

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
 (повне найменування інституту, факультету)
Металорізальні верстати та інструменти
 (повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
 (ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз компоновок та розробка установки
для плазменної різки

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-219м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи
Корнієнко М.В.
 (прізвище та ініціали)

Керівник Глушко П.В.
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Штанкевич В.С.
 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет машкобудівний
 Кафедра метаморфізмальних верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 135 Галузеве машинобудування
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Метаморфізмальні верстати та системи
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ШВТ
Фролов Н.В.
 « 17 » 02 2020 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Коркієнко Михайло Вікторович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз компоновок та розробка установки для плазменної різки

керівник проекту (роботи) Гушко Павло Васильович, ст. викладач
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2020

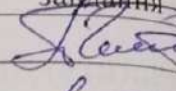
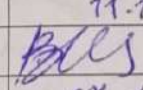
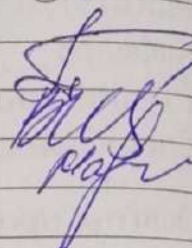
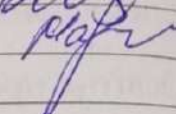
3. Вихідні дані до проекту (роботи) плазморізмальний верстат з числовим програмним керуванням

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз сутності плазменної обробки; аналіз компоновок верстатів для плазменної обробки; режим різання і аналіз особливостей робочих органів верстатів; вплив робочого середовища на процес різання; вибір головного робочого органу; вплив параметрів сonda на ефективність плазменної різки; розробка плазморізмального верстату з ЧПК; вибір і розрахунок робочих органів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

3-D модель плазморізмального верстата з ЧПК.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

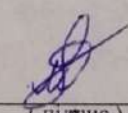
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
Дослідницько-конструкторська робота	ст. викл. Глушко П.В.	28.09.2020	
Охорона праці та безпеки у П.С.	доц. к.т.н. Шмирко В.І.	11.11.2020 	
Кормокоширарь	ст. викл. Мамбасєнко Л.С.	17.12.2020	

7. Дата видачі завдання « 28 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз сутності процесу різання металів плоскою та обладнання яке використовується	05.10.20	
2.	Аналіз особливостей компоновок плоскорізних верстатів, їх основних вузлів та характеристик які впливають на їхню продуктивність	15.10.20	
3.	Аналіз режимів різання при плоскій обробці	20.10.20	
4.	Визначення впливу робочого середовища	25.10.20	
5.	Аналіз та вибір головного робочого органу	1.11.20	
6.	Визначення впливу параметрів сома і дугової камери на ефективність різання	5.11.20	
7.	Розробка верстату для плоскої різки	15.11.20	
8.	Вибір та розрахунок основних вузлів	20.11.20	
9.	Моделювання верстату у програмі SOLIDWORKS	27.11.20	
10.	Розробка питань з охорони праці	5.12.20	
11.	Оформлення звіту та презентації	10.12.20	

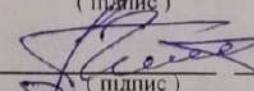
Студент(ка)


(підпис)

Корнієнко М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Глушко П.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ містить: 97 с., 30 рис., 7 табл., 27 джерел, 4 додатка.

ПЛАЗМОТРОН, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, ВУЗОЛ, ДУГА,
МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИК, УСТАНОВКА, СЧПК, СИЛОВИЙ КАБЕЛЬ.

Об'єкт дослідження: Плазморіжучий верстат з числовим програмним керуванням.

Мета роботи: Проведення аналізу компонок плазморіжучих установок. Аналіз основних робочих органів і характеристик, що впливають на їх продуктивність. Розробка плазморіжучого верстата з числовим програмним керуванням.

Актуальність: Більшість зварних конструкцій виготовляється з заготовок які отримані шляхом розділового різання листового прокату, більше 70 % якого в машинобудуванні отримується внаслідок термічного різання. Найбільш ефективним способом термічного різання листового металопрокату є плазмове різання, яке при високій швидкості процесу забезпечує високі показники якості.

Автоматизація процесу плазменого різання сприяє зменшенню впливу людського фактору на процес обробки, підвищенню якості та продуктивності праці.

У роботі міститься аналіз плазморіжучих установок, їх компонок та робочих вузлів. Описаний принцип роботи плазмотрона, вплив параметрів сопла та робочого середовища на процес обробки. Вибір оптимальних робочих органів. Конструювання плазменної установки за допомогою програмного забезпечення SOLIDWORKS.

ABSTRACT

The work contains: 97 pages, 30 figures, 7 tables, 27 sources, 4 appendices.

PLASMOTRON, POWER SOURCE, NODE, ARC, MICROCONTROLLER, SENSOR, INSTALLATION, SCPC, POWER CABLE.

Object of research: Plasma cutting machine with numerical program control.

Purpose: Analysis of the layout of plasma cutting units. Analysis of the main working bodies and characteristics that affect their productivity. Development of a plasma cutting machine with numerical program control.

Relevance: Most welded structures are made of blanks obtained by cutting from sheet metal, more than 70% of which in mechanical engineering is obtained by thermal cutting. The most effective way of thermal cutting of sheet metal is plasma cutting, which at high process speed provides high quality indicators.

Automation of the plasma cutting process helps to reduce the impact of the human factor on the processing process, improve quality and productivity.

The paper contains an analysis of plasma cutting plants, their layouts and working units. The principle of operation of the plasmotron, the influence of the parameters of the nozzle and the working environment on the processing. Selection of optimal working bodies. Designing a plasma cutting unit, using SOLIDWORKS software.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

СЧПК – система числового програмного керування.

КГП – кулько-гвинтова передача.

USB - Universal Serial Bus, універсальна послідовна шина, що призначена для з'єднання комп'ютерів і периферійних пристроїв.

ТНС - Torch Height Controller, система контролю висоти різання.

Ентальпія – потенціал який характеризує стан термодинамічної системи.

Іонізація – процес утворення електрично заряджених частинок.

Дисоціація – процес розпаду нейтральних молекул на іони.

Рекомбінація – процес об'єднання подібних частинок з утворенням цілісного об'єкту.

Ерозія – процес руйнування поверхневого шару об'єкту.

Конвекція – явище перенесення тепла в рідинах або газах потоками самої речовини.

ЗМІСТ

	Реферат.....	3
	Вступ.....	8
1	Загальні відомості про плазмову обробку та обладнання для неї ...	9
1.1	Сутність плазмової різки та обладнання для неї.....	9
1.2	Аналіз компоновок плазморіжучих верстатів.....	10
1.2.1	Портальні плазморіжучі верстати.....	10
1.2.2	Консольні плазморіжучі верстати.....	11
1.2.3	Плазморіжучі автоматичні лінії.....	12
1.2.4	Плазмові труборіжучі верстати.....	14
1.2.5	Універсальні плазморіжучі верстати.....	15
1.3	Основні елементи верстатів для плазмової різки.....	16
1.3.1	Плазмотрон та обладнання яке забезпечує його роботу.....	18
1.3.2	Механічна система.....	19
1.3.3	Електродвигуни.....	24
1.3.4	Система ЧПК.....	25
2	Режими різання і аналіз особливостей робочих органів верстата для оптимізації його можливостей.....	27
2.1	Загальні відомості про основні робочі органи і механізми, характеристики які впливають на їх продуктивність.....	27
2.2	Режими різання при плазмовій різці.....	33
2.2.1	Оптимальні режими різання.....	33
2.2.2	Методика визначення режимів різання.....	35
2.2.3	Робоче середовище і його вплив на процес обробки металів плазмою.....	36
2.2.4	Системи охолодження.....	41
2.3	Вибір головного робочого органу і його характеристики.....	43
2.3.1	Вплив параметрів сопла і дугової камери на ефективність плазмової різки.....	48
3	Конструкторська частина.....	52
3.1	Розробка верстата.....	52
3.1.1	Вимоги до розробляемого обладнання.....	52
3.1.2	Розробка кінематичної схеми верстата.....	54
3.2	Контрування та розрахунок.....	55
3.2.1	Компоновка верстата.....	55
3.2.2	Станина верстату.....	56

3.2.3	Стіл верстату.....	59
3.2.4	Вибір напрямних.....	60
3.2.5	Вибір приводу.....	61
3.2.6	Вибір електродвигуна.....	63
3.2.7	Система ЧПК.....	68
4	Технологічна частина.....	71
4.1	Технологія експлуатації обладнання.....	71
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	72
5.1	Аналіз потенційних небезпек.....	72
	Висновок.....	74
	Список використаних джерел.....	76
	Додаток А.....	79
	Додаток Б.....	91
	Додаток В.....	92
	Додаток Г.....	93

ВСТУП

У 1929 році фізики з США Ірвінг Ленгмур і Леві Тонко назвали плазмою іонізований газ в газорозрядній трубці. При вивченні електричного розряду в трубці з розрідженим повітрям і була відкрита матерія, що стала четвертим станом речовини. [1]

Будь-яка речовина в залежності від температури може знаходитися в декількох станах: твердому, рідкому, газоподібному. При подальшому збільшенні температури атоми і молекули втрачають електрони, в результаті газ перетворюється в плазму. При температурі понад 1 000 000 градусів Цельсія плазма практично повністю іонізована - в її складі є тільки електрони і позитивні іони. З плазми перебуває близько 99% маси Всесвіту. Зірки, туманності - це іонізована плазма. [1]

З 1950-х років плазму стали використовувати для різання металу, і на сьогоднішній день ця технологія за популярністю перевершує всі інші способи різання. При цьому способі газ під впливом електричної дуги перетворюється в плазму і стискається, проходячи через охолоджену форсунку. Плазмова різка використовується для роботи тільки з електропровідними матеріалами, так як при різанні дуга «переноситься» на обробляємий матеріал. [1]

З 60-х років процес різання металів плазмою почали механізувати за допомогою верстатного обладнання. А з появою числових програм керування процес був автоматизований.

Застосування плазменної обробки в промисловості дозволило значно інтенсифікувати існуючі технологічні процеси, створити абсолютно нові технології виробництва. Такі властивості плазми, як висока температура і концентрація енергії в малому просторі, відкриває можливість використовувати її в машинобудівних процесах.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАЗМОВУ ОБРОБКУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НЕЇ

1.1 Сутність плазмової різки та обладнання для неї

Плазмова різка - це спосіб термічної обробки матеріалу, заснований на використанні струменя плазми, який утворюється в результаті подачі спрямованого струменю плазмоутворюючого газу під високим тиском на електричну дугу. У зоні контакту матеріалу з струменем плазми він починає плавитися, а розплавлені залишки видувуються з зони різання стисненим повітрям [2].

Залежно від виду матеріалу, що розрізає для утворення плазми може застосовуватися кисень, азот, водень, аргон або їх суміші. Температура плазмового струменя може досягати 30 тисяч градусів, що дозволяє розрізати метал товщиною до 200 мм [2].

Різання металів плазмою застосовується для створення деталей в будівельно-монтажних, покрівельних роботах, при монтажі трубопроводів, систем опалення, вентиляції, в енергосистемах, в автомобілебудуванні, в авіабудуванні, в судобудуванні

За допомогою апаратів плазмової різки можна обробляти практично будь-які відомі метали, включаючи високолеговану і нержавіючу сталь, алюміній, мідь, латунь, титан, чавун.

Швидкість різання плазмою досягає 5,5 м/хв, що в більшості випадків перевищує швидкість лазерного, кисневого або водоструминного різання. Даний показник залежить від оброблюваного матеріалу та його товщини. Як результат: великий обсяг роботи виконується оперативнo і за короткий час [3].

Вагомою перевагою плазменого різання є можливість виготовлення з листового матеріалу деталей складної геометричної форми. В даному випадку продуктивність різання в кілька десятків разів перевищує продуктивність

фрезерування. При цьому точність розмірів і форми вирізаних виробів може бути досить високою, що для деяких деталей виключає необхідність їх додаткової механічної обробки.

Різання металів плазмою виконується як в ручному режимі так і за допомогою механізованих автоматичних установок.

Верстати для плазмового різання металу з ЧПК відрізняються від ручних станцій тим, що всі робочі процеси повністю автоматизовані програмним управлінням. Наявність ЧПК дозволяє скоротити вплив людського фактору і досягти високої якості різку. Плазморіжучі верстати можуть використовуватися як самостійні одиниці з індивідуальним обслуговуванням, так і в складі поточно-механізованих ліній.

Верстати розрізняються між собою за габаритами та компоновкою.

Основні операції, що виконуються на плазморіжучих верстатах з ЧПК:

- Нарізання листової низьковуглецевої сталі, легованих сталей і алюмінію;
- Вирізання плоских фігур складної конфігурації(Фігурне різання);
- Вирізання отворів на корпусних деталях;
- Нарізання труб крупного діаметру;
- Зняття фасок;
- Розділення кромки;
- Зачистка швів.

1.2 Аналіз компоновок плазморіжучих верстатів.

1.2.1 Портальні плазморіжучі верстати.

Портальні верстати (Рисунок 1) представляють собою механічну конструкцію на якій розташований стіл верстату, напрямні для переміщення порталу з встановленими на них опорними модулями. На опорних модулях встановлений портал з робочим органом.



Рисунок 1 – Плазморіжучий верстат порталного типу.

Розміри столу сягають 3000х6000 мм, швидкість різання у таких верстатах досягає 5500 мм/хв. Широко використовуються в машинобудівній промисловості для швидкісного роздільного різання листового металу товщиною до 30 мм і вирізання фігур складної геометричної форми.

Перевагами порталного верстата являються висока швидкість та точність. Під час обробки заготовка нерухомо встановлюється на стіл і під час роботи виникають мінімальні вібрації.

Недоліками являються обмеження висоти обробки висотою порталу.

1.2.2 Консольні плазморіжучі верстати.

Консольні верстати (Рисунок 1.1) можуть розташовуватися окремо від робочого столу і мати власну несучу конструкцію. Робочий орган закріплений на консолі, яка переміщує його вздовж робочого поля.



Рисунок 1.1 – Плазморіжучий верстат консольного типу.

Розміри робочого поля обмежуються довжиною консолі і розмірами робочого столу і складають 1500x3000 мм. Основним призначенням даних верстатів є роздільне різання листового металу та вирізання фігур простої геометричної форми.

Перевагами консольних верстатів є простота конструкції і встановлення, невеликі габаритні розміри.

Недоліками являються низька швидкість різання і низька стійкість конструкції. Під час переміщення робочого органу по консолі виникають вібрації які відображаються на якості різку, що унеможлиблює використання даного верстату для фігурного різання.

1.2.3 Плазморіжучі автоматичні лінії.

Представляють собою крупногабаритну конструкцію, яка складається з конвеєрної лінії, установки для подачі заготовки та порталів.



Рисунок 1.2 – Портальна автоматична лінія

Портالي встановлюються на власній несучій конструкції з напрямними, це дозволяє уникнути вібрацій які виникають при переміщенні заготовки по лінії, на одній лінії можуть бути одночасно встановлені до 5 порталів, ширина порталу досягає 5 м. Конвеєрна лінія обладнана роликами які забезпечують переміщення заготовки, її довжина досягає 20 м. Позаду неї встановлена установка для подачі заготовок (Рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Установка для подачі заготовки

Основне призначення плазморіжучих автоматичних ліній це виконання заготівельного роздільного різання. В якості заготовок виступають металопрокатні рулонні листи.

Перевагами плазморіжучих автоматичних ліній являється висока продуктивність та можливість виконання декількох операцій за один установа.

Недоліками являються великі габаритні розміри і підвищені витрати електричної енергії.

1.2.4 Плазмові Труборіжучі верстати.

Представляють собою конструкцію яка складається з несучої основи на якій встановлені напрямні, по яким пересуваються опорні модулі з підпорами, на підпорах розташовані ролики які забезпечують обертання заготовки в процесі обробки. На торці установки розташований приводний труботримач який служить для закріплення та обертання заготовки. Плазмовий різак може бути встановлений нерухомо над оброблюваною заготовкою, або на власному опорному модулі і мати повздовжній хід.



Рисунок 1.4 – Плазмовий труборіжучий верстат

Призначені для роздільного різання труб з метою їх подальшої стиковки під заданим кутом. Плазмові труборіжні верстати дозволяють виконувати розкрій оброблюваних заготовок з мінімальним впливом на вироби. Висока продуктивність обладнання дозволяє виконувати обробку труб, утворюючи рівні краї різку без грата і окалини, обробка відбувається з високою швидкістю.

Можливе виконання фігурного різання та вирізання отворів на поверхні труб різної конфігурації. Здатен обробляти заготовки діаметром від 50 до 500 мм і довжиною до 12000 мм. Товщина стінок труб залежить від встановленого плазмотрона і може варіюватися від 0,5 до 50 мм.

Перевагами плазових труборіжучих верстатів є висока якість та швидкість обробки.

1.2.5 Універсальні плазморіжучі верстати.

Представляють собою поєднання порталного і труборіжучого верстата. Паралельно порталній установці розміщується модуль для нарізання труб (Рисунок 1.5).

Особливості конструкції полягають в формі порталу. Портал верстата винесений у бік труборіжучого модуля на необхідну довжину. Встановлені подовжені напрямні які дозволяють виводити плазменний різак за межі робочого столу і розташовувати його перпендикулярно труборіжучому модулю.



Рисунок 1.5 – Універсальний плазморіжучий верстат.

Універсальні верстати дозволяють розширити спектр виконуваних операцій і підвищити продуктивність праці.

1.3 Основні елементи верстатів для плазменої різки.

В промисловості переважна більшість верстатів має порталну конструкцію. Розглянемо основні елементи верстата на прикладі плазморіжучого верстата порталного типу.

Верстат представляє собою, механічну конструкцію порталного типу. Рухомі частини верстату приводяться у рух електродвигуном через механічні приводи. Портал верстату з навісним обладнанням переміщується по лінійним напрямним. На конструкції порталу встановлені напрямні, по яким переміщається опорний модуль різачка, який є привідним. На опорному модулі встановлений модуль переміщення різачка, механізм кріплення і сам різак.

В якості робочого органу використовується плазмотрон. Після підводу плазмотрона до зони обробки між електродом і соплом плазмотрону, або між електродом і обробляємим матеріалом запалюється електрична дуга. Від газобалонного обладнання у сопло подається газ під тиском в кілька атмосфер і перетворюється електричною дугою в струмінь плазми з температурою від 5000 до 30000 градусів і швидкістю від 500 до 1500 м/с. Первісне запалювання дуги здійснюється високовольтним імпульсом або коротким замиканням між соплом і розрізаємим металом.

Керування верстатом відбувається за допомогою СЧПК, шляхом подачі керуючих імпульсів до виконавчих органів згідно керуючої програми. На рисунку 1.3 зображені основні елементи верстату.

