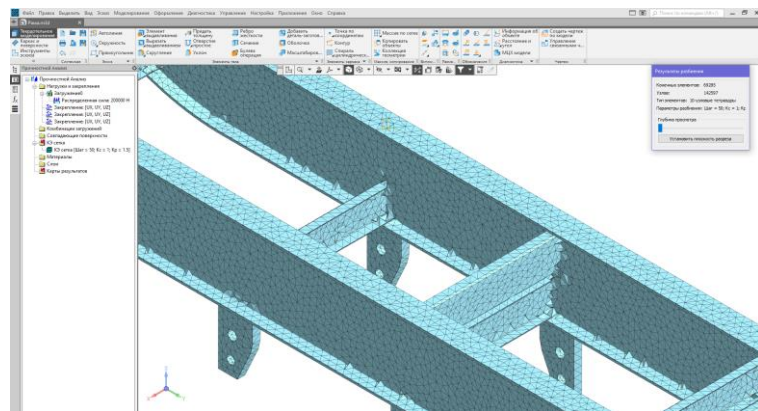
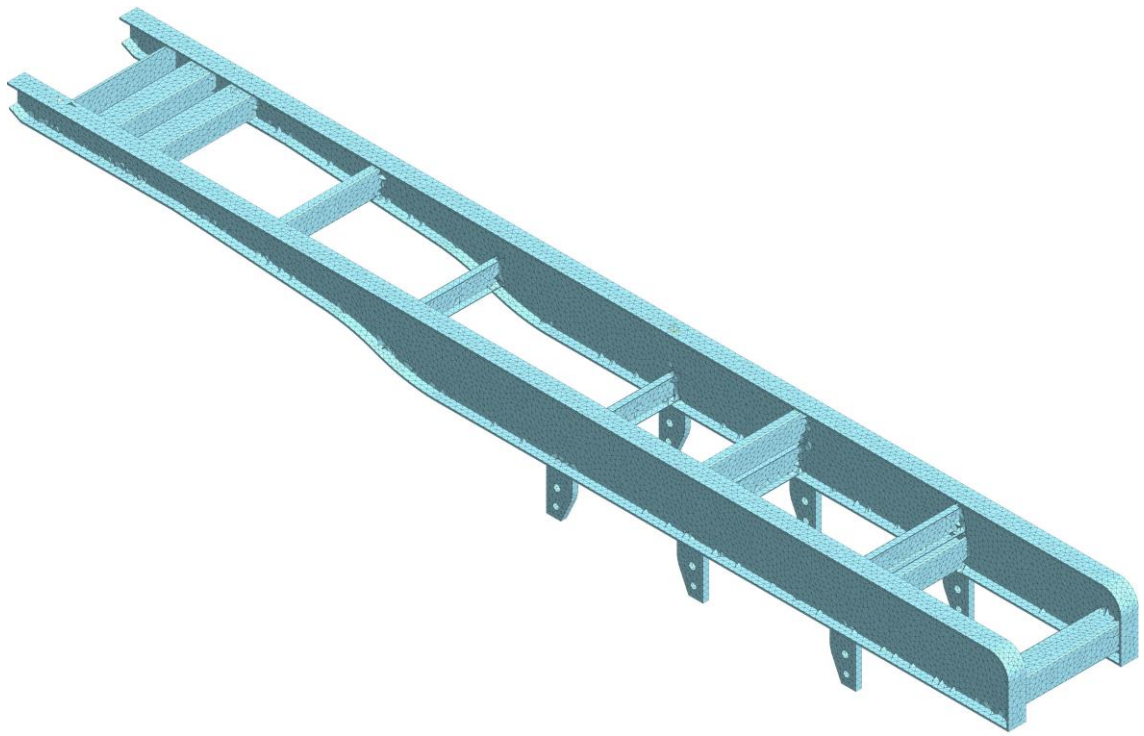


Рисунок 2.3 – Результати накладання кінцево-елементної сітки на раму

Після вибору та накладання кінцево-елементної сітки проводили статичний розрахунок за допомогою кінцево-елементної програми системи APM Structure3D КОМПАС. Інерційні характеристики моделі приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Інерційні характеристики моделі

Найменування	Значення
Маса моделі [кг]	1280.963284
Центр ваги моделі [м]	(0.476583 ; 0.066549 ; -0.282332)
Моменти інерції моделі відносно центру мас [кг*м ²]	(7675.512088 ; 349.50762 ; 7874.580119)
Реактивний момент відносно центру мас [Н*м]	(-157142.63152 ; -2888.055901 ; 0.000001)
Сумарна реакція опор [Н]	(-0 ; -0 ; 299810.582019)
Абсолютне значення реакції [Н]	299810.582019
Абсолютне значення моменту [Н*м]	157169.16844

Результати розрахунків в програмі КОМПАС приведено нижче.

Еквівалентне напруження по Мізесу складало від 0.000051 SVM [МПа] до 424.492148 SVM [МПа] (рисунок 2.4)

Як видно з рисунку найбільші напруження виникають у місці кріплення рами до сидла автомобіля, і не перевищують 159 МПа.

На рисунку 2.5 показано розподіл навантаження на раму. Як бачимо мінімальне навантаження знаходиться у місці переходу лонжерона з широкого у вузький, а максимальне навантаження розташоване над шасі.

Було проведено дослідження з моделюванням прогинів елементів рами при її навантаженні. З рисунку 2.6 можна побачити, що найбільші прогини які складають 0,3 – 0,75 мм в місцях зміни перерізу лонжеронів, це зумовлене тим, що зварна двотаврова балка виготовлена із змінного по висоті перерізу. Тому при її виготовленні необхідно буде збільшити товщину поясів з 14 мм до 16 мм або збільшити товщину вертикальної стінки з 8 мм до 10 мм. Також

можливим із варіантів зменшити прогин балки лонжерона є встановлення в місцях найбільших прогинів ребр жорсткості.

