**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Львівський національний університет природокористування**

**Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій**

**Кафедра машинобудування**

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження процесу плазмового різання металів»

Виконав: студент групи Маш-61

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Михайлик Андрій Іванович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доцента Шеремета Р.Б.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Львівський національний університет природокористування**

**Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій**

**Кафедра машинобудування**

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

«____» _____202_ р.

# ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу

Михайлик Андрій Іванович

1.Тема роботи: «Дослідження процесу плазмового різання металі»

Керівник роботи к.т.н., в.о. доцента Шеремета Роман Богданович
затверджені наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с.

2. Строк подання здобувачем роботи 06.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики плазмової різки з числовим програмним керуванням та обладнання необхідного для її роботи; літературні джерела які стосуються автоматизації технологічних процесів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Огляд обладнання для плазмової різки металу.
2. Теоретичні основи плазмового різання.
3. Технологічні параметри процесу плазмового різання.
4. Дослідження процесу плазмового різання.
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

Бібліографічний список

5. Перелік ілюстраційного матеріалу:
Огляд методів розкрою металу
Огляд обладнання для плазмової різки металу.
Методика дослідження.
Результати дослідження регульованих параметрів на якість різу.

6. Консультанти з розділів:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1, 2, 3, 4 | Шеремета Р. Б., в.о. доц. каф. машинобудування | | |
| 5 | Городецький І. М. доц. каф. УПБВ | | |

7. Дата видачі завдання 13.09.2024 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту | Терміни виконання етапів роботи | При-мітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Написання першого розділу | | |
| 2 | Написання другого розділу | | |
| 3. | Написання третього розділу | | |
| 4. | Написання четвертого розділу | | |
| 5. | Написання п’ятого розділу | | |
| 6. | Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу. Завершення роботи в цілому | | |

Здобувач _____.(Андрій МИХАЙЛИК)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Роман ШЕРЕМЕТА)
(підпис)

УДК: 658.51:631.3

Кваліфікаційна робота: с. 80 текст. част., 26 рис., 14 табл., 18 джерел.

Дослідження процесу плазмового різання металів. Михайлик А.І. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Дана дипломна робота присвячена дослідження процесу плазмового різання металів із використанням плазмової різки з ЧПК (числовим програмним керуванням). Плазмова різка є широко використовуваним процесом у промисловості, але якість різання може значно залежати від обраних параметрів та режимів процесу різання таких як сила струму, швидкість переміщення плазмотрону та часу пробивки.

В роботі були проведені експериментальні дослідження для оцінки якості різання залежно від зміни режимів. Результати експериментів дозволили досягти стабільної роботи плазмової різки та забезпечити високу якість різання з мінімальними відхиленнями.

Результати дослідження можуть бути використані в промисловості для покращення ефективності та якості різу для плазмової різки з ЧПК. Вона сприятиме зниженню відхилень у процесі різання від заданих розмірів деталі, збереженню різального інструменту та зниженню витрат на виробництво.

**ЗМІСТ**

ВСТУП 7
1 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАЗМОВОЇ РІЗКИ МЕТАЛУ 8
1.1 Історичний розвиток технології плазмового різання 8
1.2 Технологія плазмової різки 10
1.3 Порівняльний аналіз плазмового різання з іншими методами 14
1.4 Аналіз сучасних типів плазмових різаків та їх застосувань 17
1.5 Складові плазморіза 20
*1.2.* Компресор у системі плазмової різки 22
*1.3.* Огляд плазмової різки металу EX-TRACK 23
*1.4.* Постановка завдання 27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ 29
2.1 Фізичні принципи утворення плазми та її використання для різання металів 29
2.2 Огляд плазмотронів 31
2.3 Моделі теплового й механічного впливу на матеріал 35
3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ 38
3.1 Аналіз основних параметрів плазмового різання 38
3.2 Вплив різних параметрів на якість кромки різання, точність, ширину різу 40
3.3 Оптимізація технологічних режимів для різних матеріалів 41
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ 44
4.1 Опис обладнання та матеріалів для проведення експерименту 44
4.2 Постановка експерименту 50
4.3 Методика проведення експерименту 52
4.4 Аналіз результатів дослідження пробивки 54
4.5 Аналіз результатів дослідження якості різу 58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 66
5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ) 66
5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці 68

5.2.1 Електробезпека 68
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. 74
6 ВИСНОВОКИ 77
7 БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК 79

# ВСТУП

Плазмове різання металів — це сучасний, високоефективний метод обробки матеріалів, який широко застосовується в різних галузях промисловості, зокрема в машинобудуванні, кораблебудуванні, авіаційній та автомобільній промисловостях. Даний метод забезпечує високу швидкість різання, точність обробки та мінімальні деформації матеріалу, що робить його одним із найбільш ефективних способів для розрізання металевих листів і профілів різної товщини.

З огляду на постійне зростання вимог до якості продукції, точності виготовлення та економічної ефективності виробничих процесів, плазмове різання стає надзвичайно актуальним. Воно дозволяє не лише досягати високої якості різання, але й знижувати виробничі витрати та покращувати загальну продуктивність. Крім того, завдяки впровадженню автоматизованих систем управління, цей процес стає більш передбачуваним і стабільним.

Актуальність дослідження процесу плазмового різання зумовлена потребою у підвищенні ефективності обробки металевих деталей, особливо тих, які вимагають високої точності й мінімальних термічних впливів. У сучасних умовах, коли конкурентоспроможність продукції значною мірою визначається технологічним рівнем виробництва, удосконалення методів різання стає важливою задачею. Знання про оптимальні режими різання дозволяють забезпечити високу якість продукції при мінімальних витратах ресурсів, що має безпосередній вплив на економічну ефективність виробництва.

Таким чином, дослідження процесу плазмового різання металів є надзвичайно важливим для вдосконалення технологій обробки матеріалів у галузевому машинобудуванні, що сприятиме підвищенню якості продукції, зменшенню відходів та оптимізації виробничих процесів.

# 1 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЛАЗМОВОЇ РІЗКИ МЕТАЛУ

## 1.1 Історичний розвиток технології плазмового різання

Технологія плазмового різання металів має багаторічну історію розвитку, яка включає кілька ключових етапів, що призвели до її становлення як однієї з провідних технологій обробки матеріалів. Ось основні етапи історичного розвитку плазмового різання:

1. Виникнення плазми як фізичного явища (1920-ті — 1950-ті роки)

Основою плазмового різання є фізичне явище плазми — четвертого стану речовини, що являє собою іонізований газ. Ще в 1920-х роках вчені почали досліджувати електричну дугу та можливості її застосування для нагріву газів. Проте лише в 1950-х роках було досягнуто розуміння процесів іонізації, що дозволило застосувати їх у практичних цілях.

2. Перші спроби використання плазми для зварювання та різання (1950-ті роки)

У 1950-х роках у США та Європі проводилися перші експерименти з використанням плазми в промислових процесах. Зокрема, технологія плазмового зварювання почала розвиватися як альтернатива до традиційного зварювання за допомогою електричної дуги. Плазмовий струмінь використовувався для точного нагріву металів без надмірного перегріву.

У цей період було встановлено, що плазма здатна створювати дуже високу температуру (до 30 000 °C), що дозволяє швидко плавити метали. Це стало передумовою для використання плазми не тільки в зварюванні, але й для різання металів.

3. Поява перших промислових установок плазмового різання (1960-ті роки)

У 1960-х роках була розроблена перша технологія плазмового різання металів. У цей час плазмові установки були великими, дорогими та енерговитратними, проте вони відкривали нові можливості для обробки металів. Плазмова дуга використовувалася для різання металів високої товщини, які було важко обробити іншими методами, такими як газокисне різання.

Це дозволило значно зменшити час різання та поліпшити точність процесу. Особливо популярним стало плазмове різання в суднобудівній промисловості та важкому машинобудуванні, де було необхідно обробляти великі металеві листи.

4. Поширення та вдосконалення технології (1970-ті — 1980-ті роки)

У 1970-1980-х роках плазмове різання стало більш доступним і популярним завдяки розвитку електронних систем керування, зниженню вартості обладнання та вдосконаленню плазмотронів (плазмових різаків). У цей період були розроблені плазмотрони з покращеною ізоляцією, які забезпечували стабільну дугу та зменшували втрати енергії.

Також з’явилися системи автоматизації плазмового різання, що дозволило інтегрувати технологію в виробничі лінії з числовим програмним керуванням (ЧПК). Це зробило плазмове різання більш точним і швидким.

5. Розвиток технологій інверторних джерел живлення (1990-ті роки)

У 1990-х роках з'явилися нові інверторні джерела живлення, що забезпечили більш ефективне керування параметрами різання. Це дозволило зменшити розміри обладнання, підвищити його мобільність та зробити процес енергоефективнішим. Вдосконалення газових систем, що використовували азот, кисень, аргон та інші гази, дозволило покращити якість різання і зменшити кількість дефектів.

Також у цей час почала застосовуватися технологія плазмового різання під водою, що дозволяло знижувати рівень шуму та зменшувати кількість бризок і диму під час процесу.

6. Високоточне плазмове різання (2000-ті роки — сьогодення)

З початку 2000-х років технологія плазмового різання досягла високої точності завдяки впровадженню систем керування з ЧПК та покращенню якості плазмотронів. З’явилася технологія плазмового різання з високою точністю, яка дозволяє отримувати чисті кромки з мінімальними дефектами та підвищеною точністю різання.

Також відбулося вдосконалення системи охолодження плазмотронів, що дозволило збільшити термін служби обладнання та знизити витрати на обслуговування.

Сучасні тенденції в розвитку технології плазмового різання включають:

- Автоматизація процесів з використанням роботизованих комплексів для підвищення продуктивності та точності.

- Розробка нових матеріалів для довговічних електродів і форсунок, що забезпечують тривалу роботу без заміни.

- Використання інноваційних газових сумішей для зменшення дефектів різання та підвищення якості кромки.

- Розвиток систем для плазмового різання в умовах високих температур і підвищеного тиску, що дозволяє розширити сферу застосування технології.

Отже технологія плазмового різання пройшла довгий шлях від перших експериментів з електричною дугою до сучасних високоточних систем. Розвиток плазмового різання був зумовлений потребою у швидкій, точній та ефективній обробці металів різної товщини. Завдяки вдосконаленню обладнання, автоматизації процесів та впровадженню нових технологій, плазмове різання стало незамінним інструментом у сучасному машинобудуванні та металообробці.

## 1.2 Технологія плазмової різки

Плазмове різання металів - це технологія різання металу, що використовує плазмовий пучок з високою енергією для розрізання матеріалу. Ця технологія може бути використана як у ручному, так і у механічному режимі.

Ручна плазмова різка металу використовується для різання товстих листів металу у місцях, де немає можливості використовувати механічні різальні інструменти. Однією з переваг ручної плазмової різки є можливість розрізання матеріалу на великій відстані від джерела живлення, що дає більшу свободу руху

оператора. Однак, недоліком цього методу є високий рівень вібрації, що може призвести до погіршення якості розрізу та більшої втоми оператора.[1]

Механічна плазмова різка металу використовується для різання товстих листів металу у виробничих умовах, де вимагається високий рівень точності та продуктивності. Однією з переваг цього методу є швидкість різання, що дозволяє знизити витрати на виробництво. Недоліком може бути більш складний процес підготовки та налаштування обладнання для різання різних матеріалів.

Переваги плазмової різки металу включають високу швидкість різання, можливість різання різних типів металу, включаючи алюміній та сталь, та можливість різання на великій відстані від джерела живлення. Недоліки включають високий рівень вібрації та можливість перегріву різального інструменту, що може привести до зменшення терміну його експлуатації, а також можливість забруднення робочого середовища шлаком та іскрами, що може становити загрозу для безпеки працівників.

Незважаючи на недоліки, плазмова різка металу залишається дуже популярною технологією різання металу. Ця технологія може бути використана в різних галузях промисловості, включаючи будівництво, автомобільну та авіаційну промисловості та виробництво меблів. Залежно від конкретних потреб і умов виробництва, ручна або механічна плазмова різка металу можуть бути ефективними рішеннями для різання металу.[1]

Механічна різка металу, з іншого боку, використовує механічні інструменти, такі як лінійки, ножі та пилки, для різання металу. Ця технологія є досить простою і дешевою, але не так ефективною, як плазмова різка. Механічна різка металу може бути використана для різання тонких листів металу, але вона може стати непрактичною при різанні більших і більш складних деталей.

Однією з переваг механічної різки металу є те, що вона не створює тепла, що може бути корисно при різанні тонких листів металу, які можуть бути зіпсовані плазмовою різкою. Крім того, механічна різка металу дозволяє отримати більш точний різ, особливо якщо використовуються спеціальні інструменти, такі як лазерні різаки.[1]

Недоліками механічної різки металу є те, що вона може бути більш повільною та менш ефективною, ніж плазмова різка, особливо при різанні більш товстих деталей. Крім того, механічна різка металу може створювати більше шуму та пилу, що може бути небезпечним для здоров'я працівників та забруднювати робоче середовище.

Узагалі, якщо потрібно різати метал, вибір технології залежить від конкретних потреб та умов виробництва. Якщо потрібно різати більш товсті та складні деталі, плазмова різка металу може бути ефективнішою та швидшою.

Плазма - це іонізований газ, що складається з електронів та іонів, який має властивості, що відрізняють його від звичайного газу. Плазма може бути створена шляхом введення енергії до газу, такою як електричний струм або електричний розряд. При цьому газ стає іонізованим, і його частинки починають рухатись з високою швидкістю, що призводить до теплового та світлового випромінювання. Значення температурного показника в робочій зоні досягає 25 000 - 30 000 градусів.[2]

Рис. 1.1 Ручна плазмова різка металу

Плазмова різка металу використовує плазму для різання металу. При цьому плазма генерується в спеціальному пристрої, в якому проходить електричний розряд між електродами. Плазма виходить з пристрою через дифузор, де вона розширюється та стає менш концентрованою. Після цього плазма направляється на метал, який потрібно різати, та здійснює різання завдяки своїм тепловим властивостям.

Плазмова різка металу має кілька переваг порівняно з іншими методами різання металу. По-перше, вона дозволяє різати метал швидше та з меншим зусиллям. По-друге, вона забезпечує високу якість різу з гладкою поверхнею та мінімальним звуженням. По-третє, плазмова різка металу може бути використана для різання різних видів металу, включаючи сталеві, алюмінієві та мідні деталі.[2]

Незважаючи на ці переваги, плазмова різка металу має деякі недоліки. По-перше, плазма може створювати велику кількість тепла, що може приз вести до деформації деталі під час різання. По-друге, плазмова різка металу може бути шумною та створювати багато відходів, таких як дим, пил та іскри, що можуть бути небезпечними для здоров'я та навколишнього середовища. По-третє, для різання металу плазмою потрібне спеціальне обладнання та кваліфікований персонал.

Крім плазмової різки металу, існують і інші методи різання металу, такі як механічна та ручна різка. Механічна різка використовує ріжучі інструменти, такі як пилки, свердла та фрези, для різання металу. Цей метод є надійним та простим у використанні, але він менш продуктивний та менш точний, ніж плазмова різка металу. Ручна різка використовує ручні інструменти, такі як різаки та молотки, для різання металу. Цей метод досить простий та дешевий, але він вимагає від робітника більше зусиль та менше точності, ніж плазмова різка металу.

У виборі методу різання металу важливо враховувати характеристики металу, такі як його товщина, жорсткість та форма, а також вимоги до якості та точності різу. Плазмова різка металу є ефективним методом різання металу, який забезпечує швидкість та якість різу, але вона не є універсальним методом та потребує спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу.[1]

## 1.3 Порівняльний аналіз плазмового різання з іншими методами

Процес різання металів має кілька технологічних варіантів, серед яких найпоширенішими є плазмове, лазерне та газокисне різання. Кожен з цих методів має свої переваги, недоліки та специфіку застосування, що впливає на якість, продуктивність та економічну ефективність процесу. Нижче в табл. 1.1, 1.2 та 1.3 наведений детальний порівняльний аналіз цих методів.

Таблиця 1.1. Порівняння якості різання

| Параметр | Плазмове різання | Лазерне різання | Газокисне різання |
|---|---|---|---|
| Точність різання | Середня, залежить від типу обладнання | Висока, особливо при тонких металах | Низька, підходить для грубого різання |
| Якість кромки | Задовільна, може бути незначна окалина | Висока, чиста кромка без дефектів | Помірна, значна кількість окалини |
| Товщина різу | Відносно широка | Дуже вузька | Широка |
| Деформації матеріалу | Невеликі, особливо при правильних режимах | Мінімальні, зазвичай відсутні | Значні, через високу температуру |
| Плавлення та пригар | Помірні, залежать від налаштувань | Мінімальні | Високі, особливо при товстих металах |

Лазерне різання забезпечує найвищу точність і якість кромки, але плазмове різання є хорошим компромісом між точністю та вартістю для обробки середніх і товстих металів. Газокисне різання зазвичай використовується для грубих робіт, де якість не є критичним фактором.