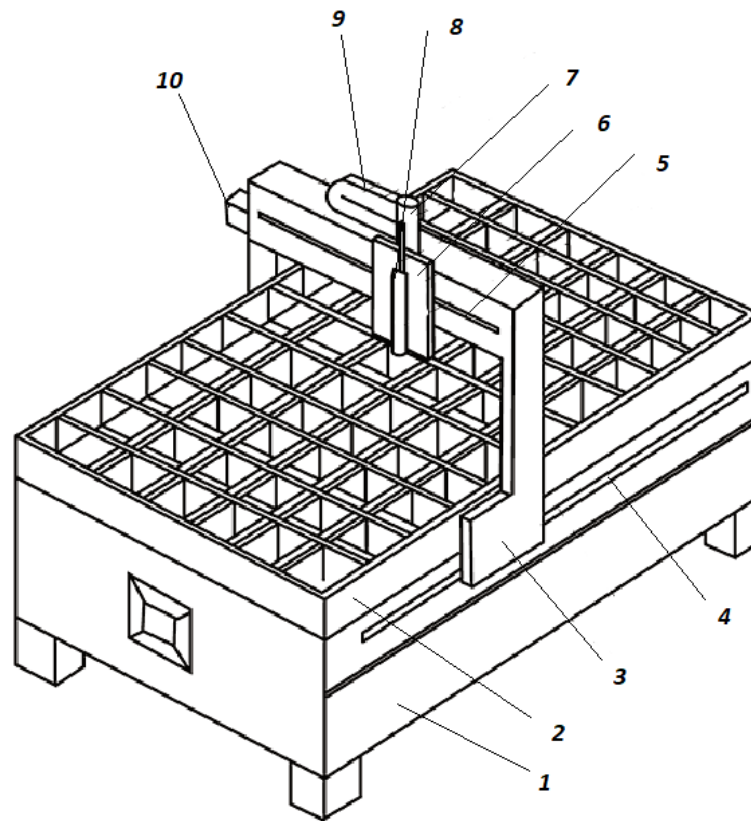


Рисунок 1.6 – Верстат для плазменної різки з ЧПК. 1 – станина верстата, 2 – Робочий стіл, 3 – Портал, 4 – Напрявні осі Y, 5 – Напрявні осі X, 6 – Опорний модуль, 7 – Модуль переміщення осі Z, 8 – Плазмотрон, 9 – Кабельно-шланговий пакет, 10 – Електродвигун.

Обладнання для плазменної різки включає в себе:

- Джерело живлення;
- Плазмотрон;
- Компресор;
- Газорозподільну систему;
- Механічну систему;
- Електродвигуни;
- Систему числового програмного керування.

1.3.1 Плазмотрон та обладнання яке забезпечує його роботу.

Для коректної роботи плазмотрон не можна живити від звичайної мережі, тому використовуються окремі установки живлення.

Джерело живлення представляє собою установку для стабілізації струму трансформаторного або інверторного типу. За його допомогою виконується регулювання струму який потрапляє до плазмотрона.

Від джерела живлення на пряму залежить максимальний струм який подається до плазмотрона. Від його робочого циклу залежить робочий цикл плазмотрона, а отже і цикл роботи усієї плазморіжучої установки. При безперервному циклі роботи схильні до перегрівання, тому вони оснащуються особистою повітряною системою охолодження активної чи пасивної дії. Чутливі до впливу вібрацій, температур та вологи, тому їх розміщують на відстані кількох метрів від плазморіжучого верстату.

Основними вимогами до джерела живлення є забезпечення безперервного циклу роботи.

Плазмотрон являється головним робочим органом і призначений для створення струменю плазми та його подачі в зону обробки. Плазмотрон представляє собою пристрій, що складається з сопла, електроду, механізму закручування газу та захисних елементів. Плазмотрони розрізняються за способами запалювання дуги та її стабілізації.

Електроди для плазмового різання можуть бути виготовлені з берилію, гафнію, торію або цирконію. На поверхні цих металів утворюються тугоплавкі оксиди, що запобігають руйнування електрода. Найчастіше використовують електроди виготовлені з гафнію.

Сопло плазмотрона може мати різні розміри і від цього залежать можливості всього плазмотрона і технологія роботи з ним. Від діаметра сопла плазмотрона залежить кількість повітря, яке може проходити крізь цей діаметр за одиницю часу. Від кількості витрати повітря залежить ширина різку, швидкість роботи і швидкість охолодження плазмотрона.

Механізм закручування газу представляє собою циліндричну камеру з витками які дозволяють сфокусувати потік газу на малій ділянці.

Захисні елементи плазмотрона представляють собою набір захисних кожухів, які слугують для захисту елементів плазмотрона від механічної та термічної дії. Найчастіше в них розташовують клапани систем охолодження.

Основними вимогами до плазмотронів є створення максимальної напруги у робочій дузі, фокусування струменю плазми в зоні обробки, стиснення робочого газу та підвищення його швидкості на виході.

Компресор призначений для подачі газу до плазмотрона, замість компресора може бути використана заводська магістраль.

Газорозподільна система представляє собою набір патрубків, шлангів та датчиків тиску, через неї відбувається подача плазмоутворюючого або захистного газу до плазмотрона. Газо-балонне обладнання містить у собі вибухонебезпечні гази, тому розміщується на відстані від установки плазмового різання та електрообладнання. Шланги підводяться до плазмотрона і знаходяться у безпосередній близькості до термічної зони обробки, тому основними вимогами до газорозподільного обладнання є герметичність системи та використання термостійких матеріалів.

1.3.2 Механічна система.

Механічна система включає в себе станину, робочий стіл, рухомі механічні частини, напрямні по яким вони рухаються та механічні приводи що приводять їх в рух.

Станина - це основа конструкції верстата. На неї кріпляться всі інші рухомі та нерухомі деталі і вузли. Через неї механізм спирається на фундамент. Станина сприймає на себе всі зусилля, що виникають при впливі інструменту на заготовку. Від певних точок на станині, обраних початком координат, відраховуються переміщення рухомих частин верстата.

Станина служить для монтажу всіх основних частин верстата. Вона повинна протягом тривалого часу забезпечувати правильне взаємне положення і

переміщення частин верстата при всіх передбачених режимах роботи. Станини верстатів повинні бути міцними і технологічними. Але найважливішою вимогою, що пред'являються до станини, є вимога незмінності їх форми. Цього досягають правильним вибором матеріалу станини і технології її виготовлення.

Станини працюють в основному в умовах нормальної температури при повторно-статичних навантаженнях і можуть піддаватися також динамічним і циклічним навантаженням.

У плазморіжучих верстатах найчастіше використовуються станини у вигляді зварного або скріпленого болтами каркасу на який встановлюються напрямні і портал з робочим органом.

Стіл для різання металів плазмою представляє гратчасту основу на ніжках, або суцільна з станиною, під якою розташовується або захисний короб, або піддон з охолоджувальною рідиною. Стіл для плазмового різання металу повинен бути міцним, вібростійким і відкаліброваним по кутах.

Всі столи для різання металу за допомогою плазми мають схожу будову, і складаються з наступних частин:

- Робоча поверхня для обробки металу;
- Піддон для охолодження плазми (або захисний короб в разі відсутності піддону);
- Підсилена рама в разі роботи з високим навантаженням.

Розміри стола варіюються в залежності від вимог до виробів, що виготовляються на столі. Промислові столи часто мають розмір робочої поверхні в 1500 на 3000 міліметрів. Столи, що використовуються в декоративному різанні, бувають меншими, аж до 200 на 400 міліметрів. Найчастіше, співвідношення сторін враховується як 2 до 1. Рідше - 4 до 3.

Під час різання, плазма повинна проходити крізь заготовку, при цьому розпечені відходи не повинні осідати на основі робочої поверхні. Тому для виготовлення поверхні використовують такі конструкції:

- Паралельно розташовані ламелі;
- Гратчаста основа;

- Ламелі з металевого профілю;
- Сітка з зубчастої фактурою.

Столи промислових верстатів можуть бути оснащені піддоном. У разі відсутності піддону під всією робочою поверхнею встановлюють спеціальний короб для відходів. Він захищає кінцівки оператора від опіків і механічних пошкоджень, але створює пожежонебезпечну ситуацію, і ризик задимлення в робочому приміщенні. На рисунку 1.1 зображені столи плазморіжучого верстата.

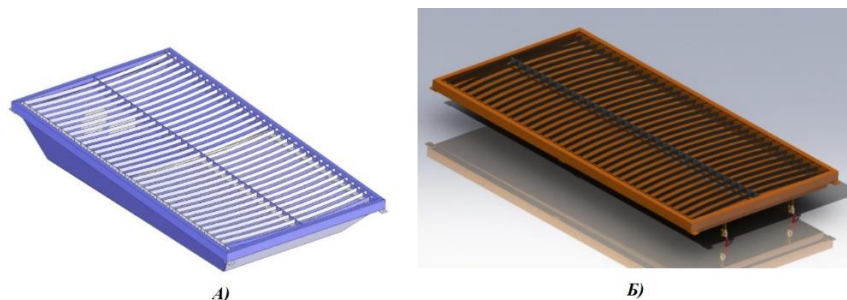


Рисунок 1.7 – Столи для плазморіжучих верстатів. А – Стіл з вбудованою витяжною системою, Б – Стіл з піддоном який заповнюється водою.

Переміщення робочих органів верстата здійснюється по напрямних. Від напрямних безпосередньо залежить точність, плавність і безшумність переміщень, вантажопідйомність і жорсткість верстата. Напрямні верстата визначають якість і продуктивність обробки деталей на верстаті. Основними вимогами до напрямних є забезпечення точності траєкторії переміщення.

В залежності від габаритів в плазморіжучих верстатах в якості напрямних використовуються профільні рейкові напрямні або циліндричні рейкові напрямні.

Профільні рейкові напрямні (Рисунок 1.8) представляють собою рейку оснащену спеціальними жолобами по яким ведеться рух каретки. Контакт рейки з кареткою забезпечується лінійними підшипниками. Порівняно з циліндричними напрямними рейкові мають вищу жорсткість та швидкість переміщення, але більш складні в монтажі та обслуговуванні. Рейкові напрямні використовують у крупногабаритних верстатах з довжиною робочого переміщення до 6 м.



Рисунок 1.8 – Профільні рейкові напрямні з каретками.

Циліндричні рейкові напрямні (Рисунок 1.9) представляють собою шліфований циліндричний вал закріплений на опорі призматичного типу. Така конструкція сприяє підвищеною жорсткості, що виникає під вагою балки або шпиндельного вузла. Циліндричні рейки жорстко кріпляться на несучій конструкції верстата. Характеризуються точністю та плавністю переміщень. Даний тип напрямних використовують у дрібно та середньо габаритних верстатах з довжиною робочого переміщення до 3 м.



Рисунок 1.9 – Циліндричні рейкові напрямні з каретками.

За переміщення робочих органів верстата відповідають механічні приводи. Вони призначені для перетворення обертального руху від електродвигуна в поступальне переміщення робочих органів по напрямних. Основною вимогою до механічних приводів є точність позиціонування.

В плазморіжучих верстатах в якості механічних приводів використовуються кулько-гвинтові або рейкові передачі.

Кулько-гвинтова передача (Рисунок 1.10) складається з направляючого гвинта і гайки, всередині якої впритул один до одного розташовуються кульки. Вони рухаються по замкнутому контуру між різьбовими витками гайки і гвинтової направляючої, забезпечуючи поступальний рух гайки. Здійснюючи виток навколо гвинта, кульки опиняються в спеціальній канавці, по якій повертаються в початкове положення.



Рисунок 1.10 – Кулько-гвинтова передача.

Рейкова передача (Рисунок 1.11) представляє собою зачеплення зубчатого колеса і зубчатої рейки. Вона встановлюється паралельно до лінійної направляючої. Шестерня обертається двигуном і через зубчасте зачеплення штовхає рейку в напрямку необхідного лінійного руху. Часто рейка сама служить в якості рейки направляючої, а зубчасте колесо з віссю і двигуном поєднується в одному вузлі з кареткою. Зазвичай шестерня з приводом встановлюється нерухомо, а рейка монтується на рухомій частині обладнання.



Рисунок 1.11 – Рейкова передача.

Електродвигуни представляють собою електричні машини які складаються з нерухомої частини – статора і рухомої – ротора. Основна їх задача це перетворення електричної енергії в механічну. Основними вимогами до електродвигунів є високий ККД, мінімальний момент інерції, широкий діапазон регулювання та висока частота обертання. В плазморіжучих верстатах в якості електродвигунів використовуються крокові двигуни та серводвигуни.

1.3.3 Електродвигуни

Кроковий двигун (Рисунок 1.12) - це синхронний безщітковий електродвигун з декількома обмотками, в якому струм, що подається в одну з обмоток статора, викликає фіксацію ротора. Послідовна активація обмоток двигуна викликає дискретні кутові переміщення (кроки) ротора. Крокові двигуни можуть працювати з великим навантаженням без використання редукторів і забезпечують високий крутний момент на малих швидкостях.

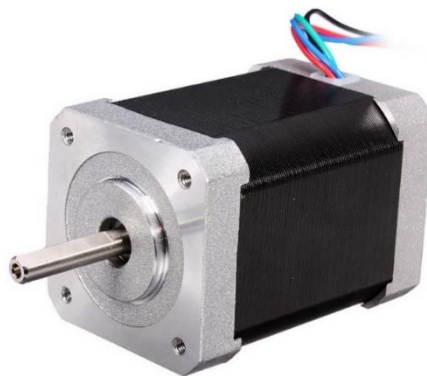


Рисунок 1.12 – Кроковий двигун.

Серводвигуни (Рисунок 1.13) – це електричний двигун який оснащений енкодером який забезпечує зворотній зв'язок. Він потрібен, щоб досягти необхідної швидкості, або отримати потрібний кут повороту. У випадках високих навантажень і якщо швидкість виявиться нижче необхідної величини, струм почне збільшуватися, поки швидкість не досягне потрібної величини, якщо сигнал швидкості покаже, що швидкість більше, ніж потрібно, струм почне зменшуватися. Серводвигуни забезпечують високу потужність при малих габаритах, мають високий крутний момент по відношенню до інерції.



Рисунок 1.13 – Серводвигун.

1.3.4 Система ЧПК.

Система числового програмного керування призначена для автоматизації роботи верстатного обладнання та здійснення обробки за заданою програмою. Принцип роботи системи ЧПК полягає у видачі мікроконтролером керуючого впливу (електричних імпульсів) на виконавчі механізми верстата, а також

контролю їх переміщення для реалізації руху ріжучого інструменту відповідно до заданої програми обробки.

Система ЧПК складається з наступних основних вузлів:

- Мікроконтролер (процесор) – перетворення сигналів
- Оперативна пам'ять – для збереження поточної інформації
- Постійна пам'ять – для збереження файлі керуючої програми
- Пристрій завантаження інформації (USB)
- Пристрій керування.

Основною відмінністю СЧПК для різання металів плазмою від установок які використовують лезові інструменти являється наявність модулю ТНС. Torch Height Controller – система контролю висоти різача, дозволяє виключити механічний контакт з металом. В автоматичному режимі регулюється зазор в процесі різання. Принцип регулювання зводиться до порівняння заданої напруги з поточною, тобто якщо напруга різання зростає, отже, зростає відстань між соплом і металом. У такій ситуації Torch Height Controller автоматично опустить плазмотрон і навпаки. Робота системи гарантує оптимальний термін служби витратних матеріалів. Також, не можна не відзначити більш високу якість різання за рахунок вимірів дугової напруги та керування нею.

Основними вимогами до СЧПК є швидкодія системи, вираховуюча потужність, номенклатура керуючих сигналів.

2 РЕЖИМИ РІЗАННЯ І АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ВЕРСТАТА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЙОГО МОЖЛИВОСТЕЙ

2.1 Загальні відомості про основні робочі органи і механізми, характеристики які впливають на їх продуктивність.

Основними вимогами до плазморіжучих верстатів є якість, точність та швидкість обробки. Основними робочими органами що впливають на ці показники являються головний робочий орган та механізми що служать для його переміщення в межах зони обробки.

Розглянемо детальніше основні робочі органи та механізми, принцип їх роботи та характеристики які впливають на їх продуктивність.

Плазмотрон - це технічний пристрій, який підключається до джерела струму, і служить для утворення потоку плазми. На рисунку 2 зображена конструкція плазмотрона та його основні елементи.

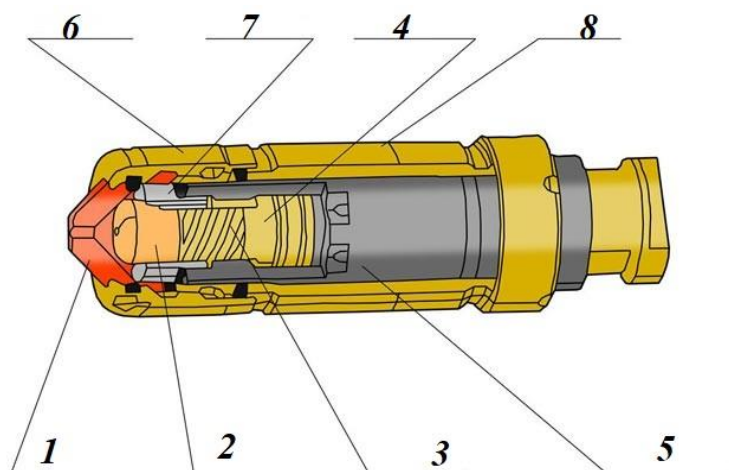


Рисунок 2 - Конструкція плазмотрона. 1 – Сопло, 2 – Електрод, 3 – Механізм закрутки повітряного потоку, 4 – Електродний вузол, 5 – Корпус, 6 – Захисний ковпачок, 7 – Ізоляційна втулка, 8 – Захисний кожух.

При ввімкненні системи плазмового різання, між електродом (2) і соплом (1) запалюється чергова електрична дуга, яка поступово заповнює весь канал. Одночасно починається подача стисненого повітря під тиском 0.5 МПа. Коли повітря проходить через електричну дугу, воно нагрівається і у 50-100 разів збільшує свій об'єм. При цьому повітря іонізується і стає провідником електричного струму. Повітря, іонізуючись і нагріваючись перетворюється на плазму з температурою 25000 – 30000° С. Завдяки конструкції сопла, стовп плазми набуває високої швидкості на виході. В момент дотику стовпу плазми та деталі, що обробляється, запалюється ріжуча дуга, а чергова гасне. Завдяки ріжучій дузі, метал локально розплавляється, а продукти горіння видувуються стисненим повітрям, утворюючи якісний і чистий різ. Захисний ковпачок (6) потрібен для захисту сопла від крапель розплавленого металу, що з'являються у процесі різання. Захисний кожух (8) захищає плазмотрон від механічних пошкоджень і сприяє додатковому охолодженню, тим самим подовжує термін служби усіх компонентів. [4]

За способом запалювання дуги плазмотрони поділяються на плазмотрони прямої та непрямої дії, на рисунку 2.1 зображені схеми їх роботи.