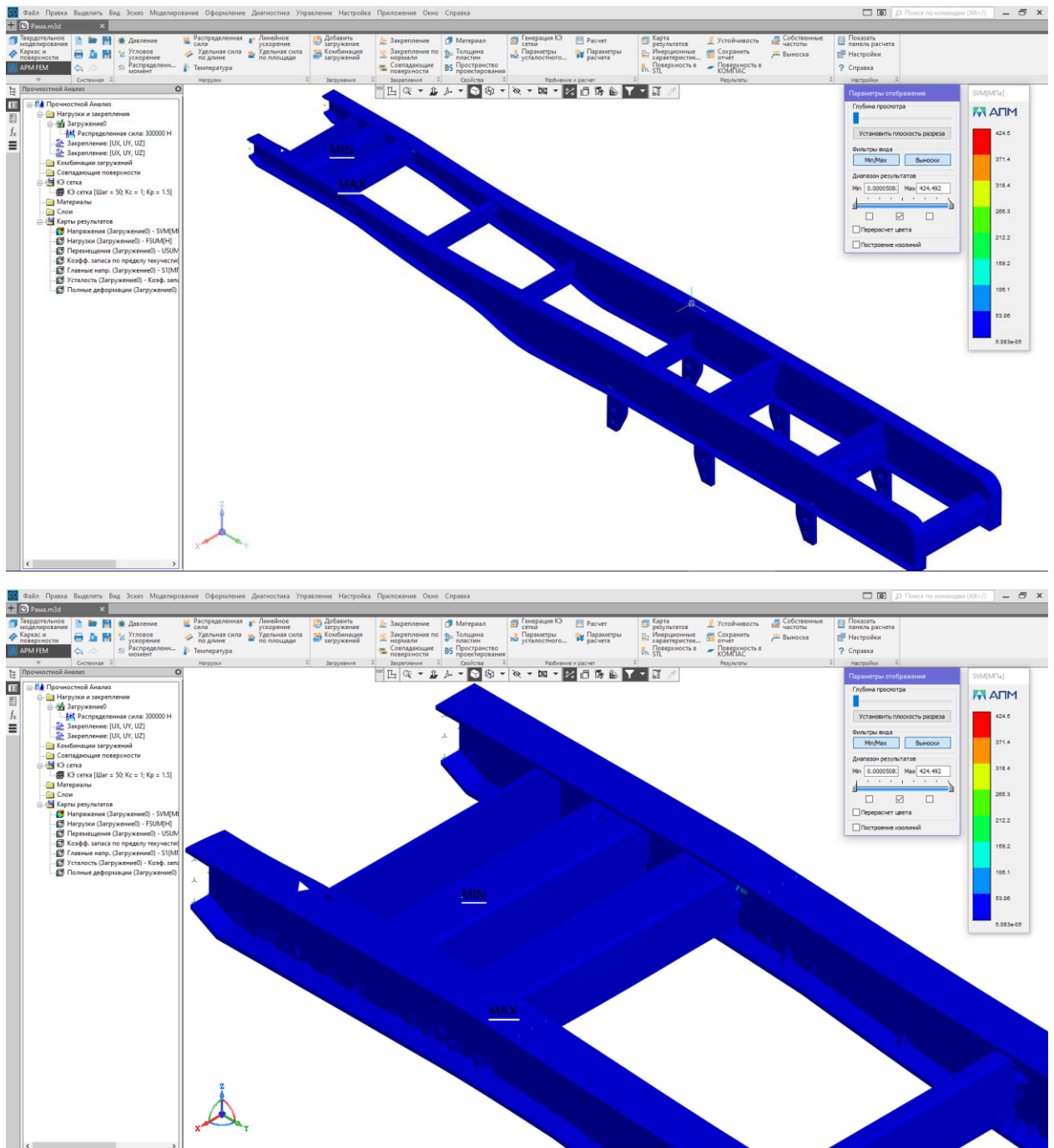


Рисунок 2.4 Розподіл напружень в рамі по Мізесу

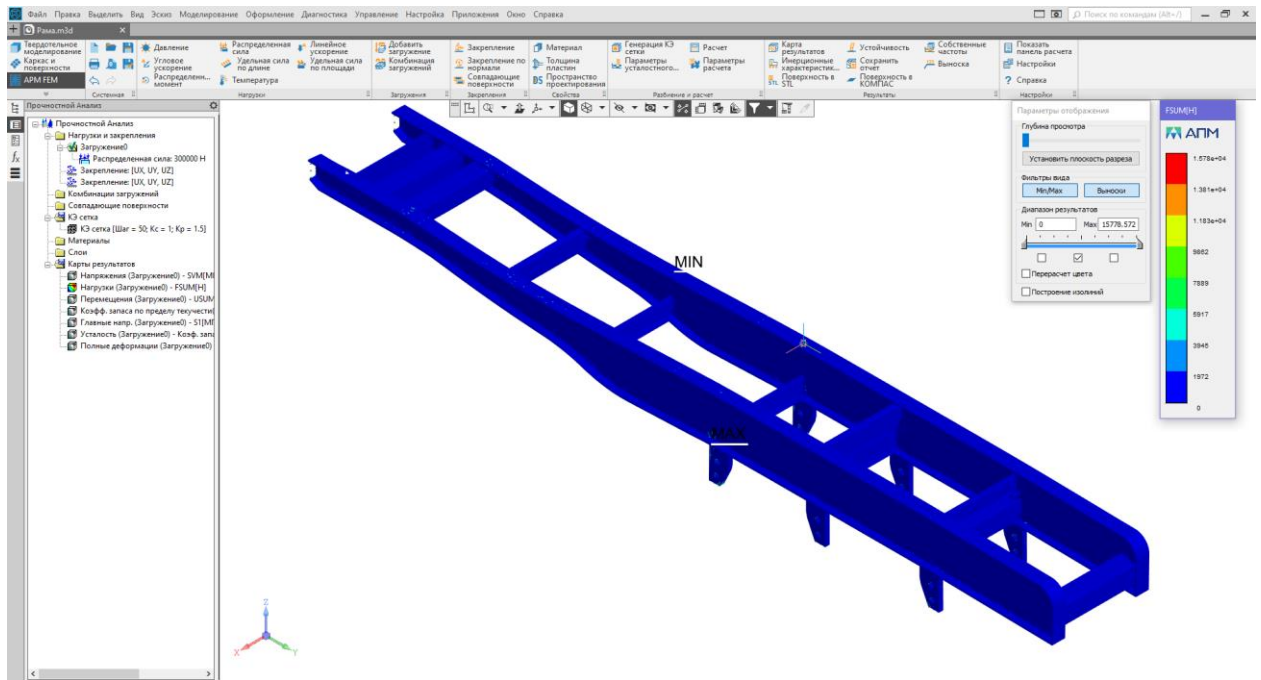


Рисунок 2.5 Розподіл навантажень на раму

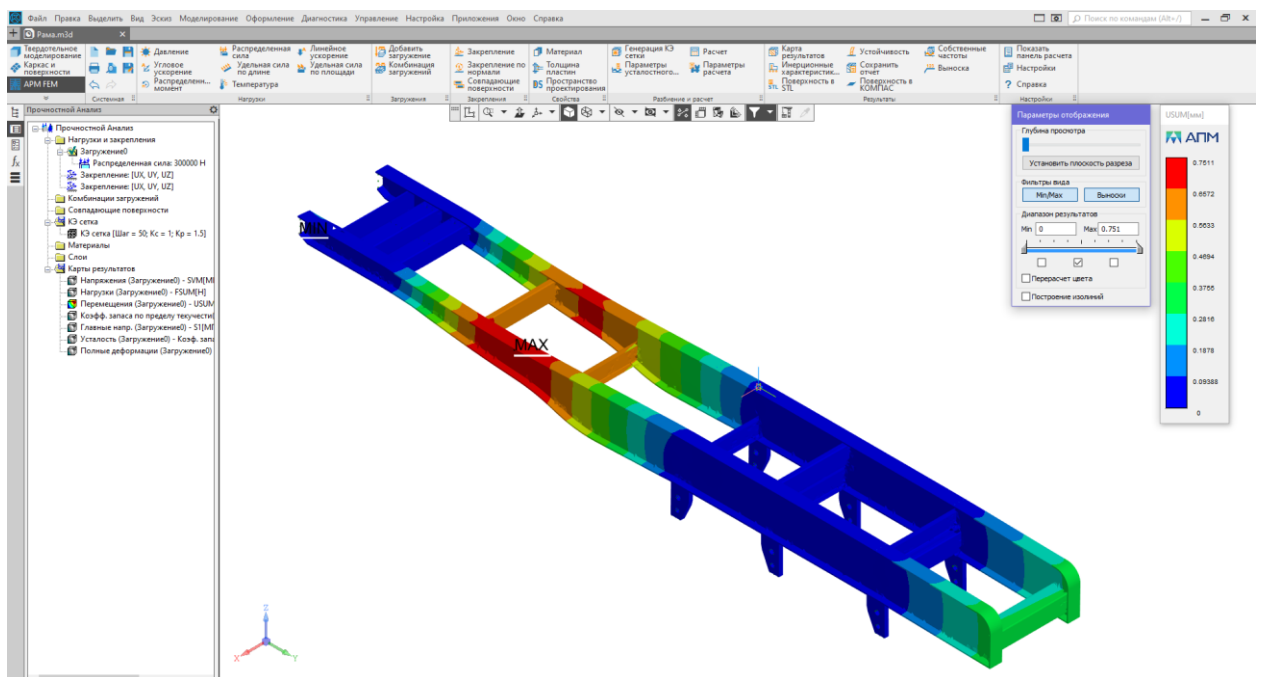


Рисунок 2.6 Моделювання переміщень (прогинів) рами трьохвісного півпричепи

Наступними статичними дослідженнями було проведено моделювання для визначення коефіцієнту запасу міцності (рисунок 2.7). З даного дослідження можна побачити, що коефіцієнт запасу міцності знаходиться в

межах від 10 до 6,5. Що є досить великим, і таким чином збільшувати товщину головних балок рами немає необхідності, а також змінювати матеріал.

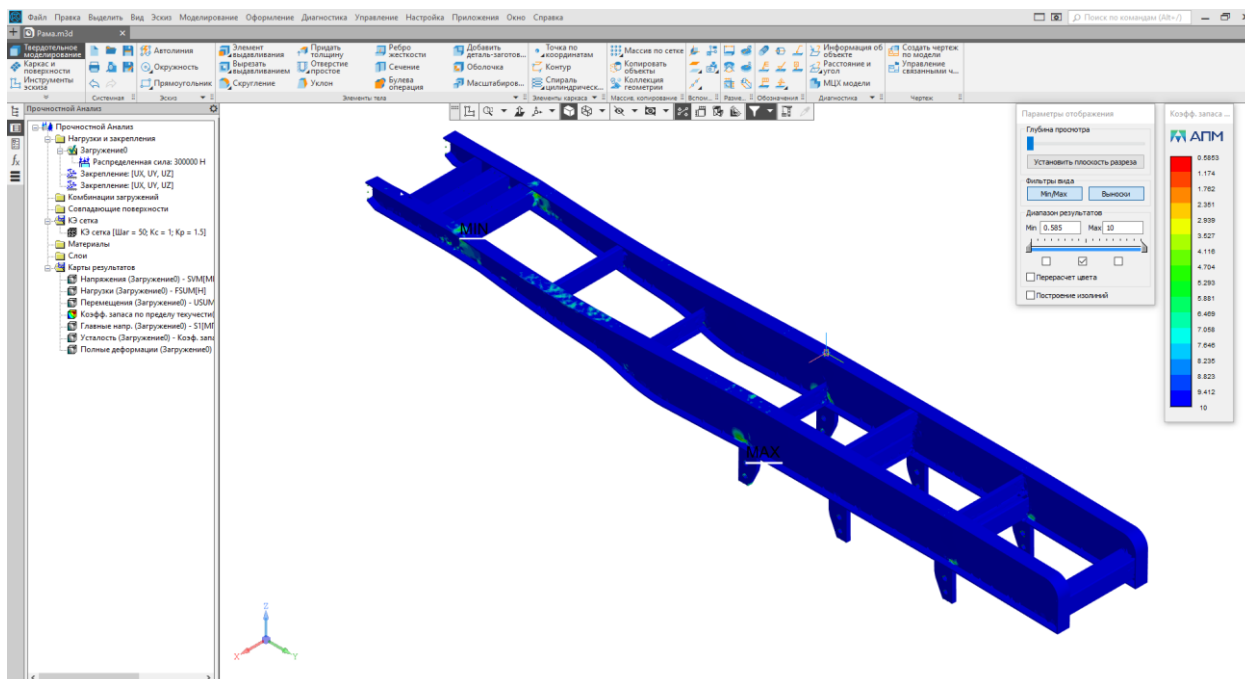


Рисунок 2.7 Дослідження коефіцієнту запасу міцності

На рисунку 2.8 приведено дослідження головних напружень які виникають в рамі при навантаженні на її конструкцію 31 тонна вантажу. Як бачимо з рисунка максимальні головні напруження які виникають в рамі не перевищують 109 МПа.

На рисунку 2.9 приведено результати дослідження рами методом моделювання на втому, тобто визначення коефіцієнту запасу втомі. Ми можемо побачити, що найменший коефіцієнт на втому становить 4,075 а максимальний 10.

На рисунку 2.10 приведено результати повного деформування рами трьохвісного півпричепа. Звідси можна побачити, що деформування рами є незначним.