Таблиця 1.2. Порівняння Продуктивності різання

| Параметр | Плазмове різання | Лазерне різання | Газокисне різання |
|---|---|---|---|
| Швидкість різання | Висока для середніх і товстих матеріалів | Дуже висока для тонких матеріалів | Низька |
| Товщина оброблюваних матеріалів | До 80 мм (залежно від обладнання) | До 30 мм (оптимально для тонких листів) | До 300 мм і більше |
| Час підготовки | Низький | Відносно високий (залежить від налаштувань) | Середній |
| Автоматизація | Легка інтеграція в автоматизовані лінії | Високий рівень автоматизації | Трудомістка автоматизація |

Плазмове різання є одним з найбільш продуктивних методів для різання металів середньої товщини, особливо в умовах серійного виробництва. Лазерне різання ідеально підходить для тонких металів з високою швидкістю і точністю, тоді як газокисне різання має низьку швидкість, але дозволяє різати дуже товсті матеріали.

Плазмове різання має оптимальне співвідношення між вартістю обладнання та продуктивністю для середньої товщини матеріалів. Лазерне різання дороге у впровадженні, але економічно вигідне при обробці тонких металів високої якості. Газокисне різання є найдешевшим з точки зору обладнання, але не підходить для високоточних робіт.

Таблиця 1.3. Порівняння економічної ефективності методів різання

| Параметр | Плазмове різання | Лазерне різання | Газокисне різання |
|---|---|---|---|
| Вартість обладнання | Середня | Висока | Низька |
| Вартість експлуатації | Помірна (електроенергія, газ) | Висока (енергія, обслуговування) | Низька (кисень, ацетилен) |
| Заміна витратних матеріалів | Частіша заміна електродів і сопел | Мінімальні (інколи оптика, гази) | Постійна заміна форсунок, регуляторів |
| Енергоспоживання | Середнє | Високе (особливо для товстих металів) | Низьке |
| Економічна ефективність | Висока для середньої товщини металів | Висока для тонких металів | Висока для товстих металів |

Отже в результаті порівняння можна зробити такі висновки:

- Плазмове різання є найкращим вибором для середніх і товстих металів, забезпечуючи хорошу продуктивність і якість при помірних витратах.

- Лазерне різання підходить для високоточних робіт з тонкими металами, забезпечуючи чисту кромку, але потребує значних інвестицій в обладнання.

- Газокисне різання залишається актуальним для грубих робіт з дуже товстими металами, де якість кромки не є критичним параметром, а економічна ефективність має значення.

Таким чином, вибір методу різання залежить від специфіки задачі: товщини матеріалу, вимог до якості, продуктивності та доступного бюджету на обладнання та експлуатацію.

## 1.4 Аналіз сучасних типів плазмових різаків та їх застосувань

Плазмові різаки розділяються на кілька основних типів залежно від технологічних особливостей, потужності, призначення та області застосування. Нижче розглянемо найпоширеніші типи плазмових різаків і сферу їх використання.

*1. Повітряно-плазмові різаки*

Принцип роботи: У повітряно-плазмових різаків (рис. 1.2) використовується стиснене повітря як робочий газ. Плазмотрон іонізує це повітря, створюючи високу температуру, що плавить і видуває метал.

Рис. 1.2. Повітряно плазмова різка

Переваги:

- Відносно низька вартість обладнання та витратних матеріалів.
- Простота експлуатації.
- Підходить для різання матеріалів малої та середньої товщини (до 25 мм).

Недоліки:

- Підходить для обмежених завдань, оскільки повітря може призводити до окислення металу та утворення окалини.
- Менш точний порівняно з різаками, що використовують спеціальні газові суміші.

Застосування:

- Малі виробничі підприємства.

- Автомайстерні та ремонтні цехи для обробки металу середньої товщини.

- Роботи на будівельних майданчиках і в польових умовах.

*2. Газоплазмові різаки*

Принцип роботи: Газоплазмові різаки використовують спеціальні газові суміші (азот, водень, аргон, кисень тощо) для створення плазми, що підвищує точність різання і зменшує кількість дефектів на поверхні.

Переваги:

- Висока якість різання за рахунок спеціальних газових сумішей, які забезпечують чисті кромки.

- Можливість обробки товстих металів (до 80 мм і більше).

- Знижений рівень окислення металу та менша кількість окалини.

Недоліки:

- Висока вартість обладнання та витратних матеріалів.

- Потреба в спеціальних газових системах.

Застосування:

- Металообробка на великих промислових підприємствах.

- Виготовлення високоякісних металоконструкцій.

- Використання в аерокосмічній галузі та машинобудуванні для обробки товстих металів, що потребують високої точності.

*3. Високоточні плазмові різаки*

Принцип роботи: Високоточні плазмові різаки забезпечують стабільну тонку плазмову дугу для різання матеріалів з мінімальною шириною різу і максимальною точністю.

Переваги:

- Чистий і рівний зріз без окалини, придатний для виробів, що не потребують додаткового фінішного оброблення.

- Можливість різання тонких металів з високою точністю (до 0,1 мм).

- Може працювати з матеріалами середньої товщини без втрати точності.

Недоліки:

- Висока вартість і складність у налаштуванні.

- Потребує професійного обслуговування.

Застосування:

- Виготовлення високоточних деталей для авіації, електроніки та автомобілебудування.

- Виробництво декоративних металевих елементів.

- Сфери, де потрібна максимальна точність різання та чистота кромки.

*4. Портативні плазмові різаки*

Принцип роботи: Портативні різаки працюють на базі інверторних джерел живлення і дозволяють виконувати різання в умовах, де важко використовувати стаціонарне обладнання.

Переваги:

- Мала вага і компактність, що дозволяє легко транспортувати обладнання.

- Простота експлуатації.

- Може працювати як з повітрям, так і зі спеціальними газовими сумішами.

Недоліки:

- Обмежена потужність, підходить для різання матеріалів до 15-20 мм.

- Обмежені можливості для високоточних операцій.

Застосування:

- Роботи на будівельних майданчиках та у польових умовах.

- Малий ремонтний бізнес для виконання дрібних завдань.

- Використання у майстернях та гаражах.

*5. Підводні плазмові різаки*

Принцип роботи: Підводні плазмові різаки дозволяють проводити процес різання під водою, що знижує рівень шуму, пилу та диму. У такому разі вода служить як середовище, що пригнічує бризки та знижує теплові деформації.

Переваги:

- Зменшення теплового впливу на матеріал.

- Зниження рівня шуму та виділення шкідливих часток у повітря.

- Можливість роботи з матеріалами великих товщин.

Недоліки:

- Високі вимоги до обладнання та спеціальної підготовки персоналу.
- Вартість обслуговування та проведення робіт під водою є значною.

Застосування:

- Суднобудівна та ремонтна галузь.
- Демонтаж конструкцій під водою.
- Сфери, де зменшення диму та теплових деформацій є пріоритетним.

Кожен тип плазмових різаків має свої унікальні особливості, що роблять їх оптимальними для певних умов експлуатації. Вибір типу плазмового різака залежить від необхідної точності, умов роботи, товщини оброблюваного металу та вимог до економічної ефективності.

- Повітряно-плазмові різаки підходять для невеликих майстерень і ремонтних робіт.
- Газоплазмові різаки використовуються у великих виробництвах, де потрібна висока якість різання.
- Високоточні різаки знаходять застосування у виробництві високоточних деталей.
- Портативні різаки зручні для будівництва та польових умов.
- Підводні різаки необхідні для специфічних завдань, особливо у суднобудуванні та ремонті.

Таким чином, сучасні плазмові різаки забезпечують широкий спектр можливостей для обробки металів у різних галузях, дозволяючи обрати обладнання відповідно до конкретних технічних та економічних потреб.

## 1.5 Складові плазморіза

Плазморіз - це пристрій, який використовується для плазмової різки металу. Він складається з декількох компонентів, які працюють разом, щоб створити потік плазми для різання металу.

Основні компоненти плазморізу включають:

- Джерело енергії: зазвичай це електричний генератор, який створює високої частоти електричний струм.
- Компресор повітря: він використовується для створення струменя стислого повітря, який пропускається через плазморіз.
- Плазмотрон: це найважливіший компонент плазморізу, який створює потік плазми. Вона складається з керамічної насадки та електрода, яка збуджує газову суміш, щоб створити плазму.
- Керування: цей компонент відповідає за керування швидкістю різання та глибиною проникнення горінням у матеріал. Це зазвичай досягається за допомогою комп'ютерного програмування або ручного керування.[1]

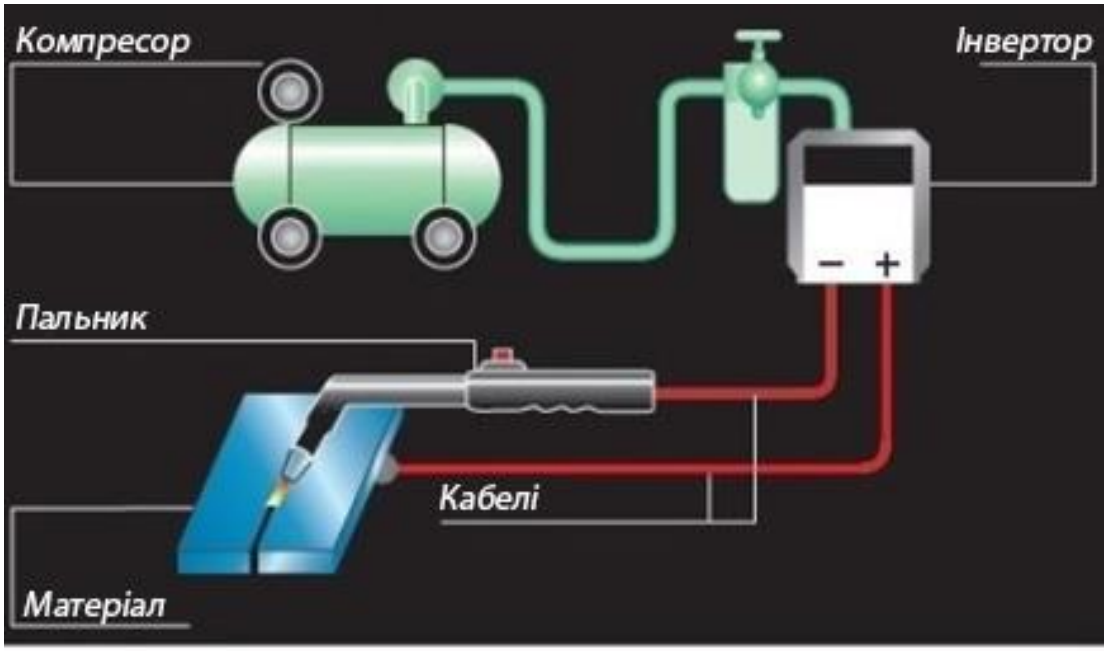



Рис. 1.2 Складові елементи ручного плазморіза

Під час роботи плазморізу, стисле повітря пропускається через плазмовий пальник, де воно збуджується електродом та керамічною насадкою, що створює плазму.(див, Рис.1.2) Потік плазми має дуже високу температуру, що дозволяє легко різати метал. Керування швидкістю різання та глибиною проникнення горінням у матеріал відбувається за допомогою керування.

Плазморізи можуть бути різних розмірів та потужності, в залежності від вимог до обробки металу. Вони можуть бути стаціонарними та переносними.[2]

Це пристрій, відомий як плазмотрон, використовує електроплазмовий різак для розрізання металевих частин. Вважається, що це основний «механізм» плазморіза.

Основні його елементи це:

- електрод;
- сопло;
- ізолюючий термостійкий елемент.

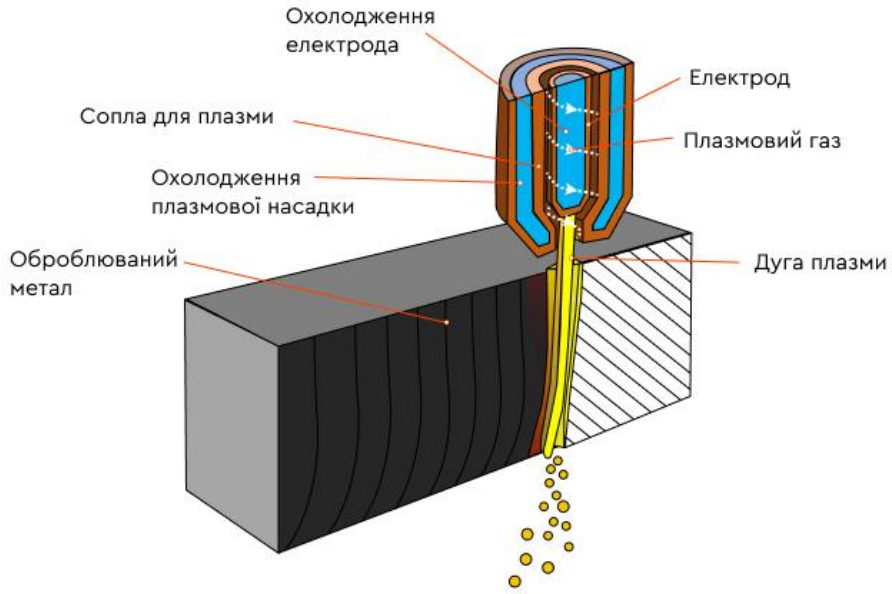



Рис. 1.3 Процес різки металу

Варто відзначити, що системи з мідним соплом володіють значною міцністю, і повітряні маси швидко охолоджуються.

## *1.2.* Компресор у системі плазмової різки

Компресор є необхідним елементом в системі плазмової різки металу. Його головна функція - створення стиснутого повітря або кисню для живлення плазмової горілки [3].

Плазмова горілка працює на принципі використання повітря або кисню, яке під високим тиском та високою температурою пропускається через вузький канал. У такому середовищі відбувається іонізація газу, його перетворення у

плазму та утворення електричного розряду, який дає можливість різати метал. Для створення стиснутого повітря або кисню необхідний компресор, який забезпечує потрібний тиск.

Крім того, компресор використовується і для охолодження горілки та захисту її від перегріву. У плазмовій різці металу висока температура в процесі різки може призвести до перегріву горілки, що може пошкодити її елементи.[3] Компресор забезпечує постійний потік охолоджуючого повітря або кисню до горілки, що знижує ризик перегріву та збільшує тривалість її роботи.

### *1.3.* Огляд плазмової різки металу EX-TRACK

Система різання з ЧПУ EX-TRACK® — це останнє покоління високоточної, програмованої та портативної системи різання, призначеної для використання в майстерні або на місці.

Функціональність системи подібна до обладнання зі стаціонарним столом, оснащеного великим порталом.

Ця система оснащена паливним різаком Оху та плазмовим різаком. Функція ЧПК дозволяє системі вирізати складні форми з високою точністю та повторюваністю, також є функція ручного різання для простіших завдань. Система транспортабельна, її легко переносять двоє людей до місця роботи.[4]

Система ЧПК EX-TRACK® проста та легка у використанні та оснащена 7-дюймовим РК-дисплеєм з високою роздільною здатністю. Його можна запрограмувати вручну; він може генерувати власні програми з бібліотеки загальних форм; Крім того, програми можна завантажувати через порт USB із програмного забезпечення для автономного програмування. Креслення деталей AutoCAD зберігаються безпосередньо у форматі DXF. Загальний вигляд системи ЧПК EX-TRACK зображена на рис. 1.4.

Система різання з ЧПУ EX-TRACK® є універсальною у своїй функціональності, її можна використовувати з кисневим паливом або плазмою для виготовлення однієї або кількох деталей від простих до складних форм.