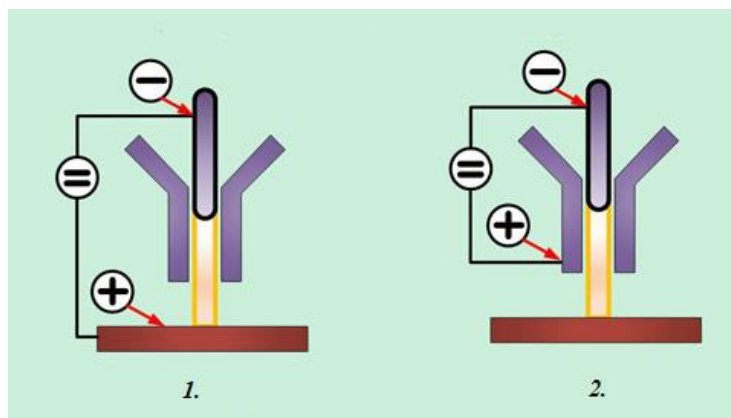


Рисунок 2.1 – Схеми плазмотронів в залежності від способу запалювання дуги.

1 – Плазмотрон прямої дії, 2 – Плазмотрон непрямої дії.

В плазмотронах прямої дії в якості аноду виступає оброблюєма заготовка, а в якості катоду – електрод. Стовп плазменої дуги проникає і занурюється в шар металу майже миттєво і не потребує часу на нагрів металу до температури його

займання. Завдяки високій температурі плазми відбувається локальне плавлення металу і видування його залишків потоком стислого повітря. [5]

В плазмотронах непрямої дії анодом є сопло. Струмінь плазми виноситься з сопла кінетичною енергією робочого газу, що подається в камеру. На відміну від плазмотрона прямої дії, де електричний стовп дуги суміщений з плазмовим струменем, в плазмотронах непрямої дії теплова енергія передається до заготовки тільки нагрітим плазмовим струменем. Не будучи електрично пов'язаним з оброблюємою заготовкою плазмотрон непрямої дії можна використовувати для різання неелектропровідних матеріалів. [5]

За способом стабілізації дуги плазмотрони поділяються на аксіальні та вихрові.

Аксіальна стабілізація дуги забезпечується потоком частини робочого газу, який, проходячи вздовж катода, омиває зовнішню поверхню стовпа дуги і виходить через сопло. Аксіальну стабілізацію найчастіше використовують при плазмовому зварюванні. [5]

При вихровій стабілізації газ надходить в канал по тангенціально розташованому отвору і омиває стовп дуги по спіралі. Вихрова стабілізація забезпечує найбільше стиснення дуги, тому її частіше застосовують в плазмотронах для різання. [5]

Основними характеристиками плазмотрона є максимальна напруга в створеній дузі, діаметр сопла та тип стабілізації дуги. Від цих характеристик залежить максимальна товщина оброблюємого матеріалу, швидкість різання та витрати плазмоутворюючого газу.

Для живлення плазмотрона та керування його електричними параметрами використовують джерела живлення.

Джерело живлення представляє собою стабілізатор струму. Може бути виконано у вигляді трансформатора або інвертора. Трансформатори мають більші габаритні розміри, споживають більше енергії, але вони менш чутливі до перепадів напруги, і за допомогою них можна розрізати заготовки більшої товщини. Широко використовуються у машинобудівній промисловості. Інвертори

компактні, економніші в плані енергоспоживання, але при цьому дозволяють розрізати заготовки меншої товщини. Їх використовують переважно для ручних апаратів пламеної різки.

Основними характеристиками джерела живлення є максимальний вихідний струм, максимальна вихідна напруга, коефіцієнт потужності та номінальний робочий цикл. Максимальна вихідна напруга та струм визначають параметри плазмотрона та режими різання. Коефіцієнт потужності визначає коефіцієнт корисної дії установки. Номінальний робочий цикл визначає час який установка може працювати без відключення і від нього залежить продуктивність всієї установки.

Джерело живлення підключається до плазмотрона, системи ЧПК, газобалонного обладнання та компресора, або має вбудований компресор. Схема підключення джерела живлення зображена на рисунку 2.2.

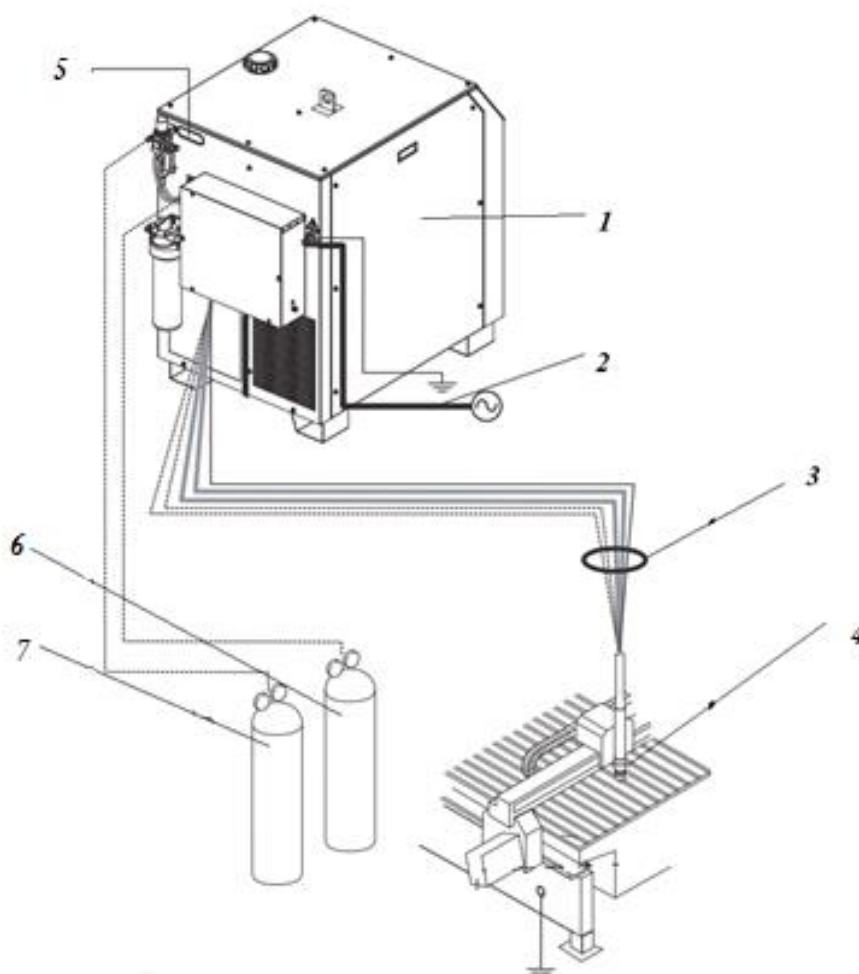


Рисунок 2.2 – Схема підключення джерела живлення. 1 – Джерело живлення, 2 – Основний силовий кабель, 3 – Кабельно-шланговий пакет, 4 – Плазмотрон, 5 – Інтерфейс підключення до СЧПК, 6 – Повітря(O₂), 7 – Захисний газ.

Точність переміщення робочого органу забезпечується механічним приводом що предствляє собою кулько-гвинтову передачу. Кулько-гвинтова передача (КГП) призначена для перетворення обертального руху в поступальний або навпаки. Вона складається з гвинта 1 (рис. 2.3, а), гайки 4 (або двох гайок), комплекту кульок 5, каналів 3 для їх повернення, ущільнювачів 2. При обертанні гвинта гайка переміщається в осьовому напрямку. При обертанні гайки гвинт переміщується в осьовому напрямку.

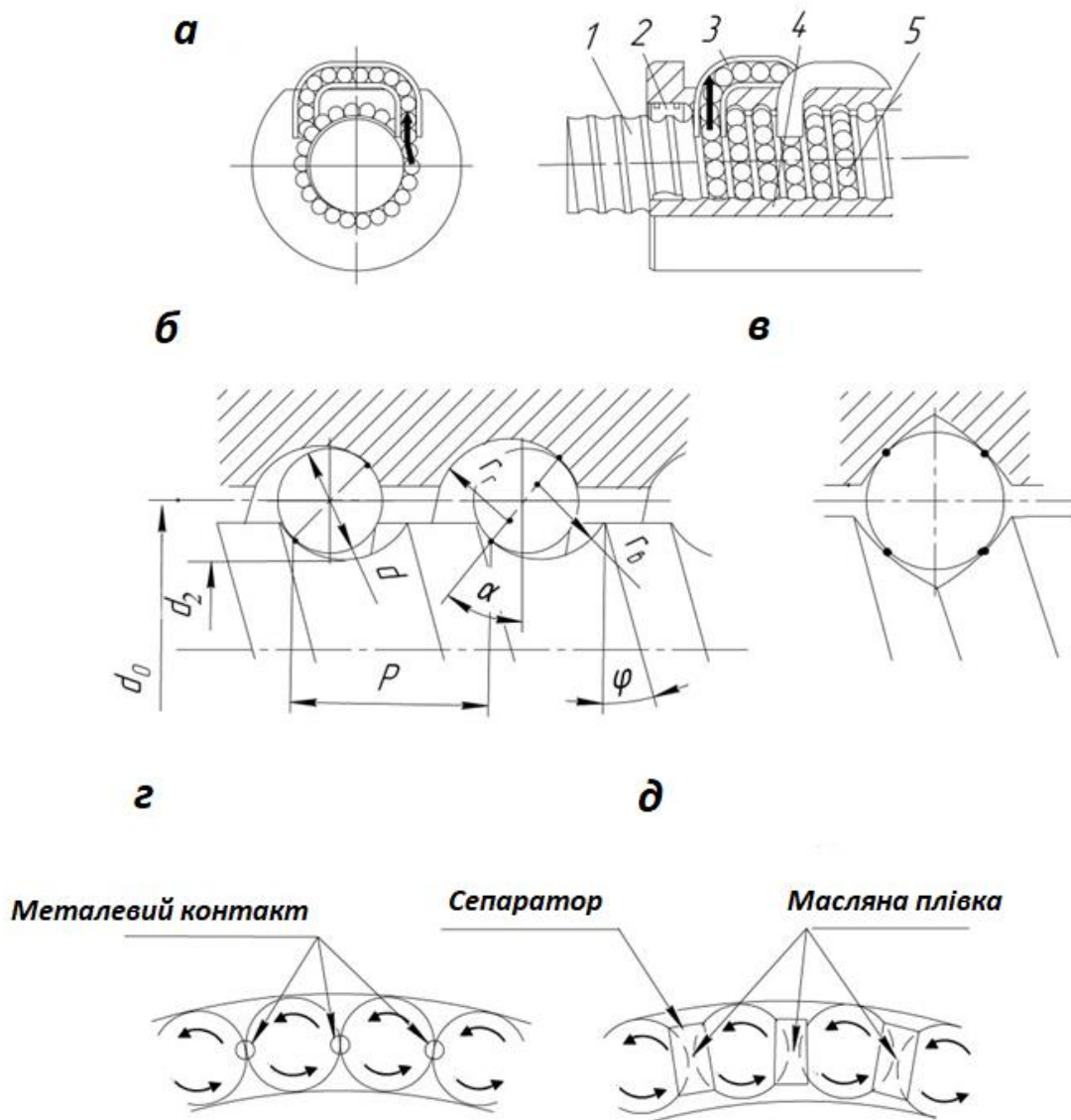


Рисунок 2.3 – Схема кулько-гвинтової передачі.

Профіль різьби задається в розрізі, нормальному до гвинтової лінії. В основному використовується напівкруглий профіль (рис. 2.3, б), що дозволяє створювати дво точковий контакт. Рідше застосовується арочний профіль (рис. 2.3, в), утворений дугами окружності. У порівнянні з напівкруглим профілем він менш технологічний, але завдяки чотирьох точковому контакту передачі на його основі володіють більш високою вантажопідйомністю. [6]

Кульки, що знаходяться в гвинтовому каналі, обертаються і ковзають одна відносно одної в протилежних напрямках зі швидкістю, в два рази більшою за швидкість обертання кожної з них (рис. 2.3, г), що є причиною підвищеного зносу

і шуму. У передачах новітніх конструкцій кульки знаходяться в сепараторі, утвореному шайбами з антифрикційного матеріалу (рис. 2.3, д), завдяки яким на кульках забезпечується постійна масляна плівка, підвищується здатність навантаження передачі, знижуються її шум та знос. [6]

Гвинт і гайку виготовляють з високоякісних підшипникових або цементованих сталей. За однією технологією гвинтові канавки нарізають різцем і після термообробки шліфують; досягається твердість не нижче 60 HRC. За іншою технологією різь на гвинті накочуються. [6]

Превагами КГП являються:

- Малі втрати потужності на подолання тертя та відповідно високий ККД: при кутах підйому гвинтової канавки від 2 до 9 ° він змінюється від 0,85 до 0,98;
- Можливість створювати велику швидкість руху виконавчого органу;
- Можливість усувати в ній осьовий зазор і створювати осьовий натяг, що забезпечує високу жорсткість приводу подачі і точність переміщення робочого органу.

Недоліками передачі є складність виготовлення і необхідність ретельного захисту від забруднень.

Основними характеристиками що впливають на продуктивність КГП є маса яка тисне на неї, діаметр валу, діаметр кульок та крок різьби.

2.2 Режими різання при плазменій обробці

2.2.1 Оптимальні режими різання

Режими різання складаються з параметрів різання та робочого середовища. Основними параметрами різання металів плазмовою дугою є напруга на дузі, діаметр формуючого сопла, сила струму, витрата плазмоутворюючого газу і швидкість різання.

Від діаметра сопла буде залежати кількість газу, який може проходити крізь цей діаметр за одиницю часу. Від кількості витрати газу залежить ширина різку і швидкість обробки. Від напруги на дузі буде залежати товщина матеріалу який

можна обробити.

Прорізаюча здатність плазмової дуги і продуктивність процесу різання залежить від робочого середовища тобто плазмоутворюючого газу який використовується для створення струменю плазми.

Для різання металів товщиною до 60 мм найбільш доцільно використовувати повітря як плазмоутворюючий газ. Повітряно-плазмове різання здійснюється за допомогою плазмотронів з цирконієвими або гафнієвими електродами, котрі можуть протягом довгого часу працювати в окислювальному середовищі при невеликих (до 300 А) силах струму. Для різання металів великих товщин їх застосовувати недоцільно в результаті інтенсивного руйнування електродів при підвищених силах струму. Тому для різання металів товщиною понад 60 мм використовують переважно плазмотрони з вольфрамовим електродом, котрі працюють на азоті або в сумішах аргону з воднем. [7]

У таблиці 2.1 зображені оптимальні режими різання при використанні повітря у якості плазмоутворюючого газу. Данні в таблиці отримані експериментальним шляхом.

Таблиця 2.1 – Оптимальні режими різання.

Матеріал	Товщина , мм	Діаметр р сопла, мм	Сила струму , А	Витрат и газу, л/хв	Напруга , В	Швидкість різання, м/хв	Ширин а різу, мм
Низьковуглецев а сталь	1-3	0,8	30	10	130	3-5	1-1,5
	3-5	1	50	12	110	2-3	1,6-1,8
	5-7	1,4	75	15	120	1,5-2	1,8-2
	7-10	2	100	10	120	1-1,5	2-2,5
	10-15	2	300	20	150	5-2,5	3-3,5
	15-25	3	300	40	160	2,5-1,5	3,5-4
	25-40	3	300	40	170	1,5-0,8	4-4,5

	40-60	3	300	60	180	0,8-0,3	4,5-5,5
Сталь 12X18H10T	5-15	3	250	60	140	5,5-2,6	3
	15-30	3	300	60	160	2,2-1	4
	30-50	3	300	60	180	1-0,3	5
Мідь	10	3	300	60	160	3	3
	20	3	300	60	160	1,5	3,5
	30	3	300	60	170	0,7	4
	40	3	300	60	170	0,5	4,5
	50	3	300	60	180	0,3	5
	60	3,5	400	60	180	0,4	5,5
Алюміній	5-15	2	120	70	170	2-1	3
	30-50	3	280	50	180	1,2-0,6	7

2.2.2 Методика визначення режимів різання

Всі параметри режиму плазмового різання залежать від товщини розрізуваного металу. Залежність між товщиною розрізуваного металу і напругою на дузі може бути виражена через співвідношення:

$$U_d = \frac{A}{\sqrt{b}} H l g b , \quad (2.1)$$

де b - товщина металу, мм;

U_d – напруга на дузі, В;

A і H - коефіцієнти, що залежать від типу плазмоутворюючого газу і його витрати (режиму стабілізації дуги):

- для нормальних режимів $A = 50$; $H = 80$;
- для жорстких режимів $A = 60$; $H = 100$.

Жорсткі режими стабілізації дуги, для яких характерне використання сопел меншого діаметру і підвищена витрата газу, використовують для отримання різів

малої ширини. При цьому напругу на дузі встановлюють на 20-30 % вищу, ніж при звичайних режимах різання. Тому, при жорстких режимах різання виникають підвищені затрати енергії і плазмоутворюючих газів. [7]

Залежність величини сили струму плазмової дуги від діаметру формуючого каналу сопла при плазмовому різанні можна виразити через співвідношення:

$$I = 100D_c, \text{ А}, \quad (2.2)$$

де D_c - діаметр сопла, мм.

Витрати плазмоутворюючого газу залежать від діаметру каналу сопла і режиму стабілізації дуги.

Для нормальних режимів стабілізації дуги:

$$V_n = 5,5^2 D_c, \text{ л/хв.} \quad (2.3)$$

При жорстких режимах стабілізації витрата газу збільшується на 25—30 % і досягає:

$$V_n = 7^2 D_c, \text{ л/хв.} \quad (2.4)$$

Максимальну швидкість плазмового різання можна визначити із співвідношення:

$$W_{max} = \frac{9I \cdot U_d}{D_c \cdot b \cdot q \cdot H_p}, \text{ см/с} \quad (2.5)$$

де U_d - напруга на дузі, В;

b – товщина металу, мм;

q - питома вага металу, г/см³;

H_p - ентальпія нагрівання і плавлення розрізуваного металу, кал/г.

Для отримання різів високої якості фактичні величини швидкості різання ($W_{різ}$) зменшують порівняно з максимально можливим.

2.2.3 Робоче середовище і його вплив на процес обробки металів плазмою.

Від того, який газ використовується, найбільшою мірою залежить якість і ефективність процесу плазмового різання. Різні матеріали і різні товщини матеріалів вимагають різних середовищ для створення плазми. Ці середовища можуть бути газами або газовими сумішами.