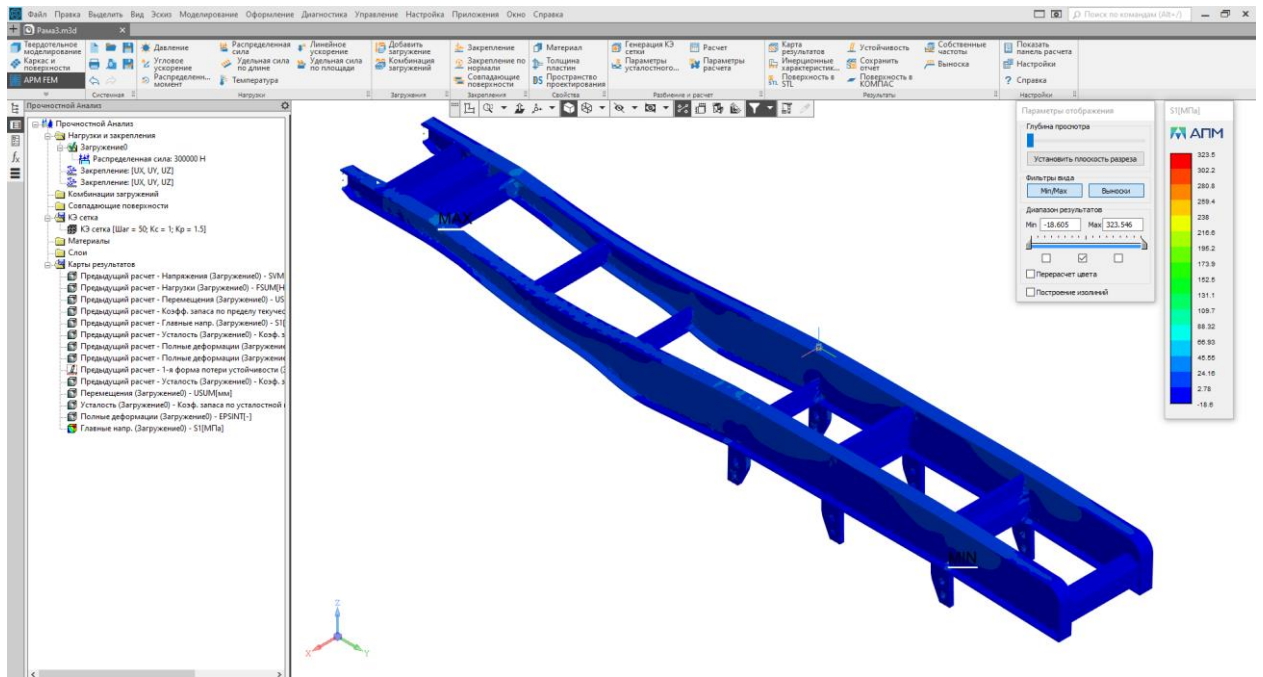


Рисунок 2.8 Результати моделювання по головним напруженням

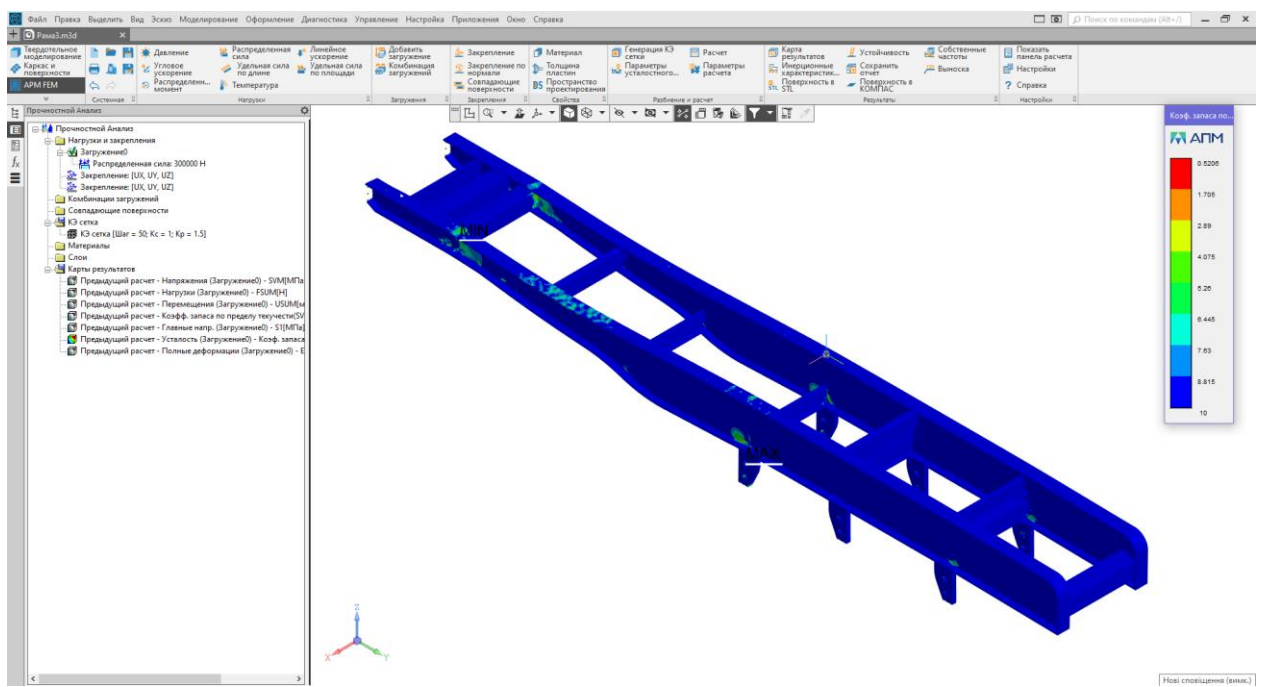


Рисунок 2.9 Визначення коефіцієнту запаса втомної міцності

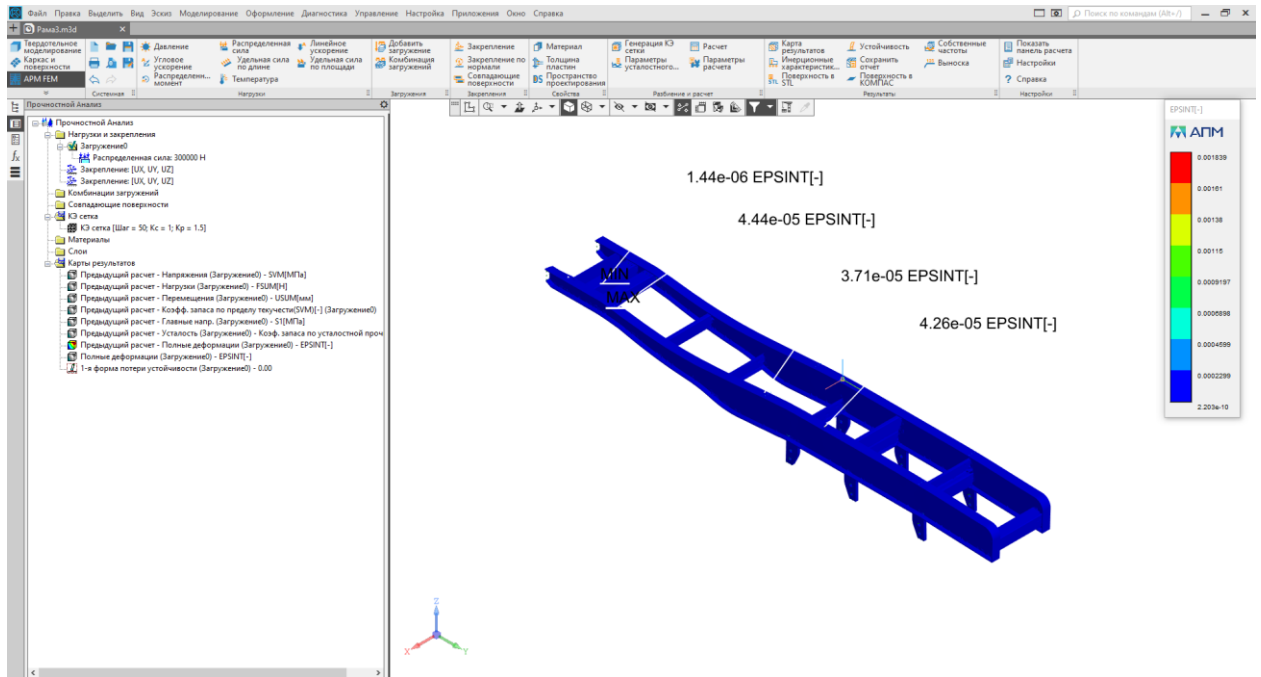


Рисунок 2.10 Визначення повних деформацій рами

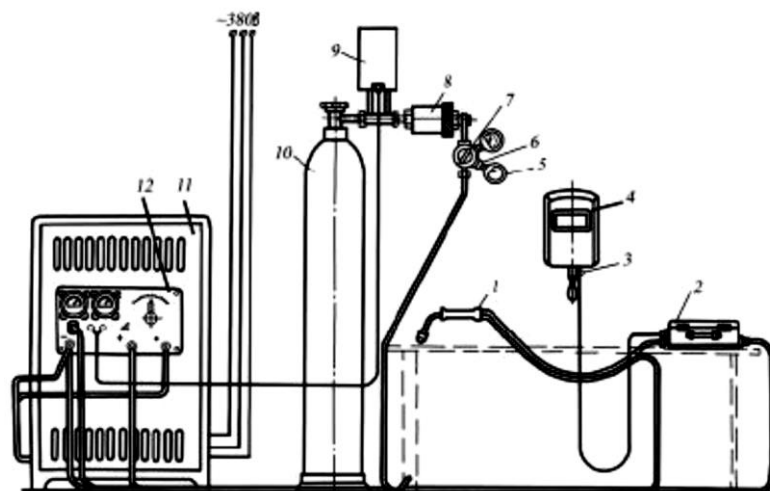
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування способу зварювання

При виготовленні несучих рамних конструкцій, крім матеріалу виробу, важливу роль відіграє спосіб зварювання, який визначає рівень автоматизації і механізації основних операцій технологічного процесу, а саме зварювальних. На сьогоднішній час розроблено дуже багато способів з'єднання металів, які вибираються в залежності від типу виробництва, товщини з'єднаних деталей, технологічності конструкції, протяжності зварних швів та інше. Оскільки в даному випадку здійснюємо обґрунтування способу зварювання для виготовлення рами трьохвісного півпричепа, протяжність зварних швів в якому є різною. Як описано в попередніх частинах роботи рамна конструкція складається із двох зварних двотаврових лонжеронів, які мають змінний переріз по довжині та поперечних балок виготовлених у вигляді гнутого швелероподібного профілю і інших елементів (косинок, ребр жорсткості ...).

З врахуванням того, що протяжність зварних швів є різною і товщини металу коливаються від 6 мм до 16 мм, найбільш ефективним способом зварювання рами буде спосіб автоматичного та напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів.

Зварювання в захисних газах полягає в тому, що для захисту рідкої ванни від через сопло пальника подається струмінь газу, який видуває повітря від місця зварювання [5]. В деяких випадках зварювання відбувається в герметичних камерах, заповнених захисним (інертним) газом. Як захисні гази використовують інертні гази (аргон і гелій), які не взаємодіють з розплавленим металом, і активні гази, які частково взаємодіють з розплавленим металом. Інертні гази використовують для зварювання хімічно активних металів, а також тоді, коли потрібно дістати зварні шви, однорідні зі складом основного і присадного металів. Активні гази використовують, коли задані властивості металу можна забезпечити металургійною обробкою, наприклад відновленням, окисленням.[5, 6]



- 1 – тримач; 2 – подавальний механізм; 3 – кнопка вми – кання;
 4 – захисний щиток; 5 – манометр, 6 – перехідний шту – цер для установки манометра;
 7 – редуктор кисневий з маномет – ром високого тиску; 8 – осушувач газу;
 9 – підігрівач газу; 10 – балон з вуглекислим газом; 11 – зварювальний випрямляч;
 12 – пульт керування

Рисунок 3.1– Схема напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів

Подача дроту до виробу здійснюється механічним способом, а переміщення дуги, що горить в захисному газі – вручну. Зварювальний дріт діаметром 1...2 мм подається до виробу у спеціальному шлангу, який називають – рукавом.

Напівавтоматичне зварювання можна виконувати у всіх просторових положеннях.

До основних переваг відносять:

- висока продуктивності (в 1,5-2 рази вища у порівнянні з РДЗ);
- можливість зварювання швів у всіх просторових положеннях;
- забезпечення високоефективного захисту розплавленого металу при використанні захисного газу;
- зменшення розбризування металу та низька втрата зварювального дроту (1-3% від маси електродного дроту, в той час як при РЗД – 5%);
- можливість зварювати метал значної товщини без розробки кромки;
- висока ступінь концентрації нагрівання виробу, що дозволяє значно зменшити зону ЗТВ;
- велика можливість механізації й автоматизації процесу.

До основних недоліків можна віднести:

- велика кількість додаткового обладнання (в порівнянні з РДЗ);
- якість зварного шва напряму залежить від вибраних параметрів режиму зварювання;
- місце зварювання має бути захищене від високих поривів вітру;
- високі вимоги щодо зберігання балонів з газом та їх експлуатації;
- висока залежність чистоти газу на якість зварного шва;
- вища вартість обладнання.

Основними зварювальними матеріалами є електродний дріт та захисне середовище.