Система була розроблена для широкого використання в промисловості: нафтохімії, суднобудівних верфях, вітряних турбінах, на морських і наземних підприємствах, виробництві резервуарів під тиском, цехах листового металу тощо.[4]

Рис. 1.4 Зовнішній вигляд плазмової різки металу EX-TRACK

Таблиця 1.1 Технічні параметри системи EX-TRACK

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Площа різання (мм) | 1500 × 3000 |
| Напруга живлення | AC110V/230V - 50HZ |
| Різак | 1 |
| Швидкість різання (мм/хв | 50–3000 |
| Максимальна швидкість положення (мм/хв) | 3000 |
| Габаритні розміри (Д × В × Ш) (мм) | 3500 × 370 × 2200 |
| Вага (кг) | 134 |

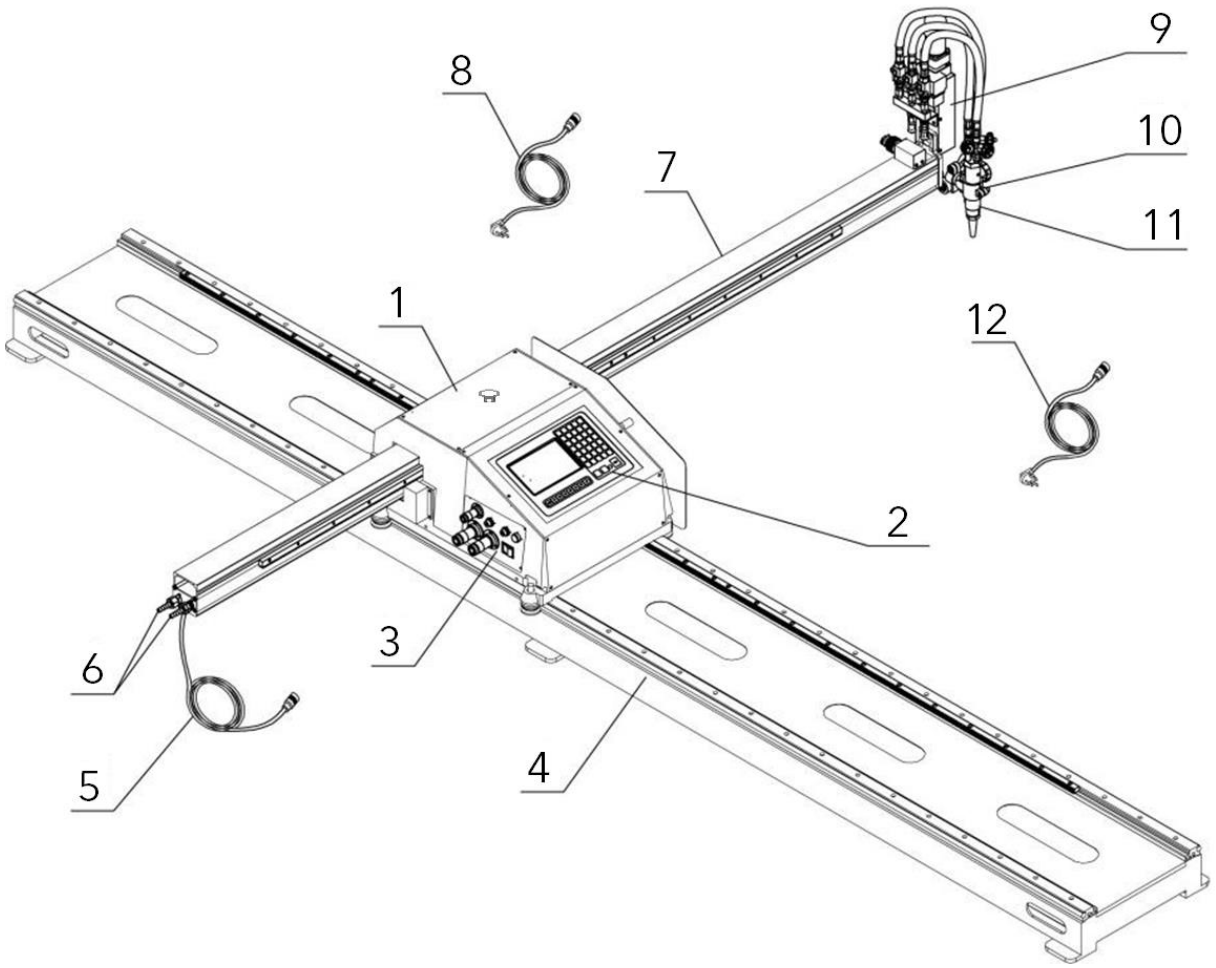



Рис. 1.5 Опис частин системи EX-TRACK:

1. Основний блок, 2. ЧПК/панель оператора, 3. Панель підключення живлення, 4. Поздовжня напрямна, 5. Провід двигуна висоти пальника, 6. Вхідні роз'єми для кисневого палива, 7. Поперечна напрямна, 8. Провід живлення, 9. Контролер висоти пальника, 10. Вузол кріплення пальника, 11. Монтаж пальника, 12. З'єднувальний кабель ЧПУ.

Система оснащена можливістю автоматичного регулювання висоти дуги відповідно до кривизни поверхні металу, що оброблюється. Дана функція реалізована шляхом неперервного вимірювання напруги електричної дуги.[4]

Основні функції панелі керування:

Універсальна система ЧПУ підходить для плазмового та газокисневого різання. Система проектувалась з високою надійністю від електричних перешкод

та перевантажень. Передбачено автоматичне регулювання висоти та зміну швидкості різака, вбудована компенсація різу та моніторинг.

Динамічний дисплей (рис. 1.7) з 8-кратним масштабуванням положення різака. [5]

Рис. 1.7 Панель керування:

1. Дисплей, 2. Кнопки введення, 3. Клавіші введення меню, Функціональні клавіші, 4. Кнопка пуск, 5. Кнопка стоп, 6. Кнопка оновлення ПЗ, 7. USB порт

Інтерфейс адаптований на англійську українську мови з можливою адаптацією на інші мови.[5]

Плюси і мінуси плазмової системи:

До основних позитивних характеристик застосування плазмової системи відносять такі аспекти:

- Універсальність технологічного процесу.
- Автоматична плазмова різка.
- Високі показники швидкості операції при роботі з матеріалами середньої і малої товщини.
- Високоточний і якісний різ, виключивши додаткових механічних операцій.

- При роботі з електроплазмовим середовищем практично виключається забруднення повітря.[6]
- Немає необхідності попереднього розігріву поверхні, що знижує тимчасові рамки запису.
- Роботи, що виконуються вважаються відносно безпечними, так як немає необхідності тягти за собою балони з газом, які є вибухонебезпечними.

До мінусів електроплазмової технології відносять:

- Цінова складова плазмотрона і його конструкційні особливості, що підвищує собівартість виконання робіт з різання металу.
- Незначна товщина прорізу.
- Оскільки газовий елемент плазмотрона виходить на надзвукову швидкість, утворюється високий рівень шуму.
- Необхідно якісне технічне обслуговування агрегату.
- Якщо в якості газоподібного елемента використовується азот, то це сприяє виділенню великої кількості шкідливих речовин в атмосферу.[6]
- До конфігурації плазмотрона можна підключити додатковий плазмовий різак для ручної обробки металевої поверхні.

Також істотним недоліком при роботі плазмової установки вважається відхилення від перпендикуляра різання на кут не більше 50 градусів.

## *1.4.* Постановка завдання

Метою кваліфікаційної роботи є всебічне дослідження процесу плазмового різання металів для виявлення оптимальних технологічних параметрів, що забезпечують високу якість обробки та економічну ефективність. У рамках дослідження передбачається аналіз впливу ключових параметрів процесу на якість різання, визначення оптимальних режимів для різних типів металів, а також розробка рекомендацій щодо підвищення продуктивності та зниження виробничих витрат.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналіз наукової та технічної літератури щодо плазмового різання металів, включаючи історію розвитку технології, сучасні підходи та обладнання, а також визначення основних факторів, що впливають на якість різання.

2. Вивчення теоретичних основ процесу плазмового різання, включаючи фізичні принципи утворення плазми, тепловий та механічний вплив на матеріал, а також класифікацію методів різання.

3. Дослідження технологічних параметрів процесу плазмового різання, таких як:

- Сила струму.
- Швидкість руху плазмотрона.
- Відстань між плазмотроном та матеріалом.
- Час пробивки

4. Проведення експериментальних досліджень для визначення впливу вищезазначених параметрів на якість різання:

- Вимірювання ширини різу.
- Вимірювання кута нахилу поверхні різу.
- Аналіз наявності дефектів, таких як окалина або зміщення розрізу.

5. Розробка рекомендацій щодо безпеки при проведенні плазмового різання, включаючи заходи для мінімізації ризиків та забезпечення охорони праці.

# 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ

## 2.1 Фізичні принципи утворення плазми та її використання для різання металів

Плазмове різання металів ґрунтується на використанні плазми як основного робочого середовища, здатного створювати високі температури для плавлення металу. Розглянемо основні фізичні процеси утворення плазми та її застосування для різання металів.

Плазма — це четвертий агрегатний стан речовини, що являє собою іонізований газ, який складається з позитивних іонів, електронів і нейтральних частинок. У цьому стані частинки мають високу енергію та вільно рухаються, утворюючи електропровідний середовище. Характерні властивості плазми:

- Висока температура: Плазма може досягати температур від кількох тисяч до десятків тисяч градусів Цельсія, залежно від типу плазмотрона та використаного газу.

- Електропровідність: Через наявність заряджених частинок (електронів і іонів) плазма здатна проводити електричний струм.

- Стійка дуга: Плазма може підтримувати стабільну дугу, що дає можливість постійного впливу на матеріал.

Для утворення плазми використовується електрична дуга, яка створюється між катодом і анодом у плазмотроні.

Процес включає кілька ключових етапів:

1. Іонізація газу: Газ (зазвичай повітря, азот, аргон, водень або їхні суміші) подається у зону дуги, де під дією високої напруги відбувається його іонізація. Це означає, що атоми втрачають електрони, і газ переходить у стан плазми.
2. Підтримання дуги: Іонізований газ утворює стабільний плазмовий струмінь, який проводить струм, і це забезпечує стійке підтримання дуги.
3. Компресія та прискорення плазми: Плазмовий струмінь стискається у вузькому каналі плазмотрона, що підвищує його температуру і швидкість,

досягаючи надзвукових показників. В результаті плазмовий струмінь спрямовано на поверхню металу для різання.

Плазмовий струмінь, що утворюється в плазмотроні, має унікальні характеристики, які дозволяють його використовувати для високоефективного різання металів. Висока температура (до 30 000 °C) забезпечує миттєве плавлення металу, знижуючи потребу в додатковому нагріванні. Висока швидкість плазмового струменя дозволяє видувати розплавлений метал з розрізу, залишаючи чисту кромку без значних залишків.Стабільна дуга забезпечує точність різання і можливість обробки матеріалів різної товщини.

Процес плазмового різання металів складається з наступних етапів:

1. Створення дуги – електрична дуга утворюється між катодом (електродом плазмотрона) і анодом (оброблюваним металом).

2. Плавлення металу – під впливом високої температури плазми метал миттєво плавиться.

3. Видування розплавленого металу – плазмовий струмінь, який рухається з великою швидкістю, видуває розплавлений метал з зони різу, утворюючи рівну кромку.

4. Просування різу – оператор або ЧПК-система керує переміщенням плазмотрона вздовж лінії різання, забезпечуючи безперервність процесу.

Залежно від матеріалу, який підлягає різанню, використовуються різні робочі гази або їх суміші:

- Кисень підходить для різання вуглецевих сталей, оскільки сприяє окисленню та підвищенню температури, що пришвидшує процес різання.
- Азот використовується для різання нержавіючих сталей та алюмінію, оскільки запобігає окисленню та зменшує утворення окалини.
- Аргон і водень суміші аргону та водню часто застосовуються для різання матеріалів, чутливих до окислення, таких як алюміній та мідь.

Переваги використання плазми для різання металів:

- Висока швидкість різання порівняно з газокисневим та водоабразивним різанням.

- Можливість обробки різних матеріалів: Плазма ефективно ріже вуглецеву і нержавіючу сталь, алюміній, мідь, титанові сплави.

- Відносно чистий зріз з мінімальною кількістю окалини.

- Низький рівень теплового впливу: Завдяки високій швидкості різання, зона термічного впливу є обмеженою, що запобігає деформації матеріалу.

Обмеження плазмового різання:

- Товщина матеріалу: Ефективність плазмового різання знижується при різанні матеріалів товщиною понад 80 мм.

- Високий рівень шуму та виділення диму: Процес плазмового різання супроводжується сильним шумом і виділенням газів, що потребує спеціальних засобів захисту для оператора.

- Складність різання деяких сплавів: Деякі матеріали вимагають специфічних газів і більшого контролю над параметрами різання.

Фізичні принципи плазмового різання, які базуються на використанні іонізованого газу з високою температурою та швидкістю, роблять цей метод одним із найефективніших для обробки різноманітних металів. Широкий спектр матеріалів, висока швидкість і точність роблять плазмове різання оптимальним вибором у багатьох галузях промисловості, хоча й існують певні обмеження, пов’язані з товщиною матеріалів та витратами на обслуговування.

## 2.2 Огляд плазмотронів

Плазмотрон є основним інструментом у плазмовому різанні, забезпечуючи створення, стабілізацію і напрямок плазмового струменя, що розплавляє метал. Сучасні плазмотрони (рис. 1.8) розроблені для оптимізації роботи з різними матеріалами, вони використовують електричну дугу, різні газові суміші та охолоджувальні системи для забезпечення ефективності й безпечності процесу.

Рис. 1.8 Складові частини плазматрону:
1 – фіксуюча гайка; 2 – захисний ковпачок; 3 – фіксатор сопла;
4 – сопло; 5 – електрод; 6 – головка плазмотрону.

Плазмотрон складається з кількох основних компонентів:

- Катод (електрод) — основний елемент, на якому відбувається формування електричної дуги.
- Анод — частина, що визначає напрямок і форму дуги, в деяких системах ним може виступати сам матеріал.
- Сопло — вузький отвір, через який проходить плазмовий струмінь. Сопло сприяє компресії і прискоренню плазмового струменя.
- Охолоджувальна система — забезпечує стабільну роботу при високих температурах, подовжуючи термін служби компонентів.

Сучасні плазмотронні системи класифікуються залежно від потужності, типу охолодження, застосовуваних газів та сфери застосування.

Малопотужні плазмотрони використовуються для обробки тонких матеріалів (зазвичай до 10 мм), часто застосовуються в невеликих майстернях. Працюють на повітряному охолодженні, мають меншу потужність і обмежені можливості в роботі з товстими матеріалами.

Середньопотужні плазмотрони зазвичай використовуються на невеликих і середніх виробництвах. Мають покращене повітряне або комбіноване охолодження і здатні обробляти матеріали товщиною до 40 мм. Використовуються для різання як чорних, так і кольорових металів.

Високопотужні плазмотрони призначені для роботи на великих промислових виробництвах. Забезпечені водяним охолодженням, мають високу потужність і здатні різати метал до 80–100 мм товщини. Потребують точного регулювання і контролю, часто працюють в автоматизованих лініях.

Електрична дуга є ключовим елементом роботи плазмотрону, оскільки саме вона забезпечує перетворення електричної енергії у теплову, створюючи умови для іонізації газу та утворення плазми.

Електрична дуга в плазмотроні виникає між електродом (катодом) і оброблюваним матеріалом або анодом. Дуга створюється при високій напрузі, що призводить до іонізації газу, перетворюючи його в іонізовану плазму.

Для забезпечення стабільного процесу різання, дуга має бути стійкою. Цього досягають шляхом використання спеціальних електродів та розробки систем, які зменшують флуктуації напруги.

Температура електричної дуги може досягати 20,000–30,000 °C, що забезпечує миттєве плавлення металу на шляху плазмового струменя.

Газова суміш, яка використовується в плазмотроні, виконує кілька важливих функцій:

- забезпечує середовище для утворення плазми;
- впливає на якість і швидкість різання;
- визначає ступінь окислення матеріалу та рівень чистоти кромок.

Найпоширеніші газові суміші для плазмотронів включають:

- Повітря – найбільш доступний і економічний варіант, який підходить для різання вуглецевих сталей. Однак використання повітря може призвести до окислення кромок, що вимагає подальшого очищення.
- Кисень ($O_2$) - застосовується для різання вуглецевих сталей, покращує процес окислення, що сприяє вищій температурі і більшій швидкості різання. Дозволяє досягти чистих і рівних кромок.
- Азот ($N_2$) – використовується для різання нержавіючих сталей та алюмінію, запобігаючи окисленню. Це дозволяє досягати чистих зрізів, зменшуючи кількість окалини.

- Аргон-воднева суміш ($Ar-H_2$) - використовується для різання чутливих до окислення матеріалів, таких як алюміній та мідь. Водень покращує процес різання і знижує можливість утворення окалини.

Вибір газу значно впливає на якість і економічність процесу. Наприклад, кисень забезпечує швидке різання, але може впливати на якість кромки, тоді як аргон-воднева суміш підходить для високоякісного різання, але є дорожчою.

В процесі роботи плазмотрона утворюється значна кількість тепла, тому ефективна система охолодження є критично важливою для збереження робочих характеристик плазмотрону, запобігання перегріву та продовження терміну служби компонентів.

Повітряне охолодження підходить для малопотужних плазмотронів, що використовуються для обробки тонких матеріалів. У таких системах повітря видаляє надлишок тепла з плазмотрону. Цей метод простий та дешевий, але менш ефективний для тривалого різання або роботи з товстими матеріалами.