Щоб виключити необхідність подальшої обробки після плазмового різання, для обробляемого матеріалу слід підбирати відповідний плазмовий газ. При виборі газу повинні розглядатися фізичні і механічні властивості газів. Для досягнення високої швидкості різання і хорошої якості кромки різу, плазмовий струмінь повинен містити велику кількість енергії, а також мати високу теплопровідність, щоб передавати тепло металу, а також мати високу кінетичну енергію.

В якості плазмоутворюючих газів використовують повітря, аргон, водень, кисень, вуглекислий газ та їх суміші.

Аргон є єдиним інертним газом, який може використовуватися на виробництві з використанням методу повітряної сепарації при об'ємному відсотку 0,9325. Будучи інертним газом, він хімічно нейтральний. Завдяки своїй великій атомній масі (39,95), аргон сприяє витісненню розплавленого матеріалу із зони різу за допомогою високої щільності імпульсів створеного плазмового струменя. [8]

При низькій енергії іонізації, яка становить 15,76 еВ, аргон досить легко можна іонізувати. З цієї причини чистий аргон часто застосовується для запалювання плазмової дуги. Після того як плазмова дуга прямої дії запалюється, подається робочий і починається процес різання. Через свою відносно низьку теплопровідності і ентальпію, аргон не є абсолютно ідеальним газом для плазмового різання, так як він дозволяє досягти тільки відносно невеликій швидкості різання, в результаті чого виходять заокруглення, поверхні мають лускатий вигляд. [8]

У порівнянні з аргоном, водень має дуже маленьку атомну масу (1) і характеризується відносно великою теплопровідністю. Водень має надзвичайно високу максимальну теплопровідність в температурному діапазоні дисоціації, що обумовлюється процесами дисоціації і рекомбінації. Дисоціація водню починається при температурі 2000 К і припиняється повністю при 6000 К. Повна іонізація водню відбувається при температурах близько 25000 К. Спочатку при рекомбінації і іонізації двохатомного водню з дуги вивільняється велика кількість енергії. Це призводить до обтиснення вихідної дуги. Коли дуга досягає поверхні

матеріалу, відбувається рекомбінація заряджених частинок, які віддають енергію у вигляді тепла, підвищуючи температуру розплавленого матеріалу. В'язкі оксиди хрому і алюмінію при додаванні водню відновлюються, що робить розплав більш текучим. З наведеного опису фізичних властивостей слід, що водень, сам по собі, настільки ж не підходить в якості плазмової середовища, наскільки і аргон. Однак, якщо позитивні властивості водню, що стосуються теплових показників (великий вміст енергії і ентальпія) поєднати з великою атомною масою аргону, то одержана в результаті газова суміш дає можливість швидко передавати кінетичну енергію, а також достатню кількість теплової енергії розрізаємому матеріалу. [8]

Азот займає приблизно проміжне положення між аргоном і воднем. Маючи атомну масу 14, азот значно перевершує водень, проте відчутно поступається аргону. Теплопровідність і ентальпія у азоту вище, ніж у аргону, однак менше, ніж у водню. Азот і водень поведуться подібним чином в сенсі можливості обтиску дуги, а також щодо тепла рекомбінації, що створює текучий розплав. Таким чином, азот може використовуватися сам по собі як плазмовий газ. Азот, який використовується в якості плазмового газу, забезпечує швидку різку виробів з тонкими стінками без утворення оксидів. Недоліком є відносно велика кількість борозенок. Практично неможливо домогтися різку з повністю паралельними сторонами. Кут отриманого скосу в великій мірі залежить від встановленого налаштуванням обсягу газу і швидкості різання [8]

Суміші азоту і водню часто використовуються для різання високолегованих сталей і алюмінію. Вони дозволяють виконувати різку з паралельними кромками при значно більш високих швидкостях різання, ніж у випадку аргону. Окислення на поверхнях різку також менше, ніж коли застосовується чистий азот. Такі суміші, які мають назву «формуючі гази», містять до 20% водню. [8]

Суміші аргону з воднем і азотом використовуються для різання високолегованих сталей і алюмінію. Вони забезпечують високу якість країв різку і в меншій мірі формується грат в порівнянні із сумішами аргону і водню. Більшість сумішей, які зазвичай використовуються, складаються на 50 - 60% з аргону, і на 40 - 50% з азоту і водню. Процентний вміст азоту зазвичай становить

30%. Кількість водню залежить від товщини виробу: чим товще матеріал, тим більше слід використовувати водню. Додаючи азот в суміш аргону і водню при різанні високолегованих і конструкційних сталей, можна отримати кромки без грата, а також домогтися великої швидкості різання. [8]

Кисень застосовується в якості плазмового газу для різання нелегованих і низьколегованих сталей. Коли кисень змішується з розплавом, знижується його в'язкість, завдяки чому розплав набуває велику плинність. Це зазвичай дає можливість отримати кромки різі без грата і верхні краю без заокруглень. З'являється можливість досягти більш високих швидкостей різання, ніж у випадку з азотом і повітрям. На відміну від азоту або повітря, при використанні кисню поверхні різання не насичуються азотом, а значить, ризик виникнення пір при подальшому зварюванні зводиться до мінімуму. [8]

Завдяки високій швидкості різання ширина зони, яка підлягає впливу тепла дуже мала, тому механічні властивості металу, що розрізає не погіршуються. Висока швидкість різання пояснюється протіканням хімічної реакції кисню з матеріалом заготовки.

Вуглекислий газ зазвичай не використовується в якості плазмового газу для плазмового різання. У рідких випадках його використовують як вторинний або охолоджуючий газ.

Основними складовими повітря є азот 78,18% і кисень 20,8%. Поєднання цих двох газів дає багату енергією суміш. Повітря застосовується в якості плазмового газу для різання нелегованих, низьколегованих, високолегованих сталей і алюмінію. Зазвичай повітря використовується для ручного різання, а також для різання тонкого листа. Якщо різання нелегрованої сталі виконується застосуванням в якості плазмового газу повітря, то кромки різі виходять прямими і досить гладкими. [8]

В таблиці 2.2- представлені рекомендовані гази в залежності від матеріалу оброблюємої заготовки та її товщини.

Таблиця 2.2 – Робочі середовища

Матеріал/товщина	Плазмовий газ	Вторинний газ	Примітка
Конструкційна сталь від 0,5 до 8 мм.	Кисень	Кисень або суміш азоту з киснем	Допуск нерівності схожий з забезпечуваним лазером Гладкі кромки без грата
Конструкційна сталь від 4 до 50 мм	Кисень	Кисень або суміш повітря з азотом	Допуск нерівності до 25 мм схожий з забезпечуваним лазером Гладка поверхня різі До 20 мм без грата
Високолегована сталь від 1 до 6 мм	Азот	Повітря або суміш кисню з азотом	Гладкі кромки без грата
Високолегована сталь від 5 до 45 мм	Аргон або Водень	Азот або суміш азоту з воднем	Гладка поверхня різі До 20 мм без грата
Алюміній від 1 до 6 мм	Повітря	Азот або суміш азоту з воднем	Майже вертикальний різ Різ без грата
Алюміній від 5 до 40 мм	Аргон або Водень	Азот або суміш азоту з воднем	Майже вертикальний різ До 20 мм без грата

Однак, як газ для різання, повітря підвищує вміст азоту на поверхнях різі.

Якщо такі кромки різі надалі не піддаються механічній обробці, в звареному шві можуть утворюватися пори. При різанні алюмінію кромки різі можуть змінити свій колір. [8]

Для створення робочого середовища може використовуватися вода. При певній температурі вода розпадається на водень і кисень. Якщо додати більшу кількість енергії, вода піддається дисоціації і іонізації. У разі плазмового різання з уприскуванням води і плазмового різання з водяним екраном, частина води

використовується для передачі тепла, тоді як інша частина допомагає виконувати обтиснення плазмової дуги і охолоджувати сопло. [8]

2.2.4 Системи охолодження

Використання установок плазмової різки в промисловості передбачає безперервний робочий цикл. Під час робочого циклу відбувається зношення сопла та електрода плазмотрона, що призводить до погіршення якості обробки. З метою зменшення температурного впливу на електрод та сопло плазмотрона використовують системи охолодження. Існують два способи охолодження плазмотрона:

- Використання водяної системи охолодження;
- Використання захисних газів.

Водяна система охолодження передбачає підключення патрубків з водою до плазмотрона та подачу води по спеціальним каналам, які розміщені між соплом та захисним кожухом. На рисунку 2 зображена схема роботи водяного охолодження плазмотрона.

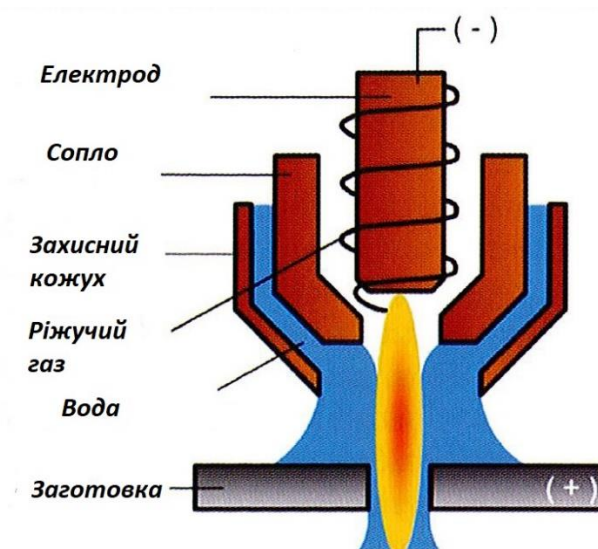


Рисунок 2.3 – Схема роботи водяного охолодження.

Використання водяної системи охолодження дозволяє покращити гігієнічні умови праці робітників, забезпечує підвищену якість кромки та зменшує теплові деформації.

Недоліками водяного охолодження є наявність додаткового обладнання для циркуляції води, резервуарів для її зберігання та фільтрів для очищення. Використання водяного охолодження рекомендується при обробці матеріалів товщина яких перевищує 60мм.

Охолодження за допомогою захисних газів передбачає впуск захисного газу до вихідної камери сопла. Струмінь плазми виривається з сопла та за допомогою кінетичної сили виштовхує захисний газ. Захисний газ розповсюджується в робочій зоні та проникає в різ. На рисунку 2.1 зображена схема роботи охолодження за допомогою захисного газу.

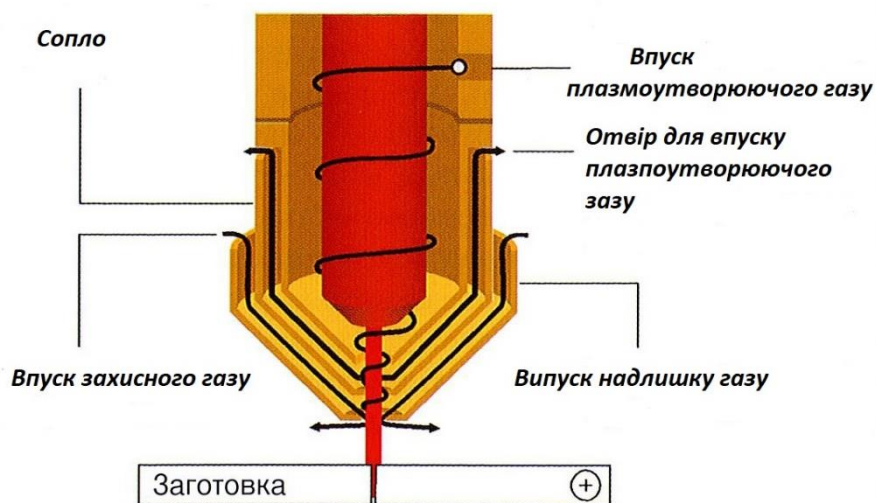


Рисунок 2.4 – Схема роботи охолодження за допомогою захисних газів.

В якості захисних газів використовуються кисень, азот, водень та їх суміші. Використання захисних газів дозволить значно подовжити строк роботи сопла плазмотрона, покращує якість різки та забезпечує відсутність окалини на зовнішньому боці оброблюваної заготовки.

Недоліками охолодження за допомогою захисних газів є підвищені вимоги до чистоти газу. Використання газового охолодження рекомендується для автоматичного швидкісного різання тонкого листового металу та фігурного різання.

2.3 Вибір головного робочого органу і його характеристики

Метою дипломної роботи є проектування плазморіжучого верстата. В якості головного робочого органу на верстатах для плазменої різки використовуються плазмотрони. В даному підрозділі проаналізуємо існуючі плазмотрони, їх характеристики, переваги та недоліки. Оберемо плазмотрон який у подальшому буде використаний при проектуванні верстату.

На сьогоднішній день ринок плазморіжучого обладнання представляють такі компанії як ThermaCut (Чехія), Jäckle (Німеччина), Hypertherm (США), Jasic (Китай), Енергія (Україна), Blueweld (Італія). Розглянемо п'ять моделей плазмотронів від різних виробників, виділимо їх переваги та недоліки. У таблиці 2.3 показані переваги та недоліки плазмотронів.

Таблиця 2.3 – Переваги та недоліки плазмотронів.

Назва	Переваги	Недоліки
HyPro2000 від компанії Hypertherm	- Висока якість обробки; - Система швидкого встановлення; - Висока швидкість різання.	- Великі габаритні розміри;
CUT-120 від компанії Blueweld.	- Компактні розміри; - Висока якість обробки; - Полегшений корпус;	- Відсутній захист сопла; - Низька потужність
LTM-200 від компанії ThermaCut.	- Висока точність; - Висока потужність дуги.	- Великі розміри; - Складна система кріплення.
JC-150 від компанії Jasic.	- Висока швидкість різання; - Компактні розміри.	- Низька точність обробки; - Мала потужність
DFCut200 від компанії Jäckle.	- Висока потужність дуги; - Швидкість різання	- Низька точність обробки; - Низька точність.

Розглянемо технічні характеристики плазмотронів, порівняємо їх та оберемо найкращий. В таблиці 2.4 представлені технічні характеристики плазмотронів.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики плазмотронів.

Назва	Діаметр сопла, мм	Дугова напруга, В	Швидкість різання, мм/хв	Максимальна сила струму, А	Швидкість прожогу, с
HyPro2000	0,5-5	200	5969	300	0,3
CUT-120	0,8-2,5	120	5100	200	0,4
LTM-200	1,2-3	200	5012	300	0,8
JS-150	3	150	5981	250	0,5
DFCut200	1,5-3	200	5842	300	0,9

В якості головного робочого органу для майбутнього верстата обираємо плазмотрон HyPro2000 від компанії Hypertherm (Рисунок 2.5)

Данна модель плазмотрону здатна створити дугову напругу в зоні обробки в 200 В, від показника дугової напруги буде залежати товщина оброблюємої заготовки.

Швидкість прожогу це час за який плазмотрон здійснить прожог 1 мм заготовки. Чим швидше відбувається прожог, тим менші виникають температурні деформації і тим краща якість різку. HyPro2000 здійснює прожог 1 мм заготовки за 0,3 секунди це забезпечить високу якість різку та дозволить уникнути подальшої механічної обробки заготовки.

Від діаметра сопла плазмотрона залежить кількість газу, який може проходити крізь цей діаметр за одиницю часу. Від кількості витрати газу залежить ширина різку, швидкість обробки і швидкість охолодження плазмотрона. HyPro2000 має найширший діапазон діаметрів сопла якими може оснащуватися від 0,5 до 5 мм, це дозволить підібрати сопло яке буде оптимальним для більшості оброблюємих матеріалів.

Обраний плазмотрон має найвищий показник швидкості різання який складає 5969мм/хв, від швидкості різання буде залежати продуктивність усього верстата.

Максимальна сила струму складає 300 А, від цього показнику буде залежати температура яка виникає в робочій дузі плазмотрона. Висока температура дуги дозволить обробляти заготовки з жароміцних матеріалів.

Для виконання якісного рівного різку плазмотрони повинні бути встановлені перпендикулярно до оброблюємої заготовки під кутом 90 градусів. НуPro2000 оснащений магнітною системою кріплення яка забезпечить точність встановлення.

Плазмотрон оснащений газовою системою охолодження, що дозволяє використовувати захисні гази. Вони забезпечують охолодження електроду та сопла і підвищують якість різку.



Рисунок 2.5 – Плазмотрон НуPro2000.

Обравши плазмотрон необхідно обрати джерело живлення для нього. Плазмотрон не може житися від звичайної мережі тому необхідно обрати установку для стабілізації струму.

Розглянемо п'ять моделей джерел живлення від різних виробників, виділимо їх переваги та недоліки. У таблиці 2.5 зображені переваги та недоліки джерел живлення.

Таблиця 2.5 – Переваги та недоліки джерел живлення.

Назва	Переваги	Недоліки
MaxPro200	<ul style="list-style-type: none"> - Безперервний цикл роботи; - Вбудований компресор; - Активне охолодження; - Наявність інтерфейсу підключення до СЧПК. 	<ul style="list-style-type: none"> - Великі габаритні розміри; - Чутливість до вологи.

Big Plasma 83 HF	- Компактні розміри; - Безперервний цикл роботи.	- Пасивне охолодження; - Чутливість до запилення.
Plasma 120 S	-Вбудований компресор; - Захист від перенавантаження.	- Великі габаритні розміри; - Підключення до СЧПК за допомогою додаткових модулів; - Пасивне охолодження.
PRO CUT-160	- Наявність інтерфейсу підключення до СЧПК; - Безперервний цикл роботи; - Активне охолодження;	- Великі габаритні розміри; - Низький ККД.
Jasic CUT-150	- Компактні розміри; - Наявність інтерфейсу підключення до СЧПК; - Система захисту від перенавантаження;	- Пасивне охолодження; - Чутливість до запилення; - Відсутність вбудованого компресора.

Розглянемо технічні характеристики джерел живлення, порівняємо їх та оберемо найкраще. В таблиці 2.6 представлені технічні характеристики джерел живлення.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики джерел живлення.

Назва	Вихідна напруга, В	Максимальний вихідний струм, А	Номінальний робочий цикл, %	Коефіцієнт потужності, %
MaxPro200	200	300	100	0,98
Big Plasma 83 HF	150	250	100	0,96
Plasma 120 S	120	200	80	0,92
PRO CUT-160	160	250	100	0,86

Jasic CUT-150	150	250	85	0,94
---------------	-----	-----	----	------

В якості джерела живлення для плазмотрону NuPro2000 обираємо джерело живлення MaxPro200 від компанії Hypertherm (Рисунок 2.6).

Максимальний струм який споживає плазмотрон складає 300 А, обране джерело живлення здатне задовольнити цей показник.

Джерело живлення здатне працювати у безперервному режимі, цьому сприяє наявність вбудованої активної системи повітряного охолодження. Установка забезпечить безперервний цикл роботи плазмотрона, це призведе до покращення показнику продуктивності усього верстата.