Для зварювання в середовищі захисних газів сталі ВСтЗсп застосовують основні дві марки електродного дроту: Св-08ГС, Св-08Г2С. Хімічний склад та механічні властивості яких наведено в таблиці 3.1 та 3.2 відповідно [7].

Таблиця 3.1 – Хімічний склад електродних дротів

Марка	C,%	Mn,%	Si,%	P,%	S,%	Cr,%	Ni,%
Св08ГС	< 0,10	1,4-1,70	0,6-0,85	<0.013	<0.015	<0.20	<0.025
Св08Г2С	<0,05-0,11	1,8-2,1	0,7-0,95	<0.013	<0,015	<0,20	<0,025

Таблиця 3.2 – Механічні властивості електродних дротів

Марка	Межа текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	відносне подовження, %	ударна в'язкість, Дж/см ² при -29°С
Св08ГС	>450	>550	30	65
Св08Г2С	>430	>560	28	55

Дріт СВ-08ГС застосовують при зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей. Його рекомендується застосовувати з поєднанням суміші газів Ar (82%)+CO₂ (18%), що зменшує розбрикування.

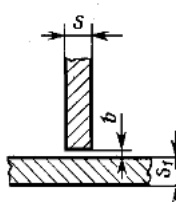
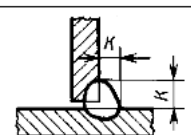
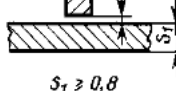
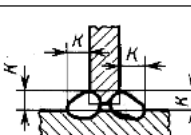
Дріт марки Св-08Г2С є найбільш універсальний. Його застосовують при зварюванні в СО₂ або суміш СО₂ з 20% вмістом Ar.

Отже, з врахування хімічного складу та механічних властивостей електродних дротів, а також можливості їх застосування вибираємо дріт марки Св08ГС.

Для зварювання будемо застосовувати суміш захисного газу – аргон+вуглекислий газ (Ar +CO₂) у співвідношенні 82% та 18% відповідно.[7]

Зварювання рами виконують тавровими з'єднаннями типу Т1 та Т3 кутовим зварним швом. Конструктивні параметри зварних з'єднань Т1 та Т3 приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Конструктивні параметри з'єднань типу Т1 та Т3

Умовне позначення	Конструктивні елементи		Товщина з'єднувальних деталей s, мм	Зазор між з'єднуваними деталями b, мм	
	підготовки кромки	зварного шва		номінальне	межі відхил.
T1			0,8 – 5,5	0	+0,5...1
T3			6,0 – 20,0		+1,5

Проведемо розрахунок параметрів режиму зварювання кутового шва катетом 5 мм.

Визначаємо площу наплавленого металу F_n [4]:

$$F_n = \frac{\kappa^2}{2}, \quad (3.1)$$

де κ – катет шва,

$$F_n = \frac{5^2}{2} = \frac{25}{2} = 12.5 \quad \text{мм}^2.$$

Визначаємо висоту наплавленого металу h_n за формулою [4, с.192]:

$$h_n = \sqrt{F_n}, \quad (3.2)$$

$$h_n = \sqrt{12.5} = 3.5355 \quad \text{мм}.$$

Визначаємо ширину шва l , за формулою [4]:

$$l = \sqrt{2\kappa^2}, \quad (3.3)$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 25} = 7.071 \quad \text{мм}.$$

Визначаємо загальну висоту шва H за формулою [4]:

$$\psi_m = \frac{l}{H}. \quad (3.4)$$

Тоді:

$$H = \frac{l}{\psi_m}, \quad (3.5)$$

попередньо вибравши значення ψ_m , яке знаходиться в інтервалі величин 0.8 - 2.0 мм [4], приймаємо $\psi_m=1,05$.

Отже:

$$H = \frac{7.071}{1.05} = 6.7342 \quad \text{мм.}$$

Менше значення ψ_m відповідає великим струмам, відповідно великій продуктивності зварювання.

Визначаємо глибину проплавлення h_0 , за формулою [4]:

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

$$h_0 = 6.7342 - 3.5355 = 3.1987 \quad \text{мм.}$$

Для зварювання конструкції із маловуглецевої сталі з катетом 5 мм, вибираємо електродний дріт діаметром 1,4 мм.

Визначаємо зварювальний струм $I_{зв}$ за формулою [4]:

$$I_{зв} = \frac{h_0}{K_a} \cdot 100, \quad (3.7)$$

де K_a – коефіцієнт пропорційності, $K_a=1.45$ [4].

$$I_{зв} = \frac{3.1987}{1.45} \cdot 100 = 220.6 \text{ А.}$$

Отже, приймаємо силу зварювального струму 220 А.

Визначаємо швидкість подачі електродного дроту за формулою [4]:

$$V_{n.d.} = \frac{\alpha_p \cdot I_{зв}}{F_{ел} \cdot \rho}, \quad (3.8)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення, $\alpha_p=12$ г/А·год [4];

ρ – густина електродного дроту, для сталі $\rho=7.8 \times 10^3$ кг/м³;

$F_{ел}$ – площа поперечного перерізу електрода, яка визначається за формулою:

$$F_{en} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = \frac{3.14159 \cdot 1.4^2}{4} = 1.5393 \quad \text{мм}^2.$$

Отже:

$$V_{n.d.} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 220}{1.5393 \cdot 10^{-6} \cdot 7.8 \cdot 10^3} = 220 \quad \text{м/год.}$$

Швидкість подачі електродного дроту $V_{п.д.}=220$ м/год.

Розраховуємо напругу на дузі за формулою [4]:

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot I_{3\partial}}{1000 \cdot \sqrt{d_e}} \pm 1, \quad (3.9)$$

$$U_{\partial} = 20 + \frac{50 \cdot 220}{1000 \cdot \sqrt{1.4}} \pm 1 = 28.29 \pm 1 \quad \text{В.}$$

Приймаємо $U_{\partial}=28$ В.

Визначаємо швидкість зварювання за формулою [4, с.194]:

$$V_{3\partial} = \frac{A}{I_{3\partial}}, \quad (3.10)$$

де A – коефіцієнт, який залежить від діаметра електродного дроту, в даному випадку для $d_e = 1,4$ мм – $A = 5 \cdot 10^3 \text{ А} \cdot \text{м/год}$ [4]:

$$V_{3\partial} = \frac{5 \cdot 10^3}{220} = 22.2 \quad \text{м/год.}$$

Приймаємо $V_{зв}=22$ м/год.

Перевіряємо діаметр електродного дроту за формулою [4]:

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{3\partial}}{\gamma}}, \quad (3.11)$$

де γ – допустима густина електричного струму, для електродного дроту діаметром 1.4 мм $\gamma=75...300$ А/мм² [4],

$$d_e = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{220}{150}} = 1.3684 \quad \text{мм,}$$

що є допустимо.

Виліт електродного дроту приймаємо $l_{\partial}=15$ мм [4].

Витрати захисного газу $Q_{\partial} = 2.0 \times 10^{-4}$ м³/с [5].

Розраховані параметри режиму зварювання приведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.4 – Параметри режиму зварювання

ПАРАМЕТР			значення
назва	символ	одиниці вимірювання	
Сила зварювального струму	$I_{зв}$	А	220
Напруга на дузі	$U_{д}$	В	28
Діаметр електродного дроту	d_e	мм	1.4
Виліт електрода	$l_{д}$	мм	15
Швидкість зварювання	$V_{зв}$	м/год	22
Швидкість подачі електродного дроту	$V_{п.д}$	м/год	220
Витрати захисного газу	$Q_{г}$	м ³ /с	2.0×10^{-4}

Виходячи з вибраного способу зварювання та отриманих параметрів режиму зварювання встановлюються необхідні для процесу статичні і динамічні характеристики обладнання. [8, 9]

При виборі джерел живлення враховують:

- рід струму;
- зовнішню характеристику джерела живлення;
- номінальну потужність джерела по струму;
- можливість та доцільність використання багатопостового живлення.

Вибір зовнішньої характеристики проводять із врахуванням форми статичної вольт-амперної характеристики дуги. Визначальними моментами тут є:

- коефіцієнт стійкості системи “джерело живлення-дуга”;
- стабільність процесу горіння дуги.

Устаткування азів може бути універсальним та спеціалізованим. При напівавтоматичному зварюванні із газовим захистом застосовують зварювальні випрямлячі з жорсткими зовнішніми характеристиками. Промисловістю випускаються однопостові зварювальні випрямлячі з жорсткими зовнішніми характеристиками типу ВДГ і типу ВСЖ. Випрямлячі типу ВДГ пересувні, розраховані на повторно-короткочасний режим роботи ПВ = 60 % при примусовому повітряному охолодженні.

Зварювальні напівавтомати в процесі експлуатації мають забезпечувати окрім заданих режимів зварювання ще й технологічні зручності. Відповідно розрахованих параметрів зварювання вибираєм напівавтомат КП015 (рис. 3.2) та зварювальний випрямляч типу КИГ-303 (рис. 3.3).



Рис. 3.2- Загальний вигляд напівавтомату КП 015 (КЗЕЗУ)

Даний напівавтомат працює на постійному струмі та має великий діапазон регулювання параметрів [8, 9]. Технічна характеристика даного напівавтомату приведена в таблиці 3.5.



Рис. 3.3 – Вигляд джерела живлення КИГ-303 (КЗЕЗУ)

Таблиця 3.4- Технічна характеристика напівавтомату КП 015. [8]

Номинальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номинальний 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

Напівавтомат укомплектований зварювальним випрямлячем КИГ-303. Даний випрямляч діодного типу і має ступінчасте регулювання зварювального струму, з жорсткими ВАХ. Технічна характеристика представлена в таблиці 3.6. [9]

Таблиця 3.5 - Технічна характеристика КИГ-303. [8]

Номинальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номинальний зварювальний струм, А	
- ПВ=100%	240
- ПВ=80%	170
- ПВ=60% (цикл звар. 10хв.)	315
Межі регулювання звар. струму, А	60-315
Межі регулювання робочої напруги, В	20 ступенів 12-30
Первинна потужність, кВА	16
Охолодження	Примусове повітряне
Маса, кг	150
Габаритні розміри, мм	970x510x890

Для автоматичного зварювання двотаврових зварних лонжеронів рами будемо застосовувати зварювальний портал оснащений двома зварювальними головками типу SST, які призначені для зварювання в захисних газах з вбудованим шок-сенсором моделі RT 3500 (рисунок 3.4)



Рисунок 3.4 Загальний вигляд зварювальної головки типу SST

3.2 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення рами трьохвісного напівпричепа складається з ряду операцій, а саме: правлення, різання, оброблення кромки і очищення під зварювання, складання та зварювання, контролю зварних з'єднань та конструкції в цілому.

Першим етапом технологічного процесу є правлення листового металу. Виправлення листового металу може здійснюватися як на спеціалізованому устаткуванні, так і на устаткуванні загального призначення. Вибір того чи іншого типу устаткування визначається багатьма умовами, насамперед, типом виробництва, а також особливостями технологій подальшого оброблення-складання-зварювання. Для правлення листового металу застосовуються в основному роликові листопрямильні машини.