Водяне охолодження використовується у високопотужних плазмотронах. Вода циркулює по каналах навколо електродів і сопла, відводячи тепло зони різання. Водяне охолодження дозволяє працювати при вищих температурах і запобігає перегріву, що є критично важливим для тривалих операцій на виробництві.

Комбіновані системи охолодження застосовуються для складних високоточних плазмотронів, де використовуються і повітряне, і водяне охолодження одночасно. Це дозволяє забезпечити ефективне видалення тепла, підвищуючи якість і тривалість роботи інструменту.

Переваги охолодження в плазмотронах:

- Збільшення терміну служби електродів: Зниження температури електродів зменшує їх зношування;
- Підтримка стабільної дуги: Охолодження допомагає уникнути перегріву та флуктуацій в дуговому процесі;
- Поліпшення якості різання: Зниження теплових деформацій сприяє отриманню точних і рівних зрізів.

Сучасні напрямки технологічного удосконалення у плазмотронах:

Автоматизоване регулювання газу – деякі плазмотрони мають вбудовані системи автоматичного налаштування газових параметрів, що дозволяє оператору оптимізувати процес різання під різні матеріали.

Сопла з покриттям – використання сопел з покриттям для зниження зношування, особливо при роботі з абразивними матеріалами.

Технології стабілізації дуги – новітні плазмотрони можуть мати стабілізуючі елементи, що зменшують коливання дуги для покращення якості різання.

Сучасні плазмотрони мають широкий спектр можливостей завдяки гнучкому налаштуванню електричної дуги, вибору газових сумішей і ефективним системам охолодження. Кожен з елементів — електрична дуга, газ і охолодження — є невід'ємною частиною процесу плазмового різання, де оптимальне поєднання цих компонентів дозволяє забезпечити ефективний і високоякісний процес різання металів.

## 2.3 Моделі теплового й механічного впливу на матеріал

При плазмовому різанні металів на матеріал одночасно впливають теплові та механічні фактори. Розуміння цих впливів дозволяє оптимізувати процес, покращити якість кромки і зменшити ризик пошкоджень. У зв'язку з цим розроблено кілька моделей, що описують тепловий і механічний вплив плазмового струменя на матеріал.

Тепловий вплив у плазмовому різанні визначається високою температурою плазмового струменя, який досягає 20,000-30,000 °C. Під дією такого тепла матеріал швидко плавиться і випаровується в зоні різу. Основні моделі теплового впливу описують розподіл температури та швидкість нагріву матеріалу.

Модель теплового потоку. У цій моделі плазмовий струмінь розглядається як джерело тепла, яке переміщується по поверхні матеріалу. Температурне поле

можна описати рівнянням теплопровідності з урахуванням характеристик матеріалу, таких як теплопровідність, теплоємність і щільність.

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$$

де $\rho$ – щільність матеріалу;

$c_p$ – теплоємність;

$T$ – температура;

$k$ – теплопровідність;

$Q$ – джерело тепла.

Модель фронтального плавлення. Ця модель описує тепловий фронт, який проходить через матеріал у зоні дії плазми. Вона враховує температуру плавлення та випаровування матеріалу. Розподіл температур у моделі фронтального плавлення визначає зону розплавлення і випаровування, забезпечуючи розрахунки, які можна використовувати для контролю глибини різу.

Модель фазового переходу. При високих температурах відбуваються фазові переходи (твердий-плавлений-пар), які вимагають додаткової енергії. Ця модель враховує зміни фаз у матеріалі, що виникають в процесі плазмового різання, і потребу додаткової енергії для випаровування.

Механічний вплив при плазмовому різанні виникає через високошвидкісний струмінь плазми, який видуває розплавлений метал із зони різу. Цей струмінь створює тиск і може призводити до механічних деформацій, мікротріщин та інших дефектів.

Модель впливу тиску плазмового струменя – плазмовий струмінь, що виходить з сопла, діє на матеріал з високим тиском. Цей тиск видаляє розплавлений метал і впливає на глибину різу. Тиск можна описати рівнянням:

$$\mathrm{P} = \rho \cdot \vartheta^2$$

де P – тиск,

$\rho$ – густина плазми,

$\vartheta$ – швидкість потоку плазмового струменя.

У цій моделі також враховується кут впливу плазмового струменя на матеріал, що має значення для якості зрізу та його точності.

Модель втомної напруги. Під впливом високих температур і механічних навантажень матеріал зазнає термомеханічної деформації, що призводить до виникнення залишкових напруг і можливих тріщин. Ця модель розглядає пластичну деформацію матеріалу на рівні мікроструктури, що виникає внаслідок швидкого нагрівання і охолодження.

Модель відриву частинок. цій моделі описується процес механічного видалення розплавлених частинок металу з поверхні зрізу під дією швидкісного плазмового струменя. Струмінь, проходячи вздовж зрізу, видуває частинки, запобігаючи їх налипанню на кромки різу, що покращує якість обробки.

Для більш точного опису процесу плазмового різання використовується комбінована модель, яка інтегрує теплові та механічні ефекти, враховуючи одночасний вплив температури, тиску і швидкості плазмового струменя. Така модель дозволяє оптимізувати параметри різання, підвищуючи якість обробки і зменшуючи деформації матеріалу.

# 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ

## 3.1 Аналіз основних параметрів плазмового різання

Параметри плазмового різання відіграють критичну роль у забезпеченні якості, точності та швидкості процесу. До основних параметрів належать: сила струму, тиск газу, швидкість руху різака і товщина металу. Кожен із них має свої особливості та вплив на кінцевий результат.

Сила струму визначає потужність плазмового струменя та, відповідно, його здатність проникати в матеріал.

Підвищення сили струму збільшує температуру і щільність енергії плазмового струменя, дозволяючи обробляти товстіші матеріали і підвищувати швидкість різання. Однак, надмірно високий струм може призвести до збільшення ширини різу та підвищення температурного впливу на кромки, що спричиняє деформації і втрату точності.

Низька сила струму використовується для різання тонких матеріалів, зменшуючи зону теплового впливу і покращуючи якість кромок. Надто низький струм, однак, може не забезпечити необхідної потужності для стабільного різання, особливо на товстих металах.

Оптимальна сила струму залежить від товщини матеріалу і бажаної швидкості різання. Наприклад, для тонких сталевих листів (до 5 мм) зазвичай використовуються струми до 50 А, для матеріалів середньої товщини (5-20 мм) — до 200 А, а для товстих матеріалів (понад 20 мм) — від 200 А і вище.

Тиск газу впливає на формування плазмового струменя, його швидкість та ефективність видалення розплавленого металу з зони різу.

Підвищення тиску покращує видування розплавленого металу, забезпечуючи чистіші та точніші зрізи. Однак надмірний тиск може дестабілізувати плазмовий струмінь, особливо на тонких матеріалах, де це може призвести до зниження якості обробки або навіть припинення дуги.

Низький тиск застосовується для тонких матеріалів, де не потрібен інтенсивний струмінь для видалення розплавленого металу. Занадто низький тиск може призвести до неякісного видалення шлаку та залишків металу, що негативно впливає на чистоту кромки.

Тиск газу зазвичай регулюється залежно від товщини і типу матеріалу. Наприклад, для різання сталі товщиною 5-10 мм оптимальний тиск може коливатися в межах 4-6 бар, тоді як для товстих листів цей параметр може досягати 8-10 бар.

Швидкість руху різака визначає час теплового впливу на матеріал і впливає на ширину різу та утворення дефектів.

Підвищення швидкості дозволяє зменшити зону теплового впливу, знижуючи ризик деформації матеріалу. Проте, надмірно висока швидкість може призвести до неповного прорізання матеріалу або нерівномірності кромки через недостатній час для випаровування і плавлення.

При повільному русі різака зона теплового впливу збільшується, що може спричинити перегрів, деформацію і утворення задирок. Надто повільний рух призводить до надмірного споживання енергії і неекономічного використання обладнання.

Оптимальна швидкість різання залежить від товщини і типу матеріалу, а також сили струму і тиску газу. Для сталі товщиною до 10 мм швидкість може становити від 500 до 700 мм/хв, для товстіших листів (понад 20 мм) – близько 100-200 мм/хв.

Товщина матеріалу, що обробляється, впливає на вибір всіх інших параметрів: сили струму, тиску газу і швидкості.

Для тонких листів металу (до 10 мм)обираються менші значення сили струму і тиску газу, що дозволяє зберегти якість кромки та уникнути перегріву. Наприклад, для різання вуглецевої сталі товщиною 3-5 мм зазвичай застосовуються струми до 50 А і швидкість понад 600 мм/хв.

Середня товщина (10-20 мм) вимагає підвищеної потужності та відповідного тиску, щоб забезпечити стабільний розріз. Швидкість також регулюється для оптимальної якості та ефективності різання.

Для товстих металів (понад 20 мм)потрібні висока потужність (200 А і більше), підвищений тиск і нижча швидкість для повного проплавлення матеріалу. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірність зрізу та уникнути дефектів.

Параметри плазмового різання взаємопов’язані і мають значний вплив на якість, точність та ефективність обробки. Оптимальне налаштування сили струму, тиску газу, швидкості різака і врахування товщини матеріалу є ключовим для отримання якісних і чистих кромок з мінімальними деформаціями та дефектами.

## 3.2 Вплив різних параметрів на якість кромки різання, точність, ширину різу

Параметри плазмового різання впливають на якість кромки, точність обробки та ширину різу. Оптимальні налаштування сприяють отриманню чистих, точних кромок, тоді як їх неправильний вибір може спричинити дефекти.

Сила струму впливає на точність і якість кромки: висока сила струму дозволяє глибше прорізати товсті матеріали, але може збільшити ширину різу і створити нерівності на кромках. Низька сила струму зменшує ширину різу і зону термічного впливу, підходячи для тонких матеріалів і забезпечуючи високу якість кромки, але не забезпечує належної потужності для товстих листів.

Тиск газу визначає форму плазмового струменя і видалення шлаку. Високий тиск покращує чистоту зрізу і зменшує кількість оксидів на кромках, але надто високий тиск може дестабілізувати струмінь. Низький тиск може залишати шлак на кромках, погіршуючи якість, але підходить для тонких металів, де не потрібне сильне видування розплавленого матеріалу.

Швидкість руху різака істотно впливає на точність і ширину різу. Висока швидкість зменшує термічний вплив і ширину різу, що підвищує точність і знижує ризик деформацій. Надмірно висока швидкість, однак, може призвести до неповного розрізання. Низька швидкість руху дозволяє краще проплавити товсті метали, але спричиняє перегрів, що збільшує ширину різу і може викликати хвилясті кромки.

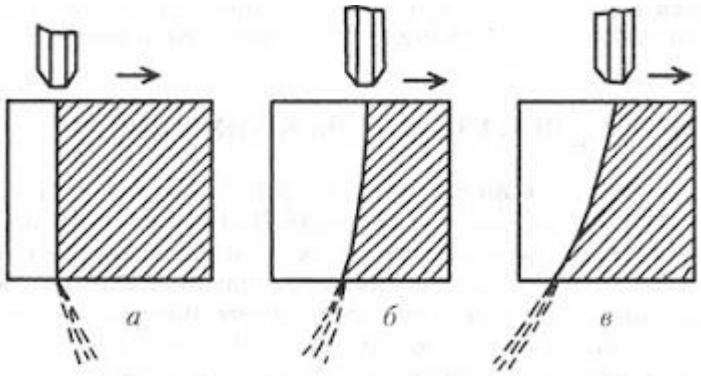



Рис.1.10. Характер викидів іскр і шлаків при різанні:
а –мала швидкість; б – оптимальна; в – велика

Товщина металу визначає необхідні налаштування інших параметрів. Тонкі метали потребують низької сили струму і тиску газу для збереження точності та чистоти різу. Для товстих матеріалів необхідні більші значення струму, тиску і помірна швидкість, щоб забезпечити якісне різання та уникнути недорізів.

## 3.3 Оптимізація технологічних режимів для різних матеріалів

Оптимізація технологічних режимів для різних матеріалів, таких як нержавіюча сталь, алюміній і чорні метали, є важливою для досягнення якісних результатів при плазмовому різанні. Кожен з цих матеріалів має свої особливості теплопровідності, зони термічного впливу та схильності до утворення оксидів, що вимагає специфічного налаштування параметрів.

Нержавіюча сталь має низьку теплопровідність і є схильною до утворення оксидів, тому потребує точного налаштування параметрів для мінімізації дефектів.

Використовується помірна або висока сила струму для різання товстих листів, щоб забезпечити рівномірне проплавлення. Для тонкої нержавіючої сталі зазвичай застосовують струми до 50 А, для товстіших листів – понад 100 А.

Азот або аргон часто використовуються як робочі гази для запобігання окисленню кромок. Оптимальний тиск зазвичай у межах 5–8 бар.

Помірна швидкість для запобігання перегріву і окислення. Для товщини 5–10 мм оптимальна швидкість може становити 300–500 мм/хв.

Алюміній має високу теплопровідність, що може призводити до надмірного теплового впливу і деформацій, тому потребує високої швидкості різання та спеціального газу.

Для тонких алюмінієвих листів використовують низьку силу струму, для товстих листів – високу (до 200 А). Це допомагає уникнути перегріву та деформацій.

Аргон чи аргон-воднева суміш забезпечують кращу якість кромок, захищаючи від окислення. Тиск газу встановлюється на середньому рівні, щоб запобігти надмірному розбризкуванню.

Висока швидкість руху різака мінімізує тепловий вплив і ризик деформації. Оптимальна швидкість може сягати 600 мм/хв для листів товщиною 5 мм.

Чорні метали добре піддаються плазмовому різанню, особливо при використанні кисню як робочого газу, що забезпечує якісне різання з мінімальними дефектами.

Для тонких чорних металів використовується сила струму до 100 А, тоді як для товстих листів може знадобитися понад 200 А для забезпечення рівномірного різу.

Кисень як робочий газ сприяє високій температурі та якості різу, особливо на вуглецевій сталі. Тиск встановлюється на рівні 4–7 бар для різання тонких і середньої товщини листів.

Помірна швидкість для забезпечення рівномірного різу. Для листів до 10 мм підходить швидкість 300–500 мм/хв, для товстіших листів – 100–200 мм/хв, що дає можливість отримати якісну кромку.

Оптимізація технологічних параметрів для кожного матеріалу підвищує продуктивність процесу та знижує ризик дефектів. Для нержавіючої сталі використовують азот і помірну швидкість, для алюмінію – аргон та високу швидкість, а для чорних металів – кисень та помірну силу струму.

Деякі матеріали важко або неможливо різати плазмовим різанням через їхні фізичні та хімічні особливості. Наприклад, матеріали з високою теплопровідністю, такі як мідь та її сплави, швидко розсіюють тепло від зони різу, що ускладнює створення стійкого плазмового струменя. Високовуглецеві сталі та загартовані сталі теж важко обробляти плазмою, оскільки вони схильні до утворення тріщин і деформацій при локальному нагріванні, що може призвести до значних залишкових напружень і пошкодження структури металу.

Матеріали з низькою температурою плавлення, наприклад, цинк або свинець, плавляться і випаровуються при впливі високих температур, створюючи небажане розбризкування та утворення шлаку, а також виділяючи токсичні пари. Крім того, деякі композити та пластики не можна різати плазмою, оскільки висока температура пошкоджує їхню структуру, а в разі пластиків це може спричинити токсичне виділення газів.

Нарешті, для тонких матеріалів (наприклад, товщиною менше 1 мм) плазмове різання хоч і можливе, але часто неефективне, оскільки вони перегріваються та деформуються під впливом плазмового струменя. Для таких матеріалів зазвичай вибирають альтернативні методи обробки, як-от лазерне, водоабразивне різання або механічну обробку, які забезпечують якісніший результат.

# 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ

## 4.1 Опис обладнання та матеріалів для проведення експерименту

Система EX-TRAFIRE 55SD – це комплект потужного обладнання для ручного та автоматизованого плазмового різання і стругання металу, а також різки решіток рис. 3.1. Максимальна товщина сталевого листа, яку здатний прорізати даний апарат становить 30 мм. Завдяки своїй портативності, наявності системи підключення пальника TSC та інтуїтивному керуванню апарат EX-TRAFIRE 55SD можна використовувати в установках з ЧПК.

Рис. 3.1 Джерело живлення EX-TRAFIRE 55SD

Для різання електропровідних металів (м’якої сталі, нержавіючої сталі та алюмінію) в системі як плазмоутворюючі гази можуть застосовуватись стиснене повітря або азот.

Джерело живлення EX-TRAFIRE 55SD характеризується високою точністю різу та хорошим робочим циклом.