Джерело живлення MaxPro200 оснащено інтерфейсом для підключення до СЧПК, це дозволить реалізувати автоматичний контроль плазмотрона, шляхом підвищення або зменшення величини вихідного струму.

Недоліком установки живлення являється великі габаритні розміри але це компенсується вмонтованим у корпус компресором, це дозволить відмовитися від додаткового обладнання.



Рисунок 2.5 – Джерело живлення MaxPro200

2.3.1 Вплив параметрів сопла і дугової камери на ефективність плазменної різки.

Наряду з катодом сопло є основним елементом плазмотрона, що визначає його технічні характеристики і ресурс роботи. Призначення сопла - управління геометричними та енергетичними параметрами дуги. Крім того, воно формує і стабілізує прикатодну область дугового стовпа. До основних параметрів сопла відносяться діаметр і висота каналу, геометрія робочої камери плазмотрона. [9]

Діаметр і висоту каналу сопла вибирають в залежності від величини робочого струму, складу і витрати плазмоутворюючого газу, при цьому доводиться знаходити найбільш сприятливе поєднання таких показників, як технологічні можливості і надійність роботи плазмотрона.

В плазмотронах для різання при заданому струмі і витраті плазмоутворюючого газу необхідно прагнути до зменшення діаметра і збільшення висоти каналу. Така зміна розмірів каналу сопла сприятливо позначається на технологічних можливостях плазмотрона - збільшується швидкість різання, підвищується чистота і вертикальність крив різку, зменшується ширина різку. Разом з тим падає стійкість сопла і виникають труднощі з запалюванням дуги. Внаслідок зменшення діаметра прикатодної області дуги ростуть теплові потоки в електроді, що призводить до зниження ресурсу його роботи. [9]

Існують два механізми ерозії сопла: внаслідок перевищення допустимих теплових навантажень на нього і через виникнення подвійної дуги, причому, як правило, перевищення теплових навантажень на сопло призводить до виникнення подвійної дуги. Пояснюється це тим, що теплопровідність газової оболонки, що примикає до внутрішньої поверхні каналу, при збільшенні теплового потоку зростає вище допустимого, при цьому відбувається інтенсивний розігрів пристінкового шару плазмоутворюючого газу, що створює умови для електричного пробоя цього шару і виникнення подвійної дуги. [9]

Із забезпеченням достатнього охолодження сопла необхідно оптимізувати процес подачі плазмоутворюючого газу в його канал. При конструюванні слід враховувати не тільки канал сопла, а й дугову камеру плазмотрона в цілому. [9]

Одним з елементів дугового камери є вихрова закрутка, яка забезпечує тангенціальну подачу плазмоутворюючого газу в канал сопла. Конструктивно вона представляє собою багатозахідну різь (3-6 заходів) з великим кроком (6-12 мм), виконану концентрично на бічній поверхні електродотримача. [9]

Основна перевага тангенціальної подачі полягає в тому, що вона дозволяє більш жорстко локалізувати стовп дуги в каналі сопла, утворити стійкий щільний пристінковий шар плазмоутворюючого газу в основному за рахунок турбулізації прикордонного шару в каналі, кращого конвективного теплообміну з нагрітою поверхнею каналу сопла і більш високій швидкості газу. [9]

Аксіальна подача газу дає можливість краще організувати потік плазми. Однак при цьому знижується просторова стабілізація стовпа дуги і збільшується ймовірність подвійного дугоутворення. І тоді для кожного конкретного випадку доводиться знаходити найбільш сприятливе поєднання чинників технологічних можливостей і надійності плазмотрона. [9]

Параметри дугового камери (такі, як висота і діаметр каналу сопла, кількість заходів, крок і глибина закрутки) суттєво впливають на якість процесу плазмової обробки і надійність плазмотрона. У зв'язку з переходом на форсовані режими різання (з підвищеною щільністю струму в каналі сопла і більш високою витратою плазмоутворюючого газу) якість виконання окремих елементів дугового камери має суттєве значення. [9]

Для кожної конструкції плазмотрона, для різання існує цілком певна геометрія дугового камери, що дозволяє отримати найкращі показники - найбільшу швидкість при високій якості поверхні різання. Схематичне зображення дугового камери і її параметри, які враховуються при оптимізації, наведені на рисунку 2.6.

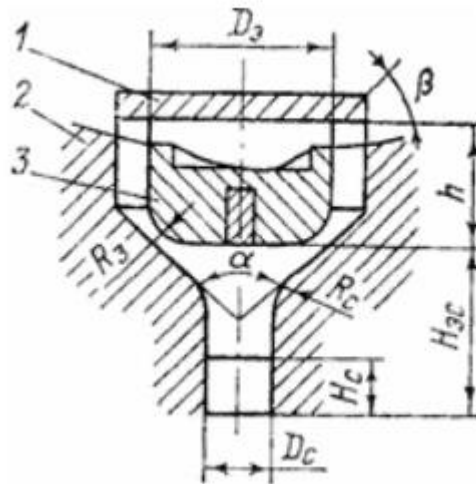


Рисунок 2.6 - Конструктивні параметри дугової камери плазмотрона:
 1 - закрутка; 2 - сопло; 3 - електрод; D_3 - діаметр катода; β - кут закрутки;
 h - відстань активної поверхні катода від закрутки; $H_{ас}$ - відстань активної
 поверхні катода від зрізу сопла; $H_с$ - висота циліндричної частини каналу сопла;
 $R_с$ - радіус заокруглення сопла; $D_с$ - діаметр циліндричної частини каналу сопла;
 α - кут розкриття сопла; $R_з$ - радіус заокруглення катода.

Сопло виконує також роль допоміжного електрода, що забезпечує запалювання допоміжної, чергової дуги. З її допомогою здійснюється перехід до збудження основної, робочої дуги, яка горить між катодом (анодом) плазмотрона і оброблюваним виробом. [9]

Стабільне збудження чергової і робочої дуги при заданій напрузі холостого ходу джерела живлення можливо тільки при певній величині струму чергової дуги. Для підвищення надійності збудження збільшують струм чергової дуги. Разом з тим з ростом струму підвищується тепловий потік в сопло викликаючи його ерозію. А навіть незначна ерозія сопла призводить до збільшення витрати плазмоутворюючого газу, порушення просторової стабілізації дуги і швидкому виходу сопла з ладу. Отже, і тут необхідно знаходити оптимальне поєднання параметрів, що забезпечує стабільне збудження чергової і основної дуги при мінімальному зносі сопла плазмотрона. [9]

Спроби підвищити дугостійкість робочої поверхні сопла шляхом нанесення тугоплавких покриттів (наприклад, вольфраму) призводять до погіршення

тепловідведення від пристінкового шару газу, що збільшує ймовірність його пробою, виникнення подвійної дуги і, як наслідок, руйнування.

Сопло являється розхідним матеріалом і втрачає свої параметри в процесі різання з плином часу. Під час зношення сопла його профіль частково руйнується, що відображається на профілі вихідного струменю плазми. Зміна профілю сопла призводить до погіршення якості обробки. Необхідно виконувати контроль параметрів сопла і у разі їх відхилення проводити своєчасну заміну. Існує ряд рекомендацій для подовження строку служби сопла, вони включають в себе:

- Для уникнення потрапляння розплавленого металу на сопло необхідно використовувати захисні копачки;
- Уникати контакту сопла з оброблюємою заготовкою;
- Для уникнення утворення подвійної дуги використовувати ізоляційні втулки;
- Використовувати водяну або газову систему охолодження;
- Контролювати чистоту плазмоутворюючого газу;
- Встановлювати режими різання передбачені плазмотроном.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка верстата.

Спираючись на знання отримані внаслідку проведення аналізу компоновок плазморіжучих верстатів та їх основних органів, в даному розділі буде проведена розробка верстату для плазменої різки.

3.1.1 Вимоги до розробляемого обладнання.

Основними операціями які будуть виконуватися на верстаті є роздільне різання металевих листів та вирізання плоских фігур складної конфігурації. В якості заготовок будуть використовуватися прокатні сталеві листи. Стандартні розміри листа для гаряче та холодно катаної сталі складають 1250x2500 мм і 1000x1200 мм для оцинкованої. Отже розмір робочого поля верстата повинен складати 1250x2500 мм. Прорізаюча здатність верстата повинна складати для якісного різку 0.2 - 30 мм, для роздільного різку 60 мм. Швидкість різання повинна складати 5500мм/хв, а швидкість пересування 15000 мм/хв. Точність позиціонування повинна складати 0,05 мм. Верстат повинен мати просту конструкцію з мінімальною кількістю вузлів. Обробка повинна виконуватися в автоматизованому режимі, під контролем СЧПК згідно до керуючої програми. Верстат повинен бути оснащений газовою системою охолодження та мати можливість працювати у безперервному робочому циклі.

На сьогоднішній день на ринку плазморіжучого обладнання представлена велика кількість верстатів від різних виробників. Порівняємо технічні характеристики розробляемого верстата з уже існуючими і проаналізуємо чи здатен він конкурувати з ними. В таблиці 3 представлені технічні характеристики розробляемого та вже існуючих верстатів.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики верстатів.

Параметри/Найменування	Розробляємий	Tesla Weld CNC-CUT LP	MARLIN STINGER	Vector 3020P
Розмір столу, мм	1250x2500	1300x3000	1200x2000	1250x2000
Максимальна вага заготовки, кг	1000	1000	710	750
Товщина якісного різну, мм	0,2-30	0,5-15	0,5-25	0,5-20
Товщина роздільного різну, мм	60	30	50	35
Швидкість різання, мм/хв	5500	5000	5000	5300
Швидкість переміщення мм/хв	15000	10000	12000	15000
Система ЧПК	Phoenix	Mach3	Mach3	ESA CNC
Система охолодження	Газ	-	-	Газ
Захист плазмотрона від зіткнення	+	+	-	+
Точність позиціонування, мм	0,05	0,15	0,5	0,1

Проаналізувавши технічні характеристики верстатів можемо бачити, що розробляємий верстат має найбільшу товщину різну як якісного так і роздільного. Має найкращі показники точності позиціонування, що відобразиться на якості виготовлених деталей. Оснащений новітньою системою програмного керування. Має найбільшу швидкість різання, що відобразиться на продуктивності. Має не найбільший робочий стіл, але його достатньо для розміщення листів стандартного розміру.

Можемо зробити висновок, що технічні характеристики розробляемого верстата дають йому змогу конкурувати з уже існуючим.

3.1.2 Розробка кінематичної схеми верстата

Була розроблена кінематична схема (Рисунок 3.1).

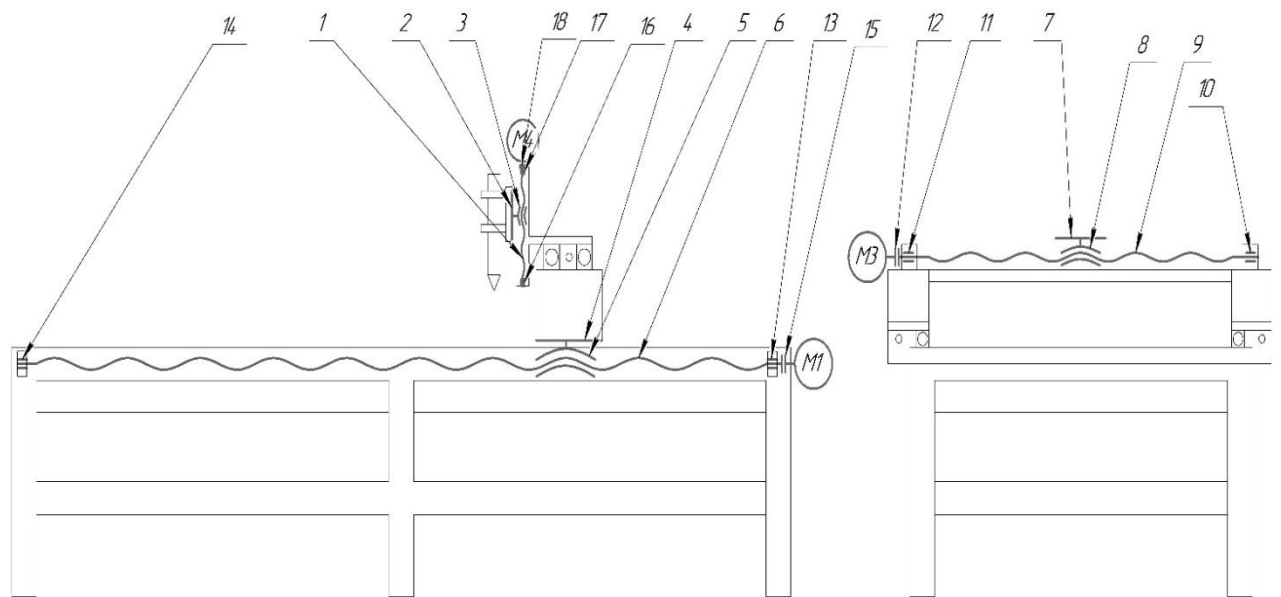


Рисунок 3.1 – Кінематична схема верстата

Розглянемо послідовність передачі руху від двигунів до робочих органів

Двигун М1 отримує імпульс від СЧПК і починає обертати гвинт 6, вони з'єднані між собою муфтою 15, в місцях кріплення гвинта до станини встановлені підшипники 13 і 14. Обертаючись гвинт 6 приводить у рух гайку 5 до якої прикріплений супорт 4. Переміщуючись гайка приводить в рух портал який встановлений на супорті 4. Таким чином відбувається рух по осі Y.

Двигун М3 отримує імпульс від СЧПК і починає обертати гвинт 9, вони з'єднані між собою муфтою 12, в місцях кріплення гвинта до порталу встановлені підшипники 10 і 11. Обертаючись гвинт 9 приводить у рух гайку 8 до якої прикріплена монтажна плита 7. Переміщуючись гайка приводить в рух монтажну плиту на якій закріплений привід переміщення по осі Z і плазмотрон. Таким чином відбувається рух по осі X.

Двигун М4 отримує імпульс від СЧПК і починає обертати гвинт 1, вони з'єднані між собою муфтою 18, в місцях кріплення гвинта до монтажної плити

встановлені підшипники 16 і 17. Обертаючись гвинт 1 приводить у рух гайку 2 до якої прикріплений опорний модуль плазмотрона. 3. Переміщуючись гайка приводить в рух опорний модуль 3 на якому закріплений плазмотрон. Таким чином відбувається рух по осі Z.

3.2 Контсеруювання та розрахунок

3.2.1 Компоновка верстата

Верстат представляє собою порталну механічну конструкцію, що базується на зварному каркасі, суцільний з робочим столом. На верхній частині каркасу жорстко закріплені циліндричні рейкові напрямні по яким переміщується портал.

Стіл представляє собою ламельну конструкцію з піддоном, що заповнюється водою.

Портал переміщується по лінійним циліндричним рейковим напрямним, з навісним обладнанням. На конструкції порталу розташовані напрямні по яким переміщується опорний модуль різака, механічний привід у вигляді КГП та серводвигун який приводить його в рух.

На опорному модулі різака закріплений шпindelний вузол. Він складається з монтажної плити яка переміщується по напрямних, КГП та серводвигуна. На монтажній плиті встановлений механізм кріплення різака, оснащений магнітною системою швидкого кріплення та сам різак.

Газо-балонне обладнання підключене до компресора який розташований у корпусі установки джерела живлення. Через кабельно-шланговий пакет джерело живлення підключається до різака.

Верстат оснащений комп'ютерною системою керування, що забезпечує введення керуючих програм за допомогою з'ємних USB накопичувачів, а також безпосередньо з пульта оператора. Система ЧПК підключена до драйверів серводвигунів, джерела живлення та модулю положення різака.

На рисунку 3.2 зображений загальний вигляд розробляемого верстат.

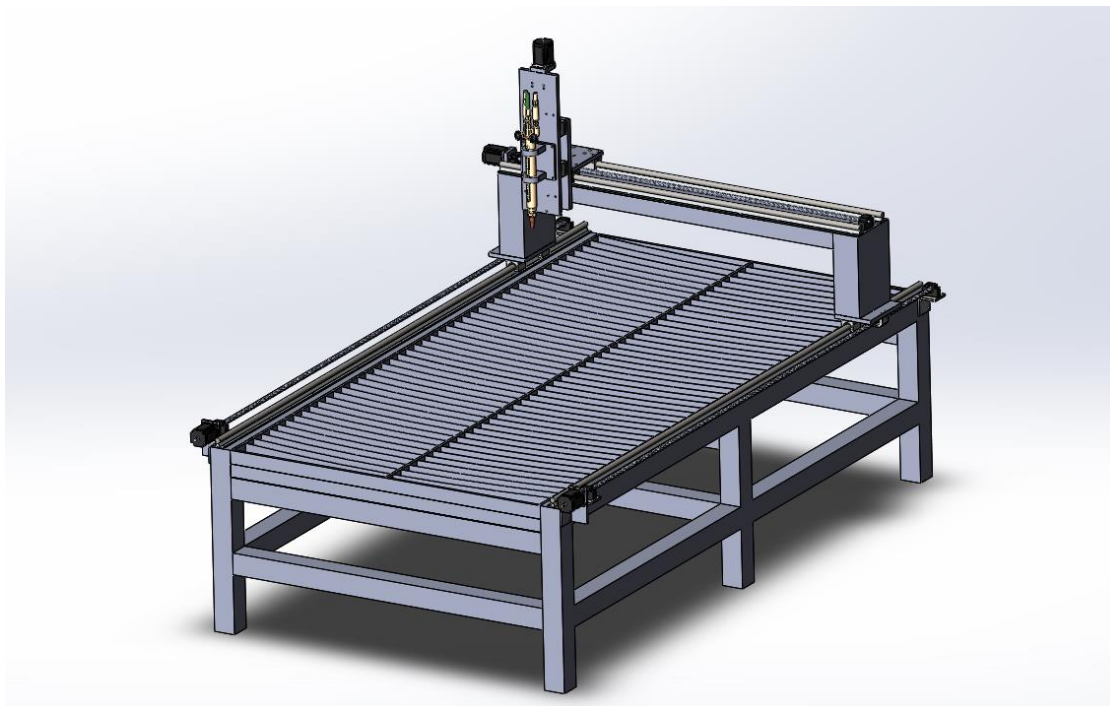


Рисунок 3.2 – Плазморіжучий верстат.

3.2.2 Станина верстату

Основною вимогою для станини є зберігання незмінності форми, тобто її міцність. На станину монтується все навісне обладнання та напрямні по яким воно переміщується і від міцності станини буде залежати точність переміщення усіх вузлів та точність обробки верстата.

В якості станини обираємо зварний каркас з сталюого профілю 80x80 мм, зварна станина забезпечує більшу міцність ніж скріплена болтами. Матеріал станини обираємо сталь20 – це нелегована якісна конструкційна сталь, вона добре зварюється, має твердість 179 МПа та здатна працювати при температурі 450° С.