Дані машини призначаються для правлення металевих листів в гарячому і холодному станах. Тонколистова сталь зазвичай правиться в холодному стані на машинах з 9... 17 валками (в деяких випадках — з 19...29 валками), а листовая сталь товщиною 4 мм — на дев'яти і одинадцяти-валкових машинах. За розташуванням валків листопрямильні машини можуть бути з паралельними (першого типу) і з непаралельними (другого типу) рядами валків. Крайні валки машин з

паралельними рядами валків регулюються індивідуально. В машинах обох типів валки розташовуються в два ряди, валки одного ряду розміщуються за відношенням до валків іншого ряду в шаховому порядку. Під час проходження між валками кожна ділянка листа одержує багаторазовий вигин в протилежні боки і виправляється. При виправленні кривизна листа плавно зменшується і в стає близькою до кривизни пружного вигину. В машинах з непаралельними рядами валків правляться переважно тонкі листи товщиною до 6 мм [10].

Для правлення листів, з яких будуть вирізатися заготовки елементів рами вибираємо сучасні листопрямильні машини PRH-310 (5-, 7- або 9-ти валкові) фірми ROUNDО. Вони призначені для виправлення листового металу товщиною 2...40 мм і шириною до 4000 мм (рис. 3.5). Нижні правлячі валки фіксовані, а верхні — управляються гідравлічно і положення кожного верхнього валка регулюється «вгору» і «вниз» незалежно від інших. Налагодження положень цих валків здійснюється на панелі керування від наборів цифрових датчиків, якими показуються положення обох кінців валків в міліметрах.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд листопрямильної машини PRH-310 (ROUNDО)

Так, як рама складається крім лонжеронів ще й з поперечних зв'язуючих балок які мають швелероподібну форму товщиною 6 мм, тому для правлення будемо застосовувати профілепрямильну машину RR2S (рис.3.6), яка працює за тою ж схемою, що листопрямильні.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд роlikової машини RR2S

Другим етапом після правлення йде операція різання виправленого металу на заготовки відповідних розмірів та форми. Різання проводимо за допомогою порталної автоматичної машини DELTATEC (рисунок 3.7). Дана машина дозволяє розрізати метал довжиною листа 12 м і шириною 4,2 м. Дана машина може здійснювати різання одним або двома різакми як плазмою так і газополуменевим способами [10].

Після проведення розрізання листового металу виконують фрезерування кромки, а саме знімають та зачищають зварні кромки від окалини.

Наступними операціями технологічного процесу є складання та зварювання рами трьохвісного півпричепа, який включає в себе складання та зварювання двотаврових лонжеронів перемінного перерізу по довжині та складання і зварювання самої рами (рисунок 3.8).



Рисунок 3.7 Загальний вигляд порталної автоматичної машини DELTATEC

Першим етапом складально-зварювальних операцій є складання та зварювання двотаврових лонжеронів. Лонжерони складаються з верхнього і нижнього поясу товщиною 12 мм і шириною 150 мм та вертикального листа товщиною 6 мм і максимальною висотою 500 мм, а мінімальна 255 мм.

Складання балкових конструкцій, проводять в складальній установці (рисунок 4.1) [3]. Під час складання двотаврової балки стінка вкладається на опорні балки, а полиці — вздовж балок на опорні гвинти, встановлені на задану висоту. Портал, пересуваючись вздовж складаного двотавра, зупиняється проти місць виконання прихоплювань. Включаються вертикальні пневмопритискачі і виконується прихоплювання складаних елементів. Потім притискачі відводяться, портал переміщається до місця

наступних прихоплювань, цикл повторюється. Після завершення складання на прихоплюваннях двотаврова балка витягується з кондуктора і транспортується до місця зварювання. При цьому розміри і розташування прихоплювань повинні забезпечувати достатню жорсткість і міцність складеної балки під час підйомно-транспортних операцій.

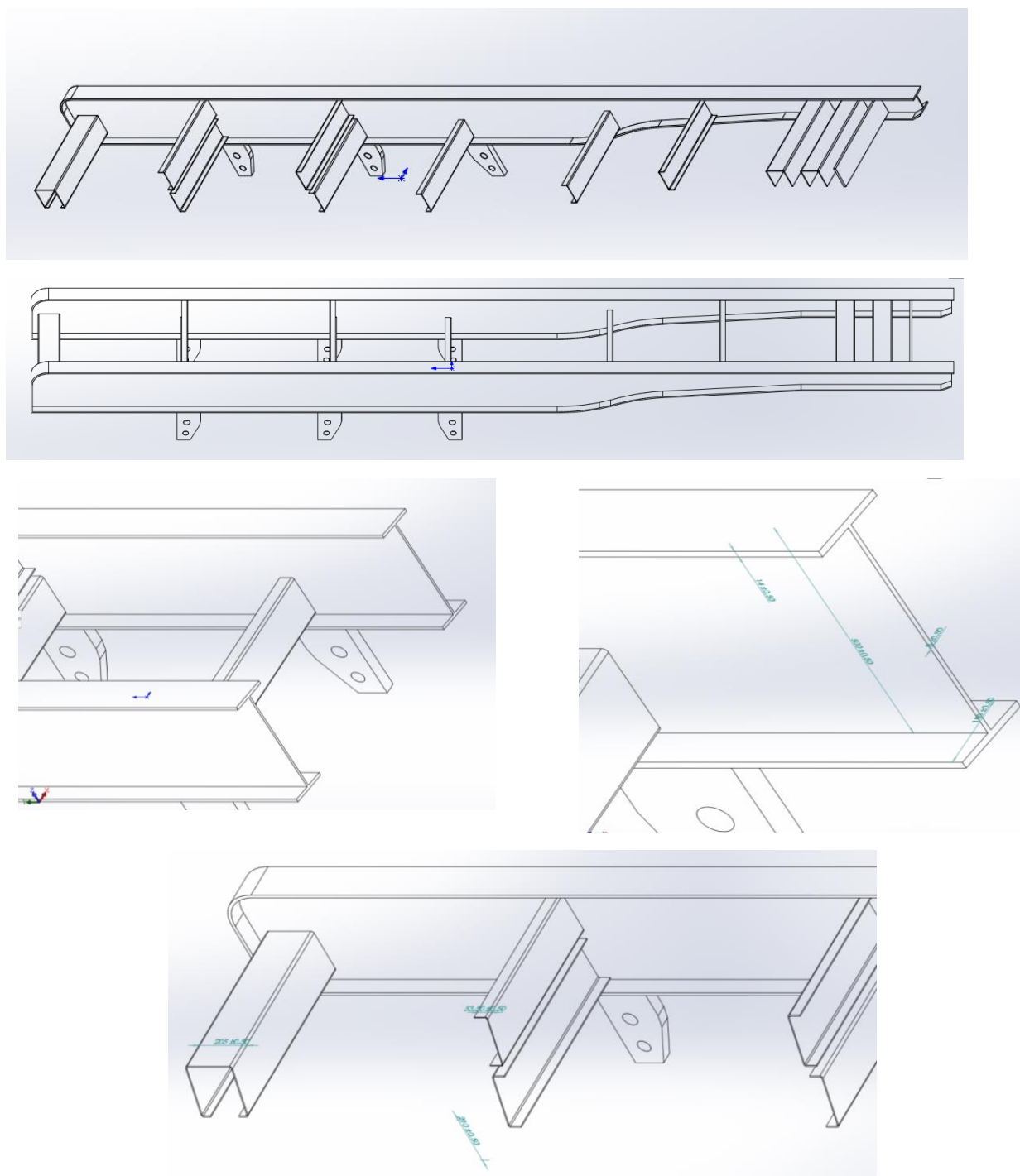


Рисунок 3.8 Перерізи та розміри елементів рами

Наступним етапом виготовлення двотаврового лонжерона є зварювання поясних швів. Процес зварювання двотаврових балок має забезпечувати мінімальні зварювальні деформації, які не приводять до порушень заданої форми конструкції. Із метою зменшення зварювальних деформацій зварювання виконують по схемі приведені на рисунку 3.9.

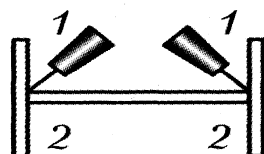


Рисунок 3.9 Схема виконання зварних швів при зварюванні двотаврового лонжерона

Після зварювання двотаврових лонжеронів виконують їх правлення в спеціальній установці (рисунок 3.11) для зняття деформацій поясів і стінки, що виникли в наслідок зварювання.

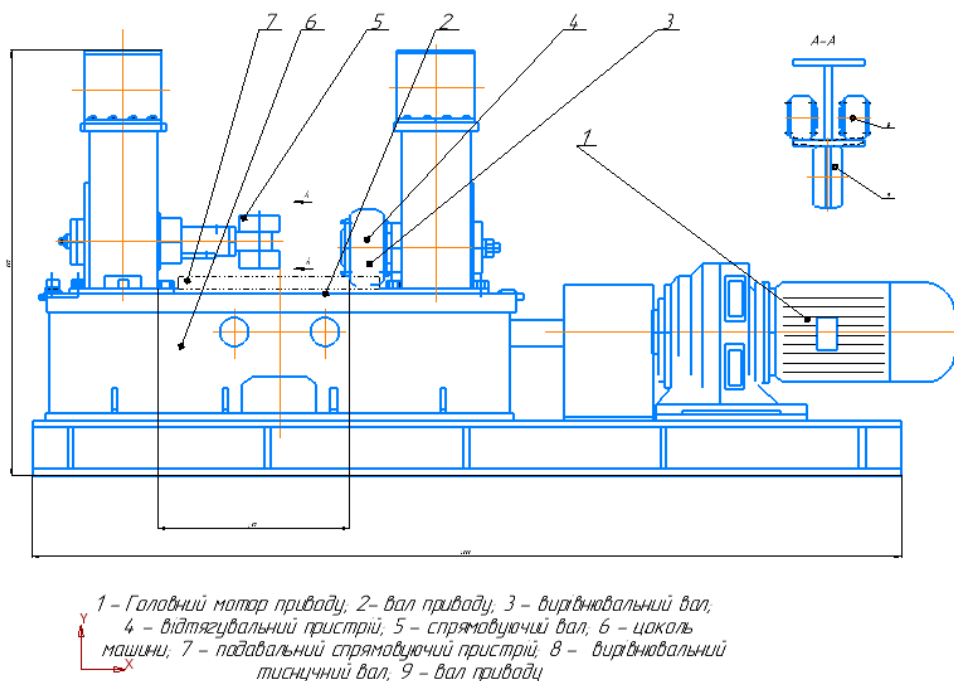


Рисунок 3.11 Схема установки для правлення двотаврового лонжерона

Наступною операцією є складання та зварювання самої рами, а саме двотаврових лонжеронів та поперечних гнутих швелерних балок розміри перерізу якого становлять 210x50x6 мм.