Для приєднання пальників для ручного чи автоматизованого різання джерела живлення плазмової дуги EX-TRAFIRE оснащені штекерами з системою TCS (Torch Connection System), яка забезпечує надійну фіксацію штекера шлангового пакета пальника.

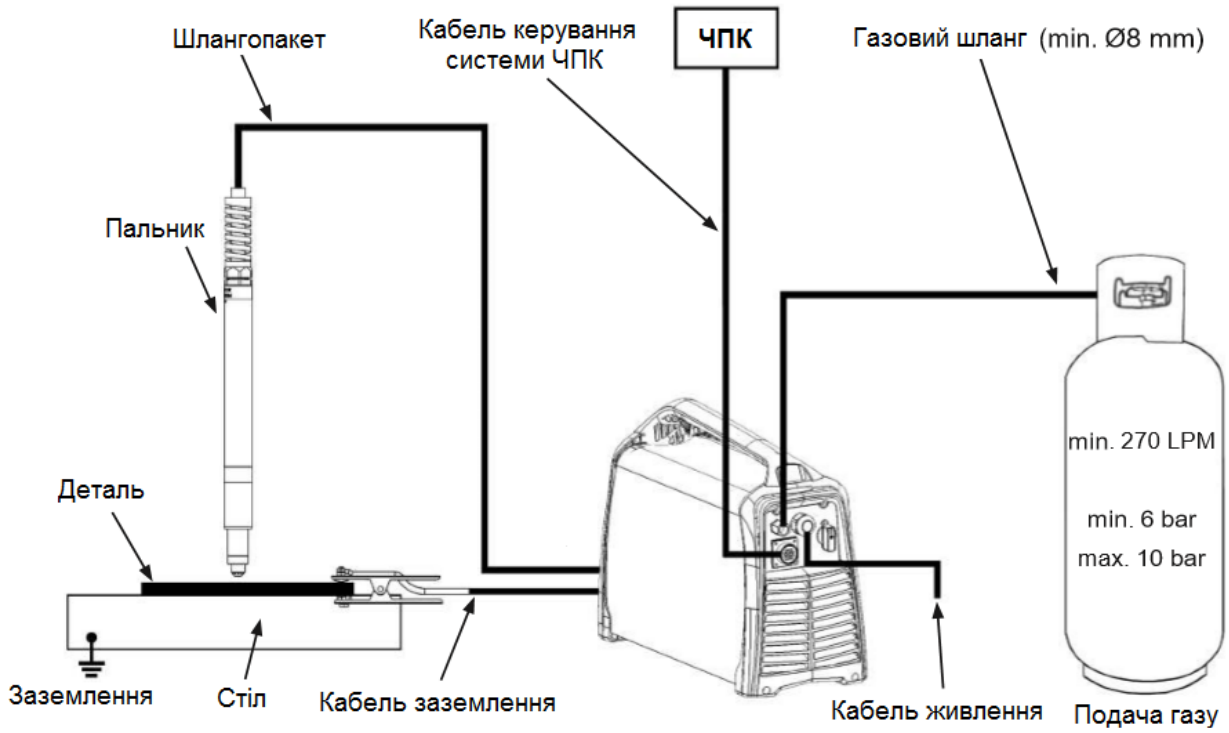



Рисунок 3.2 – Схема використання джерела живлення плазми EX-TRAFIRE 55SD для машинного різання металу

В системі EX-TRAFIRE 55SD подача стисненого повітря здійснюється від компресора або балонів. Крім того, система подачі плазмо утворюючого газу має бути обладнана регулятором високого тиску (блоком підготовки повітря), який має можливість подавати газ до фільтра системи зі швидкістю 270 л/хв. при тиску 5,5 бар.

Поршневий компресор B5900/200CT5,5 з об'ємом ресивера 200 літрів і продуктивністю 653 л/хв рис. 3.3. Основні переваги компресорів BALMA:

- кількість обертів вала компресора BALMA менша, ніж в інших фірм, відповідно моторесурс компресора набагато більше
- енергоємність на виробництво 1 м3 стисненого повітря нижче на 20%, ніж в інших фірм-виробників
- втрата повітря під час стиснення компресорів концерну "BALMA" становить 10-20% і менше ніж в інших фірм-виробників (20-30%), що говорить про якість збирання компресорів BALMA.

Рис. 3.3. Поршневий компресор B5900/200CT5,5

Таблиця 4.1. Технічні характеристики:

| | |
|---|---|
| Об'єм ресивера | 200 літрів |
| Продуктивність | 653 л/хв |
| Максимальний тиск | 11 бар |
| Частота обертання двигуна | 1370 об./хв |
| Потужність двигуна | 4,1 кВт |
| Джерело живлення | 380 В / 50 Гц |
| Габаритні розміри в пакованні | 1500 х 450 х 1100 мм |
| Вага | 128 кг |

Портативна система для різання металу EX-TRACK з числовим програмним керуванням (ЧПК) є модернізованим, високоточним обладнанням із цифровим керуванням, призначеним для роботи на виробничих підприємствах та робочих майданчиках. За своєю функціональністю є універсальною, і може

використовуватися з газовим або плазмовим різаком. Це дозволяє виготовляти прості та складні деталі. Дана система може застосовуватись в різних сферах виробництва: в автомобільній промисловості, суднобудуванні, будівельній техніці, в обладнанні для легкої промисловості та багатьох інших галузях.

Рисунок 3.4 – Портативна система для різання металу EX-TRACK з ЧПК

Дана система має характеристики, однакові з портальним великогабаритним обладнанням з програмним керуванням і забезпечує можливість різання деталей будь-якої складності. Вона може застосовуватися як для кисневого, так і для газового різання, а також для плазмового різання металу. Функція ЧПУ дозволяє вирізати деталі різної складності з максимальною точністю, а функція ручного різання в більшій мірі призначена для більш простих операцій.

Також використовується водяний стіл з робочим полем 1500х1500 мм. Вода дозволяє поглинати випари та бризки розплавленого металу а також допомагає охолодити готовий виріб.

Таблиця 4.2 - Технічні характеристики системи EX-TRACK

| | |
|---|---|
| Зона різання (мм) | 1500×3000 |
| Напруга мережі живлення | AC110Вт/230Вт - 50Гц |
| Різак | 1 |
| Швидкість різання (мм/хв) | 50-3000 |
| Максимальна швидкість (мм/хв) | 3000 |
| Вертикальне переміщення (мм) | 100 (4 дюйми) |
| Діапазон газокисневого різання (мм) | до 100 (4 дюйми) |
| Діапазон плазмового різання (мм) | До 35 ($1\frac{3}{8}$ дюйми) |
| Габарити (довжина х висота х шир) (мм) | 3500 × 370 × 2200 |
| Вага (кг) | 134 |

Система розпізнає базове програмування M- та G-коду. Бібліотека з 50 стандартних форм зводить до мінімуму час програмування та налаштування системи. Розміри деталей можна легко редагувати, а форми користувача створювати без програмування.

Система EX-TRACK комплектується високопродуктивними машинними пальниками FHT-EX 105RTXM, які ідеально підходять для виконання жорстких вимог у безперервній промисловій експлуатації з 100% робочий цикл при струмі різання 100-105 А. Ці пальники розроблені для використання з джерелами живлення EX-TRAFIRE 55SD, 75SD і 100SD і придатні для суцільного різання та різання сітки. Залежно від використовуваного джерела живлення вони здатні розрізати пластини товщиною до 50 мм і більш з достатньою точністю та високою швидкістю. Завдяки системі з'єднання TCS заміна пальника є швидким і простим процесом. Вони мають міцну та довговічну конструкцію, в якій усі витратні матеріали можна швидко та легко замінити.

Для можливості використання пальника з різними джерелами живлення вони можуть комплектуватися різними розхідними матеріалами (рис. 3.5).

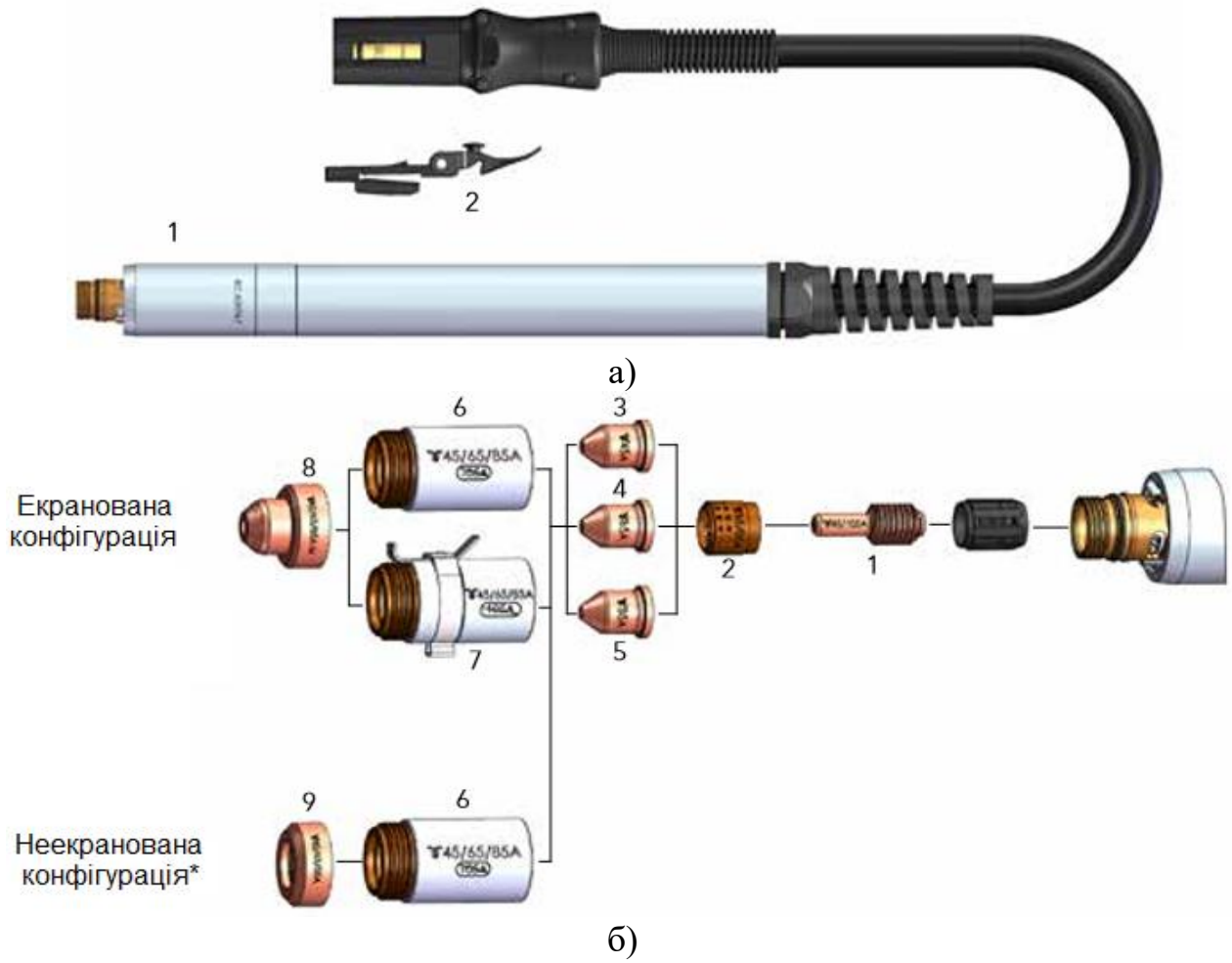



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд (а) та розхідні матеріали (б) машинного пальника FHT-EX 105RTXM для плазмового різання металу

а) 1 – пальник; 2 – фіксатор системи з’єднання TCS;

б) 1 – електрод; 2 – завихрювач; 3, 4, 5 – сопло; 6, 7 – корпус ковпака; 8 – захисний ковпак; 9 – дефлектор

Пальник для машинного різання повинен встановлюватися перпендикулярно до площини розрізуваного матеріалу. Під час встановлення пальника необхідно користуватись кутниками з кутом 90 . Перед тим, як приступити до встановлення пальника необхідно перевірити та відрегулювати рівень різального столу.

## 4.2 Постановка експерименту

Необхідно провести дослідження впливу регульованих параметрів процесу плазмового різання на якісні показники результатів, зокрема торця деталі утвореного внаслідок різу.

До регульованих параметрів можна віднести такі:

- Сила струму (А);
- Швидкість різання (мм/хв);
- Тиск плазмоутворюючого газу (бар);
- Висота різака над поверхнею (мм);
- Час пробивки (с).

Визначимо як впливають час пробивки та сила струму на якість різу при сталих всіх інших параметрах. Матеріал сталь товщиною 4 мм, тиск газу 6,5 bar і швидкість різу – 1000 мм/хв.

Для цього необхідно здійснити дослідження для трьох рівнів зміни сили струму та часу пробивки табл. 4.3. Таким чином необхідно провести 9 дослідів з різними комбінаціями регульованих параметрів. Матриця планування експерименту відображена в табл. 4.4.

Таблиця 4.3 Значення регульованих параметрів

| Регульований параметр | -1 | 0 | 1 |
|---|---|---|---|
| Сила струму, А | 30 | 40 | 50 |
| Час пробивки, с | 0,1 | 0,3 | 0,5 |

Таблиця 4.4 Матриця планування експерименту

| № | Струм, А | Час пробивки, с | Струм, А | Час пробивки, с |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -1 | -1 | 30 | 0,1 |
| 2 | 0 | -1 | 40 | 0,1 |
| 3 | 1 | -1 | 50 | 0,1 |
| 4 | -1 | 0 | 30 | 0,3 |
| 5 | 0 | 0 | 40 | 0,3 |
| 6 | 1 | 0 | 50 | 0,3 |
| 7 | -1 | 1 | 30 | 0,5 |
| 8 | 0 | 1 | 40 | 0,5 |
| 9 | 1 | 1 | 50 | 0,5 |

Також необхідно здійснити дослідження залежності сили струму та швидкості переміщення плазмотрона відносно листа металу для прямого різу а також для отворів невеликих діаметрів.

Досліджувані фактори:

$X_1$ - Сила струму

- Мінімальне значення (-1): 30 А
- Середнє значення (0): 40 А
- Максимальне значення (+1): 50 А

$X_2$ - Швидкість різання

- Рівень 1: 500 мм/хв
- Рівень 2: 1000 мм/хв
- Рівень 3: 1500 мм/хв
- Рівень 4: 2000 мм/хв

Параметри оптимізації (відгуки)

1. $Y_1$ - Ширина різу верхня (мм)

2. $Y_2$ - Ширина різу нижня (мм)

3. $Y_3$ - Кут нахилу поверхні різу (градуси)

4. $Y_4$ - Середній діаметр отвору верхній (мм)

5. $Y_5$ - Середній діаметр отвору нижній (мм)

6. $Y_6$ - Наявність грату

7. $Y_7$ - Ширина зони термічного впливу (мм)

Таблиця 4.5. Матриця планування експерименту

| № | $X_1$ (Струм) | $X_2$ (Швидкість) | Струм (А) | Швидкість (мм/хв) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | -1 | 1 | 30 | 500 |
| 2 | 0 | 1 | 40 | 500 |
| 3 | 1 | 1 | 50 | 500 |
| 4 | -1 | 2 | 30 | 1000 |
| 5 | 0 | 2 | 40 | 1000 |
| 6 | 1 | 2 | 50 | 1000 |
| 7 | -1 | 3 | 30 | 1500 |
| 8 | 0 | 3 | 40 | 1500 |
| 9 | 1 | 3 | 50 | 1500 |
| 10 | -1 | 4 | 30 | 2000 |
| 11 | 0 | 4 | 40 | 2000 |
| 12 | 1 | 4 | 50 | 2000 |

## 4.3 Методика проведення експерименту

1. Підготовчий етап

- Підготовка зразків сталевого листа 3 мм
- Калібрування вимірювальних приладів
- Перевірка та налаштування плазмової установки
- Підготовка протоколів експерименту

2. Проведення експериментів

- Випадковий порядок проведення дослідів

- Довжина різу для кожного досліду: 20-100 мм

- Загальна кількість різів: 3 × 3 = 9, 4 × 3 = 12

3. Вимірювання та контроль

Необхідне обладнання:

- Штангенциркуль цифровий (точність 0.01 мм)

- Цифрова камера для фотофіксації

4. Математична обробка результатів

5. Аналіз результатів

1. Побудова графіків залежностей

2. Визначення оптимальних режимів різання

3. Розробка технологічних рекомендацій

Таблиця 4.6. Форма запису результатів експерименту

| № | Режими різання | Виміряні параметри |
|---|---|---|
| | $X_1$, $X_2$ | $Y_1 ... Y_7$ |
| | | |

Необхідно виконати графічну обробку результатів експериментів:

1. Графіки залежностей параметрів якості від сили струму при різних швидкостях;

2. Графіки залежностей параметрів якості від швидкості при різних значеннях струму;

3. Графіки залежностей параметрів якості від часу пробивки при різних значеннях струму;

4. Діаграми оптимальних режимів.