В програмі SOLIDWORKS виконуємо побудову моделі станини (Рисунок 3.3).

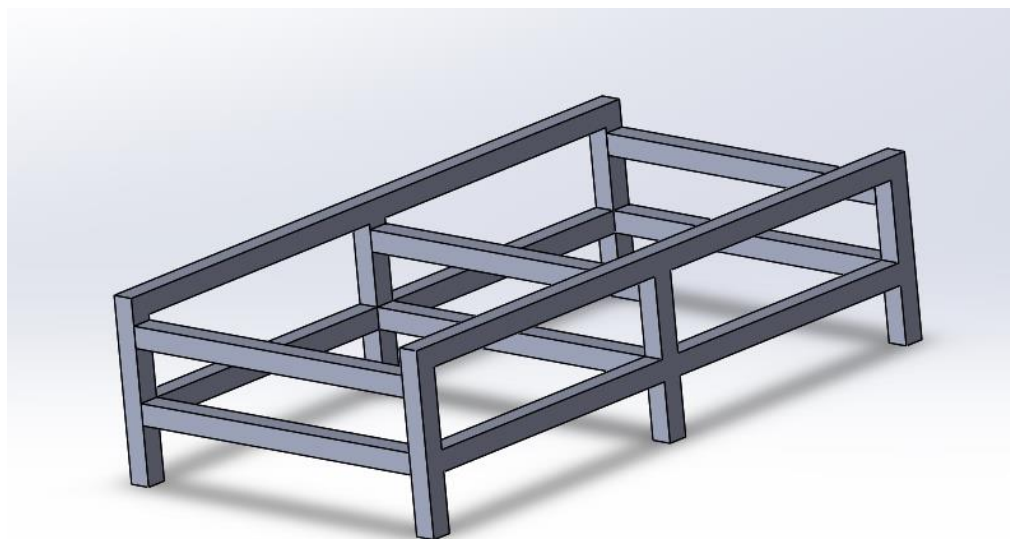


Рисунок 3.3 – Станина верстата.

Після моделювання станини необхідно виконати розрахунок для визначення коефіцієнту запасу міцності. Для проведення розрахунку будемо використовувати програму SOLIDWORKS Simulation.

Послідовність виконання дослідження наступна:

- Завантажуємо модель до програми;
- Вказуємо матеріал;
- Вказуємо місця опори;
- Вказуємо силу тяжіння;
- Вказуємо область на яку буде діяти навантаження;
- Задаємо силу з урахуванням максимальної маси заготовки, маси столу з піддоном який заповнений водою (20000Н).
- Будуємо сітку розподілення сили;
- Запускаємо симуляцію (Рисунок 3.4).

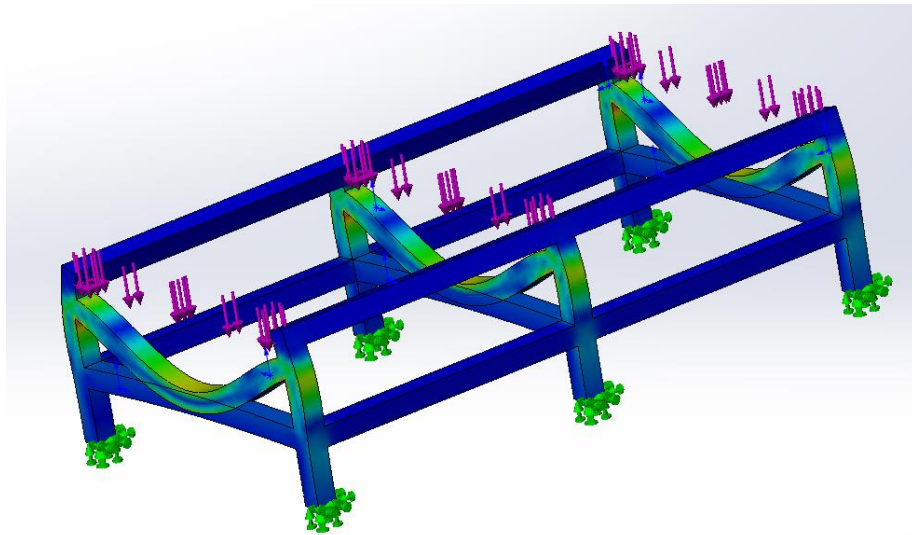


Рисунок 3.4 – Симуляція навантаження на станину.

В результаті дослідження отримуємо графіки деформації, переміщення, напруження та коефіцієнт запасу міцності. На рисунку 3.5 зображені результати дослідження.

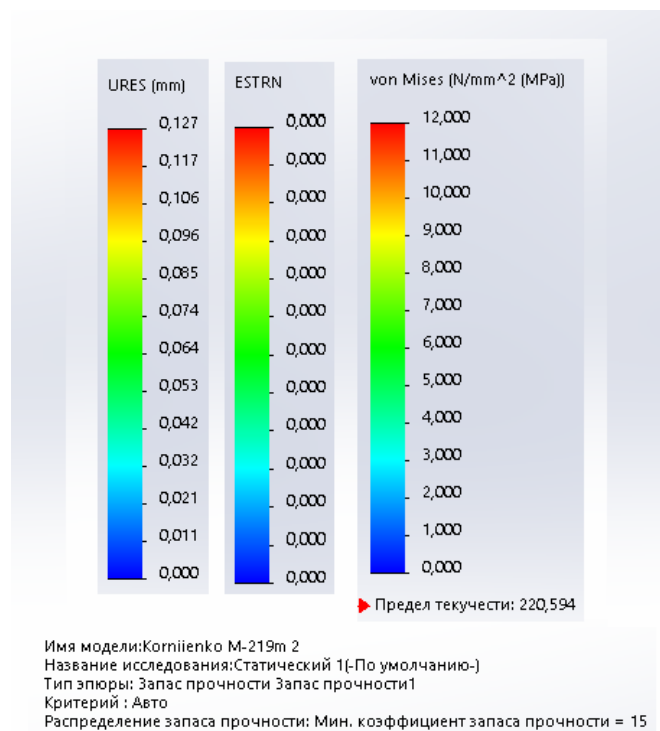


Рисунок 3.5 – Результати дослідження станини на міцність.

З графіків можемо бачити, що максимальне переміщення складає 0,127 мм, деформація відсутня, а коефіцієнт запасу міцності складає 15. Для сталей коефіцієнт запасу міцності повинен бути більшим ніж 1,5 отже можемо стверджувати, що станина витримає задане навантаження.

3.2.3 Стіл верстату

В якості столу обираємо стіл зі зварних ламелей, оснащений піддоном який заповнюється водою (Рисунок 3.6).

Перевагою столу з ламелей порівняно зі столом з ґратів є те, що у разі пошкодження однієї ламелі, вона може бути замінена без впливу на геометрію столу. А перевагою перед столом з ґратчастої сітки являється більша вібростійкість.

Величина прожогу задана режимами різання та контролюється автоматикою верстата тому безпосереднього впливу струменю плазми на стіл немає, але залишки розплавленого металу від оброблюємої заготовки будуть потрапляти на стіл. Тому в якості матеріалу столу обираємо жароміцну сталь марки 20X13, вона здатна витримувати температуру у навантаженому стані до 1000° С.

В якості піддону для столу обираємо піддон, що заповнюється водою. Це сприяє тому, що частини розплавленого металу, що утворюється в процесі різання будуть проходити крізь ламелі та потрапляти у воду. Вода у піддоні забезпечує уловлювання 98% випарів які з'являються під час термічного різання.

Перевагами піддону що заповнюється водою порівняно з тими які підключається до витяжної системи являються менші габаритні розміри та простота процесу очистки.

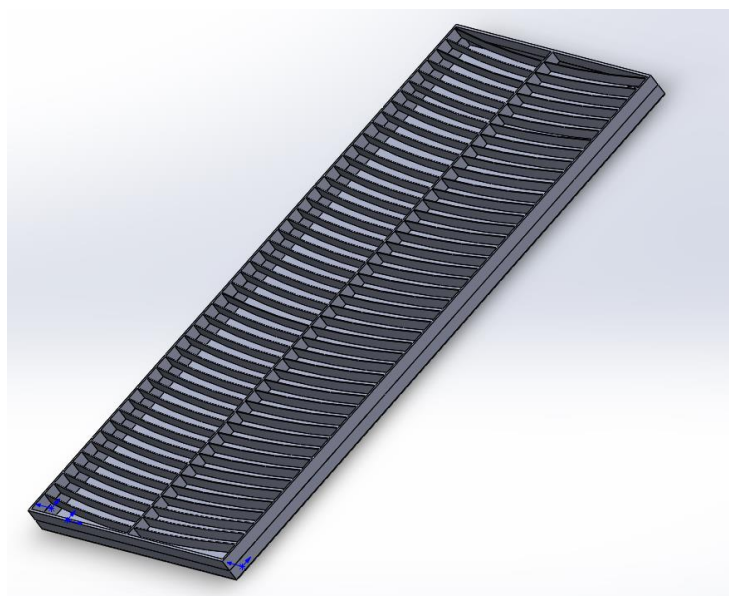


Рисунок 3.6 – Стіл з піддоном.

3.2.4 Вибір напрямних

В якості напрямних обираємо циліндричні рейкові напрямні. Вони представляють собою шліфований вал який встановлений на лінійній опорі. Лінійні опори служать для підтримки валу по всій довжині, що запобігає його прогину під впливом навантаження. Опори жорстко кріпляться до станини верстату за допомогою болтів.

Так як одною з основних операцій, що буде виконуватися на верстаті є фігурне різання циліндричні напрямні забезпечать плавність ходу та високу швидкість переміщення, що позитивно відобразиться на точності контуру отриманої деталі.

В якості каретки обираємо фланцевий опорний модуль. Він має винесений майданчик (фланець) для приєднання до відповідної деталі верстата. При цьому кріпильний отвір каретки наскрізний, що дозволяє встановити елементи кріплення як зверху, так і знизу. Каретки даного типу мають регульовальний болт для ручного регулювання преднатягу. Закручуючи цей болт можна усунути люфт який може виникнути в процесі монтажу або роботи. В середині каретки встановлені лінійні підшипники.

Найнавантаженішою віссю верстата є вісь Y, по ній переміщується портал з навісним обладнанням. Виберемо напрямні для осі Y.

Якщо каретка, яка перебуває в спокої або русі, навантажена занадто великою силою, то на тілах кочення і поверхнях доріжок виникають місцеві пластичні деформації. Значні деформації порушують плавність руху робочого органу. Здатність навантаження напрямних за критерієм виникнення пластичних деформацій характеризується статичною вантажопідйомністю.

Вибір кареток відбувається за показником статистичної вантажопідйомності. Згідно каталогу фірми виробника показник статистичної вантажопідйомності для однієї каретки складає $C_0 = 23$ кг. Маса порталу з навісним обладнанням складає 80 кг. Розрахуємо необхідну кількість кареток.

$$\frac{m}{C_0} = \frac{80}{23} = 3.4 \text{ шт.}$$

Обираємо 4 каретки, по дві на кожну напрямну.

3.2.5 Вибір приводу

В якості приводу обираємо кульково-гвинтову передачу. КГП мають найвищі показники точності позиціонування, а від точності позиціонування робочого органу буде залежати точність обробки.

Порівняно з зубчасто-рейковими передачами, КГП мають більшу плавність ходу, а від плавності ходу буде залежати якість різь.

Кулько-гвинтові передачі мають високий ККД (більше 80%) і підвищену зносостійкість через низький коефіцієнта тертя. Крім цього, для КГП характерна висока вантажопідйомність і точність передачі. У роботі вони відрізняються безшумністю і порівняно невисоким нагрівом.

Кулько-гвинтові передачі мають можливість тривалої безперервної експлуатації, а безперервний цикл обробки одна з вимог до плазморіжучого верстата.

Найвантаженишою віссю верстата є вісь Y, по ній переміщується портал з навісним обладнанням. Розрахуємо та оберемо КГП для осі Y.

Приймемо номінальний діаметр $d_0 = 32$ мм.

Визначаємо крок гвинта:

$$p = \frac{V_{шв}}{n_m}, \quad (3.1)$$

де $V_{шв}$ – швидкість швидкого ходу супорта;

n_m – максимально допустима частота обертання гвинта.

$$p = \frac{15000}{3000} = 5 \text{ мм.}$$

Визначаємо діаметр стержня гвинта:

$$d_2 = d_0 - 0,71d, \quad (3.2)$$

де d – діаметр кульки ($d = 0,6p = 3$ мм)

$$d_2 = 32 - 0,71 \cdot 3 = 29,87 \text{ мм.}$$

Визначаємо довжину гвинта:

$$L = l_{\Pi} + l_{\kappa} + l'_{\text{H}} + l''_{\text{H}}, \quad (3.3)$$

де l_{Π} – переміщення робочого органу по координаті;

l_{κ} – довжина корпусу гайки;

$l'_{\text{H}} + l''_{\text{H}}$ – довжини невикористовуваних частин гвинта для розміщення упорів.

$$L = 2500 + 100 + 50 + 50 = 2700 \text{ мм.}$$

Визначаємо найбільший і найменший можливий діаметр передачі:

Найбільший можливий номінальний діаметр передачі визначається по її параметру швидкохідності Nd , гарантованому виробником і дорівнює Nd_0 . Тут N – найбільша допустима частота обертання гвинта, об/хв, d_0 – номінальний діаметр передачі в мм. За даними виробника, Nd знаходиться в інтервалі $(1 \dots 1,5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$.

$$d'_0 = \frac{Nd}{n_m}, \quad (3.4)$$

де n_m – максимально допустима частота обертання гвинта.

$$d'_0 = \frac{100000}{3000} = 33,33 \text{ мм.}$$

Найменший можливий діаметр гвинта можна визначити, виходячи з критерію його стійкості при швидкому обертанні під час холостого ходу робочого органу. Допустима частота обертання гвинта, при якій його обертання стійке, тобто. Без вібрацій в кулько-гвинтовому механізмі:

$$n_d = \frac{5 \cdot 10^7 d_2 v}{l^2}, \quad (3.5)$$

v – коефіцієнт, що залежить від способу встановлення в опорах;

l – найбільша довжина неопертої частини гвинта.

$$n_d = \frac{5 \cdot 10^7 \cdot 29,87 \cdot 2,2}{950^2} = 3640 \text{ об/хв,}$$

З урахуванням коефіцієнту запасу стійкості $k = 0,8$ критична частота обертання гвинта $n_k = 0,8n_d$. Приймавши n_k рівній частоті обертання під час швидкого ходу n_m , отримаємо:

$$d_2 = \frac{n_m \cdot l^2}{5 \cdot 10^7 v k} \quad (3.6)$$

$$d_2 = \frac{3000 \cdot 950^2}{5 \cdot 10^7 \cdot 2,2 \cdot 0,8} = 30,7$$

Діаметру d_2 відповідає номінальний розрахунковий діаметр передачі:

$$d''_0 = d_2 + 0,71d. \quad (3.7)$$

$$d''_0 = 30,7 + 0,71 \cdot 3 = 32$$

В якості номінального діаметру гвинтової пари d_0 слід прийняти:

$$d''_0 \leq d_0 \leq d'_0 \quad (3.8)$$

$$32 \leq 32 \leq 33,33$$

Умова виконується, отже номінальний діаметр був прийнятий вірно.

В каталозі компанії SKF обираємо КГП з розмірами d_0 і p близькими до розрахункових. Обираємо КГП - SND/BND 32x5 R.

3.2.6 Вибір електродвигуна

Плазморіжучі верстати в якості головного робочого органу використовують плазмотрон, який не є привідним. Основною функцією, що виконують електродвигуни є забезпечення лінійного переміщення. Електродвигун з'єднаний механічним приводом з рухомими частинами верстату приводить їх в рух і від нього залежить швидкість переміщення робочого органу, а отже і швидкість різання. Від швидкості гальмування електродвигуна буде залежати точність позиціонування робочого органу

В якості електродвигуна обираємо серводвигун. Серводвигун - це двигун, що оснащений датчиком зворотного зв'язку, який дозволяє точно управляти параметрами руху вихідної ланки приводу.

Серводвигуни видають велику потужність при малих розмірах, мають високу швидкість і миттєвий розгін (1000 об/хв за 0,2 с). Мають широкий діапазон (1-5000 об/хв) і високу точність регулювання частоти обертання. Забезпечують високу динаміку виконуємих операцій, що відображається на продуктивності.

Основною перевагою серводвигунів є наявність зворотного зв'язку, що реалізується датчиками положення. СЧПК відстежує положення робочого органу і вносить корективи відповідно до керуючої програми.

Крокові двигуни не оснащені зворотнім зв'язком і це може привести до погіршення точності позиціонування. Оскільки завдання на виконання конкретного дії і кінцева мета не пов'язані єдиною системою вимірювання, за відсутності зворотного зв'язку і системи корекції, механізм, що приводиться зупиняється в точці, що не відповідає завданням.

Розрахуємо та оберемо серводвигун для найнавантаженої осі (вісь Y).

Для точного розрахунку параметрів мотора під потрібні завдання потрібно скласти циклограму руху робочого органу (Рисунок 3.7). В випадку плазменної різки рух робочого органу буде циклічним.

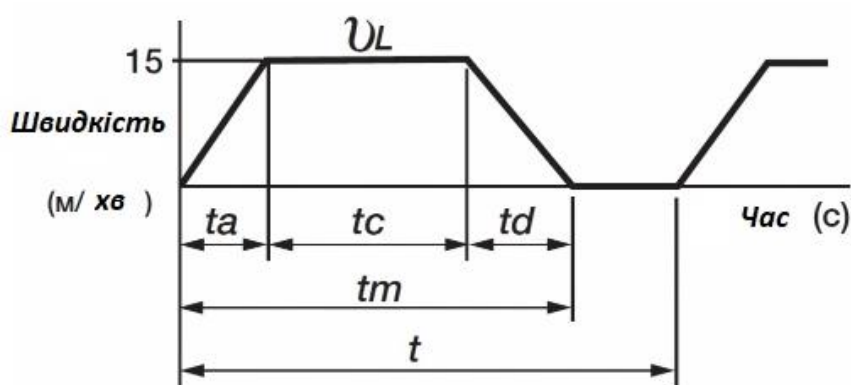


Рисунок 3.7 – циклограма руху робочого органу.

Визначаємо тривалість циклу:

$$t = \frac{60}{n}, \quad (3.9)$$

де n – частота подачі ($n = 5 \text{ хв}^{-1}$).

$$t = \frac{60}{5} = 12 \text{ с};$$

З циклограми видно, що час гальмування та прискорення мають рівні значення, отже маємо:

$$ta = td = tm - \frac{60l}{Q_l}, \quad (3.10)$$

$$tc = tm - 2 \cdot ta, \quad (3.11)$$

$$ta = td = 12 - \frac{60 \cdot 2,5}{15} = 2$$

$$tc = tm - 2 \cdot ta, \quad (3.12)$$

$$tc = 10 - 2 \cdot 2 = 6$$

де Q_l - швидкість навантаження (15м/хв);

l – дистанція переміщення (2,5 м);

tm – максимальний час позиціонування ($tm=10$ с).