Складання рами під зварювання виконують у спеціальному кондукторі. Спочатку встановлюють перший ряд поперечних балок, потім встановлюють по краям два двотаврові лонжерони і притискають їх за допомогою пневматичних притискачі. Потім встановлюють верхні балки і теж притискають. Виконують прихоплення у відповідних місцях лонжеронів і поперечних балок. Після цього складений каркас рами переміщують з допомогою крана на позицію повного зварювання.

Зварювання складеної рами виконують у кільцевому кантувачі за допомогою напівавтоматів.

Коли основні елементи рами зварені, виконують зварювання дрібних елементів, таких як ребра жорсткості, фланці, розкоси та інше, а також встановлюють по шаблонам і приварюють елементи кріплення шасі.

В процесі виготовлення рами на всіх стадіях виробництва та операціях технологічного процесу здійснюють візуальний контроль якості, а після зварювання швів проводять ультразвукову дефектоскопію.

Після завершення всіх операцій технологічного процесу зварена рама поступає на дільницю піскоструменевого очищення та фарбування.

3.3 Нормування витрат зварювальних матеріалів та електроенергії

Нормування витрат зварювальних матеріалів проводимо ДСТУ 3159-95 "Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання" [11].

При механізованому зварюванні плавким електродом у захисних газах нормуванню підлягають витрати електродного дроту та захисного газу.

Норма витрат зварювального дроту:

$$H_{\text{витр}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_{bij} \cdot L_{ij} \cdot K_{1i} \cdot K_{2j} \cdot K_{3i}, \quad (3.12)$$

де H_{bij} – норматив витрат i – го матеріалу на один метр j – го шва

при даній товщині, кг;

L_{ij} – довжина i – го виду матеріалу j – го типу шва, м;

K_{1i} – поправочний коефіцієнт, що враховує технологічні втрати і відходи i – го виду матеріалу ($K_{1i} = 1,1$);

K_{2j} – поправочний коефіцієнт, що враховує просторове положення j – го шва ($K_{2j} = 1,1$);

K_{3i} – поправочний коефіцієнт, що враховує витрати i – го матеріалу на прихоплювання ($K_{3i} = 1$ (згідно технологічного процесу));

j – кількість швів, $j = 1, 2, 3, \dots, t$.

Витрати дроту визначається за формулою:

$$H_{bi} = M \cdot K_{bi}, \quad (3.13)$$

де M – маса наплавленого металу на 1 метр шва, кг;

K_{bi} – коефіцієнт витрат i – го матеріалу, що враховує технологічні втрати і відходи зварювальних матеріалів ($K_{bi} = 1,1$ [9]).

Маса наплавленого металу на 1 метр шва рівна:

$$M = F \cdot \rho \cdot L, \quad (3.14)$$

де F – площа поперечного перерізу наплавленого металу шва зварного з'єднання, м²;

ρ – густина металу шва, для маловуглецевої сталі $\rho = 7800$ кг/м³;

L – довжина шва, м.

$$H_{\text{витр}} = \left(2 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 3,595 + 8 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \times \right) \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 10,45 \text{ кг.}$$

Витрати захисного газу на зварювання рами визначають:

$$H_{\text{взг}} = \sum H_{\text{г}} + П_{\text{зк}}, \quad (3.15)$$

де $H_{\text{г}}$ – норматив витрат захисного газу на метр шва, л;

$П_{\text{зк}}$ – технологічні втрати газу на зварну конструкцію, л ($П_{\text{зк}} = 0,7$ л)

Витрати захисного газу на метр шва:

$$H_{\text{взг}} = \sum H_{\text{нг}} \cdot T_{0i} + H_{\text{дгі}} \quad (3.16)$$

де $H_{\text{нг}}$ – питома витрата захисного газу, л/хв;

T_{0i} – основний час зварювання одного метра шва, хв;

$H_{\text{дгі}}$ – додаткові витрати захисного газу на виконання підготовчо

– заключних операцій при зварюванні i – того проходу мЗ;

n – кількість проходів, $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Основний час зварювання одного метра:

$$t_0 = \frac{m_{\text{н}} \cdot 60}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{зг}}}, \quad (3.17)$$

де $m_{\text{н}}$ – маса наплавленого металу на один метр шва:

$$m_{\text{н}} = \rho \cdot F_{\text{М}}, \quad (3.18)$$

де $F_{\text{М}}$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу шва, м².

Додаткові витрати захисного газу:

$$H_{\text{двзг}} = T_{\text{пз}} \cdot H_{\text{взг}}, \quad (3.19)$$

де $T_{\text{пз}}$ – час на підготовчо – заключні операції, хв. ($T_{\text{пз}} = 0,2$ хв.

Витрати захисного газу визначаємо враховуючи довжину всіх швів, якими зварюються вузли рами.

$$H_{\text{взг}} = \sum H_{\text{г}} \cdot L + П_{\text{зк}}. \quad (3.20)$$

Визначаємо витрати захисного газу:

$$H_{\text{взг}} = \left(\left(10 \cdot \frac{7800 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 60}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 130} + 0,2 \cdot 10 \right) \cdot 3,595 + \right. \\ \left. + \left(10 \cdot \frac{7800 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 60}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 200} + 0,2 \cdot 10 \right) \cdot 6,095 + \right. \\ \left. \left(10 \cdot \frac{7800 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 60}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 220} + 0,2 \cdot 10 \right) \cdot 3,52 \right) + 0,7 = 222,314 + 0,7 \approx 224 \text{ л/год.}$$

Визначаємо витрати електроенергії на один кілограм наплавленого металу:

$$E = \frac{U_{\text{д}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{е}} \cdot k_{\text{д}}}, \quad (3.21)$$

де $\eta_{\text{е}}$ – ефективний коефіцієнт корисної дії процесу нагрівання

($\eta_{\text{е}} = 0,7 \dots 0,99$; приймаємо $\eta_{\text{е}} = 0,8$);

$k_{\text{д}}$ – коефіцієнт корисної дії джерела живлення дуги.

Загальні витрати електроенергії на зварювання виробу:

$$E = \sum \frac{U_{\text{д}} \cdot M}{\alpha_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{е}} \cdot k_{\text{д}}}. \quad (3.22)$$

$$E = \frac{24 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 3,595}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 0,72} + \frac{26 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 6,095}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 0,72} + \\ + \frac{28 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7800 \cdot 3,52}{12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 0,72} = 2780,56 \text{ Вт} \cdot \text{год} \approx 2,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок зварних з'єднань на міцність

При виготовленні рами використовуються таврові з'єднання, тому розрахунок будемо проводити для кутових швів з катетом 5мм.

Розрахунок на міцність зварних з'єднань будемо проводити на зріз [12]:

$$\tau = \frac{P}{F} \leq [\tau']; \quad (4.1)$$

де P – навантаження зрізу, Н;

$[\tau']$ - допустиме дотичне напруження, МПа;

F - площа поперечного перерізу шва, $м^2$.

В даному випадку площу поперечного перерізу розраховуємо за формулою:

$$F = h_p \cdot l, \quad (4.2)$$

де h_p – товщина шва, м;

l – довжина шва, м.

Товщину шва розраховуємо за формулою:

$$h_p = k \cdot \beta, \quad (4.3)$$

де k – катет шва, $k = 5$ мм;

β –коефіцієнт, для напіваавтоматичного зварювання $\beta=0.8$.

$$h_p = 5 \cdot 0.8 = 4 \cdot 10^{-3} \quad м;$$

$$F = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0.32 = 1.28 \cdot 10^{-3} \quad м.$$

Допустиме дотичне напруження визначаємо за формулою:

$$[\tau'] = 0,5...0,6 \cdot [\sigma'], \quad (4.4)$$

де $[\sigma']$ - нормальне допустиме напруження, в даному випадку воно рівне 370 МПа.

$$[\tau'] = 0.6 \cdot 370 = 222 \quad МПа.$$

Отже, з формули (3.5) випливає:

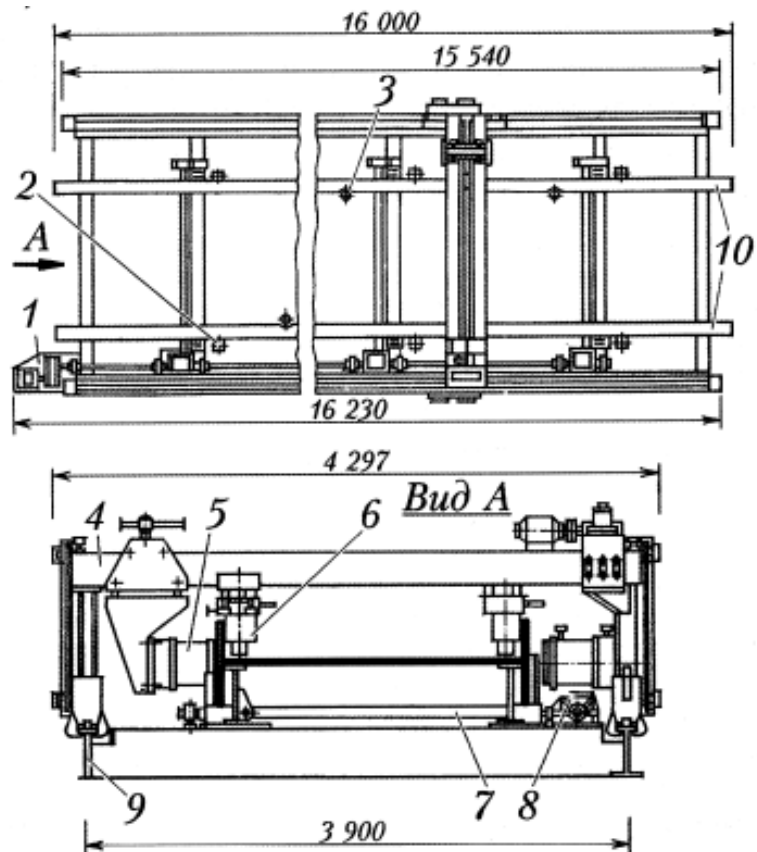
$$P = F \cdot [\tau'],$$

$$P = 1.28 \cdot 10^{-3} \cdot 222 \cdot 10^6 = 0.284 \cdot 10^6 \quad Н.$$

4.2 Опис конструктивних схем пристосувань

4.2.1 Установка для складання двотаврових зварних лонжеронів.

Установка (Рисунок 4.1) [3] складається з двох основних частин: стаціонарного стенда, на якому укладаються і складаються елементи балки, і пересувного складального порталу з пневмо-притискачами. Стенд складається з фундаментної рами і двох поздовжніх балок, які є опорою для стінки складеного двотавра. Одна з опорних балок має можливість паралельно пересуватися по рамі і встановлюватися відповідно до заданої висоти складаного лонжерона. Установочне переміщення опорної балки здійснюється кількома горизонтальними гвинтами, які приводяться до обертання електродвигуном через редуктор, поздовжній вал і конічні передачі. Самохідний складальний портал обладнаний двома вертикальними пневмопритискачами для притиснення стінки двотавра до опорних балок і двома горизонтальними, для притиснення полиць до стінки двотавра. Один вертикальний пневмопритискач і один горизонтальний встановлюються на порталі нерухомо, а інші два підвішуються до кареток і можуть пересуватися по ригелю порталу. Таке конструктивне рішення передбачене для встановлення на необхідний розмір висоти лонжерона. Портал пересувається за допомогою електроприводу кранового типу по направляючих.