До очікуваних результатів можна віднести:

1. Математичні залежності параметрів якості різу від режимів обробки;
2. Оптимальні режими для різних критеріїв якості;
3. Технологічні рекомендації;
4. Графічні залежності якості різу від режимів обробки.

## 4.4 Аналіз результатів дослідження пробивки

В першому експерименті було здійснено дослідження впливу часу пробивки та сили струму на якісні параметри різу. Для цього використано пластину товщиною 4 мм, а швидкість різу для всіх дослідів однакова і становить 1000 мм/хв.

Для досліджень використано три значення сили струму (30, 40 і 50 А) а також три значення часу пробивки (0,1, 0,3 та 0,5 с), тобто часу коли після запалювання електричної дуги плазмотрон буде стояти нерухомо до початку руху по заданій траєкторії із заданою швидкістю рис. 3.6. Нижній різ – час пробивки становить 0,1 с, середній – 0,3 с та верхній – 0,5.

Рис. 3.6. Результати дослідження впливу часу пробивки і сили струму на якісні показники різу: а – для сили струму 30 А, б – 40 А, в – 50 А.

За допомогою електронного штангенциркуля було здійснено вимірювання отвору пробивки, а саме його діаметр в двох площинах, під кутом 45° та 135° до напрямку різу. Результати вимірювань занесені до таблиці 4.7.

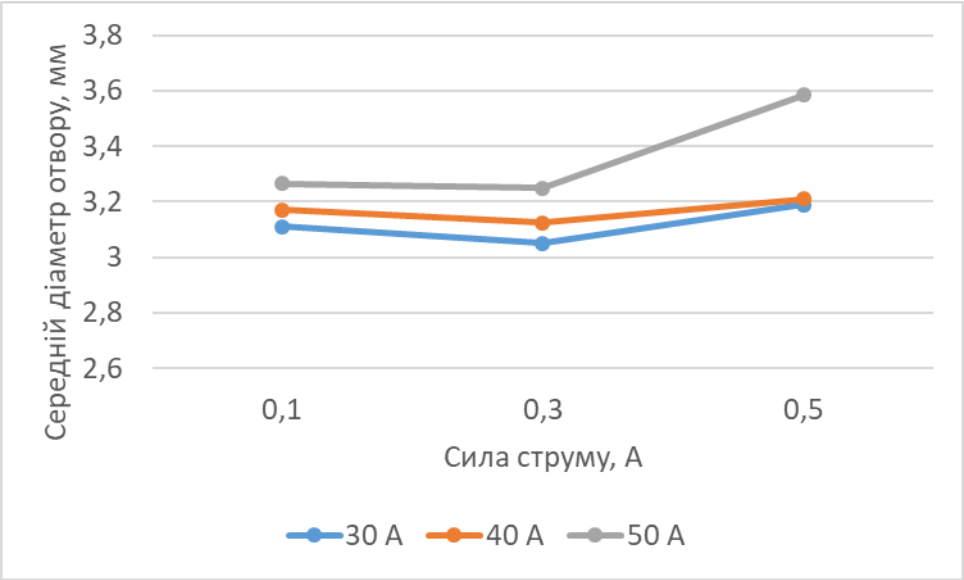
Таблиця 4.7 Діаметр по двох осях отвору пробивки

| Параметр | | 30 А | 40 А | 50 А |
|---|---|---|---|---|
| 0,5 с | верх | 2,86-3,52 | 2,93-3,49 | 3,47-3,7 |
| | низ | 2,4-2,8 | 2,8-3,4 | 3,73-3,97 |
| 0,3 с | верх | 3,02-3,08 | 3,09-3,16 | 3,17-3,33 |
| | низ | 1,97-2,36 | 2,56-3,08 | 2,89-3,37 |
| 0,1 | верх | 2,32-3,9 | 2,87-3,72 | 2,81-3,72 |
| | низ | 1,89-2,26 | 2,61-2,73 | 2,46-3,04 |

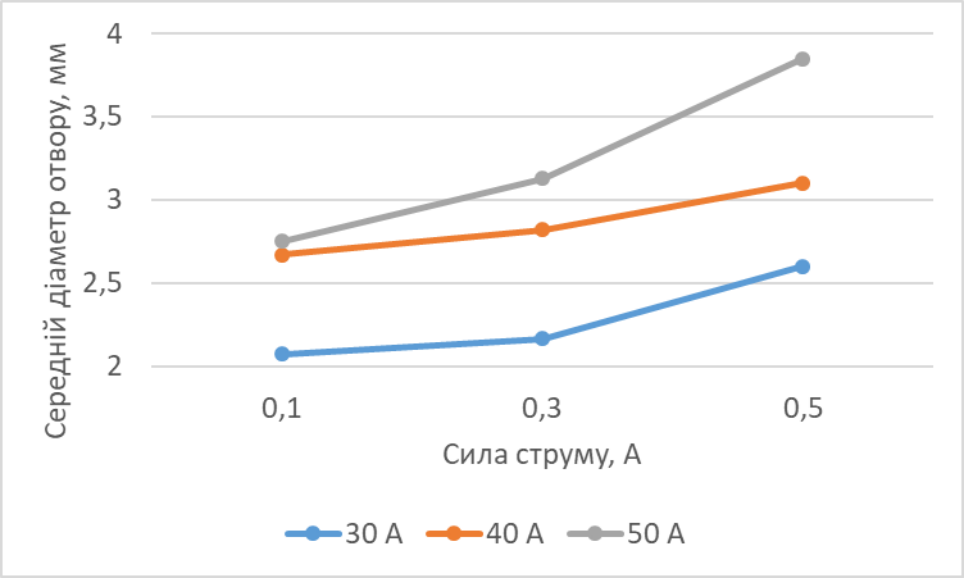
Визначено середні значення діаметрів отворів пробивки, ці значення відображено в таблиці 4.8. Як видно з рис. 3.6 форма отвору є відмінна від кола і в більшості схожа на еліпс. Особливо це помітно для струму 30 А, а також отвір пробивки зміщений в бік від траєкторії руху плазмотрону.

Таблиця 4.8. Середній діаметр отвору пробивки

| Параметр | | 30 А | 40 А | 50 А |
|---|---|---|---|---|
| 0,5 с | верх | 3,19 | 3,21 | 3,585 |
| | низ | 2,6 | 3,1 | 3,85 |
| 0,3 с | верх | 3,05 | 3,125 | 3,25 |
| | низ | 2,165 | 2,82 | 3,13 |
| 0,1 | верх | 3,11 | 3,295 | 3,265 |
| | низ | 2,075 | 2,67 | 2,75 |

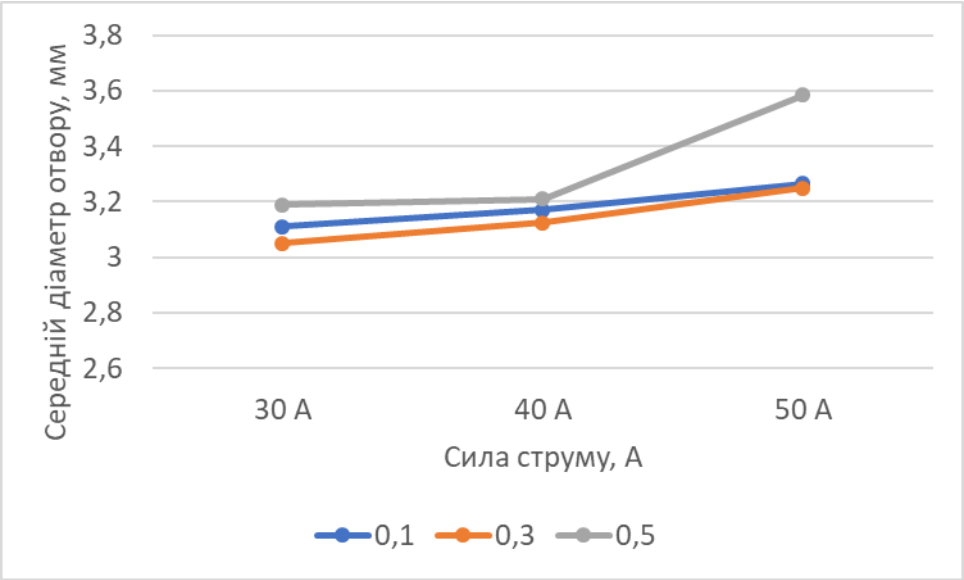



а

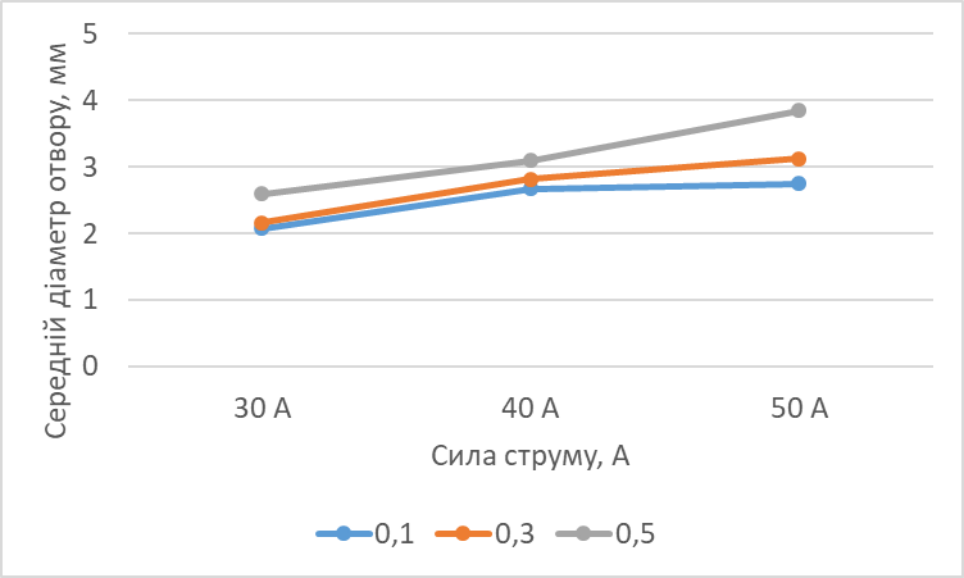



б

Рис. 3.7. Залежність діаметра отвору від часу пробивки: а – зверху, б – знизу.




а




б

Рис. 3.8. Залежність діаметра отвору від сили струму: а – зверху, б – знизу.

На рис. 3.7 та 3.8 зображено графіки залежності діаметра отвору на верхній та на нижній площині листа металу залежно від часу пробивки та сили струму. Як чистовий розмір деталі визначається розмір по нижній частині листа, тому розглянемо об’ємну поверхневу діаграму залежності діаметра отвору залежно від часу пробивки та сили струму рис. 3.9.

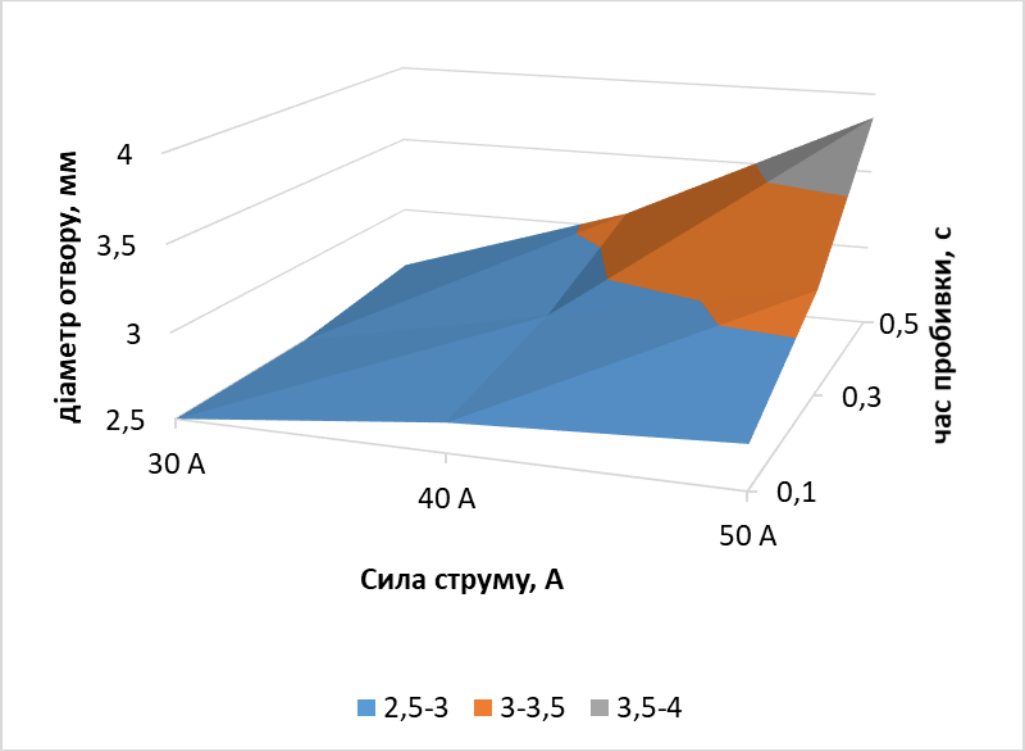



Рис. 3.9. Об’ємна поверхнева діаграма залежності діаметра отвору залежно від часу пробивки та сили струму

Також як видно з результатів дослідження, табл. 4.7, 4.8 для часу 0,5 с та сили струму 50 А нижній діаметр отвору є дещо більшим від верхнього.

## 4.5 Аналіз результатів дослідження якості різу

Експериментально досліджено вплив сили струму та швидкості переміщення плазмотрона на якісні параметри різу. Для цього використано пластину товщиною 3 мм, час пробивки для всіх дослідів був однаковий і становив 0,3 с.

Оскільки максимальна швидкість переміщення плазмотрона становить 3000 мм/хв і це досить велика швидкість для робочого переміщення то для дослідження приймемо чотири значення швидкості 500, 1000, 1500 і 2000 мм/хв. Також визначено три значення сили струму – 30, 40 і 50 А.

Для проведення даного дослідження створено два елементи а саме пряма лінія довжиною 70 мм а також коло діаметром 7 мм. Побудовано керуючу

програму де було задано різні значення швидкості для кожного досліду, а зміна сили струму відбувалася в ручному режимі на самому інверторі.

На рис. 3.10 показано результати дослідження впливу сили струму та швидкості різання на його якісні показники.

Рис. 3.10. Результат дослідження впливу сили струму та швидкості різання, верхня частина листа

Як видно з рис. 3.10 наявність грату на верхній частині листа мінімальна, і він легко зчищається при мінімальній фізичній дії.

На рис. 3.11 показана нижня частина листа. Для високої швидкості (2000 мм/хв) сили струму у 30А є замало, як видно з рис. 3.11на довжині 35 мм не відбулося наскрізного прорізання листа і це брак.

Рис. 3.11. Результат дослідження впливу сили струму та швидкості різання, нижня частина листа

Також за рахунок великої швидкості внутрішня частинка металу при вирізанні отвору залишилася прикріпленою до основної частини матеріалу навіть після очистки напливів металу на верхній та нижній поверхнях

Для всіх значень сили струму при швидкості 500 мм/хв на нижній стороні листа навколо лінії різу утворилася велика кількість грату який досить міцно тримається матеріалу листа та потребує значних зусиль для очищення.

При швидкості 1000 та 1500 мм/хв для сили струму 30А відносно менша кількість грату але все ще така деталь потребує додаткової обробки. Враховуючи це сила струму 30 А не рекомендована для розкрою стального листа товщиною 3 мм.

Швидкості робочого переміщення плазмотрона1000, 1500 та 2000 мм/хв для сили струму 40 та 50 А мають мінімальну кількість грату та по якості поверхні різання можуть бути рекомендовані до використання.