Визначаємо швидкість обертання валу серводвигуна:

$$n_L = \frac{Q_l}{p}, \quad (3.13)$$

$$n_M = n_L \cdot i, \quad (3.14)$$

$$n_L = \frac{15}{0,005} = 3000 \text{ об/хв},$$

$$n_M = 3000 \cdot 1 = 3000 \text{ об/хв},$$

де n_L – швидкість обертання КГП;

p – крок різьби;

i – передавальне число редуктора ($i=1$, прямий привід).

Визначаємо момент прикладений до валу серводвигуна:

$$M_L = \frac{(9,8 \cdot \mu \cdot m \cdot p)}{(2\pi \cdot i \cdot \eta)}, \quad (3.15)$$

$$M_L = \frac{(9,8 \cdot 0,2 \cdot 80 \cdot 0,005)}{(2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,9)} = 0,139 \text{ Нм}$$

де μ – коефіцієнт тертя ковзання ($\mu = 0,2$);

m – маса порталу ($m = 80$ кг);

η – ККД ($\eta = 90\%$).

Визначення приведених моментів інерції:

Лінійної частини:

$$J_{Li} = m \cdot \left(\frac{p}{2\pi \times i} \right)^2, \quad (3.16)$$

$$J_{Li} = 80 \cdot \left(\frac{0,005}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \right)^2 = 0,507 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Момент інерції підшипників:

$$J_B = \frac{\pi}{32} \cdot \rho \cdot l_b \cdot d_b^4 \cdot \frac{1}{i^2}, \quad (3.17)$$

$$J_B = \frac{3,14}{32} \cdot 7,87 \cdot 2,7 \cdot 0,032^4 \cdot \frac{1}{1^2} = 0,405 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де l_b – довжина гвинта КГП;

d_b – діаметр гвинта КГП;

ρ – густина кульки ($\rho = 7,87 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$)

Момент інерції муфти:

$$J_C = \frac{1}{8} \cdot m_c \cdot d_c^2, \quad (3.18)$$

$$J_C = \frac{1}{8} \cdot 0,3 \cdot 0,032^2 = 0,338 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де m_c – маса муфти ($m_c=0,3$ кг);

d_c – зовнішній діаметр муфти ($d_c=0,032$ м).

Сумарний момент інерції:

$$J_L = J_{Li} + J_B + J_C, \quad (3.19)$$

$$J_L = 0,507 + 0,405 + 0,338 = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначаємо потужність для лінійного переміщення:

$$P_O = \frac{2\pi \cdot n_M \cdot M_L}{60}, \quad (3.20)$$

$$P_O = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000 \cdot 0,139}{60} = 43,7 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність необхідну для створення прискорення

$$P_a = \left(\frac{2\pi \cdot n_M}{60} \right)^2 \cdot \frac{J_L}{ta}, \quad (3.21)$$

$$P_a = \left(\frac{2 \cdot 3,4 \cdot 3000}{60} \right)^2 \cdot \frac{1,25 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 226 \text{ Вт}$$

Для вибору двигуна повинні задовольнятися наступні умови:

$$M_L \leq \text{Номінальний момент двигуна};$$

$$\frac{P_a + P_O}{2} \leq \text{Потужність двигуна};$$

$$n_M \leq \text{Номінальна швидкість обертання двигуна.}$$

$$J_L \leq \text{Допустимий момент інерції вигуна.}$$

В каталозі компанії HIWIN обираємо двигун FRLS200W.

$$0,139 \leq 0,645;$$

$$\frac{226 + 43,7}{2} = 134 \leq 200 \text{ Вт};$$

$$3000 \leq 3000 \text{ об/хв.}$$

$$1,25 \cdot 10^{-4} \leq 3,38 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Обраний двигун задовольняє умову.

Виконаємо перевірку обраного двигуна:

$$M_p = \frac{(2\pi \cdot (J_L + J_M))}{60 \cdot \frac{i}{ta} + M_L} < \text{Піковий момент двигуна}$$

де J_M – момент інерції ротору ($J_M = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$).

$$M_p = \frac{(2 \cdot 3,14 \cdot (1,25 + 2,01))}{60 \cdot \frac{1}{2} + 0,139} = 0,697 \text{ Нм} < 1,92 \text{ Нм}$$

Умова виконана отже двигун обраний вірно.

Двигун і КГП з'єднані муфтою. Так як вал двигуна і вал гвинта мають однаковий діаметр і не потребують компенсуючого з'єднання, можна використовувати жорсткі муфти. У каталозі компанії R+W, за показниками діаметру та моменту обираємо муфту моделі BK32R.

3.2.7 Система ЧПК

В якості системи числового програмного керування обираємо СЧПК Phoenix від компанії Hypertherm, яка спеціально спроектована та розроблена для плазморіжучих верстатів. Вона оснащена зручним інтерфейсом (Рисунок 3.4) та вбудованим майстром редагування CutPro, що дозволяє вносити корективи в керуючу програму не відходячи від пульта керування та не перериваючи процес обробки. Має вбудовані технологічні карти різання та інформацію про витратні матеріали, що дозволяє скоротити та спростити процес налаштування.



Рисунок 3.8 – Інтерфейс Phoenix v10.

СЧПК Phoenix сумісна з операційною системою Windows 10, тому блок управління може бути підключений не тільки до стійки, а і до персонального комп'ютера або ноутбука.

Система оснащена функцією Watch Windows яка дозволяє оператору в режимі реального часу відслідковувати такі параметри як:

- Оціночний час обробки деталі або розкрию;
- Інформація про процес плазмової різки;
- Команди переміщення столу і сигнали зворотного зв'язку;
- Параметри різання ;
- Стан системних входів та виходів.

До блоку управління СЧПК підключаються драйвери серводвигунів і датчики положення, таким чином забезпечується зворотній зв'язок. СЧПК надсилає керуючі імпульси до двигунів і задає швидкість їх обертання. В свою чергу від датчиків до СЧПК надходять координати положення робочих органів, що дозволяє контролювати їх переміщення.

Для виключення механічного контакту плазмотрона з заготовкою в процесі обробки, висота різача контролюється за допомогою вбудованого модулю ТНС.

Блок управління підключається до джерела живлення плазмотрона, таким чином відбувається регулювання напруги та струму що подаються до плазмотрона.

СЧПК Phoenix оснащена функцією Remote Help – це інтернет інструмент, який дозволяє дистанційно проводити діагностику верстата і у разі виникнення неполадки відправить звіт.

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Технологія експлуатації обладнання.

В даному розділі розглянемо технологію експлуатації плазморіжучого верстата з ЧПК від моменту отримання завдання до отримання готової деталі.

Конструктор отримує технічне завдання згідно якого розробляє технічну документацію, що включає в себе робочі креслення та технічні вимоги на виготовлення деталі.

Відповідно до технічної документації і необхідного об'єму партії створюється технологічний процес. Призначається матеріал заготовки та вид її отримання.

Відповідно до матеріалу заготовки та її товщини обирається плазмоутворюючий газ, розраховуються режими різання та підбирається сопло з необхідними геометричними параметрами.

У програмі CutPro виконується креслення контурів деталей, які будуть вирізатися. Задається траєкторія по якій буде здійснюватися різання. Відповідно до траєкторії генерується код управляючої програми.

Відбувається транспортування заготовок до цеху в якому знаходиться плазморіжуче обладнання. Оператор закріплює заготовку стропами та за допомогою крану-балки встановлює заготовку на столі верстату. На столі верстату заготовка базується і в разі необхідності фіксується за допомогою упорів.

До СЧПК верстату завантажуються управляюча програма, вводяться режими різання, запускається установка.

Портал верстату починає рух переміщуючи плазмотрон в початку точку. В початковій точці відбувається запалення дуги та подача газу, починається цикл обробки. Плазмотрон вирізає контури деталей згідно керуючої програми.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Установка для плазменого різання представляє собою механічну конструкцію з рухомими частинами, швидкість переміщення яких досягає 5000мм/хв. Різання металу відбувається за допомогою струменю плазми, температура якого досягає 30 000° С. В процесі роботи використовується газо-балонне обладнання з киснем, вуглекислим газом, азотом, воднем та їх сумішами. Вага заготовок сягає 100кг. Всі ці фактори сприяють виникненню небезпечних ситуацій, тому нижче буде проведений аналіз небезпек які можуть виникнути при експлуатації плазморіжучого обладнання та розроблені заходи по їх усуненню.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Потенційні небезпеки, фізичного характеру:

- Механічне травмування внаслідок падіння заготовки. Заготовки представляють собою листи металу вагою до 100кг. Під час встановлення заготовки існує ризик її падіння, що може привести до переломів кінцівок оператора.

- Механічне травмування гострими кромками деталі. Після обробки металу струменем плазми у місці різку присутні гострі кромки які можуть призвести до порізів.

- Ураження електричним струмом. Внаслідок порушення цілісності електропроводки або відсутності заземлення існує ризик враження струмом.

- Підвищений рівень шуму на робочому місці. Під час різання плазма виходить з сопла з великою швидкістю це призводить до виникнення шуму в межах від 85 до 90 дБА. Постійний вплив шуму на організм людини призводить до погіршення слуху.

- Недостатнє освітлення робочої зони може несприятливо впливати на здоров'я працівників, спричинюючи такі захворювання, як короткозорість, кон'юнктивіт, блефарит, ністагм, астеновегетативні порушення.

Потенційна небезпека санітарно-гігієнічного характеру:

- Підвищена запиленість приміщення. Різка металів плазмою супроводжується викидом великої кількості металевого пилу. Відсутність або некоректна робота систем вентиляції може призвести до захворювань дихальної системи працівників.

Потенційні небезпеки, хімічного характеру:

Викиди токсичних парів в робочій зоні. Різання металу відбувається шляхом його розплавлення, процес супроводжується виділенням токсичних парів у робочій зоні. Відсутність витяжки може призвести до отруєння працівників.

ВИСНОВКИ

В роботі був виконаний аналіз компоновок обладнання яке використовується для плазменої різки металів.

Проведений аналіз основних робочих вузлів та механізмів плазморіжучих верстатів. Встановлено, що основними робочими органами що впливають на показники продуктивності верстата являються головний робочий орган (плазмотрон) та механізми що служать для його переміщення в межах зони обробки. Від палмзотрона залежить якість різки і товщина обробляемого матеріалу. Від механічних приводів залежить точність позиціювання і швидкість різання.

Проведений аналіз режимів різання при плазменій обробці. Визначені оптимальні режими різання. Встановлено, що режими різання залежать від робочого середовища та параметрів різання, параметри різання залежать від товщини обробляемого матеріалу та діаметра сопла.

Проаналізований вплив робочого середовища на показники якості обробки. Встановлено, що найоптимальнішим плазмовим газом для різання конструкційної сталі товщиною до 60 мм являється кисень, для алюмінію – повітря, для високолегованої сталі до 45 мм – аргон і водень.

Проаналізовані системи охолодження при плазменій різці. Встановлено, що найефективнішим є охолодження з використанням захисних газів. А найефективнішим захисним газом являється азот та його суміші.

Проаналізований вплив параметрів сопла на процес різання. Встановлено, що від діаметра сопла залежить кількість газу, який може проходити крізь цей діаметр за одиницю часу. Від кількості витрати газу залежить ширина різки, швидкість обробки і швидкість охолодження плазмотрона. Виявлені причини швидкого руйнування сопла та впроваджені рекомендації по їх усуненню.

На основі аналізу технічних характеристик плазмотронів та джерел живлення був обраний плазмотрон моделі NuPro2000 та джерело живлення MaxPro200.

Був розроблений верстат для плазменої різки, характеристики якого дають йому змогу конкурувати з існуючим обладнанням. В ході розробки виконаний розрахунок станини на міцність, розрахунок та вибір КГП і серводвигуна.

Виконане моделювання верстата та його основних робочих органів у програмі SOLIDWORKS.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Історія відкриття плазми та її використання в промисловості [Електронний ресурс] // <http://ajan.ru/materials/istoriya-otkrytiya-plazmennoy-rezki-metallor/>
2. Принцип плазмового різання металів [Електронний ресурс] // <https://agrodetal.org.ua/ua/plazmennaja-rezka-metalla>
3. Особливості плазмового різання [Електронний ресурс] // <https://jau.com.ua/plazmova-rizka-metalu-czikavi-fakti/>
4. Принцип роботи плазмотрона [Електронний ресурс] // <https://jasic.ua/ua/news/princip-raboty-plazmotrona-37>
5. Особливості конструкції плазмотронів [Електронний ресурс] // <http://plazmorez.blogspot.com/2018/12/1.html>
6. Навчально методичні вказівки по курсовому проектуванні, Кочергін А.І., Василенко Т.В., Мінськ, 2014 р., 8 с.
7. Методичні вказівки “Розрахунково-експериментальне визначення режиму плазмового різання металів з використанням ЕОМ”, Капустян О. Є., Бережний С.П., Шумілов А.О., Запоріжжя, 2016 р., 4 с.
8. Особливості газів для плазменої різки [Електронний ресурс] // <https://plasmainfo.ru/technology/21/177/>
9. Особливості конструкції дугової камери плазмотрона [Електронний ресурс] // <http://www.stroitelstvo-new.ru/plazma/sopla.shtml>
10. Технологія машинобудування, навчальний посібник, Шевченко В.В., 18. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці).
11. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
12. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

13. ДСТУ EN 14253-2018. Вібрація механічна, вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації. Практична настанова [Електронний ресурс]: - Чинний від 2020-01-01. К. : МОЗ України, 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0496774-18#Text>.

14. НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966 .

15. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

16. ДСТУ 7950:2015. Дизайн та ергономіка. Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги. К. : МОЗ України, від 2015-06-22. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0061774-15#Text>

17. ДСН 3.3.6.039-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

18. ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

19. Наказ від 01.01.2016 р., №25 ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)»

20. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

21. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)

22. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (Державний Стандарт України)

23. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

24. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 01.01.2018. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

25. НПАОП 0.00-1.75-15. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 03.02.2015 року № 124. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15#Text>

26. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.01.2018 року № 62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text>

Додаток А

Заходи по забезпеченню безпеки

Заходи по забезпеченню безпеки розробляються на основі аналізу потенційних небезпек, що були розглянуті у пункті 5.1. Вони спрямовані на виключення або мінімізацію негативного впливу факторів виробничого процесу фізичного, хімічного, психофізіологічного характеру.

Для виключення механічного травмування працівників під час транспортування та встановлення заготовок :

- Організаційні заходи(проведення навчань персоналу щодо виконання вантажних робіт, згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»)

- Технічні заходи(під час проведення вантажних робіт використовувати підйомно-транспортне устаткування таке як кран-балка. Механізований спосіб є обов'язковим при підйомі вантажів масою більшою ніж 50кг згідно НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт». Відповідно до НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» заготовка повинна бути надійно закріплена за допомогою стропів. Швидкість руху крану в приміщенні цеху не повинна перевищувати 5км/год. Обладнання повинно мати чіткі позначення їх номінальної вантажопідіймальності, за потреби має бути споряджене табличкою. Межі робочої зони кран-балки повинні бути позначені фарбою синього кольору.

Для виключення механічного травмування працівників у ході маніпуляцій з обробленою деталлю:

- Організаційні заходи(проведення навчань персоналу щодо використання інструментів та пристроїв, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань

охорони праці»)

- Технічні заходи(Під час маніпуляцій з обробленою деталлю використовувати механічні інструменти такі як кліщі та лещата. Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» інструменти мають бути оснащені прорезиненим руків'ям. При використанні кліщів необхідно застосовувати кільця, розміри яких повинні відповідати розмірам оброблюваних заготовок. З внутрішнього боку ручок кліщів повинен бути передбачений упор для запобігання здавлюванню пальців руки працівника.

Для виключення можливості ураження електричним струмом:

- Організаційні заходи(проведення навчань персоналу з правил електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»)

- Технічні заходи(нанесення попереджувальних знаків про високу напругу, встановлення заземлення згідно «ПУЕ» пункту 1.7.2 про «Заземлення та захисні заходи електробезпеки», огороження електрострумопровідних частин що знаходяться під напругою, перевірка та усунення несправності автоматичного відключення живлення згідно «ПУЕ» пункту 1.7.38 про «Захисне автоматичне відключення живлення».

Для виключення хімічного ураження працівників

- Організаційні заходи(проведення навчань персоналу щодо виконання плазморіжучих робіт, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»)

- Технічні заходи(До робочої зони в якій відбувається викид хімічних випарів повинен бути підведений шланг відсмоктувача, згідно з НПАОП 28.0-1.35-14 «Правила охорони праці під час газоелектричного, контактного, кисневого та плазмового різання металів». У разі неможливості встановлення відсмоктувача, конструкція установки повинна оснащуватися спеціальним

столом з витяжкою).

А1 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці повинні бути розроблені відповідно до вимог Державних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих у МЮ України 06.05.2014 р. за 472/25249– «Гігієнічна класифікація праці».

Гігієнічні вимоги несуть в собі вимоги до освітлення, шуму, вібрації та рівнів електромагнітного іонізування. Мікроклімат регламентується ГОСТ 12.1.005-88 пункт 1, «Оптимальні та допустимі величини показників мікроклімату у виробничих приміщеннях». Вимоги до мікроклімату для робіт категорії 2а зведенні у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні цеху.

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Оптимальна вологість, %	Допустима вологість, %	
		Оптимальна	Допустима		Непостійних			
			На робочих місцях					
			Верхня межа	Нижня межа				
Холодна	Середньої тяжкості – 2а	18 - 20	23	24	17	15	40 – 60	75
Тепла	Середньої тяжкості – 2а	21 – 23	27	29	18	17	40 – 60	65 (при 26 °С)

В процесі роботи з плазморіжучим обладнанням виникає шум у межах від 85 до 90 дБА. Цей рівень відповідає другому класу. Другий клас шуму – це середньо частотні шуми (шуми здебільшого авто, верстатів і приладів неударної дії). Рівні в цьому спектрі знаходяться нижче частоти 800 герц, вище якої рівні знижуються (не менше, аніж на 5 дБ на октаву).

Зменшення шуму в плазморіжучих установках забезпечується шляхом зміни конструкції робочого органу та підбором оптимальних режимів різання. Збільшивши діаметр сопла вихідна швидкість плазми зменшиться - це призведе до зменшення рівню шуму і потужності. Для компенсації втрати потужності необхідно підвищити напругу у робочій дузі плазмотрона.