- 1 — редуктор; 2 — регулювальний опорний гвинт; 3 — пневмоштовхач; 4 — портал;
 5 — горизонтальний пневмопритискач; 6 — пневмопритискач; 7 — гвинт;
 8 — конічна передача; 9 — фундаментна рама; 10 — опорна балка

Рисунок 4.1 Схема установки для складання двотаврового лонжерона

4.2.2 Кільцевий зварювальний кантувач.

Зварювання лонжеронів здійснюється в кільцевому кантувачі (рисунок 4.2), тому розглянемо його конструкцію.

Кільцевий кантувачі призначений для зварювання великогабаритних великовагових конструкцій. Він складається з двох зварних поворотних рам, виготовлених у вигляді тригранних решітчастих конструкцій з кутиків, на кінцях яких встановлені опорні півкільця. Рами з'єднуються між собою півкільцями через вставки. Поворотна рама своїми півкільцями спирається на ролики опорних рам [3].

Зварювана балка вкладається на одну поворотну раму, встановлену

горизонтально, і фіксується гвинтами. Перед закладанням зварюваного елемента гвинтові опори під стінку і полки балки повинні бути відрегульовані з урахуванням співпадання осей. Після цього зварюваній балці поворотною рамою надається положення, за якого стінка нахилиється під кутом 45° . В даному положення двотаврова балка-лонжерон фіксується і здійснюють зварювання першого поясного шва. Потім рама повертається в протилежному напрямку, теж на кут 45° , і зварюється інший поясний шов. Після зварювання двох поясних швів поворотна рама знову встановлюється в горизонтальне положення, і на неї опускається і кріпиться друга знімна рама. Подальшим обертанням поворотних рам балка кантується на 180° , потім знімається верхня рама і виконується зварювання двох поясних швів на іншому боці балки (аналогічно). Повертання рами зазвичай здійснюється приводним механізмом.

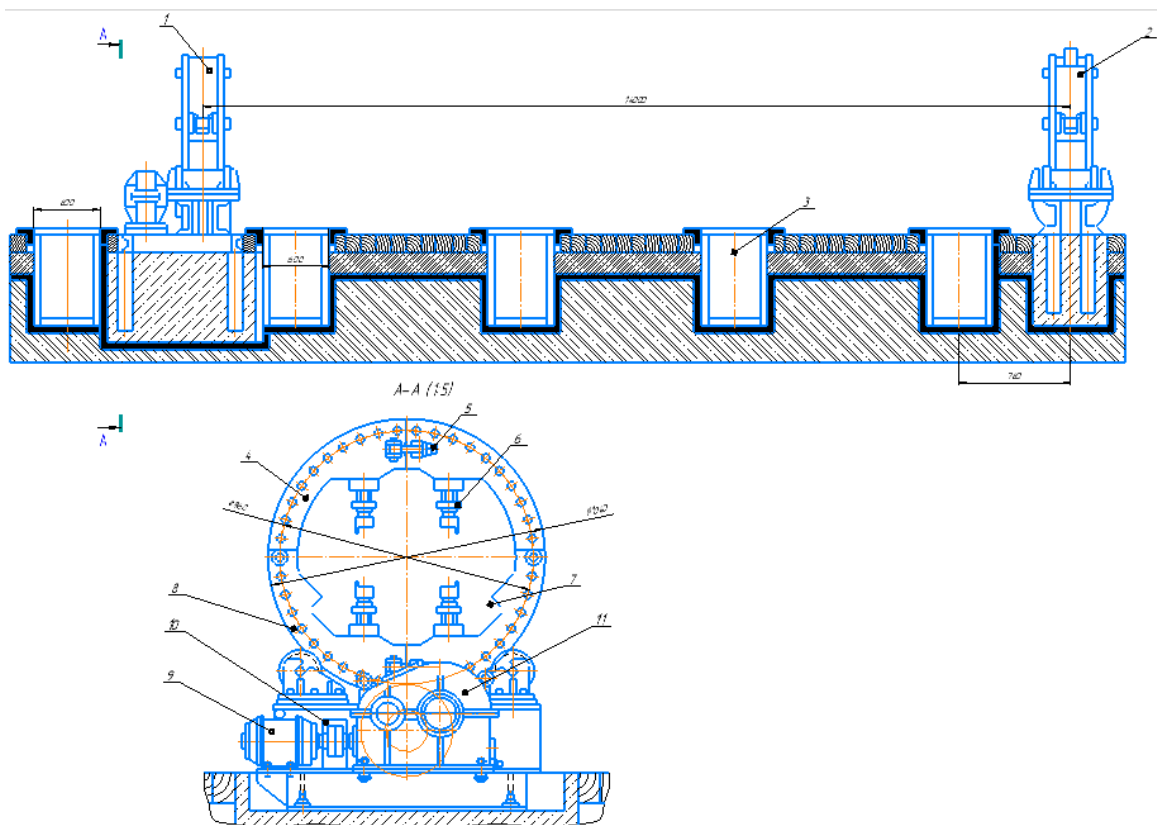


Рисунок 4.2 – Кільцевий зварювальний кантувач

4.2.3 Стенд для складання та зварювання рами

Стенд (рисунок 4.3) призначений для складання рами трьохвісного напівпричепа, і складається з бетонного фундаменту на якому встановлено рам. Рама стенду є несучою конструкцією і сприймає великі навантаження, як від ваги заготовок, які на ній розташовуються так і від зусиль притиску елементів рами півпричепа. На рамі стенду по краях розміщено пневматичні упори, які здійснюють вирівнювання торців двотаврових лонжеронів відносно один одного. Також на рамі розміщені постійні упори для встановлення поперечних балок і пневмопритискачі для їх фіксації. По довжині стенду з обох боків та посередині пневмопритискачі, які здійснюють притиск та фіксацію повздовжніх лонжеронів на необхідну ширину. Для встановлення проміжних поперечних балок та регулювання їх по висоті відносно лонжеронів встановлені гвинтові упори, які забезпечують встановлення необхідної висоти відносно верхньої частини лонжеронів.

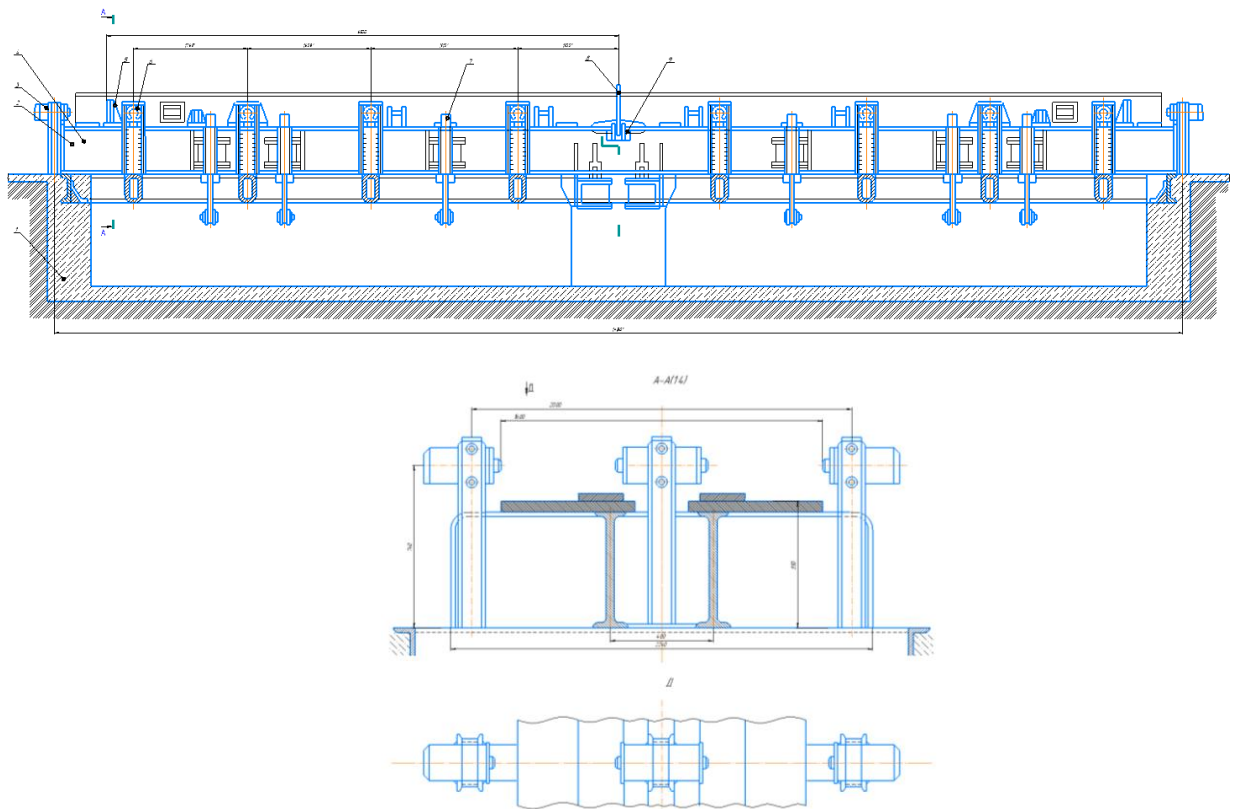
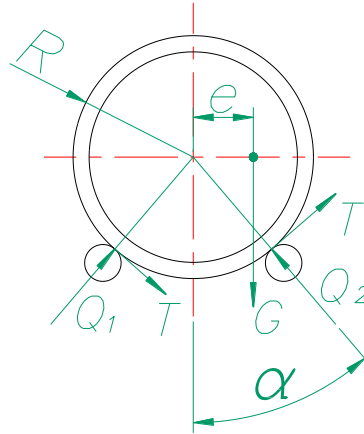


Рисунок 4.3 Схема складального кондуктора рами трьохвісного півпричепа

4.3 Розрахунок кільцевого кантувача

Для вибору та розроблення зварювального кільцевого кантувача проведемо його розрахунок, з метою визначення основних його параметрів згідно літератури [14]. На рисунку 4.4 приведено розрахункову схему зварювального кільцевого кантувача.



G – маса з кільцями та виробом разом і складальними пристосуваннями ;

e – зміщення від центру.

Рисунок 4.4.- Розрахункова схема кантувача.