Наступним етапом аналізе результатів дослідження є вимірювання верхньої та нижньої ширини різу а також діаметрів отворів та визначення кута нахилу поверхні різу. Результати вимірювань подані в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9. Результати вимірювань

| Сила струму, А | Швидкість, мм/хв | Ширина верхня, мм | Ширина нижня, мм | Кут нахилу, град | Діаметр верхній, мм | Діаметр нижній, мм | Кут нахилу, град |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 50 | 2000 | 2,00 | 1,18 | 7,78 | 7,52 | 6,62 | 8,53 |
| | 1500 | 2,00 | 1,33 | 6,37 | 7,60 | 6,74 | 8,16 |
| | 1000 | 2,16 | 1,48 | 6,47 | 7,70 | 6,86 | 7,97 |
| | 500 | 1,95 | 1,88 | 0,67 | 7,65 | 7,36 | 2,77 |
| 40 | 2000 | 1,90 | 1,00 | 8,53 | 7,50 | 5,90 | **14,93** |
| | 1500 | 1,90 | 1,12 | 7,41 | 7,12 | 6,36 | 7,22 |
| | 1000 | 2,12 | 1,42 | 6,65 | 7,38 | 6,20 | 11,13 |
| | 500 | 1,78 | 1,72 | 0,57 | 7,40 | 6,70 | 6,65 |

Продовження табл. 4.9

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 2000 | 1,76 | 0,53 | **11,59** | 7,05 | 5,13 | **17,74** |
| | 1500 | 1,80 | 0,90 | 8,53 | 7,02 | 5,53 | 13,95 |
| | 1000 | 1,89 | 1,12 | 7,31 | 7,07 | 5,64 | 13,41 |
| | 500 | 1,91 | 1,45 | 4,38 | 7,18 | 6,50 | 6,47 |

На рис. 3.12 відображено залежність кута нахилу поверхні різу від швидкості різу та сили струму

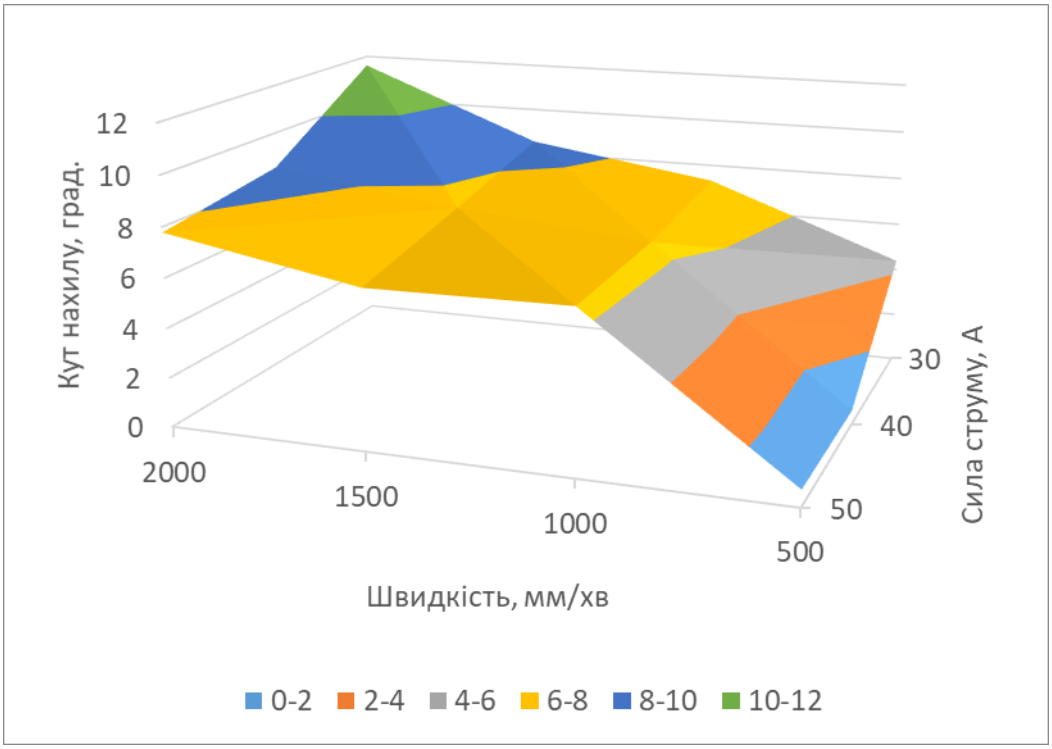



Рис. 3.12 Залежність кута нахилу поверхні різу від швидкості різу та сили струму

Допустимий кут нахилу поверхні різу не повинен перевищувати 6-7°. В результаті опрацювання результатів дослідження можна стверджувати, що для сили струму 30 А швидкість руху плазмотрона необхідно обирати до 1000 мм/хв. Для сили струму 40 та 50 А допустима швидкість становить 1500 мм/хв. Для швидкостей 2000 мм/хв та вище необхідно збільшувати силу струму.

На рис. 3.13 відображено залежність кута нахилу поверхні різу отвору малого діаметра від швидкості різу та сили струму.

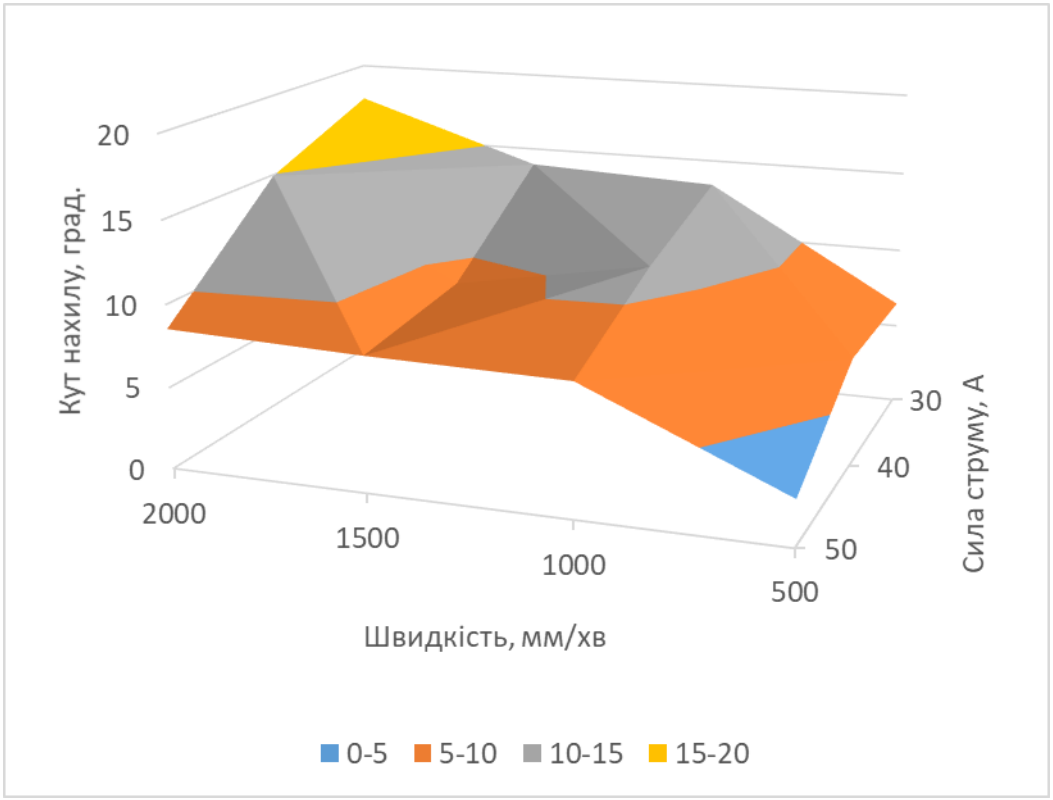



Рис. 3.13 Залежність кута нахилу поверхні різу отвору малого діаметра від швидкості різу та сили струму

Якщо для вирізання отворів використовувати таку саму швидкість як для основного контуру деталі, наприклад 1500 мм/хв, то кут нахилу поверхні різу цього отвору залежно від сили струму буде становити від 8 до 14°, що перевищує допустимі значення а також в такому ці отвори необхідно обробляти додатково.

Отже для отворів невеликого діаметру допустима швидкість руху плазмотрона становить не більше 700-800 мм/хв.

У зоні термічного впливу (ЗТВ) відбувається нагрівання металу до високих температур, що може спричинити фазові перетворення. Наприклад, у сталях можуть утворюватися зони загартованості, крихкі структури або інші мікроструктурні зміни, залежно від швидкості охолодження.

Через високу температуру можуть знижуватися міцність, твердість або пластичність металу в ЗТВ, у деяких випадках це може призвести до появи тріщин або зниження загальної надійності конструкції. Також нерівномірний нагрів і швидке охолодження сприяють утворенню залишкових напружень у металі.

Високі температури в зоні різання можуть спричинити окислення поверхні металу, що знижує його стійкість до корозії. Це особливо критично для нержавіючих сталей та алюмінієвих сплавів. Отже необхідно прагнути до зменшення ширини ЗТВ.

На рис. 3.14 показано вимірювання зони термічного впливу в процесі розкрою плазмовою різкою. Як бачимо для різних режимів вона відрізняється.

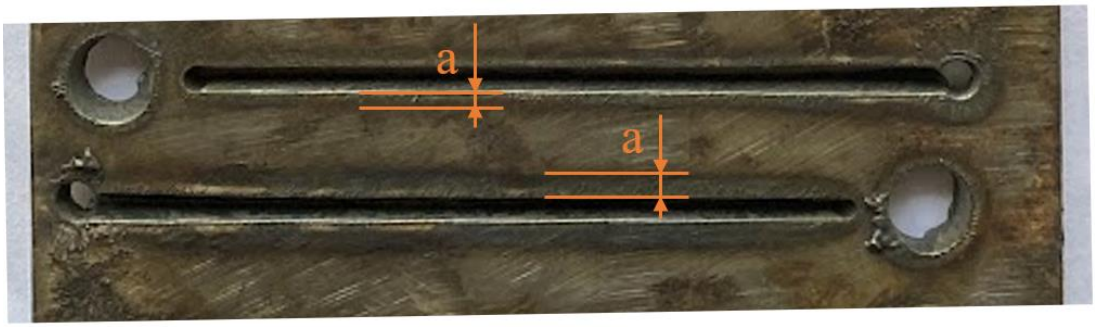



Рис. 3.14. Вимірювання ширини зони термічного впливу

В табл. 4.10 подано виміряні параметри ширини ЗТВ для різних режимів різання, а саме сили струму та швидкості різання. Графіки залежності впливу досліджуваних режимів різання на ширину ЗТВ подані на рис. 3.15.

Таблиця 4.10. Ширина зони термічного впливу

| Швидкість різу, мм/хв | Сила струму, А | | |
|---|---|---|---|
| | 30 | 40 | 50 |
| 2000 | 1,10 | 1,12 | 1,16 |
| 1500 | 1,13 | 1,31 | 1,38 |
| 1000 | 1,73 | 1,75 | 1,95 |
| 500 | 2,51 | 2,76 | 3,54 |

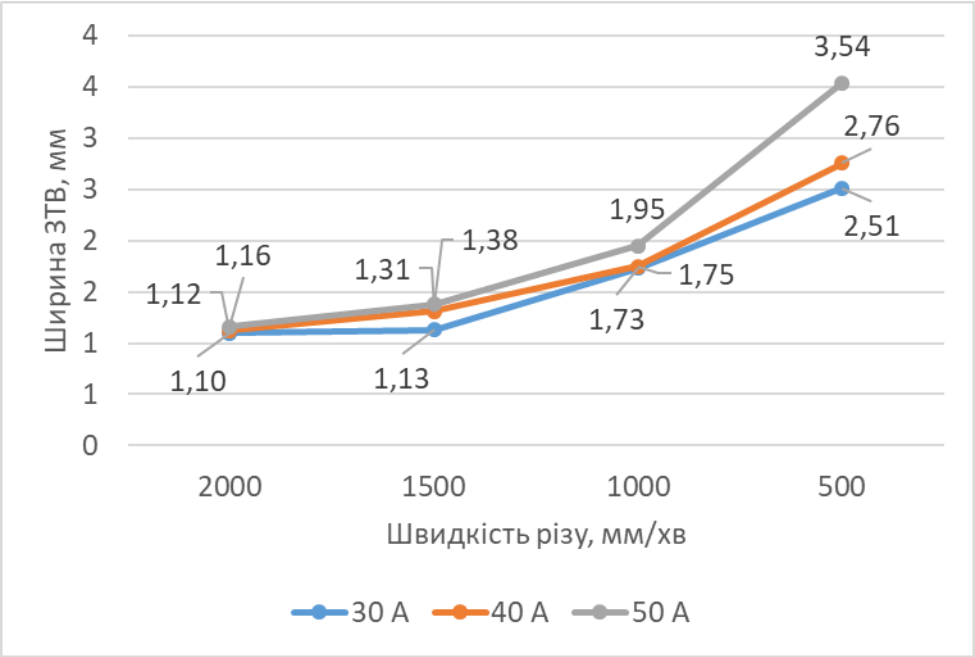



Рис. 3.15. Залежність ширини ЗТВ від режимів різання.

Найбільша ширина ЗТВ спостерігається для швидкості різання 500 мм/хв для всіх значень сили струму, та зменшується зі збільшенням швидкості різання. Також при швидкості 500 мм/хв спостерігається найбільший розкид ширини ЗТВ для різних значень сили струму, і він зменшується зі збільшенням швидкості. При швидкості 2000 мм/хв ширина ЗТВ практично не залежить від сили струму і становить близько 1,13 мм.

Отже для зменшення ширини ЗТВ необхідно збільшувати швидкість переміщення плазмотрону.

# 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному дипломному проекті розглянуто зміцнення поверхні сталевих виробів шляхом обробки азотовмісною плазмою при плазмовому різанні.

Отже, основні проблеми, які розглядаються у даному розділі це -зменшення викиду шкідливих речовин в атмосферу, захист виробничого персоналу від випромінювання в оптичному діапазоні, забезпечення пожежної безпеки і електробезпеки, забезпечення без надійної експлуатацію механізмів і систем, що рухаються, експлуатацію систем, які знаходяться під тиском.

Метою даного розділу є аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, притаманних даному способу різання та розробка заходів щодо усунення або зменшення дії шкідливих та небезпечних факторів при повітряно-плазмовому різанні.

## 5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

У сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть надходити в повітря, де знаходяться люди, і становити небезпеку їх здоров’ю. На машинобудівних підприємствах повітря робочої зони може забруднюватись шкідливими речовинами, які утворюються в результаті технологічного процесу при виробництві різноманітної машинобудівної продукції, устаткування, конструкції та елементів машин (зварювання, різання, термічна обробка заготовок, фарбування та ін.), які містяться в металах, з яких виготовляють цю продукцію. Ці речовини потрапляють у повітря у вигляді пилу, аерозолів та газів і негативно діють на організм людини. В залежності від їх токсичності та концентрації в повітрі вони можуть бути причиною хронічних отруєнь або професійних захворювань.

Рівень шкідливого та небезпечного фактору процесу різання, в першу чергу, визначається способом різання, видом і складом (маркою) газу та основного матеріалу. Характер розвитку і тяжкість протікання захворювань працівників,

викликаних шкідливими речовинами зварювальними аерозолями, залежить від їх концентрації в зоні дихання.

В даному дипломному проекті, враховуючи специфіку робіт для даної групи сталей, застосовується повітряно плазмове різання сталі.

Відповідно до НПАОП 28.0-1.35-14 [15] при способах плазмового різання на робітникадіютьшкідливі та небезпечніхімічніі фізичніфактори виробничого середовища, а також психофізіологічні фактори в організації праці, устаткуванні робочого місця й обладнання.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори – , що виникають при цьому способі різання:

1. Виділення шкідливих речовин;

2. Ультрафіолетове випромінювання – невидиме оком людини електромагнітне випромінювання, що посідає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюваннями в межах довжин хвиль 400-10 нм;

3. Видиме випромінювання – електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 780...380 нм, яке здатне безпосередньо викликати зорове відчуття;

4. Інфрачервоне випромінювання – оптичне випромінювання з довжиною хвилі більшою, ніж у видимого випромінювання, що відповідає довжині хвилі, більшій – приблизно 750 нм.;

5. Шум при різанні;

6. Ураження електричним струмом;

7. Наявність приладів та обладнання, що знаходиться під тиском понад 0,07 МПа.

Шкідливі речовини виділяються в процесі плазмового різання та випаровування металу. Найбільшу небезпеку становить аерозоль, а точніше продукт реакції випаровування металу від дії плазмового струменю. Він практично не осідає з повітря та легко проникає до легенів людини. У зварювальному аерозолі знаходиться до 90 % частинок розміром менше 1 мкм, що робить його особливо шкідливим для організму людини.

Шум, видиме випромінювання та стікання металу з зони різу також притаманні даному способу різання.

При автоматичному повітряно плазмовому різанні, працівник безпосередню участь у процесі не приймає.

## 5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці базуються на аналізі шкідливих та небезпечних факторів, проведеному в розділі 4.1.

Захист від випромінювань в оптичному діапазоні:

Для захисту від інфрачервоного випромінювання застосовують: - екранування джерел випромінювання;

- маски для захисту обличчя; - спеціальний одяг.

### 5.2.1 Електробезпека

Основними причинами ураження персоналу електричним струмом є доторкання: до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі; до струмоведучих частин, що випадково опинились під напругою; до неструмоведучих частин, що опинились під напругою внаслідок пошкодження електроізоляції; ураження електричною дугою та напругою кроку.