У разі коли зміна параметрів робочого органу чи режимів різання недопустимі, працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, згідно з НПАОП 29.0-3.02-06 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам машинобудування та металообробної промисловості». В якості ЗІЗ органів слуху використовуються протишумові навушники типу ПШН-Б, їх акустична ефективність – до 115 дБ.

Вентиляція у цехах в яких виконуються різання або зварювання металів плазмою представляє собою комбінацію приливно-витяжної вентеляції та підйомно-поворотних пристроїв місцевої витяжки. Цей вид пристроїв включає повітроприймач, що фіксується в будь-якому просторовому положенні за допомогою шарнірів і тяг, і гнучкий шланг діаметром 160 і 200 мм, що приєднує повітроприймач до магістрального повітропроводу централізованої витяжної системи. Конструкція витяжних пристроїв дозволяє максимально наблизити повітроприймач до джерела виділення шкідливих речовин і тим самим досягти високої ефективності їх уловлювання(80-85%). Вентиляційна система встановлюється з дотримання норм що передбачені у ГОСТ 12.4.021 «Система стандартов безпеки труда. Системы вентиляционные. Общие требования» та СНиП 2.04.05-91*У_{отр} «Отопление, вентиляция и

кондиционирование». Вихідні отвори вентиляції повинні бути обладнані фільтрами.

A2 Розрахунок приміщення оснащеного відео дисплейними терміналами.

Приміщення, що обладнане ПК з ВДТ і розміщені робочі місця з ПК, спроектовано і організовано згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Приміщення категорій «А» і «Б» (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», а також виробництва з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт не передбачається.

Виробничі приміщення, в яких розташовані ЕОМ, не межують з приміщеннями, де рівні шуму та вібрації перевищують норму (механічні цехи, майстерні тощо).

Робоча кімната, де розташовані комп'ютери знаходиться на другому поверсі, т.б. відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» враховано, що неприпустимим є розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Площу приміщення, в якому розташовують відео термінали, визначено згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, що для забезпечення виробничого процесу с застосуванням 15 комп'ютерів, площа буде становити не менше 90 м^2 .

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.
- площа на одне робоче місце, обладнане відео терміналом - не менше 6,0 м².
- об'єм - не менше 20,0 м³, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Так як розміри робочого столу не регламентуються діючим НПАОП 0.00-7.15-18 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», а лише обговорює пунктом «7» що, робочий стіл або робоча поверхня повинні бути достатнього розміру та мати поверхню з низькою відбивною здатністю, допускати гнучкість під час розміщення екрана, клавіатури, документів і відповідного устаткування. Робоче крісло має бути стійким і дозволяти працівнику з екранними пристроями легко рухатися та займати зручне положення. Тому беру розміри які вважаю достатніми:

Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Оптимальним рішенням буде розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи. Враховуючи, що в приміщенні повинно бути 15 комп'ютерів, то найкраще комп'ютеризовані робочі місця розмістити в три ряди, в кожному ряді по 5 місць, відстань між робочими місцями становить 2,2 та 1,7 метри,

відстань зазначена нормативом.

Оскільки площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, а 15 ПК повинні займати площу 90 м^2 для безпечної та комфортної роботи приймаємо, що площа робочого приміщення складає 112 м^2 (рис 6.1).

Стіни, стеля, підлога приміщень, де розміщені ЕОМ, виготовлені з матеріалів, дозволених для оздоблення приміщень органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, вузлів та блоків ЕОМ виконується в окремому приміщенні (майстерні).

У приміщеннях з ЕОМ щоденно проводиться вологе прибирання.

У приміщеннях з ЕОМ знаходяться медичні аптечки першої допомоги.

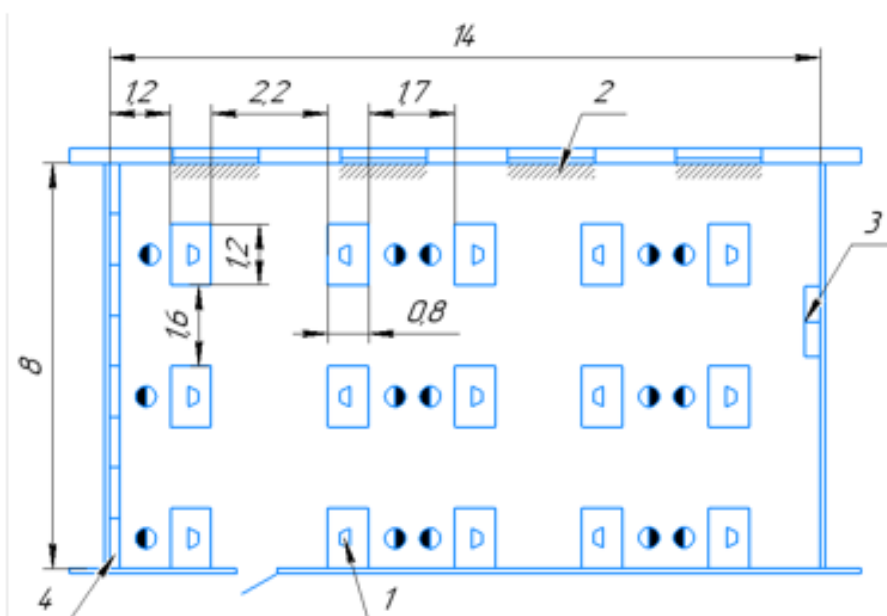


Рисунок 6.1. План приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями:

1 - комп'ютеризоване робоче місце з ВДТ; 2- сонцезахисні жалюзі; 3- шафи для зберігання дискет та програмного забезпечення; 4- шафи для зберігання документації та фахової літератури.

А3 Заходи пожежної безпеки

Пожежа при роботі з плазморіжучим обладнання може бути викликана попаданням іскор на легкозаймисті матеріали або внаслідок пошкодження цілісності газо-балонного обладнання. Клас пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» - С (пожежі що супроводжуються горінням газів). Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» - В (пожежонебезпечні).

Цех – будівля з несучими конструкціями та конструкціями огороження із природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитових негорючих матеріалів, відповідно до НАПБ Б. 03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» ступінь вогнестійкості 2. Відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Виробничі будівлі» - 60м.

Заходи по забезпеченню пожежної безпеки:

- Проведення інструктажів з пожежної безпеки;
- Розміщення на кожному робочому місці вогнегасників;
- При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.018-79 «Статическое электричество. Искробезопасность. Общие требования»;
- Встановлення пожежної сигналізації з датчиками типу ИДФ-І, ДПІД, відповідно до НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах»;
- Обладнання приміщень засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

- Дотримання техніки безпеки при роботі, транспортуванні, зберіганні газо-балонного обладнання відповідно до НПАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском»;

A4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях. Організація цивільного захисту на промисловому об'єкті.

Об'єкт господарської діяльності (підприємство, установа, організація) – основна ланка в системі ЦЗ держави. На об'єкті, де зосереджено людські і матеріальні ресурси, здійснюють економічні і захисні заходи.

Відповідно до законодавства, керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, місцем у захисних спорудах, організовує евакозаходи, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність, виконує інші заходи з ЦЗ і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати. Власники потенційно небезпечних об'єктів відповідають також за оповіщення і захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах.

Начальником ЦЗ об'єкта є керівник об'єкта. він відповідає за організацію і стан ЦЗ об'єкта, керує діями органів і сил цз під час проведення рятувальних робіт на ньому. Заступники начальника ЦЗ об'єкта допомагають йому з питань евакуації, матеріально-технічного постачання, інженерно-технічного забезпечення тощо (рис. 3.15.1).

Органом повсякденного управління ЦЗ є відділ (сектор) з питань НС та ЦЗ, який організовує і забезпечує повсякденне керівництво виконанням завдань ЦЗ на об'єкті.

Для підготовки та втілення в життя заходів з окремих напрямів створюють служби зв'язку та оповіщення, сховищ і укриттів, протипожежної

охорони, охорони громадського порядку, медичної допомоги, протирадіаційного і протихімічного захисту, аварійно-технічного та матеріально-технічного забезпечення тощо. Начальниками служб призначають начальників установ, відділів, лабораторій, на базі яких вони утворюються.

Службу зв'язку та оповіщення створюють на базі вузла зв'язку об'єкта. Головні завдання служби – забезпечити своєчасне оповіщення керівного складу та службовців про загрозу аварії, катастрофи, стихійного лиха, нападу противника; організувати зв'язок і підтримувати його в стані постійної готовності.

Протипожежну службу створюють на базі підрозділів відомчої пожежної охорони. Служба розробляє протипожежні профілактичні заходи і контролює їх виконання; організовує локалізацію і гасіння пожежі.

Медичну службу формують на базі медичного пункту, поліклініки об'єкта. На неї покладають організацію проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, надання медичної допомоги потерпілим та евакуацію їх у лікувальні установи, медичне обслуговування робітників, службовців і членів їхніх сімей у місцях розосередження.

Службу охорони громадського порядку створюють на базі підрозділів відомчої охорони. Її завдання – організувати і забезпечити надійну охорону об'єкта, громадського порядку в умовах НС, під час ліквідації наслідків аварії, стихійного лиха, а також у воєнний час.

Службу протирадіаційного і протихімічного захисту організовують на базі хімічної лабораторії чи цеху. На неї покладають розробку та здійснення заходів щодо захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, радіаційного і хімічного спостереження, проведення заходів з ліквідації радіаційного і хімічного зараження та здійснення дозиметричного контролю.

Службу сховищ та укриттів організовують на базі відділу

капітального будівництва, житлово-комунального відділу. Вона розробляє план захисту Заступник начальника ЦЗ Служба ЦЗ Формування загального призначення перший заступник: - з інженерно-технічних питань - з інженерно-технічного постачання - з евакуації - оповіщення і зв'язку - медична - протипожежна - аварійно-технічна - сховищ і укриттів та інше - рятувальні команди (групи, ланки) - зведені рятувальні команди Евакомісія Формування служб: команди (групи, ланки) робітників, службовців та їх сімей з використанням сховищ та укриттів, забезпечує їх готовність та правильну експлуатацію.

Аварійно-технічну службу створюють на базі виробничо-технічного відділу або відділу головного механіка. Служба розробляє та здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, інженерних мереж та комунікацій у НС, організовує проведення робіт з ліквідації і локалізації аварії на комунально-енергетичних мережах.

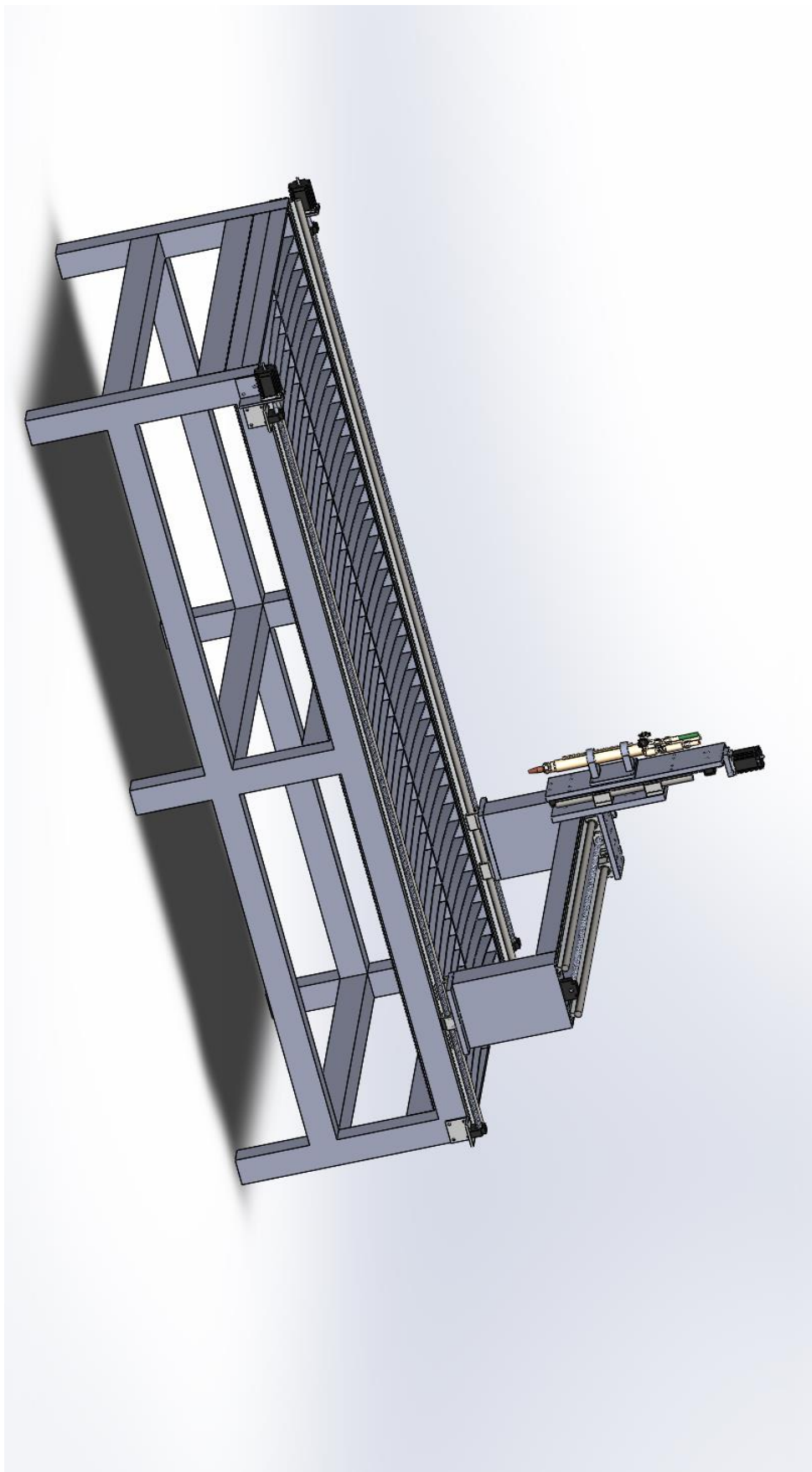
Службу матеріально-технічного забезпечення створюють на базі відділу матеріально-технічного постачання об'єкта. Вона організовує своєчасне забезпечення формувань усіма засобами оснащення, постачання продуктів харчування і предметів першої необхідності робітників та службовців на об'єкті та у місцях розосередження, ремонт техніки і майна.

Транспортну службу організовують на базі транспортного відділу, гаражу об'єкта. вона розробляє та здійснює заходи із розосередження працівників, забезпечення перевезень, проведення рятувальних робіт тощо. Кожна служба створює, забезпечує, готує формування служби (команди, групи, ланки) і керує ними під час виконання робіт.

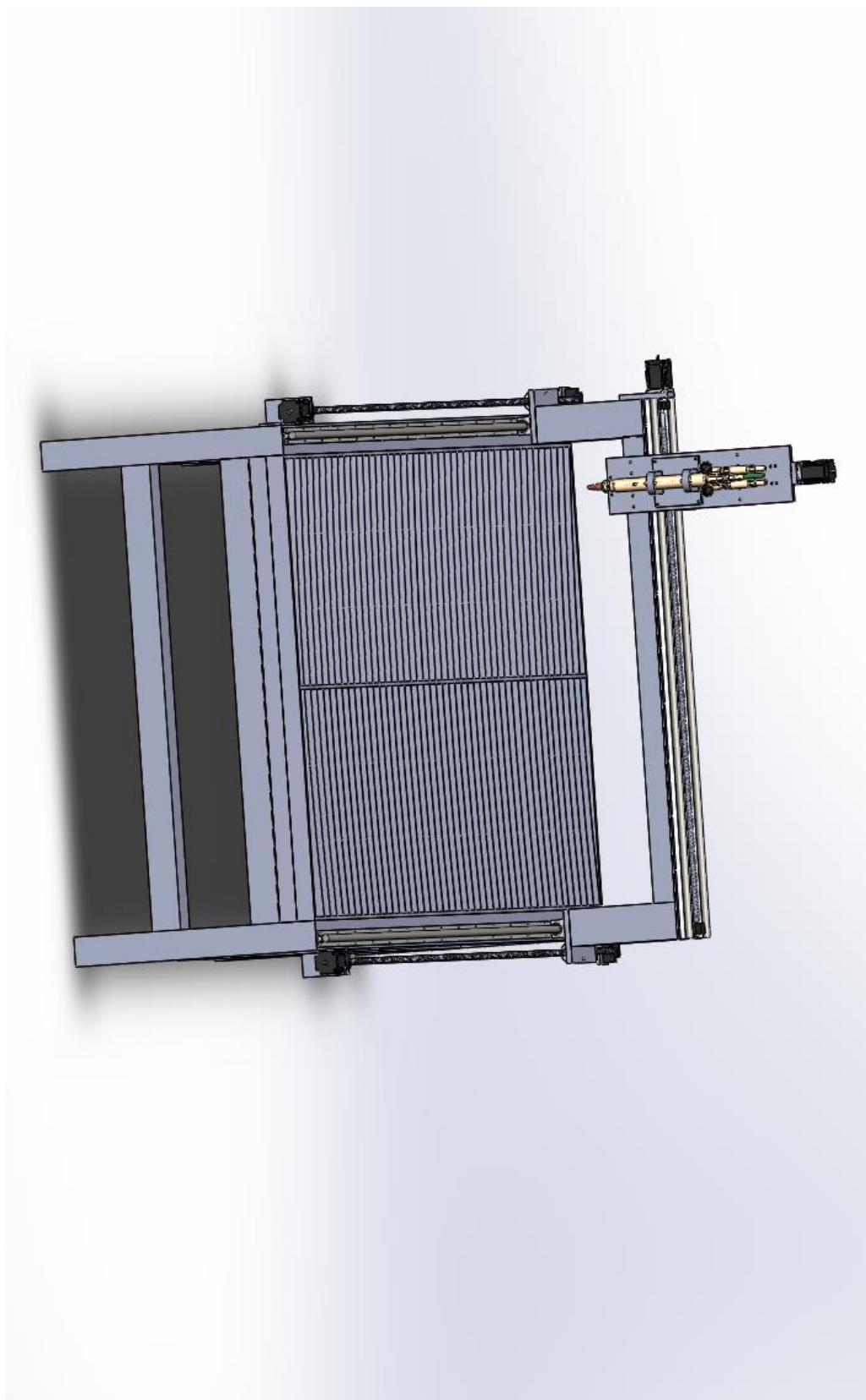
Формування загального призначення – рятувальні загони

(команди, групи, ланки), зведені рятувальні загони (команди), підпорядковані безпосередньо начальнику ЦЗ об'єкта. кожне з них має свою структуру і можливості. Наприклад, зведена рятувальна команда (ЗРК) у своєму складі має підрозділи різного призначення, такі як ланка зв'язку і розвідки, дві рятувальні групи, група механізації, санітарна дружина тощо.

Додаток Б



Додаток В



Додаток Г