Визначення силових факторів:

Вантажний момент:

$$M_{zp} = Ge \quad (4.5)$$

$$M_{zp} = 12000 \cdot 0,50 = 6000 \text{ Нм.}$$

Склавши і вирішивши рівняння рівноваги щодо центру кільця і позначивши

$\frac{e}{R} = \varepsilon$, $\frac{0,50}{1} = 0,5$ находимо опорні реакції Q_1 і Q_2 окружні навантаження T :

$$Q_1 = \frac{G}{2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - \frac{\varepsilon}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (4.6)$$

$$Q_1 = \frac{15000}{2} \left(\frac{1}{\cos \frac{45^\circ}{2}} - \frac{0,5}{\text{tg} \frac{45^\circ}{2}} \right) = 24619 \text{ Н}$$

$$Q_2 = \frac{G}{2} \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right); \quad (4.7)$$

$$Q_2 = \frac{15000}{2} \left(\frac{1}{\cos \frac{45^\circ}{2}} + \frac{0,5}{\operatorname{tg} \frac{45^\circ}{2}} \right) = 24619..н$$

$$T = 0.5Ge; \quad (4.8)$$

$$T = 0.5 \cdot 12000 \cdot 0,50 = 3000$$

Розраховуємо поздовжній вал з максимальними навантаженнями:

$$N = \sqrt{Q_2^2 + T^2} \quad (4.9)$$

$$N = \sqrt{24619^2 + 3000^2} = 24619..н$$

Зусилля обертання роликів, приведена до їхньої діаметру:

$$W = K_p \frac{Nfd_s + 2Q_2\mu}{D_p} \quad (4.10)$$

$$W = 1,2 \cdot \frac{24619 \cdot 0,02 + 2 \cdot 24619 \cdot 0,08}{0,380} = 12532..н$$

де: d_v – діаметр вала в підшипниках; D_p – ролик опори;

$f = 0.02$ кофіцієнт підшипників кочення;

$\mu = 0.08$ – тертя роликів опорних сталевих при кочені;

$\mu = 0.3$ – тертя роликів опор покриті гумою при кочені;

$K_p = 1.2$ – тертя кільця що враховується втрати при обертані роликів.

Крутні моменти які були передані кожним із двох поздовжніх валів:

$$M_{кр1} = 0.5D_p(T + W) \quad (4.11)$$

$$M_{кр1} = 0.5 \cdot 0,380 \cdot (3000 + 12532) = 2951..нм$$

Згинальний момент згину, що діє на поздовжній вал в області підшипника:

$$M_u = Nk$$

$$M_u = k\sqrt{Q_2^2 + T^2} \quad (4.12)$$

$$M_u = 0,1 \cdot \sqrt{24619^2 + 3000^2} = 2480..нм$$

де k – відстань між прикладеною сили підшипника.

Еквівалентний момент:

$$M_{\vartheta} = \sqrt{M_{кр1}^2 + M_u^2} \quad (4.13)$$

$$M_{\vartheta} = \sqrt{2951^2 + 2480^2} = 3854..нм$$

Розрахунок валу:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10M_{\vartheta}}{[\sigma]}} \quad (4.14)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 3854}{60 \cdot 10^6}} = 0,0863..мм$$

Обертальний рух на поздовжні вали передається поперечним валом через черв'ячні редуктори. Крутний момент, діючий на поперечному валові кантувача:

$$M_{кр} = \frac{G}{i \eta_{ред} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \left(0,5 \cdot D_p \cdot \varepsilon \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + K_p \cdot \frac{f \cdot d + 2 \cdot \mu}{D_p} \right) \quad (4.15)$$

$$M_{кр} = \frac{12000}{1 \cdot 1 \cdot \cos\left(\frac{45}{2}\right)} \cdot \left(0,5 \cdot 0,380 \cdot 0,5 \cdot \cos\left(\frac{45}{2}\right) + 1,2 \cdot \frac{0,02 \cdot 0,086 + 2 \cdot 0,08}{0,380} \right) = 25489..нм$$

де: i – передаюче спів відношення черв'ячної пари;

$\eta_{ред}$ – К. К. Д. черв'ячного приводу.

$G_{кр}$ розраховуємо врівноважувальний моментом зчеплення сил опорних роликів з кільцями.

$$G_{кр} = (Q_1 + Q_2) \cdot \varphi \cdot R \quad (4.16)$$

$$G_{кр} = (24619 + 24619) \cdot 0,3 \cdot 1 = 14771..нм$$

де: φ – зчеплення кілець з роликами: ролики з гумовим покриттям $\varphi = 0,3 - 0,4$.

Якщо виразити ексцентриситет у частках радіуса кільця

$$\varepsilon_{кр} = \frac{e_{кр}}{R} i$$

поміняти Q_1 і Q_2 , то розглянути вираз можна привести до виду:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{\varphi}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad (4.17)$$

$$\varepsilon_{кр} = \frac{0,3}{\cos \frac{22,3}{2}} = 1,9$$

Граничне значення відносно ексцентриситету, може настати буксування, незалежить від маси обертових частин.

Запас зчеплення повинний бути не менш 3

$$K_{сц} = \frac{\varepsilon_{кр}}{\varepsilon} = \frac{e_{кр}}{e} \geq 3 \quad (4.18)$$

$$K_{сц} = \frac{1,9}{0,5} = 3,9 \geq 3$$

Сила приводу кільцевого кантувача: $w = \frac{5 \cdot \pi}{30} = 0,5236$

$$N = \frac{M_{кр} \cdot w}{9740 \cdot \eta_0} \quad [\text{кВт}] \quad (4.19)$$

$$N = \frac{25489 \cdot 0,52}{9740 \cdot 0,5} = 2,69 \text{ кВт}$$

4.4 Основні техніко-економічні показники запропонованих рішень

Розрахунок основних техніко-економічних показників від запропонованих нововведень був проведений в спеціальній програмі, за методикою, яка описана в літературі [15]. Результати розрахунків приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1. - Основні техніко-економічні показники розробленого технологічного процесу

Показники	Одиниця виміру	Величина	
		З	П
1	2	3	4
Річна програма випуску продукції	шт	1500	1500
Кількість робочих місць	шт	26	25
Кількість технологічного устаткування	шт	11	10
Собівартість товарної продукції	грн	6698647,04	6584459,9
Чисельність промислово-виробничого персоналу:			
- всього	чол	26	24
- основних робітників		17	16
Фондомісткість продукції	грн/шт	1527,760667	1623,68733
Умовна річна економія	грн	-	141741
Річний економічний ефект	грн	-	120157,5
Термін окупності капітальних вкладень	роки	-	1,01516146

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Охорона праці

5.1.1 Характеристика і аналіз потенційних небезпек і шкідливих чинників у спроектованому цеху

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

При зварюванні металів в CO₂ повітряне середовище виробничих приміщень може забруднюватися зварювальним аерозолем, що містить пил, шкідливі гази та випаровування, наприклад, газоподібні фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту та інші.

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

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

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

Для захисту від дії небезпечних факторів застосовують колективні та індивідуальні засоби захисту. Можна виділити чотири групи засобів

захисту: огорожуючі, запобігаючі, сигналізаційні засоби і дистанційне управління.

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

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

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

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

В небезпечних місцях вивішують запобіжні написи і плакати.

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

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

5.1.2 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці в зварювальному виробництві

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

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

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

Електрична дуга випромінює велику кількість невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів, які шкідливо впливають на зір і шкіру людини. Опіки променями електричної дуги можуть відбуватися тільки при зварюванні відкритою дугою (наприклад ручне дугове зварювання, зварювання в CO_2 і т.д.). Шкіра зварювальника захищається робочим одягом, а зір – захисними щитками або масками із спеціальним темно-синім скло-фільтром.

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

В результаті високої температури зварювальної дуги відбувається випаровування металів. Пари металів з'єднуються з киснем повітря, утворюючи дрібний порошок в вигляді окислів. Особливо шкідливі пари окислів

цинку, свинцю, кадмію, міді та інші, які утворюються при зварюванні міді, латуні і бронзи. В результаті плавлення деяких флюсів утворюються пари окислів марганцю, а також хлористий і фтористий водень.

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

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

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

5.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Цивільна оборона України організується за територіальним виробничим принципом на всій її території і виявляє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться по всій території держави, як правило заздалегідь з врахуванням особливостей кожного регіону [17].

Цивільна оборона України є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту

населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Основним завданням цивільної оборони є:

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

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

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

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

- створення систем аналізу і прогнозування управління. Оповіщення і зв'язку, спостереження і контролю за радіоактивними, хімічними, бактеріологічними зараженнями;

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

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

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра проведено розрахунок напружено-деформівного стану рами самоскидного трьохвісного напівпричепа. Розрахунки виконано методом скінченних елементів в програмі КОМПАС.

Визначено напруження в рамі та встановлено області максимальних напружень. На основі проведених розрахунків становлено статичні коефіцієнти запасу міцності за напруженнями $K_c=7...10$. Зазначено, що відповідно до даних [3] у найбільш навантажених зварних вузлах рами при її експлуатаційному циклічному навантаженні статичні коефіцієнти запасу міцності за напруженнями необхідно встановити на рівні $K_c=10...7$ за напруженнями текучості. У нашому випадку $K_c=7...10$ (розраховано з умови напружень текучості сталі ВСт3сп $\sigma_T=245$), що задовольняє умову роботи рам напівпричепа при експлуатаційних навантаженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1.
2. Марочник сталей и сплавов: справочник / под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989, - 640 с.
3. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст]/ Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
4. Підгурський М.І., Рибак Т.І. Циклічна тріщинотривкість і руйнування елементів зварних конструкцій // Праці 4-го Міжнародного симпозіуму з трибостатики (ISTF4)/ Тернопіль. ТДТУ, 2002. Т.1. – С. 290-295.
5. Думов С.И. Технологияэлектрической сварки плавлением [Текст]: учеб. / С.И. Думов. – Л.: Машиностроения, 1987. – 640 с.
6. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением [Текст] : учеб. / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.– 432 с.
7. Сварочные материалы для дуговой сварки. Т2. Сварочная проволока и электроды [Текст]: справочное пособие / под общей редакцией Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1993. – 768 с.
8. Биковский, О.Г. Довідник зварника [Текст]: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
9. <https://kzeso.com>
10. <https://metall.dukon.ru/>
11. ДСТУ 3169-95 «Ресурсозбереження. Нормування витрат зварювальних матеріалів. Загальні вимоги, методи визначення нормативів ручного і механізованого електрозварювання».
12. Серенко, А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи [Текст]/ Серенко А.Н., Крумбольт М.Н., Багрянський К.В. – К.: Высшая школа, 1977 – 336 с.

- 13 Сварка в машиностроении: В 4-х т.Т.2 [Текст] /Под ред. А.И. Акулова. - М.: Машиностроение, 1978. – 462 с.
- 14 Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник [Текст] / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
- 15 Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень: методичні вказівки до виконання організаційно–економічної частини дипломних проектів / Р.І. Шпак.– Тернопіль, 2006.–29с.
- 16 Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. [Текст] / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
- 17 Стеблюк М.І. С79 Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487 с.

ДОДАТКИ