Виробничі приміщення з точки зору ураження електричним струмом належать до категорії особливо шкідливих. Експлуатація зовнішніх електроустановок прирівнюється до умов експлуатації в особливо небезпечних приміщеннях [15].

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98. В їх конструкції для захисту від ураження струмом в робочому режимі можуть використовуватись:

- ізоляція струмоведучих частин (робоча, додаткова, подвійна, посилена);

- безпечна напруга в електричному колі;

- елементи для захисного заземлення металевих неструмоведучих частин;

виробу, які можуть опинитись під напругою (при пошкодженні ізоляції, порушенні режиму роботи тощо);

- оболонки для запобігання можливості випадкового доторкання до струмоведучих частин та частин, що рухаються і нагріваються;

- блокування для запобігання помилкових дій та операцій;

- екрани та інші засоби захисту від небезпечного і шкідливого впливу електромагнітних полів, теплового, оптичного і рентгенівського

випромінювання;

- засоби вилученнянебезпечних і шкідливих речовин, що утворюються в процесі експлуатації;

- елементи, призначені для контролю ізоляції та сигналізації щодо її пошкодження, а також для вимикання виробу при зменшенні опору ізоляції нижче від допустимого рівня;

- попереджувальні надписи, знаки, фарбування в сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку (у поєднанні з заходами безпеки);

- виконання вимог ергономіки.

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, занулення, вимикання, подвійну ізоляцію. Заземлення застосовують завжди при живленні від мереж з ізольованою нейтраллю та за наявності мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

У чотирьох провідних мережах з глухозаземленою нейтраллю використовують систему занулення (заземлення). Зануленню підлягає електрообладнання у виробничих приміщеннях, що живиться струмом з напругою понад 42 В змінного та 110 В постійного струму .

Захисне вимикання – високонадійна швидкодіюча система захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, які використовують як генератор з ізольованою нейтраллю, а також в інших випадках, коли умови експлуатації потребують високого рівня безпеки.

### 5.2.2 Вентиляція

Для оздоровлення повітряного середовища в цеху передбачена припливно-витяжна вентиляція за ГОСТ 12.4.021 і СНиП 2.04.05, заміна водяного опалення повітряним за СНиП 2.04.05. Застосування місцевої витяжної вентиляції засновано на наявності невеликої кількості працюючих, а також постійних робочих місць, тому технічно обґрунтовано та економічно доцільно створювати необхідні метеорологічні умови та чистоту повітря безпосередньо на робочих місцях.

У системі припливно-витяжної вентиляції повітря потрапляє в приміщення припливною вентиляцією, а видаляється витяжною, працюючими одночасно. Місце для забору свіжого повітря вибирається з урахуванням переважного напрямку вітру, з місця мінімального забруднення; є найбільш поширеними у промисловості, тому що вони більш повно задовольняють умовам створення нормованих параметрів повітря у робочій зоні виробничих приміщень.

Визначимо кількість повітря, яке буде видалятися відсмоктувачем з розміром вхідної воронки 0,25м.(див.рис.5.1.).

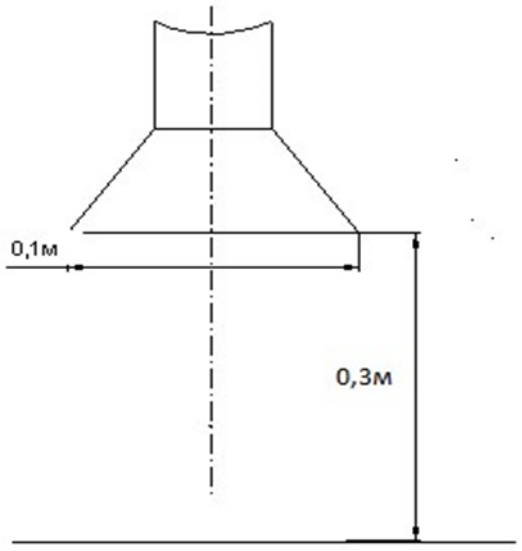



Рис.5.1. Схема місцевої вентиляції

Витрати повітря, що видаляється:

$$L_м = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де $V_0$ – швидкість повітря в отворі відсмоктувача, м/с;

$F_0$ – площа перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м$^2$; $V_x$ – швидкість повітря в зоні зварювання;

$$V_x = 0,3 \text{ м/с.}$$

Швидкість повітря в отворі відсмоктувача: $V_0 = 8 \cdot Vx \cdot (x/d)^2$,

де x – відстань від вхідного отвору воронки до зони зварювання, м x = 0,4 м;

d – діаметр вхідного отвору, м; d = 0,25 м.

$$V_0 = 8 \cdot 0,3 \cdot (0,4/0,25)^2 = 6,144 \text{ м/с.}$$

$L_м = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,0625 \cdot 6,144 = 1382,4$ м$^3$/год.

Для цих параметрів вибираємо відсмоктувач MASTER 200. Який забезпечує $L_м = 2000$ м$^3$/год.

Рис. 5.2. Відсмоктувач MASTER 200.

### 5.2.3 Засоби індивідуального захисту

Згідно з ГОСТ 12.4.011-89 «СББТ. Средства защиты работающих. Классификация» усі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) в залежності від призначення поділяються на такі класи: засоби захисту органів дихання, засоби захисту обличчя, засоби захисту очей, одяг спеціальний захисний, ізолюючі костюми, засоби захисту ніг, засоби захисту рук, засоби захисту голови, засоби

захисту слухових органів, засоби захисту від падіння з висоти та інші запобіжні засоби, захисні дерматологічні засоби, засоби захисту комплексні.

Ефективне застосування ЗІЗ залежить від їх правильного вибору та умов експлуатації. При виборі необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливого фактора, а також індивідуальні особливості людини. Тільки правильне застосування ЗІЗ може максимально захистити працюючого. Для цього працівники повинні бути ознайомлені з асортиментом та призначенням ЗІЗ.

Для захисту органів зору і обличчя від випромінювань оптичного діапазону місця де ведуться зварювальні роботи необхідно огороджувати спеціальними ширмами або завішувати брезентовими ширмами. Працівник який виконує процес різання повинен користуватися захисною маскою, або спеціальними затемненими окулярами. Так як працівник знаходиться безпосередньо біля джерела виділення шкідливих аерозолів і їх не можливо миттєво позбавитись, то доцільно буде використовувати захисні маски з примусовим подаванням очищеного повітря.

Конструктивні особливості масок з системою очищення та подачі повітря в зону дихання визначені необхідністю захисту органів дихання від шкідливих речовин, а очей від випромінювання. Складовими частинами таких пристроїв є захисна маска, фільтруючий елемент, збуджувач подачі повітря та з'єднувальний шланг.

Маска повинна мати світлофільтр, що захищає очі від випромінювання зварювальної дуги; причому в її конструкції слід передбачати можливість спостереження за підготовчими операціями при виконанні зварювання без піднімання маски, оскільки це призведе до розгерметизації зони дихання. Залежно від цього розроблені маски зі світлофільтрами на рідких кристалах (з автоматичним затемненням) або зі звичайним світлофільтром (постійної оптичної густини), що відкривається.

Широке розповсюдження знайшли маски зі світофільтрами з автоматичним затемненням і системою очищення та подачі повітря в зону дихання «Speedglas Fresh Air» фірми «Hörnell Speedglas Inc.» (США), «Ainstream»фірми«Racal»(Великобританія), «FreahAirVint»фірми «Nederman»

(Швеція) та інші, що забезпечують надійний захист очей, обличчя та органів дихання зварника.

Щодо системи подачі чистого повітря під маску, то найбільшого розповсюдження за кордоном дістали портативні автономні системи, що розташовуються на поясі зварника. Такі системи складаються з електричного збуджувача тяги, який подає повітря під маску, фільтруючого блока для очищення забрудненого повітря, що забирається з робочої зони зварника, та гнучких шлангів, які з'єднують систему очищення та подачі повітря із захисною маскою. Схема і пристрій цих масок компактні, мають незначну вагу, не заважають проведенню процесу різання та звільняють руки працівника [16].

Виробництво спеціального одягу для зварників і його раціональне використання - одна з найважливіших умов забезпечення безпеки праці, профілактики травматизму та професійних захворювань. Для захисту від випромінювання, бризок розплавленого металу, механічних пошкоджень, переохолодження під час роботи на відкритому повітрі в холодний період року працівики використовують спеціальний одяг (костюми, халати, фартухи), рукавиці та інші ЗІЗ.

Спецодяг вибирається залежно від способу зварювання і умов праці відповідно до ГОСТ 12.4,103-83 "ССБТ. Одежда специальная. Средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация".

Особливістю більшості костюмів для зварників є наявність захисних накладок, розташованих попереду та ззаду на куртці і брюках. Захисні накладки повинні відрізнятися високою вогнестійкістю та зносостійкістю. Тканини і матеріали, з яких виготовляють костюми, повинні мати чіткі гігієнічні та захисні властивості, а також забезпечувати однаковий термін використання.

Одним із важливих засобів індивідуального захисту працівників є спеціальне взуття, яке застосовується для захисту від опіків бризками розплавленого металу, механічних травм, переохолодження під час роботи на відкритому повітрі в зимовий час, перегріву під час зварювання виробів з попереднім та супроводжуючим нагрівом, а також від ураження електричним

струмом, особливо під час роботи в замкнених просторах. Спеціальне взуття повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.4.032-77 "ССБТ. Обувь специальная кожаная для защитыот повышенныхтемператур. Технические условия" та ГОСТ 12.4.050-78 "ССБТ. Обувь специальная вяленая для защиты от повышенных температур. Технические условия". Працівникам забороняється працювати у взутті з відкритим шнуруванням або металічними цвяхами в підошві. На жаль, нерідко ці вимоги виконуються не повністю і робочий персонал піддається певному ризику.

Для захисту рук у відповідності з ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Перчатки специальные. Технические условия» слід застосовувати прості рукавиці, виготовлені з іскростійкого матеріалу з типом захисту Т.

Застосування працівниками та робочими споріднених операцій та спеціальностей (наплавники, зварювальника та ін.) необхідного одягу, взуття та інших ЗІЗ має велике значення, оскільки забезпечує зручність та безпеку роботи, надійний захист від іскор та бризок розплавленого металу та від ураження електричним струмом, а також значне скорочення травматизму та простудних захворювань.

## 5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.

Організація, облаштування та оснащення робочих місць для зварювання мають відповідати ДСТУ 2456-94.

Згідно з НАПБ Б.07.005-86 приміщення, у яких виконуються зварювальні та термічно різальні роботи, за вимогами вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум’я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона II-IIа, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за

БЕМЗ (безпечний експериментальний зазор між фланцями оболонки, мм) – ПА (> 0,9 мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) В > 450 ˚С. Ступінь вогнестійкості будівлі – І (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

### 5.3.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека (ДНАОП 0.00-1.32-01) забезпечується:

- запобігання спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- апобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- застосування пожежної сигналізації з датчиком (ИДФ-І, ДПІД і др.);
- використанням вогнегасників (клас пожежі В): ОХП-10, ОХВП-10,

ОВП-7, ОХ-7, ОП-10А; для класу пожежі Е вогнегасники типу УО, ОП-10А (вибрати тип і кількість відповідно до НАПБ Б.07.005-86).

При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки (ГОСТ 12.1.018-79).

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втравлювання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежонебезпечні технічні миючі засоби.

Передбачено пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі. Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального

захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухобезпечності [17].

### 5.3.2 Безпека в аварійних ситуаціях.

У випадку пробою електричної напруги на корпус плазмової установки необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев’яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання установки для повітряно-плазмового різання необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

– негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;

– приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);

– викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці). У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра,

начальника дільниці та звернутися в медпункт [17].

# 6 ВИСНОВОКИ

1. Плазмове різання є одним з найбільш продуктивних методів для різання металів середньої товщини, особливо в умовах серійного виробництва. Воно має оптимальне співвідношення між вартістю обладнання та продуктивністю для середньої товщини матеріалів.

2. Параметри плазмового різання взаємопов’язані і мають значний вплив на якість, точність та ефективність обробки. Оптимальне налаштування сили струму, тиску газу, швидкості різака і врахування товщини матеріалу є ключовим для отримання якісних і чистих кромок з мінімальними деформаціями та дефектами.

3. В результаті експериментальних досліджень було визначено середні значення діаметрів отворів пробивки, форма отвору є відмінна від кола і в більшості схожа на еліпс. Особливо це помітно для струму 30 А, а також отвір пробивки зміщений в бік від траєкторії руху плазмотрону. Для часу пробивки 0,5 с та сили струму 50 А нижній діаметр отвору є дещо більшим від верхнього.

4. Для всіх значень сили струму при швидкості 500 мм/хв на нижній стороні листа навколо лінії різу утворилася велика кількість грату який досить міцно тримається матеріалу листа та потребує значних зусиль для очищення.

5. При швидкості 1000 та 1500 мм/хв для сили струму 30А відносно менша кількість грату але все ще така деталь потребує додаткової обробки. Враховуючи це сила струму 30 А не рекомендована для розкрою стального листа товщиною 3 мм.

6. Швидкості робочого переміщення плазмотрона 1000, 1500 та 2000 мм/хв для сили струму 40 та 50 А мають мінімальну кількість грату та по якості поверхні різання можуть бути рекомендовані до використання.

7. Для сили струму 30 А швидкість руху плазмотрона необхідно обирати до 1000 мм/хв. Для сили струму 40 та 50 А допустима швидкість становить 1500 мм/хв. Для швидкостей 2000 мм/хв та вище необхідно збільшувати силу струму.

8. Найбільша ширина зони термічного впливу (ЗТВ) спостерігається для швидкості різання 500 мм/хв для всіх значень сили струму, та зменшується зі збільшенням швидкості різання. Також при швидкості 500 мм/хв спостерігається найбільший розкид ширини ЗТВ для різних значень сили струму, і він зменшується зі збільшенням швидкості. При швидкості 2000 мм/хв ширина ЗТВ практично не залежить від сили струму і становить близько 1,13 мм. Отже для зменшення ширини ЗТВ необхідно збільшувати швидкість переміщення плазмотрону.

# 7 БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК


1. Порізка металу плазмою з ЧПУ на замовлення в Україні - АВ метал груп :URL: https://avmg.ua/uslugi/metaloobrobka/plazmennaya-rezka-metalla/ (дата звернення: 12.10.2024).
2. Принцип роботи плазморізу :URL: https://dnipro-m.ua/news/plazmorez-stroenie-princzip-raboty-vybor-apparata/ (дата звернення: 12.10.2024).
3. Компресор у системі плазмової :URL: https://effectenergy.com.ua/ua/produktsiia/aparaty-plazmovoi-rizky.html (дата звернення: 12.10.2024).
4. Система різання з ЧПУ EX-TRACK :URL: https://www.ex-trafire.com/uk/ (дата звернення: 12.10.2024).
5. Portable CNC Cutting System EX-TRACK CNC URL: https://ex-track.com/wp-content/uploads/2023/12/EX-TRACK_Operator_manual_FW_3.0_and_1.3.4_EN.pdf (дата звернення: 20.10.2024).
6. EX-TRACK CNC, технічні дані URL: https://ex-track.com/wp-content/uploads/2022/12/FACT_SHEET_EX-TRACK_EN.pdf (дата звернення: 20.10.2024).
7. Василенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів: під ручник для здобувачів професійної освіти. Київ, Літера ЛДТ, 2019, 224 с.
8. Кузін О. А., Металознавство та термічна обробка металів / О. А. Кузін, Р. А. Яцюк. - Львів : Афіша, 2002. – 304 с.
9. Металознавство: підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]; - 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2002. – 384 с.
10. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
11. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.

12. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
13. Металознавство і термічна обробка металів і сплавів із застосуванням комп'ютерних технологій навчання: підручник / Ю.М. Таран, Є. П. Калінушкін, В. З. Куцова [та ін.]; під ред. Ю. М. Тарана – Дніпропетровськ : Дніпрокнига, 2002. - 360 с.
14. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: навчальний посібник / В. В. Хільчевський, С. Є. Кондратюк, В. О. Степаненко [та ін.]. - К. : Либідь, 2002. - 328 с.
15. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. посібник, [для студ. Г 82 вищ. навч. закл.] / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко — К.: Центр учбової літератури, 2009. - 280 с.
16. Охорона праці : підручник. М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. Харків, 2017, 334 с.
17. Охорона праці та цивільний захист: Підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська. За ред. О. Г. Левченка. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.
18. Інструкція з безпеки та експлуатації для системи плазмового різання URL: https://ex-track.com/wp-content/uploads/2022/12/EX-TRACK_CNC_OXY_manual_ML.pdf (дата звернення: 02.11.2024).